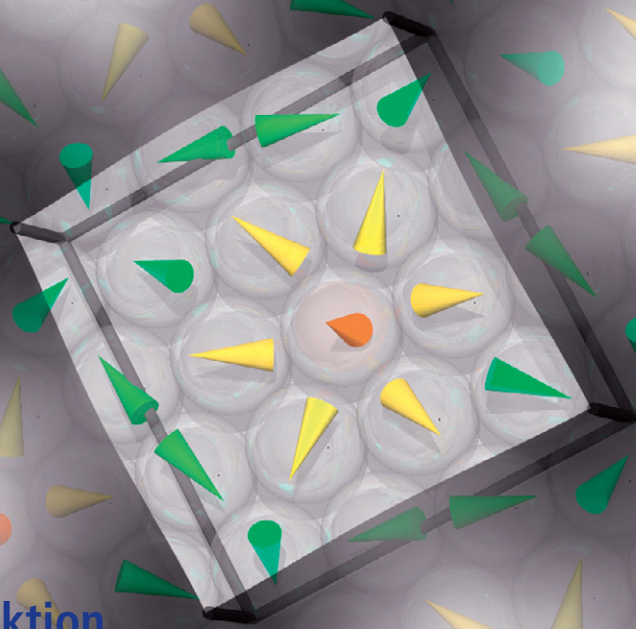


CLB

Chemie in Labor und Biotechnik

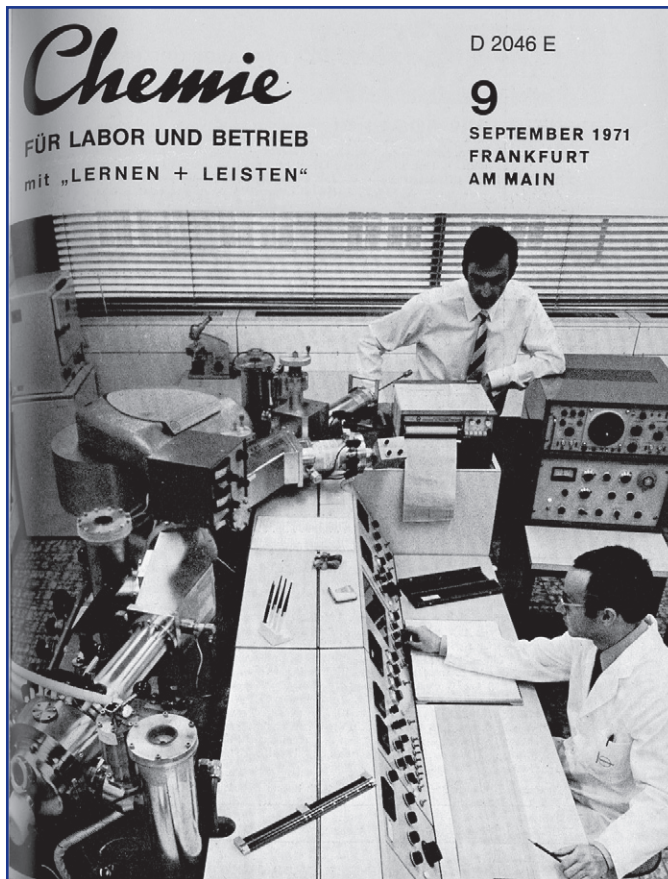
Analytik
Biotechnik
Optimierte Prozesse
Komplexe Materialien
Maßgeschneiderte Moleküle

Menschen und Chemie
Forschung und Weiterbildung



- Spintronik
- Neuronen: Struktur und Funktion
- Jugend forscht: Ethen
- Jugend forscht: Cyclodextrine
- Kegelschnecken und Bionik
- Nardenöl

Immer wieder erstaunen heutzutage die Erkenntnisse der Hirnforschung, wie sie in dieser CLB wiederholt angesprochen werden. Vor 40 Jahren berichtete die CLB auch bereits darüber; hier ein Artikel dazu. Das Titelbild zeigt übrigens die Arbeit mit einem Massenspektrometer.



Nr. 9
22. Jahrgang
September 1971
Frankfurt am Main

Chemie

FÜR LABOR UND BETRIEB
Eine verständliche Fachzeitschrift

Biochemie des Gedächtnisses

Neurophysiologische und biochemische Korrelate des Gedächtnisses

Von Priv. Doz. Dr. T. O. Kleine,
Leiter des Klinisch-chemischen Laboratoriums der
Universitäts-Nervenlinik Marburg/L.

In den letzten Jahrzehnten haben Morphologen, Physiologen und Ärzte übereinstimmend herausgefunden, daß bei Speichervorgängen von Gedächtnisinhalten verschiedene Teile des Großhirns der Säugetiere beteiligt sind. Bei der neurophysiologischen Untersuchung dieser Speichervorgänge haben sich die an Computern gemachten Erfahrungen als nützlich erwiesen: Im Gegensatz zu den üblichen Computern mit binärer Codierung werden im Zentralnervensystem der Säugetiere die von der Umwelt kommenden physikalischen und chemischen Reize in einen trinären Code von Entladungsmustern verschiedener Nervenzellen (Neurone) umgeschrieben.

Die Codierung von Umweltreizen im Zentralnervensystem

Die Nervenzellen bauen mittels eines extra-intrazellulären Konzentrationsgefälles von Kalium-, Natrium- und Chlorid-Ionen an ihrer Zelloberfläche

Außen		
Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
440	22	580

Abb. 1: Das (passive) Na-Trägersystem und die (aktive) Na-Pumpe. In der Erregungsphase (gerade Pfeile) fließen die Ionen „bergab“: passiver Transport unter dem Einfluß des elektrochemischen Gradienten; Natrium strömt mit Hilfe des Trägersystems ein, Kalium strömt anschließend aus. In der Erholung müssen die Ionen aktiv „bergauf“ gepumpt werden (gekrummte Pfeile). Die notwendige freie Energie stammt aus dem Aktions-Stoffwechsel. Die angegebenen Ionenkonzentrationen entsprechen der marklonen Faser im Meerwasser. (Schematische Darstellung nach Hodgkin und Keynes aus A. v. Muralt: Neue Ergebnisse der Neurophysiologie, Berlin: Springer 1958.)

Erregung
„steigend“

Passiver Austausch

Erholung
„beruhigend“

Aktiver Austausch

Innen		
Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
40	410	40

386 Biochemie des Gedächtnisses

ein Membranpotential auf, das mit Hilfe von energieverbrauchenden Kalium- und Natrium-Pumpen aufrechterhalten wird (Abb. 1). Chemische, thermische oder mechanische Reize führen zu einer Depolarisation an der Zellmembran; Natrium- und Chlorid-Ionen strömen vermehrt ins Zellinnere, Kalium-Ionen verlassen es. Die positiv aufgeladene Zelloberfläche wird am Ort des lokalen Reizes negativ. Die Depolarisation breitet sich schlagartig über die ganze Zellmembran aus: Die Nervenzelle wird erregt. Sie sendet einen Impuls oder ein Signal.

Die Entladung eines Neurons pro Zeiteinheit kann

- permanent konstant sein, wobei die Frequenz variabel ist;
- durch afferente Signale vermindert werden oder sistieren;
- sofort oder nach erfolgter Summation afferenter Signale erhöht werden (J. C. Eccles).

Auf diese Weise entsteht ein trinärer Code von Signalen im Zentralnervensystem.

Das neurophysiologische Gedächtnisäquivalent

Mit Hilfe dieses trinären Codes werden physikalische und chemische Signale der Umwelt in verschiedenartige Entladungsmuster bestimmter Nervenzellen codiert, die in der Großhirnrinde in Zusammenarbeit mit tieferen Teilen des Gehirns durch Integrations- und Differenzierungsvorgänge vieler Nervenzellen zu neuen Erregungsmustern verarbeitet werden. Diese neu entstandenen Erregungsmuster verschiedener Nervenzellen können als neurophysiologisches Gedächtnisäquivalent angesehen werden. Sie werden in morphologisch erfaßbaren Bahnen von haupt- und nebegeschalteten Neuronen als sog. Neuronenkreise im Zentralnervensystem hinterlegt (engrammiert).

Die Reproduktion eines Gedächtnisinhaltes kann mit Resonanzvorgängen verglichen werden, bei denen engrammierte Erregungsmuster durch entsprechend verwandte, evtl. neu auftretende angeregt werden können.

Da im Gehirn des Menschen 10¹⁰ Nervenzellen vorhanden sind, die über etwa 10¹³ Kontaktpunkte (Synapsen) miteinander in Verbindung stehen (eine Nervenzelle also mit 5000 bis 270000 anderen), ergeben sich hieraus unübersehbare Möglichkeiten der Ausbreitung und Bildung von Erregungsmustern, den neurophysiologischen Gedächtnisäquivalenten.

Biochemische Prozesse bei der Ausbreitung neurophysiologischer Erregungsmuster

Für den Biochemiker ist bei der Bildung solcher Neuronenkreise interessant, daß die elektrische Ausbreitung eines Signals von Nervenzelle zu Nervenzelle am Kontaktpunkt zweier Neurone mittels molekular-biochemischer Prozesse transferiert wird.

Mit der Erforschung der biochemischen Übertragungsmechanismen haben sich in den letzten Jahren besonders die Arbeitsgruppen um Sir Bernard Katz, University College London, England, Professor Ulf von Euler, Karolinska Institut Stockholm, und Professor Julius Axelrod, National Institute for Health, Bethesda, Maryland, USA, beschäftigt. Diesen drei Forschern wurde für ihre

387 Biochemie des Gedächtnisses

Die Nobelpreisträger für Physiologie und Medizin 1970

oben links: Sir Bernard Katz
oben rechts: Ulf von Euler
unten rechts: Julius Axelrod

(Photos: Associated Press GmbH.)

Liebe CLB-Leserin, lieber CLB-Leser,

mit dieser CLB setzen wir die Tradition fort, herausragende Arbeiten des Wettbewerbs „Jugend forscht“ vorzustellen. Was mich besonders freut ist aber auch, dass die Unterstützung der jungen Leute immer wieder auf fruchtbaren Boden fällt; die Danksagungen geben dazu Auskunft. Besonders schön diesmal: Dr. Roland Full, Betreuungslehrer des Beitrags „Zauberformel gegen Mundgeruch“ ab Seite 374, war bereits Betreuungslehrer einer Jugend forscht-Teilnehmerin, deren Beitrag 1994 in der CLB abgedruckt worden ist. Erfreulicherweise engagieren sich auch immer mehr Privatunternehmen und Stiftungen für die Förderung von Jugendlichen in Naturwissenschaften und Technik. Zwei Beispiele dafür lesen Sie in dem „Erreichen & Erhalten“-Teil ab Seite 408.



Die Spintronik liegt mir seit längerem thematisch am Herzen. In dieser CLB hat sich das ab Seite 336 in einem Artikel niedergeschlagen. Fazit: noch in der Grundlagenforschung, faszinierende Eigenschaften für neuartige Computerchips, immer gut für Überraschungen – auf jeden Fall genug Stoff für einen gehaltvollen Artikel. Ich werde das Thema weiter verfolgen, ich hoffe in Ihrem Interesse. Und nicht vergessen, wozu die Forschung auch dienen soll: Zur Simulation des Gehirns. Dazu gilt es jedoch auch, die Bausteine des Gehirns zu erforschen. Wie sehr da eine Symbiose von Informatik und Biologie hilft zeigt der Artikel „Von der Struktur zur Funktion einzelner Nervenzellen“ ab Seite 346.

Blickt man auf solche Themen scheint die Entwicklung in Naturwissenschaft und Technik das Auffassungsvermögen des Menschen fast zu überschreiten. Die Folge: Ängste entstehen. Dagegen hilft nur Wissen. Heute glaubt auch niemand mehr an Thor, wenn der Donner grollt. Für Wissen in den Naturwissenschaften rollt jetzt eine Wanderausstellung durch Deutschland: „T-Shirts, Tüten und Tenside – Die Ausstellung zur Nachhaltigen Chemie“ der Deutschen Bundesstiftung Umwelt wurde anlässlich des GDCh-Wissenschaftsforums Chemie 2011 in Bremen eröffnet (s. S. 413). Ich hoffe jedoch, diese und ähnliche Ausstellungen haben nicht nur einen Sensationseffekt, sondern geben dem einen oder der anderen auch Anlass, sich tiefergehend mit Fragen aus Naturwissenschaft und Technik zu

befassen – wie es die Jugend forscht-Teilnehmer ja vorbildlich zeigen. Oft sind Zusammenhänge heute so komplex, dass eine oberflächliche Betrachtung nicht hilft.

Für mich bemerkenswert war jüngst ein Urteil des Europäischen Gerichtshofs. Demnach darf Honig mit Spuren von gentechnisch veränderten Pflanzen, die nicht für die Verwendung in Lebensmitteln zugelassen sind, in der EU nicht ohne Genehmigung verkauft werden. Konkret: Sobald der Anteil der Pollen von gentechnisch veränderten Pflanzen 0,9 Prozent überschreitet, muss der Honig als „gentechnisch verändert“ gekennzeichnet werden, was nicht unbedingt verkaufsfördernd ist. Solch eine Entscheidung mit derart spezifischen Grenzwerten geht doch an wahren Schutzbedürfnissen der Verbraucher vorbei. Wie oft ändern sich Gene in der Natur? Wer prüft die daraus entstehenden Gefahren? Wer überwacht die Grenzwerte? Und noch viel wichtiger: Wer kümmert sich endlich mal um Gefahren, die aus vermeintlich besonders gesunder „Bio-Ernährung“ kommen? Immerhin ging die EHEC-Infektionswelle, durch die 4300 Menschen infiziert wurde – 50 von ihnen starben – von Sprossen aus Bio-Bockshornklee aus. Der Agrarstatistiker Georg Keckl schrieb dazu: „Die Häufung von EHEC-Infektionen bei Vegetariern, insbesondere Vegetarierinnen, bei Veganern, bei Kunden, die nur im Bioladen eingekauft haben, hätte die Sperrung sämtlicher Bioprodukte in Deutschland zur Folge haben müssen, hätte man die gleichen Sperrungsmaßstäbe wie beim Dioxinskandal angewendet.“ Die Tageszeitung „Welt“ berichtete: „Das Medikament Soliris aus den USA, durch das einige der Schwerkranken doch noch gerettet werden konnten, wird übrigens gentechnisch hergestellt. Eigentlich eine Steilvorlage für Gentechnikgegner, denn es ist hierzulande nicht zugelassen. Hoffentlich kommt der Europäische Gerichtshof nicht dahinter.“

Dazu ist nichts weiter zu sagen,

Ihr

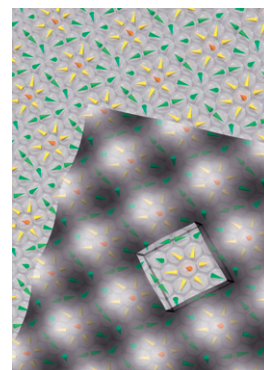
INHALT

Aufsätze

Wenn Magnetmomente wechselwirken Spintronik: Seltsame Effekte, ungewöhnliche Stoffe, Memristoren, Supercomputer	336
So filigran und so komplex Von der Struktur zur Funktion einzelner Nervenzellen	346
Molekül mit sagenhaften Eigenschaften Jugend forscht: Ethen – Schlüssel­molekül für Äpfel und Bananen ____	352
Zauberformel gegen Mundgeruch: $C_{42}H_{70}O_{36}$ Jugend forscht: Cyclodextrine führen Jungchemiker zum Preis der Kanzlerin	374
Die „Perlen“ der Kegelschnecken Opercula: Verschlusssteine gegen Feinde und Austrocknung	388

Rubriken

Editorial	329
Impressum	331
F & E im Bild	331
Unternehmen	332
Personalia	334
Förderungen / Preise	335
Serie: Seltene Metalle	395
Teil 2: Arsen, Antimon und Bismut	
Umschau	398
Gebündelt im Diamanten – PSI-Forscher: Harte Röntgenlaserstrahlung 100 000fach konzentriert	
Forschung und Technik	400
Literatur	402
Der neueste Stand	404
Neue Produkte	405
Bezugsquellenverzeichnis	423
CLB-Geschichte	U1, U3



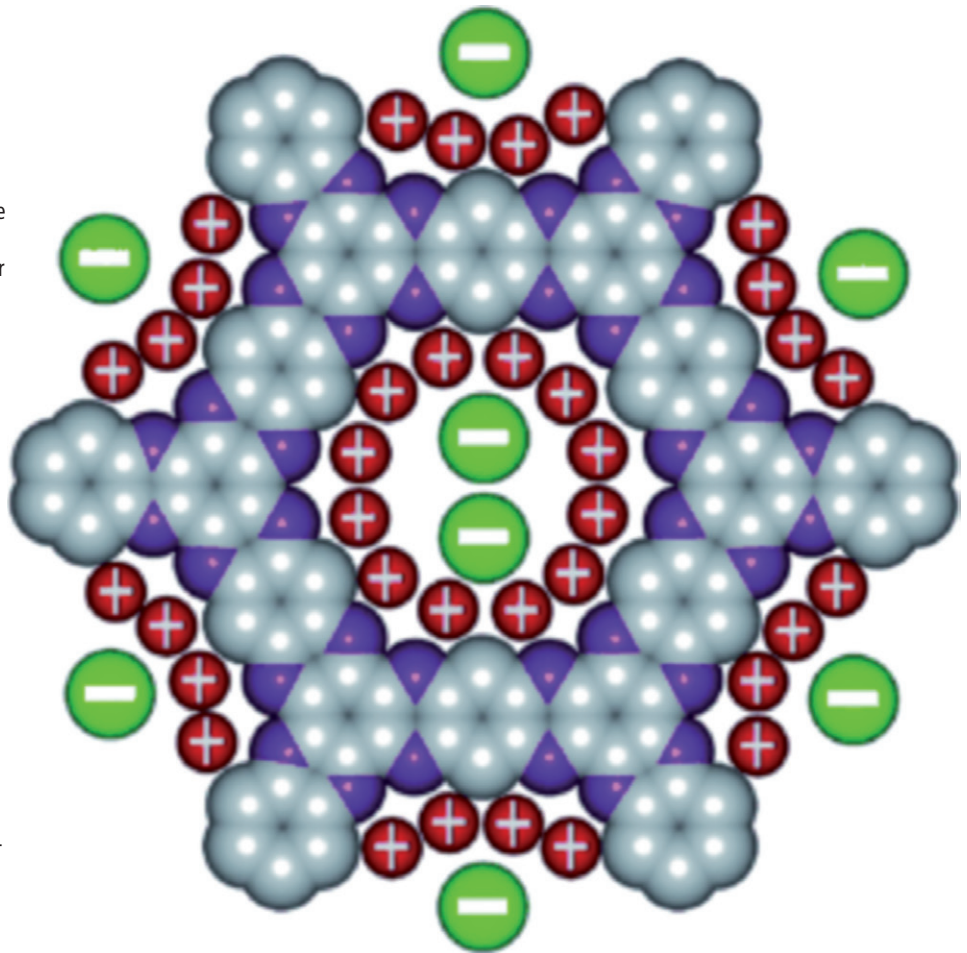
Zum Titelbild: Das Bild weist hin auf den Artikel *Spintronik* ab Seite 336 hin (Abb.: M. Menzel, Uni Hamburg).

Erreichen & Erhalten

Apps programmieren Sommercamp am HPI	408
Vor-Ort-Analytik: Mineralwasserquellen in der Eifel 19. Sommerakademie der Hochbegabten-Stiftung der Kreissparkasse Köln	409
Kaukasischer Löwenzahn: künftige Kautschukquelle? Zuchtmethoden gesucht, um schnell zu ertragreichen Sorten zu gelangen	412
„T-Shirts, Tüten und Tenside“ DBU-Wanderausstellung in Bremen eröffnet	413
Nardenöl – von Bibelzitat zu Terpenoiden Chemie vom Feinsten im Parfümöl der Antike	414
Massenspektrometrie Mehrere richtige Antworten pro Frage sind möglich.	422

Polymer als Supercap

Superkondensatoren – kurz Supercaps – können wie ein Kondensator bei Bedarf rasch hohe Stromdichten liefern, gleichzeitig speichern sie wie eine Batterie eine hohe Menge elektrischer Energie. Sie bestehen aus elektrochemischen Doppelschichten auf Elektroden, die mit einem Elektrolyt befeuchtet sind. Beim Anlegen einer Spannung sammeln sich an beiden Elektroden Ionen entgegengesetzter Ladung und bilden hauchdünne Zonen von unbeweglichen Ladungsträgern. Anders als bei Akkus tritt nur eine Ladungsverschiebung, aber keine chemische Stoffänderung auf. Eine Stoffklasse für Supercaps sind spezielle gerüstartig aufgebaute, mikroporöse organische Polymere (Abbildung), zeigte jetzt ein Team um Dinglin Jiang von den National Institutes of Natural Sciences in Okazaki (Japan). Aufgrund der Anordnungen ihrer Doppelbindungen kann sich ein Teil ihrer Elektronen in ausgedehnten Bereichen des Gerüsts frei bewegen. Daher sind solche Materialien elektrisch leitfähig. Die hohe innere Oberfläche ist wichtig für die Bildung von elektrostatischen Ladungstrennungsschichten in den Poren. Die Forscher haben jetzt ein stickstoffhaltiges Gerüst synthetisiert, dessen Porengröße optimal ist, um Ionen rasch hinein- und hinauszulassen – Voraussetzung für eine schnelle Aufladung und Entladung (Abb.: Wiley-VCH).



Impressum

CLB
Chemie in Labor und Biotechnik

Verlag:
Agentur & Verlag Rubikon
für technische und wissenschaftliche
Fachinformation – Rolf Kickuth
Anschrift:
CLB, Agentur & Verlag Rubikon
Bammentaler Straße 6–8
69251 Gaiberg bei Heidelberg
Deutschland
E-Mail: redaktion@clb.de

Gründungsherausgeber:
Dr. Dr. h.c. Wilhelm Foerst (†)
Prof. Dr. Wilhelm Fresenius (†)

Herausgeber:
Prof. Dr. Dr. U. Fitzner, Ratingen
Prof. Dr. K. Kleinerhans, Düsseldorf,
Prof. Dr. J. Schram, Krefeld
Prof. Dr. Georg Schwedt, Bonn
Dr. Wolfgang Schulz, Stuttgart
Prof. Dr. G. Werner, Leipzig.

Redaktion:
Rolf Kickuth (RK, verantwortlich;
E-Mail: kickuth@clb.de),
Dr. Christiane Soigné-Stark
(CS, E-Mail: stark@clb.de).

Ständige Mitarbeiter:
Raymond Blavatt (Grafik) San Diego (USA);
Dr. Maren Bulmahn, Bensheim;
Knut Burgdorf, Ried-Brig (CH);
Prof. Dr. Wolfgang Hasenpusch, Hanau;
Dr. Mechthild Kässer, Diekholzen;
Dr. Annette von Kieckebusch-Gück, Liestal (CH);
Prof. Dr. Röbbbe Wünschiers, Quedlinburg.

VBTA-Verbandsmitteilungen:
Thomas Wittling,
Raiffeisenstraße 41, 86420 Diedorf
Telefon (0821)327-2330
Fax (08 23 8) 96 48 50
E-Mail: info@vbta.de

Anzeigenservice:
Natalia Bajramovic
CLB, Agentur & Verlag Rubikon
Bammentaler Straße 6–8
69251 Gaiberg bei Heidelberg
Telefon (0 62 23) 97 07 43
Fax (0 62 23) 97 07 41
E-Mail: service@clb.de

Abonnentenbetreuung:
Natalia Bajramovic
E-Mail: service@clb.de

Layout und Satz:
Agentur & Verlag Rubikon
Druck: Printec Offset, Ochshäuser Straße
45, 34123 Kassel

CLB erscheint monatlich.
© 2011 Agentur und Verlag Rubikon
Rolf Kickuth

Bezugspreise:
CLB Chemie in Labor und Biotechnik
Einzelheft – außerhalb des Abonnements
– 14,00 Euro, im persönlichen Abonne-
ment jährlich 109,00 Euro zuzüglich Ver-
sandkosten; ermäßigter Preis für Schüler,
Studenten und Auszubildende (nur ge-
gen Vorlage der Bescheinigung) jährlich
79,45 Euro zuzüglich Versandkosten, in-
kl. 7% MWSt. Ausland sowie Firmenbzw.
Bibliothekenabonnements auf Anfrage.
Bezug durch den Buchhandel und den
Verlag. Das Abonnement verlängert sich
jeweils um ein weiteres Jahr, falls nicht 8
Wochen vor Ende des Bezugsjahres Kün-
digung erfolgt.

Erfüllungsort ist Heidelberg. Mitglieder
des VBTA, des VCO sowie des VDC erhal-
ten die CLB zu Sonderkonditionen.

Anzeigenpreisliste:
Nr. 46 vom 01. 12. 2006.

Bei Nichterscheinen durch Streiks oder
Störung durch höhere Gewalt besteht kein
Anspruch auf Lieferung.
Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen
einzelnen Beiträge und Abbildungen sind
urheberrechtlich geschützt. Jede Verwer-
tung außerhalb der engen Grenzen des
Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustim-
mung des Verlags unzulässig und straf-
bar.
Für die Rückgabe unverlangt eingesand-
ter Buchbesprechungsbeispiele kann
keinerlei Gewähr übernommen werden.

ISSN 0943-6677



NACHRICHTEN & NOTIZEN

Bilfinger Berger Industrial Services Group (BIS Group), München, übernimmt von der Funkwerk AG, Kölleda / Thüringen, zu 100 Prozent die Alpha Meß-Steuer-Regeltechnik GmbH mit Hauptsitz in Neustadt an der Weinstraße / Rheinland-Pfalz. Der EMSR-Spezialist mit den Branchenschwerpunkten Gas, Chemie und Energie erzielte 2010 mit etwa 120 Mitarbeitern eine Jahresleistung von rund 17 Millionen Euro. Die Übernahme steht unter dem Vorbehalt der kartellrechtlichen Genehmigung. Über den Kaufpreis wurde Stillschweigen vereinbart.

Evonik Industries und die Paramelt B.V. haben am 1. September 2011 einen Vertrag zum Verkauf des Dilavest-Dehnwachsgeschäfts an Paramelt unterzeichnet. Die Dehnwachse finden Einsatz in thermostatischen Steuergeräten, die für die Automobil-, Marine- und Luftfahrtindustrie hergestellt werden. Darüber hinaus finden sie auch Anwendung in Gebäudeheiz- und Kühlungssystemen. Paramelt wird das gesamte Geschäft mit sofortiger Wirkung übernehmen und in eine moderne Anlage für die künftige Produktion der Wachse investieren. Die Produktion der Dehnwachse verbleibt bis Mitte 2012 bei Evonik.

Air Products erhielt im August 2011 vom Stockton on Tees Borough Council die Baugenehmigung für das bisher größte Projekt zur Energiegewinnung aus nicht-recyclebarem Abfall (EfW, energy from waste) in Großbritannien. Dabei entsteht auf dem Gelände des nordenglischen Abfallentsorgers ‚Impetus Waste Management‘ in Tees Valley jährlich aus rund 300 000 Tonnen privater und gewerblicher Abfälle – die bisher deponiert wurden – Strom für bis zu 50 000 Haushalte. Die Anlage für Erneuerbare Energien ist mit 49 MW (Megawatt) eine der größten ihrer Art und die erste einer Reihe ähnlicher geplanter Anlagen, die in den nächsten Jahren entstehen sollen. Abhängig von den weiteren Genehmigungsschritten wird die Anlage voraussichtlich bereits im Jahr 2014 in Betrieb gehen.

Dekra übernimmt das Unternehmen für Explosionsschutz und Prozess-Sicherheitsdienstleistungen Chilworth Global in Southampton, Großbritannien. Chilworth Global erzielt mit knapp 160 Mitarbeitern einen Jahresumsatz von rund 15 Millionen Euro und ist auf Sicherheitslösungen für die Prozessindustrie spezialisiert.

Rhodia Aroma Performance, Weltmarktführer bei LiTFSI (Lithium bis-Trifluoromethansulfonimid), und das CEA-Liten kooperieren. Ziel dieser Zusammenarbeit ist es, durch Erprobung des LiTFSI in Lithium-Ionen-Batterien die optimalen Nutzungsbedingungen dieses Leitsalzes zu definieren. LiTFSI wird als Lithium-Salz in Flüssig-Elektrolyten eingesetzt. Das Salz besitzt eine große thermische und elektrochemische Stabilität, ist nicht toxisch und auch unempfindlich gegenüber Hydrolyse.

Verbot von Galliumarsenid? Optische Industrie fürchtet ECHA-Einstufung

Der Industrieverband „Spectaris“ kritisiert ein aktuelles Einstufungsverfahren der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA). Der Verband befürchtet für die optischen Technologien massive Einschränkungen bei der Versorgung mit dem Halbleiterwerkstoff Galliumarsenid. Dieses wurde von der ECHA jetzt als sehr gefährlich eingestuft. Die Industrie mahnt an, dass die vorgelegte Einstufung dieses Stoffes wissenschaftlich nicht vollständig und korrekt ist, da sie aus der verfügbaren umfangreichen Datenlage nicht ableitbar sei. Hingegen ließen die Ergebnisse intensiver toxikologischer als auch arbeitsmedizinischer Studien keine tatsächliche, von Galliumarsenid ausgehende Gefährdung erkennen.

Galliumarsenid ist ein Halbleiterwerkstoff und wird in der Halbleiter-, Elektronik- und Optoelektronik-Industrie verwendet. In Form von Transistoren und Detektoren steckt es in einer Vielzahl von Anwendungen wie z.B. Mobiltelefonen, Satelliten-, Kommunikations- und Mikrowellentechnik und drahtloser Kommunikation. Zudem wird Galliumarsenid für z.B. Hochleistungslaserdioden, in photovoltaischen Anwendungen und für ultrahelle LEDs benötigt. „Eine stark eingeschränkte Verfügbarkeit von Galliumarsenid hätte zunächst Auswirkungen auf die Bauelemente und Kompo-

nen herstellenden deutschen und europäischen Hochtechnologieunternehmen in den Bereichen Hochfrequenzelektronik und Telekommunikation, Lasertechnik, Optoelektronik und Photovoltaik. Im zweiten Schritt wären aber auch massiv die nachgelagerten Industrien wie die Medizin-, Sicherheits- und Weltraumtechnik betroffen“, so Tobias Weiler, Geschäftsführer des Industrieverbandes.

Galliumarsenid wurde im Rahmen der CLP-Verordnung (Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures) von der ECHA als krebserregend und reprotoxisch eingestuft. Diese Verordnung ist Teil des europäischen Chemikalienrechts und unter anderem für die Klassifizierung chemischer Substanzen verantwortlich. Durch die Auswirkungen der CLP-Einstufung auf andere EU-Rechtsbereiche (z.B. REACH und RoHS) könnte eine entsprechende Einstufung als „sehr gefährlich“ mittelfristig zu massiven Beschränkungen von Galliumarsenid in Europa führen.

Gemeinsam mit anderen betroffenen Verbänden und Unternehmen bemüht sich „Spectaris“ nun durch Information und Gespräche mit Vertretern der Bundes- und Landesministerien, Abgeordneten des Deutschen Bundestages und des Europäischen Parlaments eine erneute Einstufung von Galliumarsenid zu erwirken, die auch neueste wissenschaftliche Erkenntnisse einbezieht.

Elga sucht die ältesten Reinstwassergeräte

Unter dem Motto „Frisch starten und gewinnen“ sucht Elga LabWater bis Ende Oktober die ältesten Reinstwassergeräte Deutschlands. Jeder Teilnehmer erhält ein Fachbuch für Laborwasseraufbereitung und kann mit etwas Glück eine neue Purelab flex oder einen hochwertigen Miele Stand-Kaffeefüllautomaten CM 5100 für sein Labor gewinnen: Einfach unter www.elgalabwater.com/gewinnspiel für die Verlosung anmelden und ein Foto des aktuellen Reinstwassersystems hochladen oder mailen. Reinstwasser ist in Laboren das am häufigsten eingesetzte Reagenz.

BASF investiert in Brasilien und Ludwigshafen

Acrylsäure-Produktionskomplex für 500 Mio. Euro – Bis 10 Mrd. Euro am Rhein

Die BASF wird in der brasilianischen Stadt Camaçari im Bundesstaat Bahia den ersten Produktionskomplex für Acrylsäure und Superabsorber (SAP) in Südamerika bauen. In Ludwigshafen verbaut das Unternehmen bis 2015 neun bis zehn Milliarden Euro.

Mit einem Investitionsvolumen von mehr als 500 Millionen Euro ist der Bau mehrerer World-Scale-Anlagen für die Produktion von Acrylsäure, Butylacrylat und Superabsorber die größte Einzelinvestition in der 100jährigen Geschichte der Geschäftstätigkeit der BASF in Südamerika. Zusätzlich wird die BASF im bereits bestehenden Chemiapark Guaratinguetá (São Paulo) die erste Produktionsanlage für die Herstellung von 2-Ethylhexyl Acrylat in Betrieb nehmen - ein wichtiges Vorprodukt für die Klebstoff- und Lackindustrie.

Mit dem Bau eines Acrylsäure-Produktionskomplexes will die BASF die Lieferfähigkeit für wichtige Produkte in Südamerika sicherstellen. Dazu gehören Superabsorber für Windeln und Hygieneprodukte, Acrylharze für Lacke, Textilien und Klebstoffe sowie Produkte für die Bauindustrie.

Die Entscheidung für den Standort Camaçari fiel aufgrund der Verfügbarkeit des Rohstoffs Propylen und weiterer Betriebsstoffe, die von dem brasilianischen Petrochemieunternehmen Braskem S.A. als strategischem Partner bei dieser Investition vor Ort bereit gestellt werden.

Der Baubeginn für den Acrylsäure-Produktionskomplex ist für 2011 vorgesehen. Rund 1.000 Menschen werden während der Bauphase beschäftigt sein. Der Start der Produktion ist für das Jahr 2014 geplant. Nach Inbetriebnahme werden 230 Arbeitsplätze direkt, weitere 600 Arbeitsplätze indirekt entstehen. Die Produktion

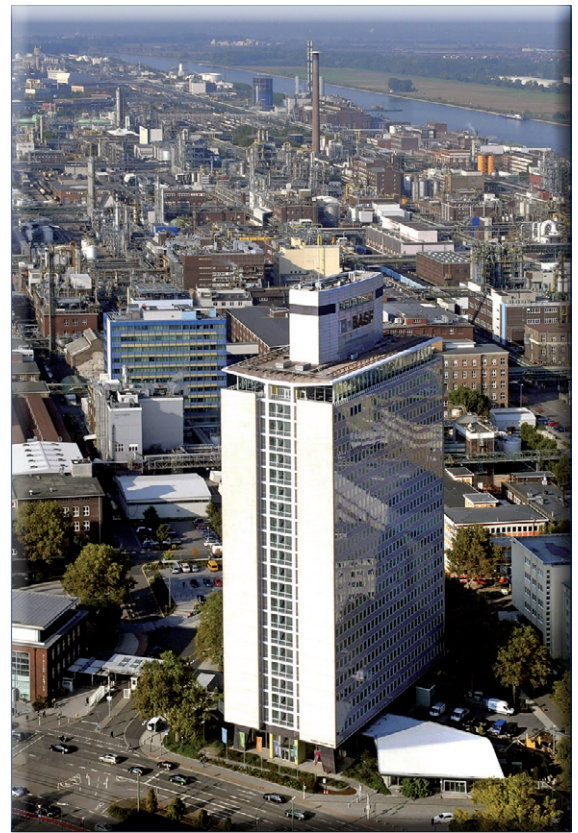
von 2-Ethylhexyl Acrylat in Guaratinguetá soll ab 2015 auf Grundlage der in Camaçari produzierten Acrylsäure anlaufen.

„Wir erwarten, dass die Investition einen sehr positiven Einfluss auf die Außenhandelsbilanz haben wird“, sagte Dr. Alfred Hackenberger, Leiter des Regionalbereiches Südamerika der BASF. „Ich rechne mit einem Effekt in Höhe von insgesamt 300 Millionen US-Dollar pro Jahr, der sich aus einer Verringerung der Importe um 200 Millionen\$ und einer Steigerung der Exporte um 100 Millionen US-Dollar ergeben wird.“

Milliarden am Rhein verbaut

Die BASF investiert ebenso in bauliche Infrastruktur am Standort Ludwigshafen. Es entsteht ein Zentrum für Work-Life-Management entsteht. Man schafft 180 zusätzliche Plätze in Kinderkrippe LuKids. Das Renovierte Feierabendhaus steht vor der Wiedereröffnung. Künftig befinden sich zudem Besucherzentrum und Archiv unter einem Dach. Parallel läuft aktuell die Modernisierung des benachbarten Friedrich-Engelhorn-Hochhauses – benannt nach dem Gründer der BASF. Das 1957 eingeweihte, mit 20 Etagen und insgesamt 102 Meter Höhe bis 1962 höchste Bürogebäude Deutschlands, ist heute Sitz einer Vielzahl von Marketing- und Verwaltungseinheiten. Derzeit wird zudem eine Reihe von Investitionen in der Produktion umgesetzt.

Ende 2010 hatten Unternehmensleitung und Arbeitnehmervertretung unter anderem beschlossen, bis 2015 insgesamt neun bis zehn Milliarden Euro für die Zukunftsfähigkeit des Verbundstandortes Ludwigshafen aufzuwenden. Jährlich 1,15 bis 1,25 Milliarden Euro sind pro Jahr allein für Investitionen, Modernisierungs- und Erhaltungsmaßnahmen vorgesehen.



Das 1957 eingeweihte, 102 Meter hohe Friedrich-Engelhorn-Hochhaus muss renoviert werden (Foto: BASF).

Lanxess investiert in Kunststoffe

Lanxess investiert 15 Millionen Euro in sein Glasfaser-Werk im Antwerpener Hafen. Für den Spezialchemie-Konzern sind Glasfasern ein wichtiges Zwischenprodukt für die Herstellung seiner Hochleistungs-Kunststoffe. Mit der Erweiterung steigt die jährliche Produktionskapazität für Glasfasern von aktuell rund 60 000 Tonnen um zehn Prozent. Erst vor kurzem hatte das Leverkusener Unternehmen ein Investitionsprojekt in Höhe von 35 Millionen für die Erweiterung der Produktion von Caprolactam, einem weiteren Kunststoff-Zwischenprodukt, in Antwerpen abgeschlossen. Durch die Erweiterung steigt die jährliche Produktionskapazität für Caprolactam von derzeit rund 200 000 Tonnen um zehn Prozent. Lanxess hat in den vergangenen 18 Monaten eine Reihe von Investitionen in sein Hightech-Kunststoff-Produktionsnetzwerk umgesetzt. Mit der Erweiterung des Glasfaser-Werks steigen die Investitionen auf insgesamt rund 90 Millionen Euro. Die globale Nachfrage nach Hightech-Kunststoffen wird bis 2020 jedes Jahr voraussichtlich um rund sieben Prozent steigen.

FIZ CHEMIE Prof. René Deplanque, Geschäftsführer des Leibniz-Institutes FIZ Chemie in Berlin, wurde am 4. August zum Generalsekretär der internationalen Chemie-Vereinigung IUPAC gewählt. Die Amtszeit beginnt am 1. Januar 2012. Der IUPAC gehören 1.623 Chemieeinrichtungen aus 75 Mitgliedsländern an. FIZ Chemie ist ein Institut der wissenschaftlichen Infrastruktur in der Leibniz-Gemeinschaft (WGL). René Deplanque kam 1994 als wissenschaftlicher Geschäftsführer zum FIZ Chemie, ist seit 2005 alleiniger Geschäftsführer.

HALTERMANN CEO der neuen Haltermann GmbH ist **Dr. Uwe Nickel**, ehemaliges Vorstandsmitglied der Clariant AG und Leiter der Chemiegruppe der Beratungsgesellschaft Arthur D. Little. Haltermann produziert in Speyer und Hamburg hochreine Raffinerieprodukte, die in der Automobil-, Pharma- und Kosmetikindustrie und in der Druck-, Laborchemikalien- und Elektronikindustrie sowie in der Kunststoffverarbeitung Anwendung finden. Die Firma gehört zum Dow Konzern.

HZI Das Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI) in Braunschweig hat einen neuen wissenschaftlichen Geschäftsführer. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ernannte jetzt den Strukturbiologen **Prof. Dirk Heinz** mit Wirkung zum 1. August zum Nachfolger des vor einem Jahr im Amt verstorbenen Prof. Jürgen Wehland. Heinz hatte die wissenschaftliche Leitung des HZI bereits seit September 2010 kommissarisch inne. Für die Zukunft plant er insbesondere den Ausbau von Kooperationen mit akademischen Partnern und der Industrie, um die Grundlagenforschung stärker mit der klinischen Anwendung zu verknüpfen. Dirk Heinz studierte Chemie und Biochemie in Freiburg, ehe er sich im Rahmen seiner Dissertation an der Universität Basel auf die Strukturbiologie spezialisierte.



Deplanque



Lande



Hell



Huber



Bruce



Heinz

EHRUNGEN

Russell Lande (USA), Imperial College London (Großbritannien), für Theoretische Biologie oder Bioinformatik, ist **Balzan Preisträger** 2011. Er erhält 750 000 Schweizer Franken (zirka 670 000 Euro). Die Hälfte des Preisgeldes ist für die Finanzierung von Forschungsprojekten zu verwenden. Lande erhält den Preis für wegweisende Beiträge zur Entwicklung und Anwendung der theoretischen Populationsbiologie einschließlich der modernen Entwicklung der Theorie der quantitativen Genetik und der Erforschung stochastischer Populationsdynamiken. Drei weitere Balzan-Preise gab es für Geschichte, Philosophie bzw. Kosmologie.

Der **Körber-Preis** wurde am 7. September 2011 zum 27. Mal vergeben. Er ging dieses Jahr an Prof. **Stefan W. Hell**. Der Preis ist mit 750 000 Euro dotiert. Der Göttinger Physiker konstruierte hochauflösende Lichtmikroskope, die um ein Vielfaches schärfer sehen können, als es bislang möglich schien. Stefan Hell, geboren 1962 im rumänischen Banat, ist seit 2002 Direktor am Göttinger Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie. Mit dem Körber-Preis werden jährlich herausragende und in Europa tätige Wissenschaftler für zukunftssträchtige Forschungsarbeiten ausgezeichnet. Prämiert werden exzellente und innovative Forschungsansätze mit hohem Anwendungspotenzial.

Wissenschaftsforum Chemie: Preise der GDCh

Auf dem Wissenschaftsforum Chemie 2011 der Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) vom 4. bis 7. September in Bremen gehörten Auszeichnungen von Spitzenwissenschaftlern zu den Höhepunkten. Neben GDCh-Preisen werden auch mehrere Stiftungspreise vergeben.

Der Fresenius-Preis für Analytische Chemie, benannt nach dem Gründer des allseits bekannten Laboratoriums, wurde zum 24. Mal vergeben, und zwar an **Prof. Christian Huber** von der Universität Salzburg. Er erhält den Preis für die Entwicklung und Anwendung von Analysemethoden für biologisch relevante Moleküle. Die Methoden dienen vor allem der Proteincharakterisierung und der klinischen Analyse.

Der Arfvedson-Schlenk-Preis wurde von der Chemetall GmbH bei der GDCh für herausragende Arbeiten auf dem Gebiet der Lithiumchemie eingerichtet und erstmals 1999 vergeben. Jetzt ging der Preis an **Prof. Peter Bruce** von der University of St. Andrews in Schottland. Die Forschungsinteressen von Peter Bruce liegen auf der Entwicklung von neuen Materialien für die Energiewandlung und -speicherung. Insbesondere befasst er sich mit Materialentwicklungen für Lithium-Ionen-Batterien. Die Klaus-Grohe-, die Hellmut-Bredereck- und die Hermann-Schnell-Stiftung stellten herausragende Arbeiten junger Wissenschaftler vor. Zwei Wissenschaftler werden mit dem **Klaus-Grohe-Preis** für Medizinische Chemie ausgezeichnet: **Dr. Ralph Holl** von der Universität Münster und **Dr. Simon Lucas**, Grüenthal GmbH, Aachen. Der Preis der **Hellmut-Bredereck Stiftung** für hervorragende Leistungen auf dem Gebiet der bioorganischen Chemie geht an **Prof. Christoph Arenz** von der Humboldt-Universität Berlin.

Das Herrman Schnell-Stipendium, das Arbeiten zur makromolekularen Chemie, zu deren physikalisch-chemischen Grundlagen und deren Analytik fördert, erhalten in Bremen **PD Dr. Dariush Hinderberger** vom Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz und die Chinesin **Dr. Yan Lu**, die am Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH arbeitet.

Eppendorf Young Investigator Award Ethanol aus Lignocellulose

Bis zum **15. Januar 2012** können sich in Europa tätige Forscherinnen und Forscher im Alter bis 35 Jahren für den Eppendorf Award for Young European Investigators bewerben. Dieser 1995 ins Leben gerufene und international hoch angesehene Preis honoriert auf molekularbiologischen Methoden beruhende herausragende Leistungen auf dem Gebiet der biomedizinischen Forschung. Eine unabhängige Jury unter Vorsitz von Kai Simons (Max-Planck-Institut für Molekulare Zellbiologie und Genetik, Dresden) entscheidet über die Vergabe des Eppendorf Awards 2012. Der/die Preisträger/in erhält u.a. ein Preisgeld in Höhe von 15 000 Euro.

Themenfeld Kardiodiabetologie

Noch bis zum **30. September 2011** läuft die Frist für den Förderpreis der Stiftung DHD (Der herzkranke Diabetiker), mit dem herausragende Forschungsarbeiten im Themenfeld Kardiodiabetologie ausgezeichnet werden. Der Preis ist mit 10 000 Euro dotiert und wird an Wissenschaftler vergeben, die ihre Forschung der Stoffwechsel- und Gefäßmedizin widmen. Prämiert werden Arbeiten aus dem grundlagenwissenschaftlichen und versorgungsmedizinischen Bereich, die zur Optimierung der Behandlung von herzkranken Diabetikern beitragen. In Europa ansässige Wissenschaftler, die zum Thema Diabetes mellitus, Herz und Gefäße geforscht haben, können sich einzeln oder in Teams bewerben. Für die Bewerbung gilt keine Altersbeschränkung. Allerdings muss sich das Forschungsprojekt an den Stiftungszielen orientieren, die Ergebnisse sollten noch nicht publiziert sein.

Internationaler Bionic-Award

Bereits zum dritten Mal vergeben der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) den internationalen Bionic-Award für besondere wissenschaftliche Leistungen in der bionischen Produktentwicklung. Der von der Schauenburg-Stiftung mit 10 000 Euro dotierte Preis richtet sich an den Forscher-Nachwuchs. Ausgezeichnet wird eine herausragende Arbeit, z. B. in Form einer bionischen Produktentwicklung oder einer Dissertation/Habilitation, die in den letzten zwei Jahren vor dem Einreichungstermin fertig gestellt wurde. Teilnehmen können sowohl Einzelpersonen als auch Teams. Die Ausschreibung ist international. Nachwuchswissenschaftler können ihre Arbeiten in englischer Sprache bis zum **29. Februar 2012** bei der VDI-Gesellschaft Technologies of Life Sciences (TLS) einreichen. Weitere Informationen findet man im Internet unter www.vdi.de/bionic2012.

Kraftstoffe aus lignocellulosischer Biomasse einschließlich Rest- und Abfallstoffe stehen vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion um Nahrungsmittelsicherheit und Biodiversität besonders im Fokus bei den Zielformulierungen zum Ausbau der Bioenergienutzung. Bioethanol aus Lignocellulose wird hierbei als Substitut für Ottokraftstoffe eine große Bedeutung beigemessen. Dies spiegelt sich in vielfältigen Verfahrensansätzen zur Herstellung dieses Kraftstoffs wider. Verfahren zur Gewinnung von Ethanol aus Lignocellulose sind auf dem Weg hin zur Kommerzialisierung. Allerdings beschränkt sich die Errichtung von Industrieanlagen bislang noch auf Planungen. Darüber hinaus ist festzustellen, dass Verfahren zur Herstellung von Lignocellulose-Ethanol noch ein hohes Potenzial zur Effizienzsteigerung aufweisen. Gegenstand dieses **Förderschwerpunktes** ist daher die Erforschung und Entwicklung neuer und innovativer Verfahren und Konzepte zur Herstellung von Ethanol aus Lignocellulose. Hierbei soll das ganze Spektrum der biotechnologischen und verfahrenstechnischen Methoden abgedeckt werden. Dabei sind ausdrücklich nur neue, über den Stand der Technik hinausgehende Ansätze zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist eine enge Kooperation entlang der Verfahrenskette erforderlich.

Folgende Themenbereiche werden als besonders aktuell angesehen: 1. Biomassevorbehandlung, Biomasseaufschluss und enzymatische Hydrolyse 2. Fermentation / Mikroorganismen / Enzyme 3. Verwertung der Nebenprodukte der Ethanolfermentation. Im Rahmen dieser Themenbereiche sind nachfolgend problemorientierte FuE-Schwerpunkte formuliert. Im Zentrum der FuE-Arbeiten sollten dabei insbesondere neue und innovative Prozesse und Verfahren stehen, die eine möglichst kostengünstige Konversion von lignocellulosischer Biomasse zu Ethanol erlauben. Im Falle anwendungsorientierter FuE-Projekte ist eine angemessene Beteiligung der gewerblichen Wirtschaft an den Vorhaben zu gewährleisten. Ein ausreichendes Markt- und Wertschöpfungspotential ist sicherzustellen. Wirtschaftlichkeitsaspekte sowie Aspekte der Nachhaltigkeit sind zu berücksichtigen.

Es ist zu empfehlen, nach einer ersten Kontaktaufnahme mit der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) eine kurze Projektbeschreibung (Projektskizze) einzureichen, um die Förderwürdigkeit und die Zuständigkeit prüfen zu lassen. Die elektronische Skizzenfassung „easy-Skizze“ kann über <http://www.kp.dlr.de/profi/easy/skizze/index.html> heruntergeladen werden. In den Fällen, in denen keine Möglichkeit auf Förderung gesehen wird, kann so unnötiger Arbeitsaufwand vermieden werden. Nach der Verständigung über die Projektskizze werden von der FNR die entsprechenden Antragsformulare, Richtlinien und Nebenbestimmungen zur Projektförderung an den Antragsteller gesandt.

Wenn Magnetmomente wechselwirken

Spintronik: Seltsame Effekte, ungewöhnliche Stoffe, Memristoren, Supercomputer

Rolf Kickuth, Gaiberg

1939 erfand der Science Fiction-Autor Isaac Asimov den Begriff des „positronischen Gehirns“. Damit waren Roboter ausgestattet, deren Denkvermögen dem des Menschen gleichkommen oder es übertreffen sollten. Die Roboter „Data“ aus der Fernsehserie „Star Trek“ sowie die NS-5-Roboter aus „I Robot“ verfügen über derartige Positronik. Offenbar sind den Science Fiction-Autoren die Leistungen der Elektronik nicht ausreichend genug für höherstehende kognitive Fähigkeiten, seien es damals die Elektronenröhrentechnik oder sogar heute die hochintegrierten Mikrochips (Abbildung 1). Und es stimmt: Supercomputer sind ohne Bewusstsein, aber wahre Großverbraucher an Energie; der aktuell schnellste Rechner „K“ aus Japan verschlingt fast zehn Megawatt. Ein Hirnsimulator wie im Human Brain Project angestrebt würde derzeit nur mit der Leistung einer nahezu dreistelligen Zahl von Kernkraftwerken betrieben werden können. Aber es zeichnen sich tatsächlich Lösungsmöglichkeiten für schnelle, energieeffiziente Computer ab; eine davon heißt Spintronik. Die andere sind Memristoren, die durchaus eine Schnittmenge mit Spintronik haben. Die Grundlagen dazu führen uns tief in die Welt des Magnetismus, der Materialwissenschaften – und der Quantenphysik.

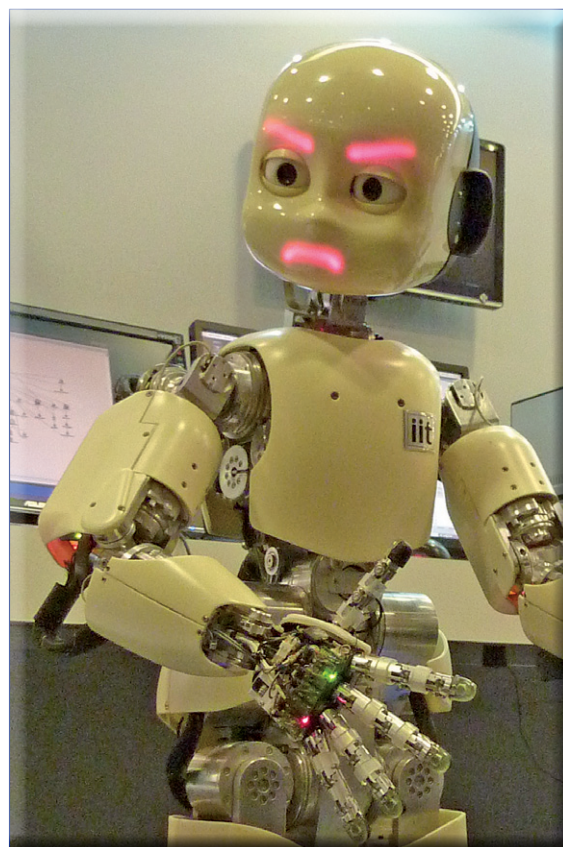


Abbildung 1: Auch wenn dieser Roboter „iCub“ Gefühle simulieren kann: An die Leistungen der Film-Roboter aus „Star Trek“ oder „I Robot“ kann er nicht anknüpfen. Aber er ist real, und vielleicht hilft die Spintronik dabei, ein solch leistungsfähiges Roboterhirn zu entwickeln, wie man es sich bei den Science Fiction-Robotern mit ihren „positronischen Gehirnen“ vorstellte (Foto: RK).

Dass Spintronik sich jetzt im Forschungsaufwind erhebt ist kein Zufall: Die bisherige Elektronik kommt buchstäblich an ihre Grenzen: Die Abmessungen der einzelnen Bauelemente auf einem Chip – Transistoren, Dioden, Kondensatoren – haben eine Größenordnung erreicht, in der Quanteneffekte eine Rolle spielen. Wenn die Dicke isolierender Schichten bei solchen Elementen nur noch etwa zehn Nanometer beträgt,

stellen sie keine Barrieren mehr für die Elektronen dar, sie durchtunneln solche Schichten. Und die Tunnelströme werden natürlich größer, je dünner diese Schichten werden. Bald erreichen die Strukturgrößen von Mikrochips, also die Abmessungen eines einzelnen Transistors auf dem Chip, derartige Maße. Bei Prozessor-Chips auf 11-Nanometer-Basis wird die Dicke des Gateoxids nur noch aus einer Atomlage bestehen. Intel und AMD wollen 2013 die ersten 14-Nanometer-Chips anbieten. Die Silicium-Technologie wird dann wohl 2016 an ihre Grenzen stoßen; das betrifft auch Speicherchips.

Der Autor

Rolf Kickuth ist Verleger der CLB. Schon während seines Chemiestudiums war er etwa für *FAZ*, *Bild der Wissenschaft*, *WELT* und *Chemische Rundschau* wissenschaftsjournalistisch tätig. Später gab er die *AXON* für Anwendungen und Methoden der künstlichen Intelligenz heraus. Er war zudem Chefredakteur des *Informatik Spektrum*, der Zeitschrift der Gesellschaft für Informatik, sowie Kongressveranstalter; u.a. organisierte er 2007 ein Symposium zu Brain Computer Interfaces.



Quanteneffekte nutzen

Überlegungen zur Lösung des Quanteneffekt-Problems gehen nun dahin, diese Effekte gezielt zu nutzen. Hier kommt der Elektronenspin ins Spiel. Der Spin (Eigendrehimpuls) ist eine quantenmechanische Eigenschaft von Teilchen. Er bestimmt zum Beispiel über das Pauli-Prinzip entscheidend den atomaren Aufbau und die Chemie aller Substanzen.

Elektronische Bauelemente, die den Spin der Elektronen zur Basis haben, könnten zudem das Problem wachsender Energiemengen zum Betrieb von Computerchips lösen. So ist die Energie, die für das Umschalten der Spinorientierung benötigt wird, um Größenordnungen kleiner als die benötigte Energie für Ladungstransporte. Die Hitzeentwicklung bei Chips, die bereits heute große Probleme aufwirft, ließe sich so vermeiden.

Es gibt also etliche Anreize, sich mit Spintronik zu beschäftigen. Um spintronische Bauelemente zu verwirklichen – etwa für neue Speicherelemente, muss man in der Lage sein, gezielt den Spin einzelner Elektronen zu adressieren. Zudem sind Fragen des Transports solcher Spin-kontrollierter Teilchen sowie die Stabilität des Spinzustandes zu klären.

Da grundsätzlich nur zwei elementare Spinrichtungen möglich sind, liegt es nahe, diese als binäre Informationsträger zu verwenden. Festplatten sind ein alltägliches Beispiel dafür, wie der Spin zur Speicherung von digitalen Informationen mithilfe von magnetischen Feldern von einer in die andere Richtung dauerhaft „umgeklappt“ werden kann. Besonders vorteilhaft wäre es jedoch, wenn man die Spinrichtung von Elementarteilchen – genauso wie die Ladungsträger in Halbleitern – auf elektrischem Weg durch Anlegen von Spannungen beliebig beeinflussen könnte. Davon verspricht man sich schnellere, leistungsfähigere Bauelemente, die gleichzeitig mehrere Funktionen in sich vereinigen, wie Speicherung, Logik und Kommunikation für die Datenverarbeitung. Noch spekulativ und kontrovers diskutiert wird die Nutzung manipulierter Spins für Quantencomputer. Beim Quantencomputer würden die beiden Spinzustände nicht länger nur als „0“ oder „1“ eines üblichen Bits dienen. Die quantenmechanische Überlagerung der beiden Spinzustände ergibt ein Quantenbit, in dem eine kontinuierliche Variation der Spinrichtung möglich ist. [1] Bisher gibt es drei Anwendungsbereiche, für die sich ein Quantencomputer besonders eignet: Einer zur Faktorisierung großer Zahlen, ein Problem der Verschlüsselungstechnik; ein weiterer Algorithmus betrifft Suchfunktionen, uns schließlich bietet sich die Simulation quantenmechanischer Systeme für die Bearbeitung mit Quantencomputern an.

Topologische Isolatoren

Lösungsmöglichkeiten zur Verwirklichung spintronischer Bauelemente könnten in der Verwendung topologischer Isolatoren liegen, eventuell verwirklicht durch Heusler-Verbindungen (Abbildungen 2 und 3). Kennzeichnend für die topologischen Isolatoren ist, dass die Materialien eigentlich Isolatoren oder Halbleiter sind, an der Oberfläche oder an Grenzflächen sind sie allerdings metallisch, aber eben nicht wie normale Metalle. Ähnlich wie bei Supraleitern zeigen die Elektronen an der Oberfläche oder den Grenzflächen keine Wechselwirkung mit ihrer Umgebung, sie befinden sich in einem neuen Quantenzustand.

Anders als in Supraleitern zeigen topologische Isolatoren zwei nichtwechselwirkende Ströme, jeweils einen für jede Spinrichtung. Diese beiden Spinströme, die weder Defekte noch Verunreinigungen im Material wahrnehmen, können für die Spintronik genutzt werden. Die Eigenschaft eines topologischen Isolators wurde 2006 für eine Schicht Quecksilbertellurid zwischen Cadmiumtellurid vorhergesagt. [2] Ein Jahr später wurde der Effekt von Würzburger Forschern um Laurens Molenkamp experimentell bestätigt (siehe auch CLB 06-2011, Seite 259: „Topologische Isolatoren für elektronische Bauelemente – Meta-Zinnober leitet elektrischen Strom an Oberfläche ohne Verluste“).

Kurz gefasst

- Die herkömmliche Elektronik kommt bald an ihre Grenzen, weil isolierende Wände in den Chips aufgrund ihrer Dünne von Elektronen durchtunnelt werden – ein quantenphysikalisches Phänomen.
- Die Spintronik macht sich Phänomene der Quantenwelt zu Nutze. Spinzustände können zudem äußerst schnell und mit sehr wenig Energie geändert werden – eine Hoffnung auf schnellste Computer.
- In topologischen Isolatoren und Heusler-Verbindungen sind materialtechnische Möglichkeiten vorhanden, Spintronik-Elemente zu bauen.
- Erste Erfolge zur Verwirklichung spintronischer Bauelemente und Prozesse sind bereits zu verzeichnen. So gibt es ein Logik-Bauteil, und auch die Verstärkung von Spinströmen ist gelungen.
- Memristoren, die als prädestiniert für die Simulation von synaptischen Funktionen gelten, lassen sich mit Spintronik verwirklichen. Dadurch sind völlig neue Computerkonzepte denkbar, die biologischen Gehirnen ähneln.
- Die Forschung ist noch sehr verzweigt und grundlegend. Immer wieder zeigen sich neue Mechanismen.
- Ein weiteres Ziel der Spintronik ist der Bau eines Quantencomputers. Dies soll jetzt – in einer speziellen Ausrichtung – gelungen sein. Lockheed Martin sowie Google arbeiten schon mit dieser Technik.

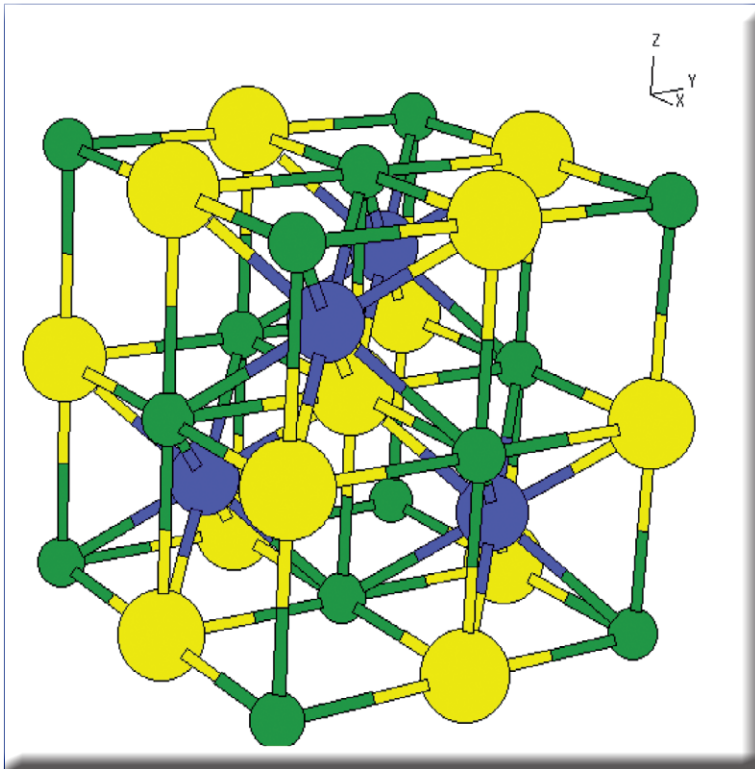
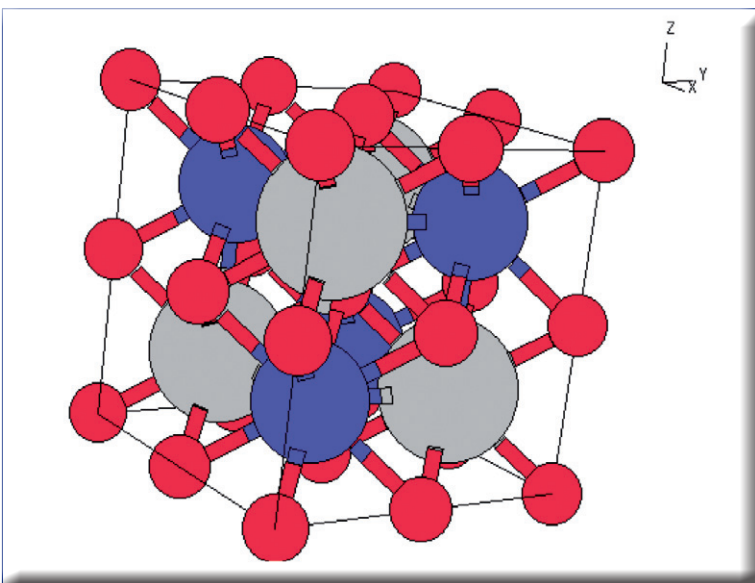


Abbildung 2: Struktur einer „halben“ Heusler-Legierung vom Typ XYZ. Prototypen dafür sind AgAsMg oder AlLiSi . Es gibt aber noch eine Vielzahl anderer Verbindungen mit dieser Struktur, beispielsweise MnNiSb , AuMgSn , CdLiP , BiMgNi oder RhSnTi (Abb.: U.S. Naval Research Laboratory).

Abbildung 3: Struktur einer „vollen“ Heusler-Legierung vom Typ X_2YZ . Ein typisches Beispiel dafür ist Cu_2MnAl . Andere Vertreter sind Ni_2TiAl sowie Ni_2HfAl (Abb.: U.S. Naval Research Laboratory).



Heusler-Verbindungen

Fähigkeiten als topologische Isolatoren werden nun auch für Heusler-Materialien vorausgesagt. Heusler-Verbindungen sind Verbindungen aus drei Elementen, die häufig halbleitend oder magnetisch sind. Schon um 1900 wurde diese Verbindungsklasse von Fritz Heusler entdeckt. Das Besondere an den Verbindungen ist, dass sie ganz andere Eigenschaften zeigen, als man aus der Kombination der Elemente, aus denen sie hergestellt werden, vermuten könnte. So wurde die erste Heusler-Verbindung aus den nichtmagnetischen Elementen Kupfer, Mangan und Aluminium hergestellt; Cu_2MnAl ist aber ein Ferromagnet, sogar bei Raumtemperatur.

Man unterscheidet zwei Typen von heuslerischen Legierungen. Die „halben“ Heusler-Legierungen haben allgemein eine Zusammensetzung XYZ (jeder Buchstabe steht für ein Legierungselement; Abbildung 2), während die „vollständigen“ Heusler-Legierungen nach der Formel X_2YZ zusammengesetzt sind (Abbildung 3). Dabei sind X und Y Übergangsmetalle, während Z ein Element der III.-V. Hauptgruppe ist. Die Legierungselemente bilden Ordnungsphasen, so dass die Kristallstruktur aus vier (beim XYZ-Typ ist eines unbesetzt) ineinander geschichteten kubisch-flächenzentrierten Teilgittern besteht. Die im Detail bis heute noch nicht verstandenen Wechselwirkungen zwischen den Atomen der Teilgitter bewirken eine nahezu vollständige Ausrichtung (Spinpolarisation) der magnetischen Dipolmomente des „richtig polarisierten“ Anteils (z. B. Spin aufwärts gerichtet) der Elektronen, während die „falsch polarisierten“ Elektronen (z. B. Spin abwärts gerichtet) allesamt nicht-metallisch sind, was sich makroskopisch bei hinreichend tiefen Temperaturen (z. B. Zimmertemperatur und darunter) als Ferromagnetismus äußert. Man hat es also mit „Halbmetall-Ferromagnetismus“ zu tun. [3]

Dass Heusler-Materialien nun auch als topologische Isolatoren in Frage kommen, hat weltweit für Aufregung gesorgt. „Dafür gibt es zwei Gründe“, erklärt Claudia Felser, Professorin an der Universität Mainz und Expertin für Heusler-Materialien. „Zum einen gibt es in dieser großen Materialklasse mit mehr als 1000 bekannten Vertretern alleine mehr als 50 Verbindungen, die den Fingerabdruck der TI zeigen. Zum anderen können ganz neue physikalische Effekte designt werden, da die Materialien aus drei Elementen bestehen und daher neben dem topologischen Quantenzustand weitere interessante Eigenschaften aufweisen können.“ Felser nimmt an, es sind Kombinationen von zwei Quantenzuständen wie Supraleitung und topologischen Oberflächenzuständen möglich. Es seien zudem noch nicht entdeckte, aber teilweise schon vor-

hergesagte Eigenschaften denkbar. Es ist völlig neu, dass all diese Möglichkeiten in nur einem Material zusammenkommen.

Vor Kurzem hat der Arbeitskreis Felser anhand von theoretischen Ermittlungen ein Design von Spintronik-Bauteilen vorgeschlagen. Dazu gehören Schalter, um einen elektrischen Strom mithilfe von kleinen magnetischen Feldern an- oder abzuschalten. Ob und wie das funktioniert, hängt direkt von der Spin-Polarisierung des Stroms ab, also davon, ob die Elektronen vorwiegend eine bestimmte Drehrichtung aufweisen. Die ideale Situation wäre, dass alle Elektronen den gleichen Spin haben. In der Realität ist es aber so, dass verschiedene Faktoren die Effizienz der Spintronik-Bauteile schmälern, vor allem indem die einheitliche Spin-Polarisierung zerstört wird. Zu großen Verlusten bei der Spin-Polarisierung kommt es typischerweise an Schnittstellen zwischen halbmolekularen und halbleitenden Materialien. Das liegt häufig an mechanischen und chemischen Unverträglichkeiten unter den verwendeten Materialien. Computerberechnungen zeigten nun, dass sich dieses Problem lösen lässt, wenn man nur Heusler-Materialien für die Schalter verwendet.

Erste Schritte zur Spintronik

Tatsächlich verwirklicht haben Wissenschaftler der Universität Hamburg ein Spintronik-Logik-Bauteil. Es ist nur aus wenigen magnetischen Atomen aufgebaut.

Um das völlig neuartige Nano-Spintronik-Bauteil zu verwirklichen brachten die Hamburger Physiker um Dr. Alexander Khajetoorians und Dr. Jens Wiebe Kobalt auf eine Kupferoberfläche auf. Dabei entstanden dreieckige Inseln, die aus ca. 100 Kobalt-Atomen bestehen. Anschließend benutzten die Wissenschaftler die atomar scharfe Nadel eines Rastertunnelmikroskops als Werkzeug, um zwei der Kobalt-Inseln mit Ketten aus einzelnen Eisen-Atomen zu verbinden (Abbildung 4). Wichtig war dabei, dass die Eisen-Atome in definierten Abständen zueinander und zu den Kobalt-Inseln auf der Kupferoberfläche angeordnet wurden.

Die beiden Kobalt-Inseln sind die Eingabe-Einheiten für die zu verarbeitenden magnetischen Informationen. In der Mitte des Spintronik-Bauteils, dort wo die beiden Ketten auf einander treffen, liegt ein einzelnes Eisen-Atom, das als Ausgabe-Einheit dient und in Abhängigkeit von der Eingabe über die Kobalt-Inseln logisch geschaltet wird. Der magnetische Zustand des Ausgabe-Atoms wird mit Hilfe der spinsensitiven Nadel des Rastertunnelmikroskops ausgelesen, die dafür mit einem magnetischen Material beschichtet wurde.

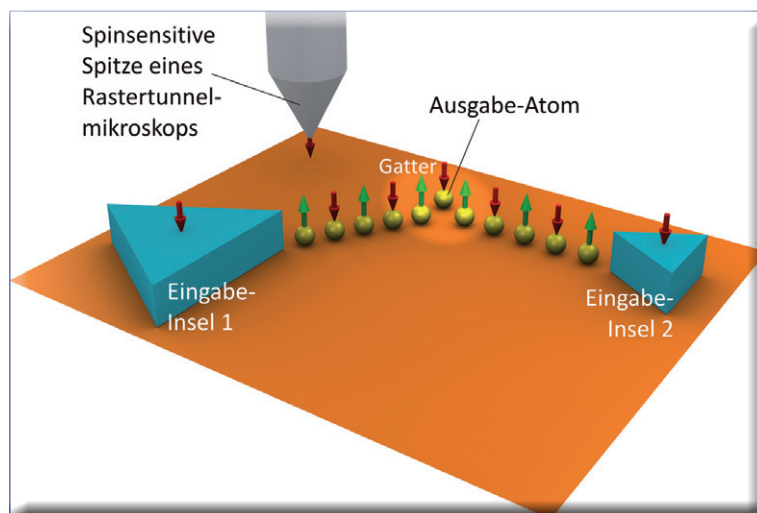


Abbildung 4: Die Abbildung zeigt den Aufbau des kleinsten Nano-Spintronik-Logikgatters der Welt. Die dreieckigen Strukturen sind magnetische Kobalt-Inseln mit einer Höhe von zwei Atomlagen und die gelben Kugeln symbolisieren einzelne Eisen-Atome. Die roten und grünen Pfeile zeigen die magnetische Ausrichtung an. Die Größe des eigentlichen logischen Gatters aus drei Eisen-Atomen beträgt ca. 3 Nanometer (Abb.: A. A. Khajetoorians, J. Wiebe, Uni Hamburg).

Durch die definierten Abstände der Eisen-Atome zueinander und zu den Kobaltinseln nehmen die Spins der Atome einen anti-parallelen Zustand ein, d.h. die winzigen Kompassnadeln zeigen von Atom zu Atom in entgegengesetzte Richtungen.

Ändert man nun die magnetische Ausrichtung der beiden Eingabe-Inseln, dann richten sich die Spins der Eisen-Atome auch wieder anti-parallel zu den Inseln aus und ähnlich wie bei einem Dominospiel kippen die Kompassnadeln nacheinander um und passen sich der neuen Eingabe an. Das Ausgabe-Atom wird dabei logisch geschaltet (Abbildung 5). Der Umschaltprozess eines der Spins erfolgt in einer extrem kurzen Zeit von einem Zehnbillionstel einer Sekunde, was äußerst schnelle Schaltfrequenzen der neuartigen Bauteile erwarten lässt; von 10 000 Gigahertz sprachen die Forscher. Zum Vergleich: Mit fünf Gigahertz schalten sehr schnelle Computer heute.

Eine andere Richtschnur für die Weiterentwicklung der Spintronik ist der Spin-Feldeffekt-Transistor, der von S. Datta und B. Das im Jahr 1990 vorgeschlagen wurde (Abbildung 6). Dies ist eine lateral nanostrukturierte Ferromagnet/Halbleiter-Hybridstruktur, in der die Vorzüge der Halbleiter-Technologie mit denen der Magnetelektronik zu neuer Funktionalität verbunden werden. Grundlegend neuartig an dem Vorschlag ist, dass die Gate-Spannung nicht – wie herkömmlich – die Leitfähigkeit im Halbleiter-Kanal steuert, sondern den Spin-Zustand der stromtragenden Elektronen. Maßgebliche Me-

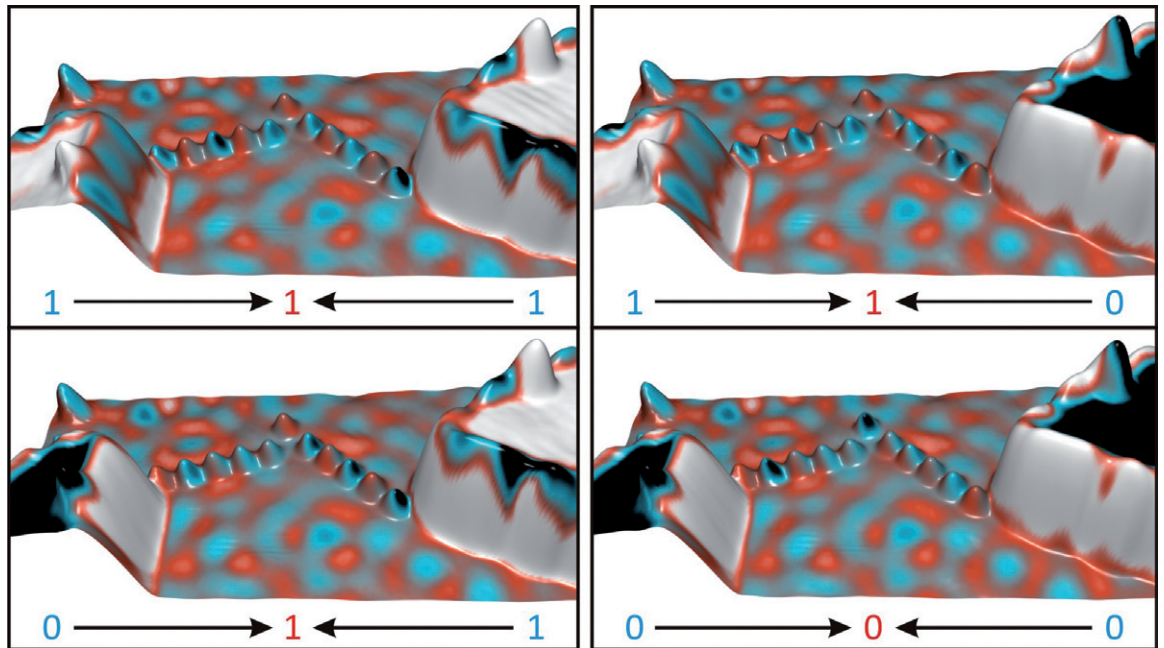
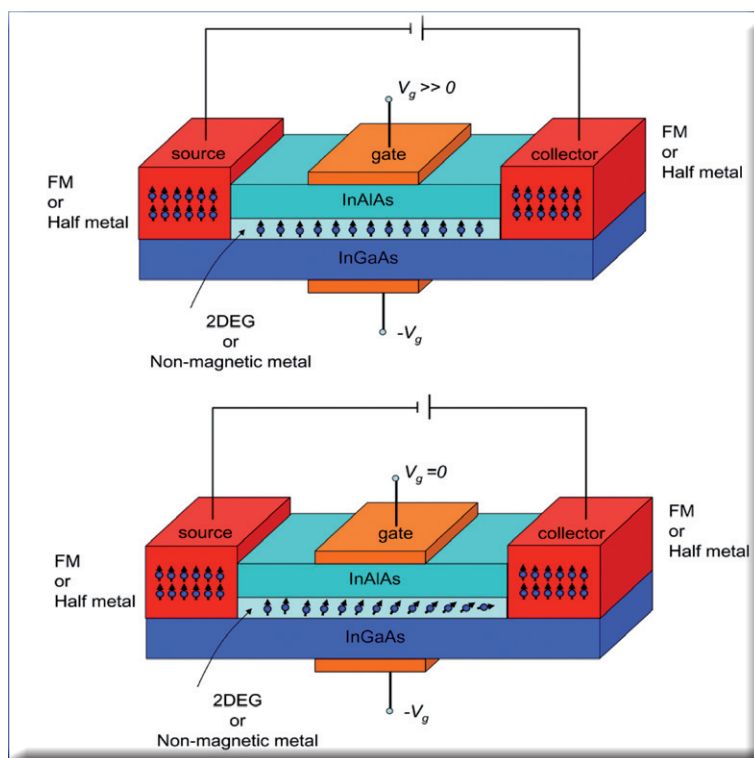


Abbildung 5: Bilder des Nano-Spintronik-Logikkatters, das mit der Nadel eines spinsensitiven Rastertunnelmikroskops ausgelesen wurde. Es handelt sich bei dem Bauteil um ein „Oder-Gatter“, d. h. zeigt der Spin von beiden Eingabe-Inseln nach unten (D), dann zeigt auch der Spin des Ausgabe-Atoms nach unten (blau). Zeigen die Spins einer oder beider Inseln nach oben (A-C), so wird auch der Spin des Ausgabe-Atoms nach oben ausgerichtet (rot; Abb.: A. A. Khajetoorians, J. Wiebe, Uni Hamburg).

Abbildung 6: Der Spin Feld-Effekt Transistor (Spin FET) wurde 1990 von S. Datta und B. Das vorgeschlagen. Er besteht aus einer Halbleiterheterostruktur, die ferromagnetische (FM) source- und drain- Kontakte besitzt. Elektronen, die am linken Kontakt spin-polarisiert injiziert werden und sich ohne Streuung entlang des Kanals bewegen (2DEG = zweidimensionales Elektronengas), können aufgrund der Spin-Bahn-Wechselwirkung (Rashba-Effekt) eine Spin-Präzessions-Bewegung ausführen. Die am rechten Kontakt detektierte Spannung hängt vom Präzessionswinkel ab, der mit Hilfe einer Gate-Spannung elektrisch gesteuert werden kann (Abb.: Japan National Institute for Materials Science).



chanismen in einem derartigen Transistor konnten mittlerweile gezeigt werden. Der Datta-Das Spin-Feldeffekttransistor beruht auf der Rashba-Spin-Bahn-Wechselwirkung. Dabei wird eine Spinpräzession durch ein elektrisches Feld hervorgerufen, das senkrecht auf der Bewegungsrichtung der Elektronen steht.

Ein weiterer Schritt hin zu Computern, die auf Spintronik basieren: Forscher der Universitäten Münster und Cambridge (England) haben einen neuen, grundlegenden Effekt entdeckt, der eine Verstärkung von Spinströmen möglich macht. Das Problem: Spinströme „versiegen“, weil die Spin-Ausrichtungen sich mit der Zeit wieder zufällig anordnen. Entsprechend werden die Drehimpulse an das Kristallgitter übergeben. Den Physikern ist es nun erstmals gelungen, den Drehimpuls-Fluss umzukehren. Der entdeckte Effekt sorgt dafür, dass das Kristallgitter selbst Drehimpuls an das magnetische System abgibt und dort den Spinstrom verstärkt. Grundlage des Effekts sind magnetischen Spinwellen in Festkörpern.

Spinwellen und Solitonen

Auf spezielle Welleneffekte setzt man auch weitere Hoffnungen in der Spintronik. Anschaulich erzeugt der Spin des Elektrons ein Magnetfeld ähnlich dem eines winzigen Stabmagneten. Wie eine Kette solcher Stabmagnete beeinflussen sich benachbarte Elektronenspins gegenseitig. Stößt man einen Spin an, so führt die Anregung

zu einer Spinwelle, bei der die Spins gemeinsam wellenförmig rotieren.

Besonders interessant sind stabile Spinwellenpakete, bei denen sich eine Auslenkung der Spins wie ein einzelner Wellenberg durch das Material ausbreitet. Mit solchen Paketen ließen sich zum Beispiel Informationen zwischen verschiedenen elektronischen Bauteilen austauschen. Die Schaltkreise könnten sich gegenseitig Spinpakete zuschicken, ohne wie bisher elektrische Verbindungen zwischen den Bauteilen zu benötigen. Denn eine Schicht aus magnetischem Material würde den Spinpaketen genügen, um sich zwischen den Komponenten auszubreiten. Da die Pakete durch die magnetische Schicht gezielt von einem Bauteil zum nächsten geschickt werden können, wären Leitungen, die zwei Bauteile miteinander verbinden, überflüssig. Die Geschwindigkeit einer solchen spintronischen Technik würde die Halbleitertechnologie weit in den Schatten stellen.

Wie bei allen anderen Wellenpaketen zerläuft jedoch ein Spinpaket mit der Zeit und wird zu einer breiten Spinwelle. Zum Datentransfer sind aber stabile Wellenpakete erforderlich. Solitonen haben die geforderten Eigenschaften (Abbildung 7). Ein Soliton ist ein Wellenpaket, welches sich durch ein dispersives und zugleich nichtlineares Medium bewegt und sich ohne Änderung seiner Form ausbreitet. Dem Zerfließen des Wellenpaketes durch die Dispersion wirkt dabei die Nichtlinearität entgegen. Sie zeigt sich darin, wenn hohe Teile eines Wellenbergs sich schneller bewegen als niedrige. Sind beide Effekte gleichstark ergibt sich ein Soliton.

Für Versuche der Spintronik kommt ein Kristall aus Eisen, Yttrium und Sauerstoff zum Einsatz. Da das Material die Spinwelle nur wenig abschwächt, kann sich ein Spinpuls in dem Kristall über mehrere Zentimeter ausbreiten. Das klingt zunächst nach nicht viel. Bedenkt man aber, dass moderne elektronische Bauteile nur einige Nanometer (milliardstel Meter) groß sind, erscheint die Distanz riesig.

Die Spinwelle wird in dem Kristall mithilfe einer Antenne angestoßen. Ähnlich einer schwingenden Stimmgabel, die auf einen Tisch gesetzt wird, überträgt sich der elektromagnetische Puls aus der Antenne auf den Kristall in Form eines Spinwellenpakets. Dieses Spin-Soliton bewegt sich dann mit etwa 10 000 Kilometer pro Stunde über die Oberfläche des Kristalls. Untersucht wird es laserspektroskopisch. Dank moderner Experimente ist es inzwischen möglich, nicht nur breite Spinwellen zu beobachten, sondern sogar punktförmige Spin-Solitonen (Abbildung 8). Diese Spinwellen-Bullets (engl. „bullet“ = Geschoss) sind insbesondere in der Informationstechnologie hochinteressant. Die kurzen Pulse

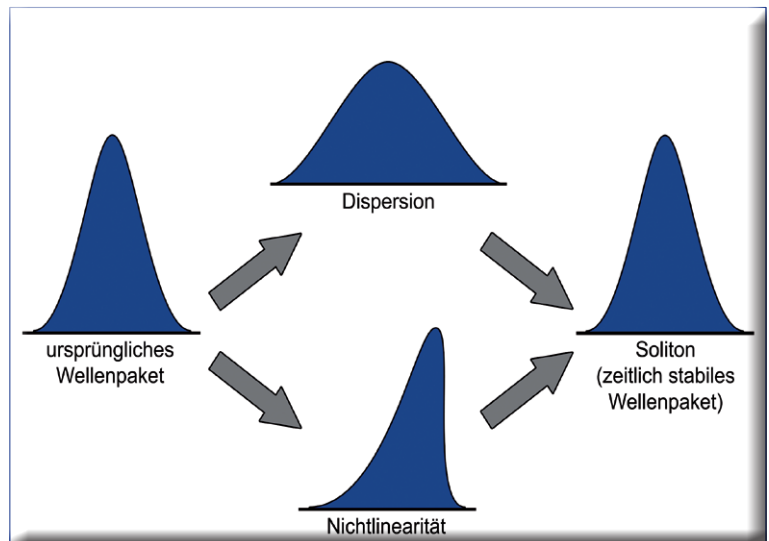
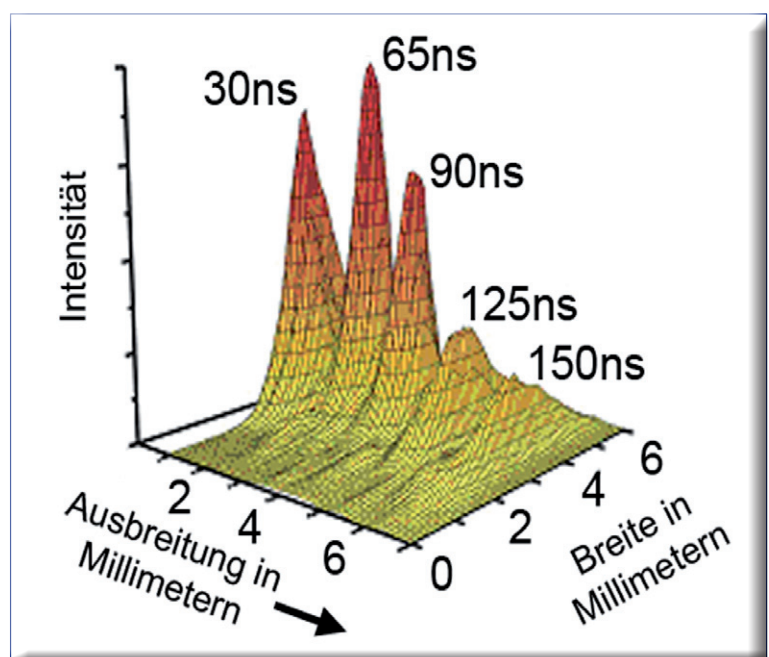


Abbildung 7: Links: Durch die Balance aus zwei Wellenphänomenen, der Dispersion und der Nichtlinearität, kann ein Soliton entstehen. Oben: Ein schmales Wellenpaket, wie zum Beispiel ein Lichtpuls in einem Glasfaserkabel, ist aus vielen Wellen unterschiedlicher Wellenlänge zusammengesetzt. Je nach dem durch welchen Stoff sich das Wellenpaket bewegt, breiten sich die einzelnen Wellenlängen unterschiedlich schnell aus. Dieses Phänomen wird „Dispersion“ genannt und führt dazu, dass das Wellenpaket mit der Zeit zerläuft. Aus einem schmalen, hohen Puls wird eine breite, flache Wölbung. Unten: Besitzt das Wellenpaket eine sehr große Intensität, kann es dazu kommen, dass sich die oberen Teile des Wellenpakets schneller fortbewegen als die unteren (Nichtlinearität). Rechts: Gleichen sich Dispersion und Nichtlinearität aus, ist das Wellenpaket über längere Zeit stabil und man spricht von einem Soliton oder von einer solitären Welle (Abb.: Björn Gojdka/Welt der Physik).

Abbildung 8: Im Jahr 1998 gelang es erstmals, ein punktförmiges Spinsoliton – ein Spinbullet – experimentell zu beobachten. Die Messdaten in der Grafik zeigen die Form eines Spinbullets zu verschiedenen Zeitpunkten, während es sich durch eine magnetische Schicht fortbewegt. Das Spinsoliton überwindet fünf Millimeter in ungefähr hundert Nanosekunden, ohne seine Form nennenswert zu verändern. Durch solche stabilen Spinpulse könnten die einzelnen Bauteile in den Computern der Zukunft untereinander drahtlos Daten austauschen (Abb.: Sergej O. Demokritov/Uni Münster).



Which memristor for which application ?

- **Most Resistive memories can behave as memristors**
 - Nanoionic & Redox RAMs
HP memristor + Talk by T. Prodromakis (Imperial College London)
 - Phase change memories
 - Electronic effects RAMs : ex. Ferroelectric memristor
Talk by V. Garcia (UMφ CNRS/Thales, France)
 - Spin Transfer Torque Magnetic RAM : STT-RAM
Talk by A. Chanthbouala (UMφ CNRS/Thales, France)
- **Organic memristors : NOMFET (polymer), CNT-FET.....**
Talk by V. Erokhin (U. Parma, Italy)

"easy" implementation in crossbar arrays – top down approach

additional functionalities – bottom up approach

Abbildung 9: Es gibt verschiedene Wege, über die sich Memristor-Funktionen darstellen lassen. Das erläuterte auf der 11. European Future Technologies Conference (FET-11) im Mai in Budapest Julie Grollier von CNRS-Thales zusammen mit den weiteren Vortragenden der Memristor-Vortragsreihe. Aus Sicht der Chemie besonders interessant: Es gibt auch Möglichkeiten, Memristoren mittels organischer Chemie darzustellen. Das mag Spekulationen der besonderen Art anstoßen: Lange Zeit galten organische Elektronik, organische Leuchtdioden als kaum darstellbar für reale Anwendungen, waren sie doch zu empfindlich für unsere Sauerstoff-Umwelt. OLEDs sind heute Stand der Technik. Sind das organische Rechnerstrukturen mit Teilbereichen, die eine synaptische Struktur aufweisen, auf Basis organischer Memristoren vielleicht auch einmal alltäglich? Vielleicht berät uns irgendwann ein Nahrungsmittel über seine memristorische Verpackung, ob oder wann wir es verzehren sollten, abhängig von den Werten, die die Nanobots und -meßfühler aus unseren Körpern an die Verpackung übermitteln... (Foto: RK).

wären perfekte Vermittler zwischen integrierten Schaltkreisen. [4]

Memristoren mit Spintronik

Spintronik bildet auch eine Schnittmenge mit Memristoren. Ein Memristor ist ein elektrischer Widerstand, dessen Wert je nach früher durch ihn geflossenen Ströme unterschiedlich ist. Das Bemerkenswerte: Ein Memristor ist so tiefgreifend in der Elektrotechnik verankert, dass er neben dem Widerstand, dem Kondensator und der Spule als viertes fundamentales passives Bauelement gilt. Die mathematische Rechtfertigung für die Existenz eines Memristors als viertes fundamentales Bauelement basiert auf einer Symmetriebetrachtung bezüglich der anderen drei Elemente. Ein normaler Widerstand ergibt sich als Funktion von Spannung und Strom.

Die Kapazität eines Kondensators ist eine Funktion zwischen Spannung und Ladung, die Induktivität einer Spule hingegen eine Funktion zwischen Strom und magnetischem Fluss. Was fehlt ist ein Element, der eine funktionale Beziehung zwischen magnetischem Fluss und Ladung hat. Genau diese Funktion weist ein Memristor auf. Praktisch bedeutet das: Man kann den Widerstandswert eines Memristors einmal durch einfachen Ladungstransport programmieren,

und dann behält er diesen Wert bis zur Reprogrammierung bei. Während die ersten drei fundamentalen elektrischen Bauelemente schon im 19. Jahrhundert bekannt waren, beschrieb Leon Chua von der Universität Berkeley in Kalifornien den Memristor jedoch erst in einer Arbeit im Jahre 1971 [5] – rein theoretisch. Eine erste Mitteilung über eine physikalische Realisierung gab es erst 2007 (siehe CLB 10-2010, S. 448).

Memristoren lassen sich technisch über mehrere Wege darstellen (Abbildung 9). Eine Möglichkeit bezieht die Spintronik mit ein. Forscher Laufwerkherstellers Seagate Technology beschrieben, man könne sich eine Materialstruktur vorstellen, in der die Elektronenspins in einem Bereich anders orientiert sind als in einem zweiten Bereich. Elektronen, die in diese Anordnung fließen, ändern durch ihren Spin die Magnetisierung der Anordnung, verschieben die Grenze zwischen den beiden Spinbereichen – und ändern so den Widerstand. Es sind aber auch noch andere Mechanismen denkbar, die über Spintronik zu Memristoren führen. Ein Kandidat dafür ist der magnetische Tunnelwiderstand (englisch tunnel magnetoresistance, TMR; Abbildung 10). Das ist ein magnetoresistiver Effekt, der in magnetischen Tunnelkontakten auftritt. Dabei handelt es sich um ein Bauelement bestehend aus zwei Ferromagneten, die durch einen dünnen Isolator getrennt sind. Ist die isolierende Schicht dünn genug (typisch einige Nanometer), so können Elektronen zwischen den beiden Ferromagneten tunneln. Dieser Vorgang ist mit Hilfe der klassischen Physik nicht erklärbar und stellt daher ein rein quantenmechanisches Phänomen dar.

Das technisch Interessante an Memristoren ist: Als Speicherelement lassen sie sich mit sehr wenig elektrischer Energie betreiben, und zudem sind sie in kleinsten Maßstäben realisierbar. Im Mai 2008 waren die Wissenschaftler bei Hewlett-Packard in den 15-Nanometer-Bereich vorgestoßen. Zudem können sie nicht nur die Binärwerte 0 und 1 speichern, sondern – aufgrund ihres analogen Verhaltens – beliebige Zwischenwerte.

Diese Art der Speicherung prädestiniert Memristoren geradezu als Bauelemente für technische Nachempfindungen biologischer Synapsen, zumal dabei ihre problematische Eigenschaft nicht stört: die Zuverlässigkeit ihrer Speichereigenschaften lässt gegenüber derjenigen der gewohnten Digitaltechnik zu wünschen übrig. Aber neuronale Netze sind ja fehlertolerant.

Faszinierende Forschung

Wie komplex, faszinierend und auch überraschend Forschungen sind, die sich weitestge-

hend mit Spintronik befassen, zeigt eine neue Arbeit des Forschungszentrums Jülich und der Universitäten Kiel und Hamburg. Man hat erstmals ein regelmäßiges Gitter aus stabilen magnetischen Skyrmionen – wirbelförmigen Strukturen aus atomaren Spins – an einer Oberfläche statt in Volumen-Materialien gefunden. Diese bemerkenswerte magnetische Struktur wurde an der Universität Hamburg mithilfe der spinpolarisierten Rastertunnelmikroskopie experimentell entdeckt und auf der atomaren Skala sichtbar gemacht. Die Forscher entdeckten die magnetischen Wirbel, die aus jeweils nur 15 Atomen bestehen, in einer atomaren Lage Eisen auf Iridium (Abbildung 11).

Vor ungefähr 50 Jahren fand der theoretische Physiker Tony Skyrme zu seiner Überraschung in quantenmechanischen Feldtheorien stabile und lokalisierte Konfigurationen, die miteinander wechselwirken und sich wie Atome auf einem Gitter anordnen können. Aufgrund dieser Eigenschaften identifizierte er diese wirbelartigen Lösungen als elementare Teilchen. Diese nach ihrem Entdecker benannten Skyrmionen zeigten sich später in vielen unterschiedlichen Gebieten der Physik. Das mögliche Auftreten von Skyrmionen in magnetischen Materialien wurde bereits vor 20 Jahren vorhergesagt und in Volumenmaterialien auch schon experimentell bestätigt: Eine Gruppe der Technischen Universität München hatte 2009 Gitter aus magnetischen Wirbeln in einer spröden und harten metallischen Verbindung aus Mangan und Silicium (Mangansilicium) in einem schwachen Magnetfeld gefunden. Anders als diese Strukturen, existieren die jetzt entdeckten auch ohne ein externes Magnetfeld und finden sich an der Oberfläche des untersuchten Materials, anstatt in seinem Inneren. Ihr Durchmesser beträgt nur wenige Atome. Damit sind sie mindestens eine Größenordnung kleiner als die bisher bekannten Skyrmionen.

Die Entdeckung des Skyrmionengitters gelang den Wissenschaftlern nicht auf Anhieb. Ursprünglich wollten sie eine atomare Lage von Chrom auf Iridium präparieren, um einen anderen darin vermuteten magnetischen Zustand zu untersuchen. Nachdem die Experimente erfolglos verliefen, versuchten sie es mit anderen Metallen. Bei spinpolarisierten rastertunnelmikroskopischen Untersuchungen von Eisen auf Iridium an der Uni Hamburg fielen

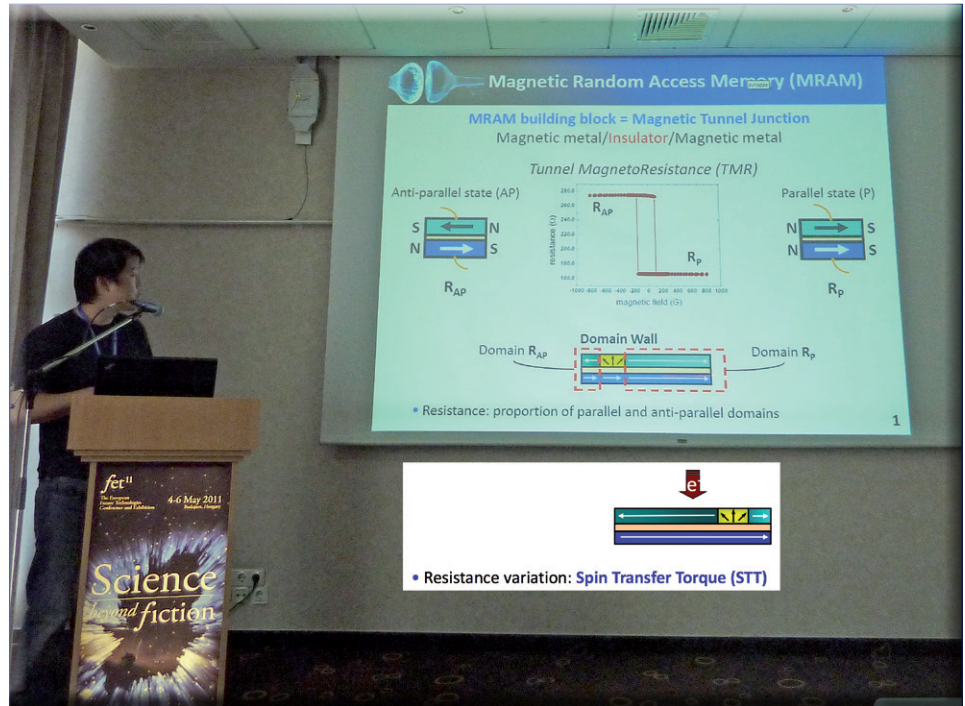
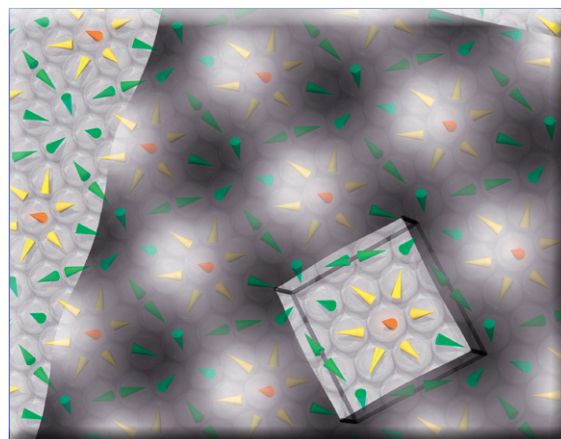


Abbildung 10: Auf der FET-11 erläuterte André Chanthbouala von Thales-TRT bei Paris, Teil der Thales-Gruppe, die Informationssysteme für Sicherheit, Verteidigung, Luftfahrt und Verkehr konzipiert, die Eignung von Spintronik für Memristoren. Die Abbildung zeigt, wie mit Hilfe des magnetischen Tunnelwiderstands Memristoren gebaut werden können. Er hält diesen Ansatz für sehr aussichtsreich (Foto: RK).

den Forschern dann regelmäßige magnetische Muster auf, die nicht mit der Kristallstruktur der Metalloberfläche übereinstimmten. Es ist zwar bekannt, dass Eisen unter Umständen auch ungewöhnliche magnetische Strukturen bilden kann, aber als man nahezu quadratische

Abbildung 11 (und Titelbild): Die winzigen Wirbel aus nur je etwa 15 Atomen bilden ein regelmäßiges nahezu quadratisches Gitter. Die Grafik zeigt im rechten Bereich die magnetische Messung mithilfe spinpolarisierter Rastertunnelmikroskopie als Graustufenbild. Das herausgeschnittene Quadrat markiert ein einzelnes Skyrmion. Die farbigen Kegel zeigen die Orientierung der magnetischen Ausrichtung der einzelnen hexagonal angeordneten Eisenatome des Metallfilms an (Abb.: M. Menzel, Uni Hamburg).



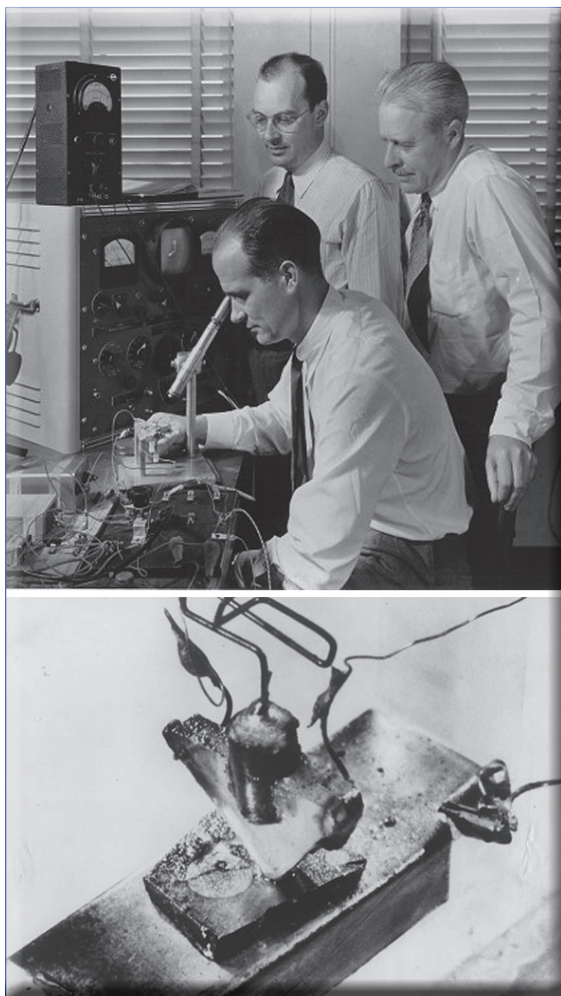


Abbildung 12: Die Erfinder des Transistors: William Shockley, John Bardeen und Walter Brattain bei Experimenten in den Bell Laboratories sowie der erste Transistor. Damals – 1947 – hätten sich selbst die Erfinder wohl nicht die Integrationsdichte heutiger Chips vorstellen können. Mit diesem Hintergrund sollte man sich die Abbildung 4 nochmals betrachten – und ihr Potenzial abschätzen (Alcatel-Lucent/Bell Labs).

magnetische Struktur im Nanometer-Bereich fand, die sich eigentlich nicht mit der hexagonalen Anordnung der Eisenatome verträgt, überraschte die Forscher. Man nahm gleich an, Skyrmionen entdeckt zu haben. Um allerdings diese neuartige Spinstruktur und den außergewöhnlichen Symmetriebruch zwischen magnetischer und atomarer Ordnung zu verstehen, mussten die Theoretiker der Universität Kiel und des Forschungszentrums Jülich ein Modell für die Spinanordnung entwickeln und aufwendige quantenmechanische Rechnungen auf Supercomputern in Jülich durchführen. Diese brachten aber schließlich die Gewissheit, dass es sich tatsächlich um stabile magnetische Skyrmionen auf einer Metalloberfläche handelt.

Das Ergebnis ist ein Modell, das die Entstehung der Spinanordnung durch ein komplexes Zusam-

menspiel dreier Wechselwirkungen beschreibt: der chiralen Dzyaloshinskii-Moriya-Wechselwirkung (diese Wechselwirkung stellt einen Korrekturterm dar, der das Kristallfeld unter Beachtung seiner Symmetrie miteinbezieht), der konventionellen Wechselwirkung zwischen Spins und einer nichtlinearen Wechselwirkung, an der jeweils vier Spins beteiligt sind. Das Modell soll helfen, magnetische Strukturen auf Oberflächen zukünftig gezielt zu beeinflussen. Man plant nun zu untersuchen, wie elektrischer Strom auf die Skyrmionen wirkt: Wie „reiten“ etwa die Elektronenspins des fließenden Stroms auf den Wirbeln, wie beeinflussen sie den Widerstand und lassen sich die Wirbel bewegen?

Mühsame Forschung – und Überraschungen

Spintronik bietet durch die Aussicht auf sehr verlustarm arbeitende Schaltelemente bei gleichzeitig sehr hoher Schaltfrequenz einen Weg, um die sich abzeichnenden Grenzen konventioneller Elektronik zu überwinden. Zudem erscheinen neue Computerkonzepte am Horizont, seien es Quantencomputer oder die Simulation des Gehirns. In beiden Bereichen kann die Spintronik Lösungsmöglichkeiten bieten. Derzeit befindet man sich allerdings erst am Anfang der Entwicklung. Bei der Beschreibung des Nano-Spintronik-Logikgatters habe ich mich an den apparativen Aufbau des ersten Transistors erinnert... (Abbildung 12).

Die Forschungsziele der Spintronik – sehr viel schnellere, dabei gleichzeitig höchst energie-effiziente Computer zu bauen – scheinen noch Jahre in der Zukunft zu liegen.

Gelegentlich helfen aber auch Überraschungen. Dies zeigte die bemerkenswerte Anzahl von Entdeckungen spezieller Spinsysteme, die technische Verwirklichung der Memristoren – und wie Ende Mai gemeldet wurde die erste kommerzielle Nutzung eines Quantencomputers. Der amerikanische Luftfahrt- und Rüstungskonzern Lockheed Martin erwarb für zehn Millionen Dollar einen Quantencomputer der kanadischen Firma D-Wave Systems (Abbildung 13). Das kanadische Unternehmen stand ursprünglich der Universität von British Columbia nahe und ist heute ein kommerzielles Startup-Unternehmen.

Herz des rund zehn Quadratmeter großen „D-Wave One“-Computers in Form eines großen schwarzen Würfels ist ein Chip, der über 128 Qubits verfügen soll und nahe am absoluten Nullpunkt der Temperatur arbeitet. Anders als bei den Quantencomputer-Konzepten der übrigen wissenschaftlichen Welt wird bei dem kanadischen Produkt jedoch nicht mit einzelnen Qubits gerechnet, sondern sie sind Elemente eines physikalischen Prozesses: Der Computer ist ein „adiabatischer Quantencomputer“. In der typisch US-angelsächsischen Wortfindung spricht

man bei D-Wave von „Natural Quantum Computing“ (angemeldet als Warenzeichen...). Und hier kommt wieder mal der Spin ins Spiel: Die zugrunde liegende Arbeitsweise des Rechners lehnt sich wohl an die Ermittlung energetischer Zustände in Spingläsern an – und damit auch an künstliche Neuronen vom Hopfield-Typ oder vom Hidden Markov-Typ. Beides sind „rekurrente Netze“. Diese sind dadurch gekennzeichnet, dass Rückkopplungen von Neuronen einer Schicht zu anderen Neuronen derselben oder einer vorangegangenen Schicht existieren. Wie bei den Spingläsern lassen sich für diese rückgekoppelten Netze Energiefunktionen bestimmen. Muster, die Hopfield-Netze gelernt haben, oder Lösungen, die sie finden, gleichen Minima solcher Funktionen. Hopfield-Netze dienen der Mustervervollständigung. Bildlich gesprochen sucht ein solches Netz bei der Wanderung durch eine energetische Gebirgslandschaft Täler auf. [6]

D-Wave selbst spricht von seinem Prozessor als „einer extrem schnellen physikalischen Verkörperung eines Markov Random Field“. Ein Markov Random Field (kurz MRF) oder Markov-Netzwerk ist ein statistisches Modell, welches ungerichtete Zusammenhänge (z. B. die Ausrichtung von Elementarmagneten) in einem Feld beschreibt; der Spin lässt grüßen. Bei Wissenschaftlern ist der D-Wave One-Computer als Quantencomputer umstritten; der „wahre“ Quantencomputer wäre noch zehn oder mehr Jahre entfernt.

Immerhin: MRFs können zur Segmentierung digitaler Bilder eingesetzt werden. Wen wundert es da: Auch Google nutzt jetzt die Quantenchips von D-Wave und setzt sie zur Bilderkennung ein. Angeblich besser als jedes Programm zuvor konnte es auf Fotos Autos identifizieren. [7] Man darf also gespannt sein, was sich aus den Forschungen auf dem Gebiet der Spintronik noch alles ergibt.

CLB

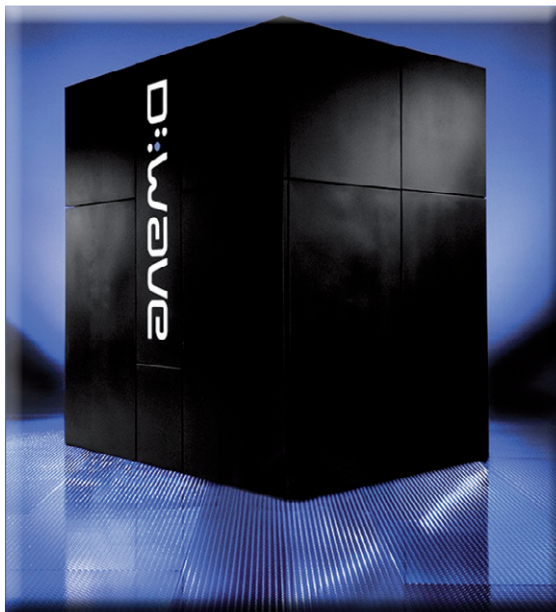


Abbildung 13: D-Wave One – der erste kommerzielle Quantencomputer? Wissenschaftler sind geteilter Meinung. Klar ist: Er wird von Lockheed Martin und Google genutzt (Abb.: D-Wave Systems).

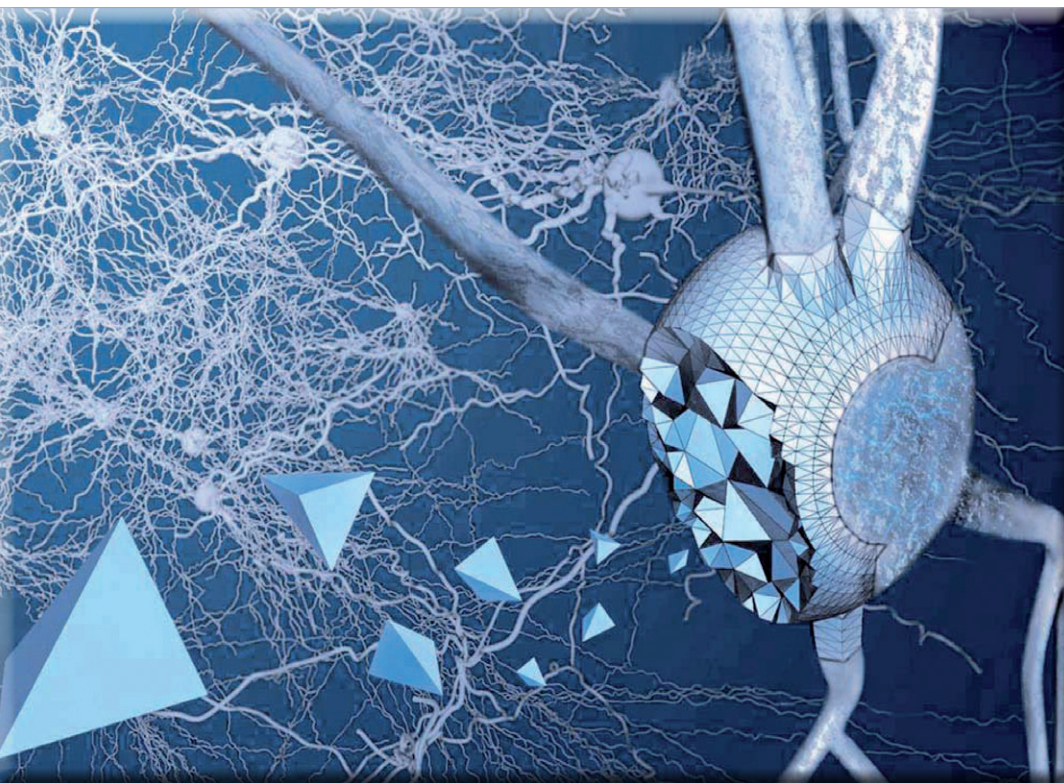
Quellen

- [1] „Erste Schritte auf dem Weg zur Spin-Elektronik“, S. 14-15, MaxPlanckForschung 1/2002
- [2] B. Andrei Bernevig, Taylor L. Hughes, Shou-Cheng Zhang: Quantum Spin Hall Effect and Topological Phase Transition in HgTe Quantum Wells. In: Science. 314, Nr. 5806, 2006-12-15, S. 1757-1761.
- [3] http://de.wikipedia.org/wiki/Heuslersche_Legierung
- [4] <http://www.weltderphysik.de/de/8793.php>, Autoren: Vladislav E. Demidov und Sergej O. Demokritov
- [5] L. O.Chua, Memristor, The Missing Circuit Element, IEEE Transactions on Circuit Theory 1971, CT-18 (5) S. 507–519
- [6] R. Kickuth: Künstliche Neuronen et al. – Algorithmen (auch) nach der Biologie, CLB 09/2003, S. 333-339
- [7] Spiegel 30/2011, S. 108, „Zaubertricks in der Mikrowelt“, 25.07.2011

So filigran und so komplex

Von der Struktur zur Funktion einzelner Nervenzellen

Gillian Queisser, Frankfurt/Main



Es gibt verschiedene Wege, sich der Komplexität des Gehirns zu nähern. Schon die Betrachtung einzelner Nervenzellen in ihrer filigranen Schönheit wirft Fragen auf, die nur in Teamarbeit zwischen Mathematikern, Informatikern und Neurowissenschaftlern gelöst werden können. Unsere Computational-Neuroscience-Gruppe dringt dabei tief in die Vorgänge innerhalb einzelner Nervenzellen vor. Das gelingt durch Simulationen mit realitätsgetreuen Zellstrukturen, die aus Mikroskopie-Daten stammen (symbolisch in Abbildung 1 dargestellt).

Abbildung 1: Dreidimensionales Netzwerk aus Nervenzellen: Von der Biologie zum mathematischen Modell bis hin zur Umsetzung am Rechner.

Der Autor

Prof. Dr. Gillian Queisser, 30, ist Juniorprofessor für Computational Neuroscience am Goethe-Zentrum für wissenschaftliches Rechnen (G-CSC). Er studierte und promovierte in Mathematik an der Universität Heidelberg. Anschließend leitete er eine Arbeitsgruppe am Exzellenzcluster CellNetworks in Heidelberg, bevor er im vergangenen Jahr den Ruf auf eine Juniorprofessur an der Goethe-Universität annahm. Queisser entwickelt in seiner Forschung Methoden der Modellierung und Simulation, Modelle zur detaillierten Beschreibung neuronaler Prozesse wie elektrische Signalverarbeitung in Neuronen oder intrazelluläre Kalziumdynamiken, Software zur Generierung großer, detaillierter, neuronaler Netzwerke sowie Bildverarbeitungsverfahren zur automatischen Morphologierekonstruktion von Nervenzellen und Organellen.



Nervenzellen besitzen hochkomplexe und filigrane Strukturen (Abbildung 2). Sie gleichen einem Baum mit einer verzweigten Krone (dem Zellkörper mit Dendriten) und einem soliden Stamm mit einem feinen Wurzelwerk (dem Axon mit zahlreichen Axonenden). Nervenzellen oder Neuronen kommunizieren untereinander durch elektrische Signale, die an den Dendriten eingeht und über den Zellkörper und das Axon zu Verknüpfungsstellen (Synapsen) mit weiteren Nervenzellen übertragen werden. Das Gehirn besteht aus über 100 Milliarden Neuronen. Jedes einzelne besitzt über 100 Synapsen. Wie die Kommunikation zwischen Neuronen in diesem komplexen Geflecht abläuft, wie Sinneswahrnehmungen verarbeitet werden oder gar komplexe Prozesse, wie Lernen und Erinnerung, ist Gegenstand der Neurowissenschaften.

Was passiert in der Nervenzelle?

Aber wie gelangen wir zu dem Verständnis eines solch komplexen Netzwerks? Wie können wir die wichtigen Eigenschaften von Nervenzellen identifizieren?

Es gibt viele Ansätze, diese grundlegenden Fragen zu beantworten. Unsere Computational-Neuroscience-Gruppe an dem von Prof. Gabriel Wittum geleiteten Goethe-Zentrum für wissenschaftliches Rechnen (G-CSC) lässt sich dabei von der Faszination leiten, die von einzelnen Nervenzellen ausgeht. Wir erforschen Methoden der Modellierung und Simulation, die man auf die Signalverarbeitung in einzelnen Nervenzellen und kleinen Netzwerken anwenden kann. Mit der Zusammenführung verschiedener Disziplinen wie Mathematik, Informatik und Physik auf der einen Seite und Neurobiologie und Medizin auf der anderen Seite entsteht eine Basis, die einen detaillierten Blick auf die Funktionsweise von Nervenzellen ermöglicht.

Ausgangspunkt unserer Arbeit ist die wunderschöne geometrische und prozessregulierende Vielfalt von Nervenzellen. Um detaillierte Rekonstruktionen einzelner Zellen und ihrer Organellen zu erzeugen, verwenden wir Methoden aus der Mathematik und Informatik. Im nächsten Schritt entwickeln wir physikalisch-mathematische Modelle, die eine möglichst realistische Simulation der zellulären Prozesse in den rekonstruierten Organellen erlauben. Als Grundlage dienen Mikroskopie-Daten und experimentelle Daten aus der Neurobiologie und Medizin.

Welche Prozesse sind für die Modulation einer Nervenzelle von Bedeutung? Da sind zunächst die Eigenschaften der Plasmamembran: Sie schirmt den Innenraum der Zelle vom Außenraum selektiv ab, empfängt elektrische Signale und gibt sie an verbundene Zellen weiter. Parallel zum elektrischen Signal werden weitere Prozesse in der Zelle aktiviert, wobei das Auslösen einer Calcium-Welle von besonderem Interesse ist. Sie breitet sich von den synaptischen Endknöpfchen aus, bis sie zum Zellkern gelangt. Dort bewirken solche Signale, dass die in der DNA gespeicherte Information abgelesen und wichtige Proteine hergestellt werden können. Diese Proteine ermöglichen das Überleben und die Weiterentwicklung der Zelle. Da solche Prozesse im Alter oder unter pathologischen Bedingungen verändert werden oder zum Stillstand kommen, ist es von großem Interesse, diese Signalwege zu verstehen.

Ist man in der Lage, die zeitliche und räumliche Entwicklung eines neuronalen Prozesses in einer Zelle durch Modellgleichungen zu beschreiben, müssen diese im nächsten Schritt gelöst werden. Eine analytische Lösung ist meist nicht möglich, da die dreidimensionalen neuronalen Strukturen

und die Signalverarbeitung zu komplex sind. Deshalb entwickeln Wittum und seine Arbeitsgruppe seit Jahrzehnten numerische Methoden und integrieren sie in die Simulationsplattform uG. [1] Dies ist essenziell, um Lösungen der Modellgleichungen berechnen zu können. Mit der Expertise in Geometrierekonstruktion, Modellentwicklung und dem Lösen der Modellgleichungen wirft unsere Gruppe einen genauen Blick auf Einzelzellen und deren Zellkerne.

Vom natürlichen Vorbild zur rekonstruierten Zelle

Die Grundlage aller detaillierten dreidimensionalen Modelle ist das realistisch rekonstruierte Rechengebiet. Dieses Rechengebiet lässt sich als ein Gitter darstellen, welches eine endliche Anzahl von Punkten im Raum besitzt. miteinander verbunden bilden sie beispielsweise ein Tetraedergitter (Abbildung 3). In den Neuro-

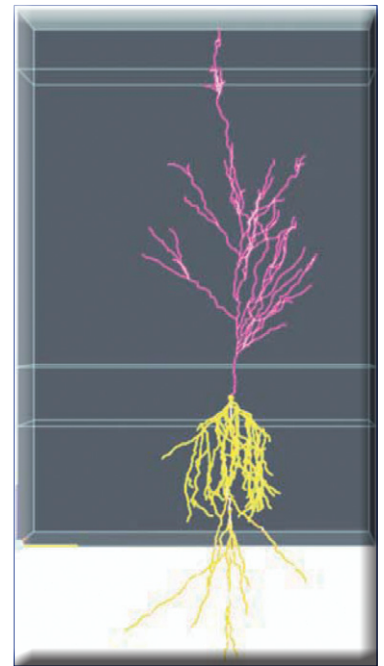
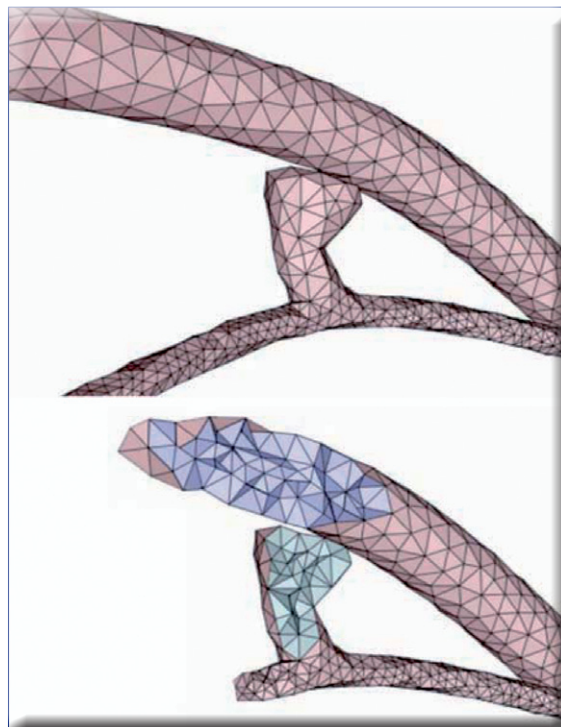


Abbildung 2: Fein verzweigt: Pyramidenzelle aus dem CA1-Hippocampus einer Ratte, erzeugt mit dem am G-CSC entwickelten Neuronen-Generators NeuGen (www.neugen.org).

Abbildung 3: Oberflächen- und Volumengitter einer „mathematischen Nervenzelle“. Auf diesen Morphologie-Repräsentationen können detaillierte dreidimensionale Simulationen gerechnet werden.



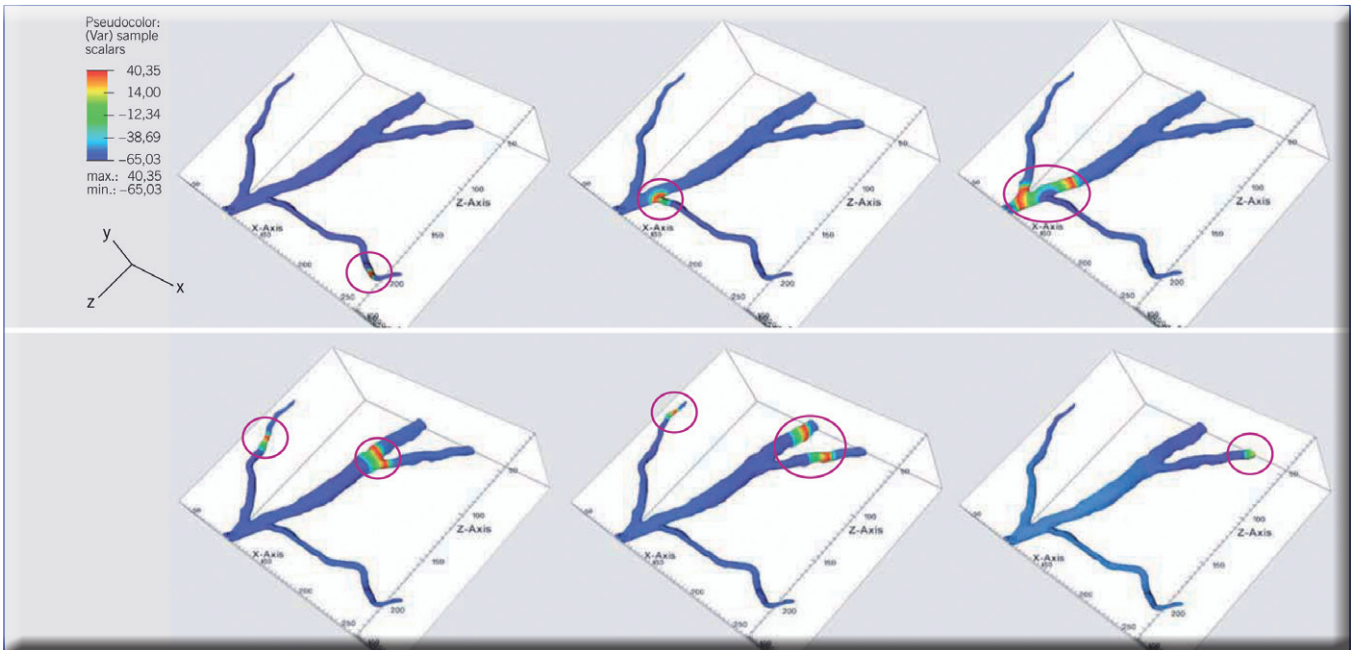


Abbildung 4: Ausbreitung eines Aktionspotenzials entlang einer verzweigten neuronalen Struktur. Ausgelöst wird der Stimulus am Zweig rechts unten und wird durch Öffnung spezifischer Ionenkanäle entlang des Axons getragen.

wissenschaften kommen Strukturinformationen aus Mikroskopie-Aufnahmen. Hier existieren unterschiedlichste Techniken: Licht- oder Konfokal-Mikroskopie, die stärker ins Detail gehende 2-Photonen- und Elektronen-Mikroskopie. Allen diesen Mikroskopie-Techniken ist gemeinsam, dass sie Bilder aus dreidimensionalen Voxeln mit verschiedenen Grautönen erzeugen. Will man aus diesen Mikroskopie-Aufnahmen ein Gitter generieren, das die Struktur des aufgenommenen Objekts, etwa einer Nervenzelle oder eines Zellkerns, realistisch darstellt, benötigt man Konzepte und Techniken aus Mathematik und Informatik. Wo das menschliche Auge sofort die Plasmamembran einer Nervenzelle im Bild entdeckt, ist der Computer „blind“.

Um dem Rechner beizubringen, wie er Zellstrukturen erkennt, verwenden wir Methoden aus der Bildverarbeitung. Für diese Zwecke entwickelt die Gruppe von Gabriel Wittum seit 2005 eine spezialisierte Software, den „Neuronen Rekonstruktionsalgorithmus NeuRA“. [2] Diese Software bereitet die mikroskopischen Rohdaten so auf, dass der Rechner Zellstrukturen automatisch erkennt und daraus detailgetreue „mathematische Zellen“ macht (Abbildung 3). Auf diesen Zellen kann ein Modell aufgesetzt und können anschließend verschiedene Simulationen durchgeführt werden.

Aktionspotenziale in Zeitlupe

Neuronen kommunizieren mit ihren Nachbarzellen über Aktionspotenziale. Das sind elektrische Reize, die am Axon entlang und über Synapsen

zu verbundenen Zellen weitergegeben werden. Ein Aktionspotenzial entsteht durch ein zeitlich und räumlich koordiniertes Feuerwerk aus elektrischen Impulsen im Dendritenbaum. Es bewirkt, dass sich am Axon Ionenkanäle für Natrium und Kalium-Ionen öffnen beziehungsweise schließen. Die Eigenschaften dieser zwei Kanäle wurden von Allan Lloyd Hodgkin und Andrew Fielding Huxley in den 1950er Jahren in mathematische Gleichungen gegossen, wofür sie später den Nobelpreis erhielten. Bis heute sind die Hodgkin-Huxley-Gleichungen das Fundament für die theoretische Beschreibung von Aktionspotenzialen.

Während es anfangs mit diesen Methoden noch nicht möglich war, die räumliche Ausbreitung des Aktionspotenzials zu verfolgen, wurde das Modell später weiterentwickelt. Einen weiteren Schritt unternahm am G-CSC Konstantinos Xylouris, Gabriel Wittum und ich, als wir, basierend auf rekonstruierten Zelloberflächen, ein volles 3D-Modell für elektrische Signalleitung entwickelten. [3] Damit wurde es zum ersten Mal möglich, ein Aktionspotenzial auf der Zellmembran in Zeitlupe zu verfolgen (Abbildung 4). Das entwickelte 3D-Modell ist zusätzlich in der Lage, den Intra- und Extrazellulärraum zu erfassen. Dies ermöglicht die direkte Verbindung zwischen der elektrischen Signalverarbeitung auf der Plasmamembran mit intra- und extrazellulären Prozessen wie der Ausbreitung von Calcium-Signalen im Innern oder elektrischen Feldeffekten im Außenraum.

Selten ist ein Zellkern rund: warum?

Die klassische Schulbuch-Darstellung des Zellkerns einer Nervenzelle ist rund. Doch elektronenmikroskopische (EM) Aufnahmen von Zellkernen aus dem Hippocampus von Ratten zeigten auffällige Strukturen der Kernmembran (Abbildung 5). Die aus Prof. Hilmar Badings Labor in Heidelberg stammenden Aufnahmen warfen Fragen auf. Welche dreidimensionalen Formen besitzt der Zellkern? Dies war aus den zweidimensionalen EM-Schnitten nicht sichtbar. Warum ist der Zellkern nicht rund? Welche Auswirkungen hat diese strukturelle Gegebenheit auf das intrazelluläre Verhalten der Zelle? Von einem energetischen Standpunkt gesehen ist eine kugelförmige Struktur optimal. Wenn der Kern also komplexe Formen aufweist, muss sich der „Aufwand“ für die Zelle, diese Kernstrukturen zu bilden und zu erhalten, aus irgendeinem Grund lohnen. Dieser Frage gingen wir – das Bading-Labor in Heidelberg sowie Gabriel Wittum und ich vom G-CSC – mithilfe der Modellierung und Simulation auf den Grund.

Zunächst mussten wir dreidimensionale Geometrien einzelner Zellkerne gewinnen. Hierzu wurden spezielle Mikroskopie-Daten mit einem konfokalen Lasermikroskop aufgenommen. Nach einer Bearbeitung mit den im „Neuron Reconstruction Algorithm“ (NeuRA) enthaltenen Bildverarbeitungs- und Rekonstruktionsmethoden erhielten wir räumliche Oberflächengitter vieler verschiedener Zellkerne. [4] Wir stellten fest: Jeder der über 100 rekonstruierten Kerne wies eine unterschiedlich eingefaltete Form auf (Abbildung 6). Allem Anschein nach ist die Kernmorphologie so etwas wie der Kern-Fingerabdruck, jede für sich ein Unikat. Aus diesen Rekonstruktionen ließ sich bestätigen, dass Zellkerne keine kugelförmige Struktur besitzen, sondern kom-

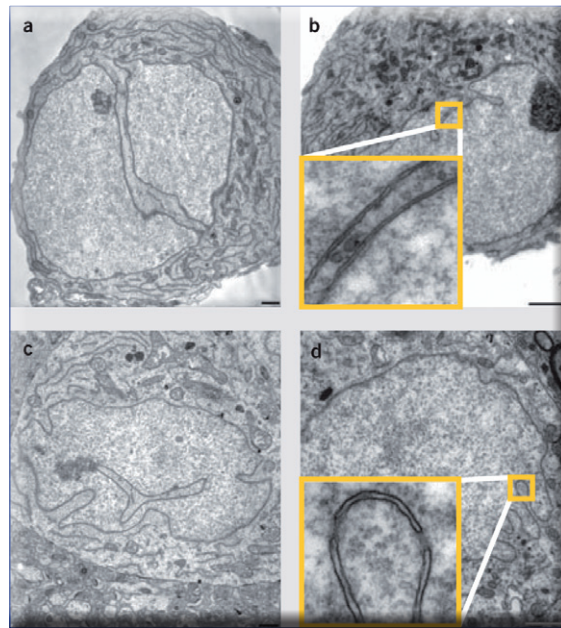
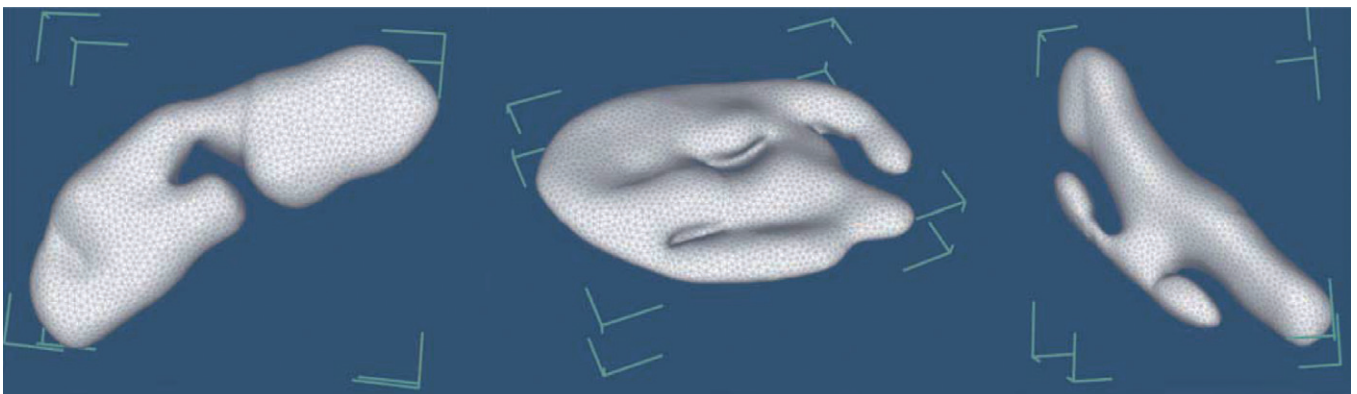


Abbildung 5: Elektronenmikroskopische Aufnahmen von Zellkernen aus dem Hippocampus einer Ratte. Zu sehen sind ungewöhnliche Membranstrukturen und die Tatsache, dass Zellkerne niemals ganz rund sind.

plexe und energetisch aufwendige Morphologien aufweisen. Warum betreibt die Zelle diesen Aufwand? Unsere Vermutung: Die Zelle beeinflusst so die Signalverarbeitung im Zellkern.

Dabei ist Calcium der prominenteste „Signalträger“ in Nervenzellen. Calcium-Ionen können über die zelluläre Plasmamembran in und aus der Zelle befördert werden, in Mitochondrien und dem Endoplasmatischen Retikulum (ER) gespeichert werden und im Zytosol durch die Zelle diffundieren. Über einen hochkomplexen Calcium-Austauschmechanismus generiert die Zelle ein Calcium-Signal, das sich von den Synapsen

Abbildung 6: Mit dem „Neuron Reconstruction Algorithm“ (NeuRA) rekonstruierte Zellkerne. Die Geometrien einzelner Zellkerne sind von Kern zu Kern so unterschiedlich, dass man sie als den Fingerabdruck von Zellkernen bezeichnen könnte. Sie weisen komplexe eingefaltete Strukturen auf, welche in der Lage sind, Calcium-Signale zu regulieren.



bis in den Zellkern ausbreitet. Innerhalb des Zellkerns aktiviert Calcium dann eine biochemische Reaktionskaskade, welche wiederum die Aktivierung verschiedener Gene steuert. Calcium ist also wesentlich am Leben und den Veränderungen einzelner Zellen beteiligt. Deshalb lag es nahe, das Verhalten von Calcium-Signalen in unterschiedlich geformten Zellkernen zu untersuchen. Im Zusammenspiel zwischen Simulation und Experiment konnten wir schließlich zeigen, wie die Zelle durch Veränderung ihrer Kernmorphologie die Möglichkeit besitzt, Calcium-Signale zu verändern [5], ein Prozess, den wir „Morphology Modulation“ getauft haben. Das Modell zeigte: Eingefaltete Zellkerne sind sehr gut geeignet, hochfrequente Calcium-Signale aufzulösen (Signal Detectors), wohingegen nicht eingefaltete Kerne ein hochfrequentes Signal integrieren (Signal Integrators). Das Zusammenspiel zwischen Morphologie und Signalverarbeitung ist ein wesentlicher Bestandteil zellulärer Funktionalität. Das Entstehen neuer Synapsen, das Spinewachstum, und Synapsenabbau sind bekannte Prozesse, welche die Morphologie von Zellen wesentlich verändern und vermutlich stark beim Lernen und bei der Gedächtnisbildung beteiligt sind. Dieses Spektrum der zellulären Funktionsweise kann erst dann von einem Modell abgedeckt werden, wenn es die detaillierte Morphologie von Zellen beinhaltet.

Starke Brücken zwischen Theorie und Experiment

Längst ist bekannt, wie komplex unser Gehirn wirkt. Keine wissenschaftliche Methode wird ohne kreative Ideen in die Nähe von Antworten gelangen, keine wissenschaftliche Disziplin wird im Alleingang neue Wege bestreiten können. Erfolgreich sein kann nur ein vielfältiger,

kreativer und Disziplinen übergreifender Ansatz. Das G-CSC setzt sich deshalb für starke Brücken zwischen Theorie und Experiment ein. Starke Brücken benötigen Fachwissen aus unterschiedlichen Disziplinen und müssen von gegenüberliegenden Seiten gebaut und verbunden werden. Es reicht deshalb nicht aus, als Mathematiker neurowissenschaftliche Experimente durchführen zu können; es reicht auch nicht aus, als Neurobiologe Grundlagen der Modellierung zu beherrschen. Disziplinen müssen aufeinander zugehen. **CLB**

Anmerkungen

- [1] <http://atlas.gcsc.uni-frankfurt.de/~ug/>
- [2] www.neura.org
- [3] Xylouris, K., Queisser, G., and Wittum, G. (in press) A Three-Dimensional Mathematical Model of Active Signal Processing in Axons.
- [4] Queisser, G., Wittmann, M., Bading, H., and Wittum, G. (2008) Filtering, reconstruction, and measurement of the geometry of nuclei from hippocampal neurons based on confocal microscopy data *Journal of Biomedical Optics* 13, 014009.
- [5] Wittmann, M., Queisser, G., Eder, A., Wiegert, J.S., Bengtson, C.P., Hellwig, A., Wittum, G., and Bading, H. (2009) Synaptic Activity Induces Dramatic Changes in the Geometry of the Cell Nucleus: Interplay Between Nuclear Structure, Histone H3 Phosphorylation, and Nuclear Calcium Signaling *The Journal of Neuroscience* 29(47): 14 687 – 14 700.

Es sieht so aus, dass Ethen nicht nur die Fruchtreife fördert. Zufällig gelangten zwei Fruchtfliegen unter die Glasabdeckung. Die hohe Ethenkonzentration hat sie enorm wachsen lassen - und offensichtlich ihre sexuelle Reifung beschleunigt...



Molekül mit sagenhaften Eigenschaften

Jugend forscht: Ethen – Schlüssel­molekül für Äpfel und Bananen

Charlotte Decker, Münster

Bereits im Jahre 2007 hat Anja Kofoeth, eine ehemalige Schülerin meiner Schule, Untersuchungen über Ethen und dessen Nachweis bei Äpfeln [1] durchgeführt und die Ergebnisse bei Jugend forscht präsentiert. Anja hat unter anderem herausgefunden und auch belegt, dass sich bei den von ihr untersuchten Äpfeln am meisten Ethen bei Äpfeln der Sorte Boskoop nachweisen lässt. Die Ethenproduktion kann noch gesteigert werden, wenn man die Äpfel unter Stress setzt, zum Beispiel durch Stoßen, Einschneiden und kurzzeitiges Einfrieren. Diese Ergebnisse habe ich mir bei meiner Arbeit zunutze gemacht und mich von Anfang an auf Boskoopäpfel konzentriert. Dank des FID Gaschromatographen, den ich noch von meiner letzten Jugend forscht Arbeit zur Verfügung hatte, ergab sich eine sehr viel höhere Empfindlichkeit als bei dem mit einem WLD ausgestatteten LowCost GC, den Anja benutzt hat. Aufgrund dieser optimierten Nachweisbedingungen erhoffte ich mir, gute und aufschlussreiche Ergebnisse zu bekommen.

Grundlegendes zu Ethen

Ethen mit der Summenformel (C_2H_4), dessen alte Bezeichnung Ethylen auch heute umgangssprachlich immer noch verwendet wird, gehört zu den Alkenen und ist ein brennbares, farbloses Gas mit einem leicht süßlichen Geruch [2,3,4,5]. In der Biologie ist es als Pflanzenhormon (Phytohormon) von Bedeutung, welches die Alterung und das Kernwachstum sowie Fruchtreife und Blattabwurf beeinflusst. Die Dichte ist mit 1,261 g/L (0 °C) ungefähr so groß wie die der Luft (1,292 g/L).

Die Autorin

Charlotte Decker (18) erhielt in diesem Jahr den 1. Preis des Bundeswettbewerbs „Jugend forscht“ in Biologie. Sie ist Schülerin des Gymnasiums Wolbeck in Münster. Im Detail hat sie sich noch nicht für eine weitere Ausbildung entschlossen. Sicherlich stehen Naturwissenschaften in der engeren Wahl.



Es wird von der Aminosäure Methionin über mehrere Schritte im Gewebe der Pflanzen gebildet. Der letzte Schritt, die Umwandlung von ACC (1-Aminocyclopropan-1-carboxylsäure) zu Ethen erfolgt durch die ACC Oxidase (Abbildung 1). Die ACC Oxidase ist in den meisten vegetativen Geweben vorhanden. Ohne Sauerstoff kann keine Ethensynthese erfolgen, da die Reaktion sauerstoffabhängig ist.

Wie viel Ethen produziert wird, hängt von der Diffusion des Gases ab. Bei Signalen wie z.B. einer Verletzung kann die ACC Synthase die Ethensynthese steigern. Bei reifenden Früchten regt Ethen seine eigene Synthese an (autokatalytische Rückkopplung der Ethylensynthese), wodurch der Reifungsprozess beschleunigt wird. Ethen kann durch Membranen hindurch diffundieren oder es wird in seiner Vorstufe ACC zum Wirkort transportiert und dort in Ethen umgewandelt.

Die Wirkung des Ethens auf die Zellen und die damit verbundene Aktivierung verschiedener Gene ist noch nicht vollständig erforscht. Um die Wirkung und die Biosynthese von Ethen zu untersuchen werden aktuell sehr oft Inhibitoren eingesetzt. Fast sicher ist aber, dass Ethen von einem als Transmembranprotein vorliegendem Rezeptor gebunden wird.

Ethen fördert die Fruchtreife und wird von den Pflanzen selbst produziert. Den höchsten Ethengehalt entwickeln klimakterische Früchte wie zum Beispiel der Apfel.

Durch Ethen starten viele Reifungsvorgänge: Chlorophylle werden ab- und andere Pigmente aufgebaut, Stärke und Säuren werden zu Zucker umgewandelt, und viele Enzyme werden aktiviert. Außerdem nimmt die Fruchtfleischfestigkeit ab, weil Pektine abgebaut werden, dabei findet weiterhin Zellatmung mit Sauerstoffverbrauch statt. Die Ethenkonzentration in Trenngeweben ist besonders hoch, was auch das Abwerfen des reifen Obstes bewirkt (Abszission).

Ethen als Apfelpflücker

Während der Wartezeit und meiner Vorbereitungen auf die Messungen entdeckte ich einen Artikel: „Warum die Äpfel vom Baum fallen“ [6,7]. Dieser brachte mich auf die Idee, das Reifen und die Ethenproduktion schon am „lebenden Objekt“

zu untersuchen. Glaubt man dem Artikel, so sendet ein verletzter oder reifer Apfel Ethen durch den Stiel zu den Blättern, die dann ihrerseits den Botenstoff „Abscisinsäure“ aussenden, der die „Sollbruchstelle“ zwischen Baum und Apfel verkorken lässt, so dass der Apfel herunterfallen kann. Andererseits wirkt Ethen auch durch die Luft, wie man am Beispiel der Allelopathie sehen kann.

In seinem Buch „Ach so!“ spricht Ranga Yogeshwar [8] von genialen Äpfeln, ebenso in der Sendung im Ersten „Wissen vor 8“ und trägt damit zur Bildung von weiteren Sagen bei. Zitat von Seite 120: „... Das Gas (gemeint ist Ethylen) verändert auch die Biochemie der benachbarten Blätter. Die beginnen damit ein Art Altershormon zu produzieren: Abscisinsäure. Sie bewirkt, dass sich zwischen Zweig und Stiel eine Trennschicht ausbildet. Diese verkorkten Zellen lassen keine Nährstoffe mehr durch. Der Apfel verhungert also am Ast. Irgendwann reißt dann die verkorkte Sollbruchstelle und der Apfel fällt vom Baum. Ist es nicht toll, wie viel Genialität in einem reifen Apfel steckt?“

Die Äusserungen der Internetplattform Geolino.de sind für weitere Sagenbildung zu kompliziert: [9] „Pflanzen haben ebenso wie Menschen Hormone, die die Stoffwechselfvorgänge steuern. In unreifen Äpfeln wird immerzu ein Hormon namens Auxin hergestellt und über den Stiel zum Baum geleitet. Damit teilt der Apfel dem Baum mit: „Vorsicht, ich bin noch unreif, wirf mich nicht ab.“ Beginnt der Apfel zu reifen, bildet er ein zweites Hormon: Ethylen. Das Ethylen verhindert dann, dass weiter Auxin gebildet wird und das ist das Signal für den Baum: „Der Apfel ist reif.“ Zwischen Apfelstiel und Baum bildet sich nun eine kleine Zellschicht aus. Das Ethylen sorgt dafür, dass diese Schicht zersetzt wird – und so fällt der Apfel vom Baum“

Der Reifeprozess bei Äpfeln

Die Reifung von Äpfeln lässt sich in 3 Hauptstadien gliedern [10,11] (Abbildung 2):

- **Vorklimakterium** (Pflück-, Ernte-, Versand- oder technische Reife): Entscheidend für eine spätere gute Qualität sind besonders die letzten zwei Wochen vor der Pflückreife am Baum. In dieser Zeit wird nicht nur die sortentypische Deckfarbe ausgebildet, sondern es werden auch die geschmacksspezifischen Aroma- und Inhaltsstoffe eingelagert. Die Pflückreife ist dann erreicht, wenn die Frucht genügend entwickelt ist, um in der Lage zu sein, den Reifeprozess nach dem Pflücken fortsetzen zu können. Die meisten Äpfel werden in diesem Stadium (Pflückreife) versandt. Sie weisen eine harte Konsistenz, einen hohen Stärkegehalt und eine meist grüne

Farbe sowie adstringierenden Geschmack auf.

- **Klimakterium** (Baum-, Genuß- oder Verbrauchsreife): Baumreife Früchte sind, obwohl sie von ihren Inhaltsstoffen sehr wertvoll sind, für eine kommerzielle Vermarktung nicht geeignet, da sie sehr druckanfällig sind und eine verkürzte Haltbarkeit aufweisen. Im Klimakterium führen biochemische Prozesse zur Umwandlung von Stärke zu Zucker, so dass die reifenden Früchte das typische süßsäuerliche Aroma ausbilden, verbunden mit einer zunehmend weicheren Konsistenz, dem Abbau von Chlorophyll und einer erhöhten Atmungsaktivität. Je nach Umgebungstemperatur und -atmosphäre lassen sich die Prozesse beschleunigen oder verlangsamen. Je nach Apfelsorte und Lagerung wird so die Genussreife erst Tage, Wochen oder sogar Monate nach der Ernte erreicht. Meist sind Temperaturen zwischen 1-3 °C optimal für die Lagerung [12]
- **Postklimakterium** (physiologische Reife oder Überreife): Die Reife- bzw. Zersetzungsprozesse führen zu einer Art „Selbstauflösung“. Das Fruchtfleisch wird teigig und mehlig und der Apfel bekommt einen zunehmend faden Geschmack, da alle Säuren fast abgebaut sind. Die Schale der überreifen Äpfel sind oft glanzlos und schrumpelig und anfälliger für Pilzerkrankungen.

Bestimmung des Reifegrades

Frau Sandra Müller von der Landwirtschaftskammer Münster (Gartenbauschule Wolbeck) zeigte mir die verschiedenen Methoden, die in der Landwirtschaft gebraucht werden, um den

Abbildung 1: Schaubild zur Biosynthese von Ethylen aus Methionin (aus dem Artikel von Magret Sauter [2]).

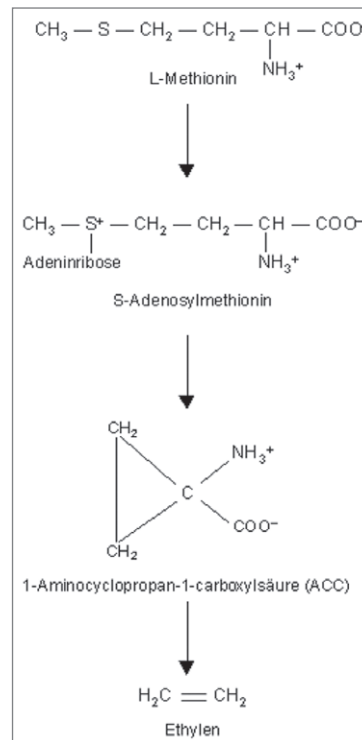
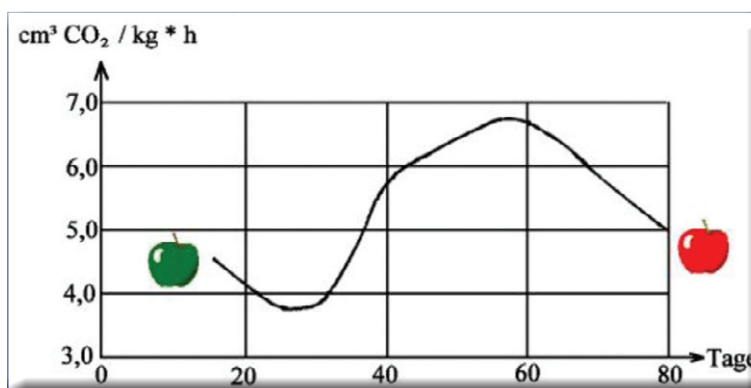


Abbildung 2: Lagerzeit der unreif gepflückten Apfel bei 12 °C [13].



Reifegrad der Äpfel zu bestimmen [14,15]. Meistens werden verschiedene Tests kombiniert, um den optimalen Erntezeitpunkt für die Äpfel bestimmen zu können, damit sich diese lange Zeit lagern lassen. Die Farbe sei nicht ausschlaggebend, sondern in der Praxis würden viel mehr andere Merkmale und Eigenschaften der reifen bzw. unreifen Äpfel ausgenutzt.

Zur Bestimmung des Stärkegehalts des Apfels führte sie einen Iod-Test durch, bei dem die Lugol-Lösung mit Pinsel oder Sprühflasche auf die Schnittfläche des Apfels in Höhe des Kerngehäuses aufgebracht wird. Die Lösung färbt, je nach Stärkegehalt des Apfels, denselben mehr oder weniger blau. An Tabellen kann man ablesen, wie die Stärkeumwandlung von Stärke in Zucker sich ungefähr sternförmig von innen nach außen vollzieht und in welche der unterschiedlichen Farbkategorien von 1-10 die Äpfel einzuordnen sind. Je mehr die Lösung einen Apfel dunkelviolet bis dunkelblau färbt, desto unreifer ist dieser.

Außerdem wird die Festigkeit des Fruchtfleisches gemessen. Während der Reifung nimmt diese immer weiter ab und liefert so Informationen über den Reifezustand des Apfels. Für den Test wird in den Apfel ein circa daumengroßes Loch gedrückt und mit einem Handpenetrometer wird die Fruchtfleischfestigkeit gemessen. Der Wert kann an dem Gerät sofort abgelesen werden und wird ebenfalls in eine Skala eingeordnet.

Dann wird der Zuckergehalt mithilfe eines Refraktometers bestimmt. Ein Tropfen des Saftes wird auf das Refraktometer aufgetragen und der angezeigte Wert entspricht in etwa dem Zuckergehalt des Apfels.

Da alle diese ermittelten Werte in Relation zueinander stehen, kann der Reifeindex nach Streif ermittelt und mit den Richtwerten der einzelnen Sorten verglichen werden.

Abbildung 3:
Ausgewählter
Boskop-
Apfelbaum im
Obstgarten der
Familie Ahlmann.



Vorbereitungen

Vorversuche

Ich habe zunächst versucht, einige Äpfel an Bäumen in der Streuwiese in der Nähe unseres Hauses mit Ethen zu „impfen“. Die Bäume trugen aber nicht sehr viele Äpfel und die mit Ethen geimpften fielen so, dass ich die Ursachen nicht gut nachvollziehen konnte. Auch waren einige Äpfel nicht mehr aufzufinden. Daher beschloss ich, die Untersuchungen insgesamt systematischer anzugehen.

Wahl des Baumes

Einen Boskopbaum in der näheren Umgebung von Wolbeck zu finden, gestaltete sich sehr schwierig, da diese Apfelsorte nicht mehr dem Geschmack der Leute entspricht. Nach vielen Anrufen in der Nachbarschaft, beim Naturschutzbund und bei der Gartenbauschule fand ich schließlich 13 km entfernt auf dem Hof der Familie Ahlmann, in der Bauernschaft Schuter in Everswinkel, eine Obstwiese mit unter anderem zwei Boskopbäumen. Mit der Zustimmung von Frau Ahlmann suchte ich mir von den beiden Boskopbäumen einen Baum für die Untersuchungen aus, der mir optimal erschien: Er war nicht hochwüchsig, d.h. viele Äpfel hingen in erreichbarer Nähe und es waren genügend vorhanden, um eine Breite an Ergebnissen zu bekommen, die die Untersuchung aussagekräftig machen konnte. Außerdem schien der Baum im Vergleich zum anderen weniger stark von Schädlingen, wie zum Beispiel dem Apfelwickler, befallen zu sein.

Zuerst habe ich den Baum mit einem Drahtzaun vor den Schafen auf der Obstwiese geschützt. Dabei bekam ich tatkräftige Unterstützung von Herrn Ahlmann und meinem Vater. Die Schafe sollten nicht die heruntergefallenen Äpfel fressen oder gar Äpfel vom Baum abreißen (Abbildung 3).

Planung der einzelnen Serien

Ich überlegte mir, eine Untersuchungsreihe mit jeweils 6 Äpfeln anzulegen. Jeder einzelne Apfel einer Serie sollte mit einem Bändchen jeweils unterschiedlicher Farbe markiert werden, um ihn wiedererkennen zu können, auch wenn er vom Baum fallen sollte (Abbildung 4). Der Ast, an dem die Äpfel einer Serie hingen, habe ich zusätzlich mit dem Datum auf einem Paketband gekennzeichnet.

Jeden dritten Tag wird eine neue Serie angelegt und die Behandlungen 2,3 und 4 sollen bei allen schon angelegten Serien wiederholt werden.

Um vergleichbare Bedingungen zu schaffen soll bei der Anlage einer Serie darauf geachtet werden, dass die Äpfel einer Serie alle möglichst am selben Ast hängen. So möchte ich erreichen, dass die Äpfel möglichst denselben Reifegrad haben und dass sie dicht beieinander hängen, sodass sie aufgrund der Lage und der Belaubung dieselben äußeren Umwelteinflüsse, wie z. B. Sonnenschein und Wind erfahren.

Die während der Beobachtungszeit gefallenen Äpfel sollen jeweils in einem mit einem Gasentnahmeventil präparierten Ein-Liter-Einmachglas einen Tag aufbewahrt werden. Um zu sehen, ob die „alte“ Ethenproduktion zum „Abwurf“ geführt hat, soll der Ethengehalt im Einmachglas dann gemessen und später ausgewertet werden.

Meine Feldexperimente

Vorgehensweise und Probleme

Die Untersuchungen starteten am 20. August 2010. Vom Nordosten angefangen, bin ich im Uhrzeigersinn um den Baum herumgegangen und habe zuerst Äpfel in gut erreichbaren Höhen für die Serien verwendet. Später musste ich allerdings mithilfe einer Leiter auch Äpfel in höhergelegenen Lagen benutzen.

Außer der täglichen Dokumentation jedes einzelnen Apfels mit der Kamera (hierbei habe ich die Äpfel in den Tüten allerdings nicht berücksichtigt, da sie aufgrund der Reflexion und der verhinderten Sicht durch Blätter und kondensiertes Wasser schwer zu fotografieren waren) wurde jeder gefallene Apfel sofort mitgenommen und am folgenden Tag wurde das von ihm produzierte Ethen gemessen.

Auch das tägliche Fallobst, das nicht zu den zu untersuchenden Äpfeln gehörte, habe ich gezählt um besondere Vorkommnisse wie extreme Wet-

terbedingungen besser aufzuspüren. Auffälliger Schädlingsbefall wurde ebenfalls notiert.

Es traten einige Probleme auf, die rückblickend die Ergebnisse zu geringen Teilen verfälscht haben könnten:

So gestaltete es sich oft sehr schwierig, das Ethen in den Apfel bzw. in den Stiel zu spritzen. Oft musste ich mehrmals ansetzen, da die Spritze sich schnell zusetzte. Auch war es schwierig in den oftmals sehr dünnen und harten Stiel zu stechen und das Ethen anschließend auch einzuspritzen, da die Konsistenz des Stieles es oft nicht zuließ, das Ethen einzuspritzen. Diese wiederholten Einstiche mit der Spritze haben einzelne Äpfel und Stiele sehr beansprucht. Der Apfel aus der Serie 1 vom 20. August beispielsweise, dem Ethen in das Fruchtfleisch gespritzt worden ist, hat nach einiger Zeit an dem Einspritzloch angefangen zu faulen und ist anschließend vollkommen faulig abgefallen. Dieser Fall blieb aber eine Ausnahme und es ist sehr spannend, wie wenig es den Äpfeln bzw. deren Stielen ausmacht, so behandelt zu werden. Der Einstich mit der Kanüle scheint keine gravierende Verletzung zu sein.

Als eine weitere Schwierigkeit erwies sich das Anbringen der Gefrierbeutel. Bei den ersten Serien waren sie trotz vieler Bemühungen nicht vollständig dicht zu bekommen und es sammelte sich nach mehreren Regentagen sogar etwas Regenwasser in der Tüte. Ich befürchtete, dass der Apfel aufgrund des Eigengewichts der Tüte mit dem angesammelten Regen- und Kondenswasser abfiel. Deswegen habe ich bei den nächsten Serien darauf geachtet, die Tüten, wenn es möglich war, nicht an dem kleinen Zweig zu befestigen, an dem der Apfel hing, sondern an den jeweils nächstgrößeren Ästen. Doch wegen besserer Verschluss-techniken der Tüten war das Problem sowieso behoben und es sammelte sich kein Regenwasser mehr in der Tüte an. Die kleineren Mengen an kondensiertem Wassertröpfchen sind wegen des geringen Gewichts zu vernachlässigen.













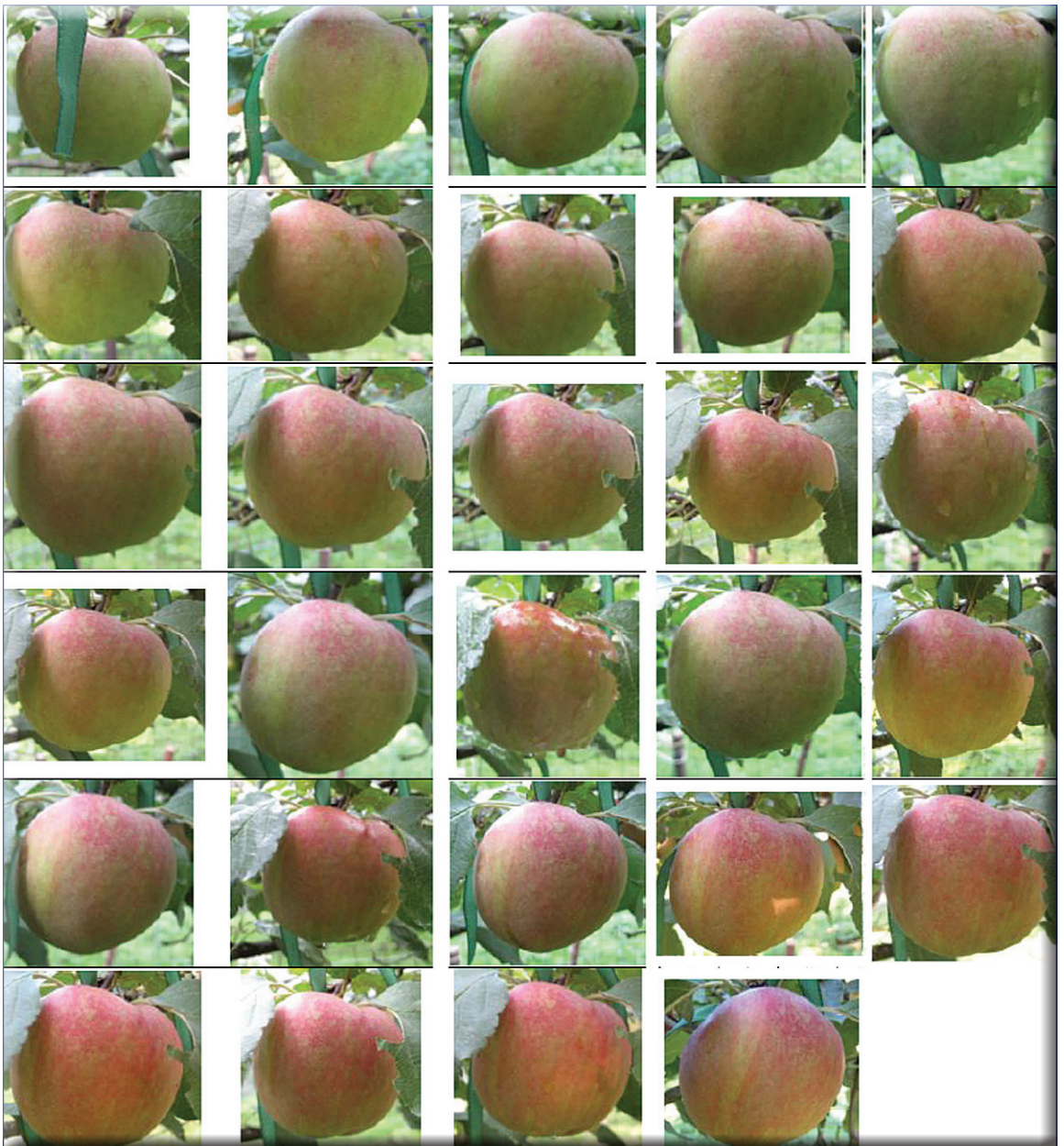
angeschnitten		(blaues Bändchen) Diese Äpfel sollen kreuzförmig circa 2 cm eingeschnitten werden oder es soll ein kleines Stück herausgeschnitten werden. Derart gestresste Äpfel sollen besonders viel Ethen produzieren.	
Ethen in Tüte		(rotes Bändchen) Ich will testen, ob das Ethen durch die Luft wirkt. Der Apfel soll mit einem 3L Gefrierbeutel überstülpt und verschlossen werden. In den Gefrierbeutel sollen circa 50ml Ethen eingespritzt und die Einspritzstelle mit Tesafilm verschlossen werden.	
Ethen in Apfel		(gelbes Bändchen) Es soll 1ml Ethen ins Fruchtfleisch und zum Teil bis zum Kerngehäuse gespritzt werden. Der Apfel müsste schneller fallen, weil mehr Ethen im Apfel vorhanden ist und durch die Luft oder durch den Stiel wandern kann.	
Ethen in Stiel		(violette Bändchen) Um die These zu überprüfen, ob das Ethen über den Stiel in den Baum geht, sollen 1ml Ethen mit einer sehr dünnen Nadel direkt in den Stiel injiziert werden.	
Nur Tüte		(weißes Bändchen) Der Apfel wird ebenfalls mit einem Gefrierbeutel überstülpt. Es wird aber kein Ethen eingespritzt, damit er mit dem Apfel in der Ethen gefüllten Tüte verglichen werden kann.	
Unbehandelt		(grünes Bändchen) Diese Äpfel werden nicht behandelt und sind die Vergleichsäpfel, deren Werte mit denen der behandelten Äpfel später verglichen werden können.	

Abbildung 4: Untersuchungsreihe mit jeweils 6 Äpfeln.



Abbildung 5: Apfel der Sorte verletzt aus der Serie 5 vom 1.9.2010 gefallen am 8.9.2010 nach 7 Hängetagen.

Abbildung 6: Apfel unbehandelt von der 8. Serie vom 10.09.2010 gepflückt am 8.10 nach 28 Tage Hängezeit.



Ein weiteres Problem war die Auswahl der Äpfel. Um genauere Vergleichsbedingungen zu bekommen, mussten die Äpfel möglichst alle gleich reif sein. Abgesehen davon sollte ein Befall von Schädlingen ausgeschlossen sein, doch gerade dies war oftmals schwer zu erkennen. Ohne jegliche Spuren können die Würmer und Maden von unten in das Kerngehäuse dringen und es ist äußerlich nur schwer feststellbar, ob Schädlingsbefall vorliegt oder nicht. Glücklicherweise war aber die Mehrzahl der ausgesuchten Äpfel nicht befallen und wurden es auch nicht während der Beobachtungszeit.

Ebenfalls schwierig war oft das Fotografieren der Äpfel. Um möglichst gute Bilder zu erhalten, habe ich im Makro-Modus gearbeitet. Doch Regen und Wind, wechselnde Lichtverhältnisse und störendes Blattwerk verhinderten oft, dass ich alle Fotos aus der gleichen Perspektive und mit derselben Belichtung aufnehmen konnte (Abbildungen 5 und 6).

Beendigung der Experimente

Ich fragte Frau Sandra Müller von der Landwirtschaftskammer Münster (Gartenbauschule Wolbeck), wann ich die Äpfel pflücken sollte. Sie führte die auf den Seiten 351/352 (Abschnitt: Bestimmung des Reifegrades) beschriebenen Untersuchungen durch und sagte mir, dass die Äpfel zwar fast reif genug zum Essen seien, sie aber für die Lagerung, wie sie bei Geschäften und Firmen üblich ist, schon zu reif seien. Ich habe die unterschiedlichen Zahlenwerte nicht notiert, entschied mich aber, bald alle Äpfel zu ernten. Mit der Hilfe meiner Eltern pflückte ich also am 8. Oktober alle markierten Äpfel, die noch am Baum hingen. Diese wurden wie zuvor in Einmachgläser gesteckt und der Ethengehalt gemessen. Fast hundert Äpfel wurden also über einen Zeitraum von 50 Tagen beobachtet und haben je nach Abfalldatum bis zu 16 „Behandlungen“ hinter sich.

Die Aufnahme der Gaschromatogramme

Probenvorbereitung

siehe dazu Abbildung 7.

Aufnahmebedingungen

Gaschromatograph: Chrompack C P9001

Säule: PLOT FUSED SILICA

Trägergas: Synthetische Luft

Abmessungen: 50 m x 0,32 mm

Brenngas: Wasserstoff 5.0

Coating: Al_2O_3 / KCl DF = 5

Vordruck: 150 kPa

Temperatur (Ofenraum): 60°C (isotherm)

Splitfluss: 20 ml/min

Temperatur (Injektor) 70 °C

Detektor: FID 250 °C

Spritze: Hamilton 100 μL

Einspritzvolumen 50 μL

Computerprogramm: CP Maitre 2.5 (seriell)

Die Aufnahme eines normalen Gaschromatogramms dauert so ca. 3-5 Minuten. Um den Arbeitsaufwand nicht zu hoch zu treiben, wurde bei den Messungen auf die Zugabe eines Standards verzichtet, da die Werte schon aus biologischen Gründen recht stark streuen.

Flüchtigkeit von Ethen bzw. Dichtigkeit der Probengefäße

Bei zwei Gläsern wurden die Septen für die Probenspritze weggelassen. Dadurch ist eine etwa 2,5 mm große Öffnung entstanden, durch die das leicht flüchtige Gas entweichen konnte. Trotzdem wurden nach 24 Stunden immer noch mehr als 70% an Ethen im Vergleich zu den entsprechenden Gläsern mit Septen gefunden.

Bei zwei anderen Gläsern wurde der Einmachring bewusst entfernt. Hier wurden nach

Abbildung 7: Probenvorbereitung: Präpariertes Einmachglas (links), Gaschromatograph mit FID im Zimmer meines Bruders (mitte), typisches Gaschromatogramm (rechts). Glücklicherweise ist der „Ethenpeak“ nach dem Einspritzpeak nahezu der Einzige.



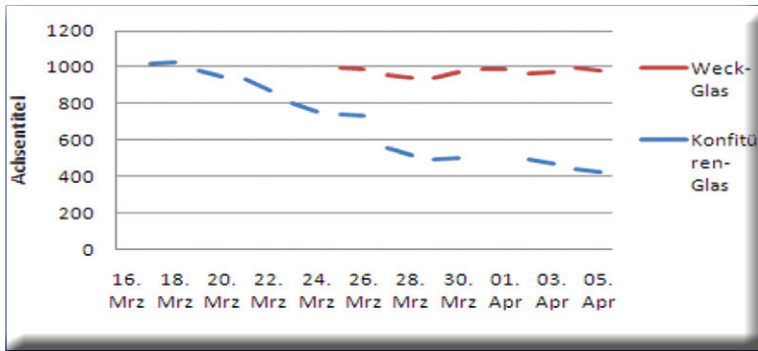


Abbildung 8:
Messungen Ethen
1000 ppm.

24 Stunden nur noch etwa 10% des Wertes der Vergleichsgläser gemessen.

Für Messungen über längeren Zeitraum wurden ein Einmachglas der Fa. WECK (998 mL) und ein Allzweck-Konfitürenglas „Quattro Stagione“ der Fa. Bormioli (1150 mL) jeweils mit einer Entnahmestelle präpariert und mit soviel Ethen befüllt, dass die Konzentration möglichst genau einem Ethengehalt von 1000 ppm entspricht. Zuvor habe ich dazu das genaue Glasvolumen mit Wasser ausgemessen. Das Weckglas scheint eindeutig dichter zu sein (Abbildung 8).

GC-Erfassungsgrenze für Ethen

Andererseits stieß ich bei den Messungen auf die Frage, wo die Erfassungsgrenze für Ethen bei dem FID-Gaschromatographen ist. Zum Bestimmen der Erfassungsgrenze habe ich Gas aus einem 1 L Einmachglas mit dem Ethengehalt von 1000 ppm genommen und die Konzentration in einem neuen Einmachglas stufenweise so weit verringert, bis der Integrator des Computerprogrammes keinen Zahlenwert für den Ethenpeak mehr ausgegeben hat. Die so ermittelte Erfassungsgrenze lag bei 0,8 bis 1 ppm.

Auswertungen

Aufstellung der am Baum verbliebenen Äpfel

Ich habe die gepflückten Äpfel auf einem Tisch so hingestellt, dass man sie wie in einem Diagramm lesen kann. Dabei sind auf der „X-Achse“ die Serien 1-16 und auf der „Y-Achse“ die Behandlungsarten 1-6 aufgestellt (Abbildung 9). Dort wo einzelne Deckel liegen, ist der Apfel durch Beeinflussung (zum Beispiel durch Berührung mit der Leiter) gefallen oder er war von Maden befallen oder von den Schafen gefressen.

Wie man leicht sieht, sind fast alle „Äpfel angeschnitten“ vor dem Pflücktermin gefallen. Ebenso die mit dem Ethen in der Tüte behandelten Äpfel. „Ethen in Stiel“ und „unbehandelt“ sind besonders lange hängen geblieben.

Auswertung: gefallen – hängengeblieben

Bei dieser Art der Säulendarstellung kann das Auge aus der „Grauzone“ Rot oder Grün machen (Abbildung 10). Wahrscheinlich ist der „Rotanteil“ bei der Serie „angeschnitten“ in Wirklichkeit größer. Äpfel der Sorte *unbehandelt* und *Ethen in Stiel* sind am häufigsten hängengeblieben: Das Ethen im Stiel scheint nichts zu bewirken. Ausschließen kann man also, dass diese Äpfel durch das Einspritzen zu sehr verletzt wurden und deswegen gefallen sind. Andererseits kann das Verletzen des Stiels dazu geführt haben, dass der Querschnitt für den Ethen transport durch den Stiel stark beeinträchtigt wurde.

Oft gefallen sind die Äpfel der Sorte *angeschnitten*: Bei Verletzung produziert der Apfel viel Ethen, sodass er schnell fällt. Es kann allerdings nicht gesagt werden, ob das Ethen durch den Stiel oder die Luft zu den Blättern gelangt. Nur die Äpfel der letzten drei Behandlungen (9 Tage) hingen noch am Pflücktag.

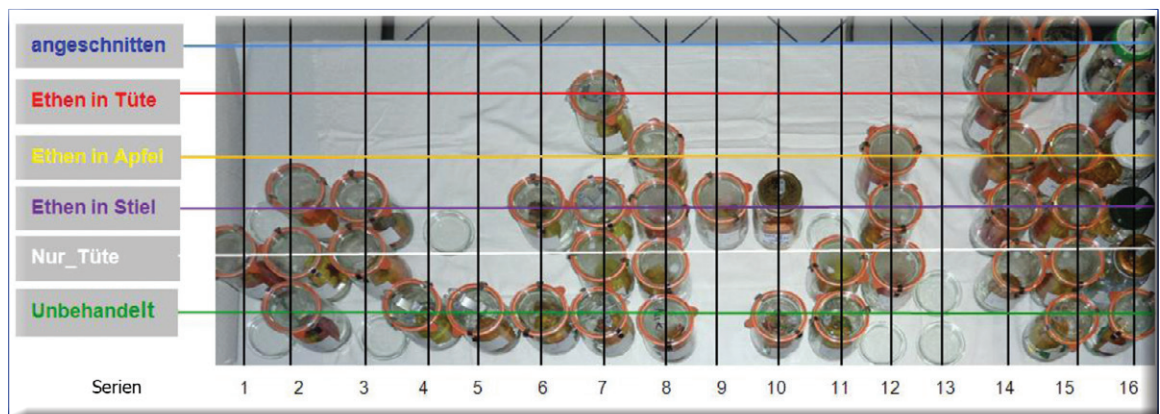


Abbildung 9:
Gepflückte Äpfel
als Diagramm.

Am häufigsten sind die Äpfel der Sorte *Ethen in Tüte* gefallen: Das Ethen in der Luft wirkt ganz radikal.

(Durchschnitts-)Ethengehalt (ppm) nach 24 h

Eigentlich hatte ich gedacht, dass alle Äpfel zur Fallzeit etwa gleich viel Ethen aussenden. Ich konnte natürlich nicht die ganze Zeit unter dem Baum verbringen und auch nicht irgendwo um den Apfel herum eine Probe nehmen. Deshalb habe ich die Äpfel in ein luftdichtes Einmachglas gesperrt, um die Konzentration von Ethen nach 24 Stunden Verbleib zu messen. Daraus wollte ich auf den Ethengehalt beim Fallen Rückschlüsse ziehen.

Bei dem Ethengehalt lassen sich nicht so ganz eindeutige Aussagen machen. Ich hatte gehofft, dass der Ethengehalt eine gewisse Höhe erreicht haben müsste, damit die Botschaft: „Runter mit mir“ in den Blättern ankommt. Ich weiß aber nicht, wie lange es dauert, bis genügend Abscisinsäure an der Sollbruchstelle angekommen ist.

Am meisten Ethen konnte ich bei den Äpfeln der Sorte *angeschnitten* nachweisen, dieser Wert setzt sich jedoch aus sehr hohen und sehr tiefen Werten zusammen (Abbildung 11). Verletzte Äpfel produzieren viel Ethen, die Ethenproduktion nimmt jedoch mit zunehmendem Verfallungsgrad ab.

Am wenigsten Ethen habe ich bei den Äpfeln mit der Behandlungsart *nur Tüte* gemessen. Wahrscheinlich reifen die Äpfel in der Tüte nicht so schnell (wahrscheinlich bekamen sie weniger Sauerstoff bzw. weniger Licht) Trotzdem konnte ich aber Ethen in der Tüte selbst nachweisen, es ist also auszuschließen, dass der Apfel gar nicht reifen konnte.

Trotzdem gibt es einige nicht ausschließbare Ungenauigkeiten. So können manche Äpfel, kurz nachdem ich weggefahren war, abgefallen sein. Diese haben, wenn ich sie am nächsten Tag fand, bereits einen Tag auf dem Boden gelegen und waren zum Zeitpunkt der Messung fast 48h nicht mehr am Baum.

Versuch der Messung einer „Ethenwolke“ im Baum

Da am Baum viele Äpfel hängen, die aufgrund einer Beschädigung oder aufgrund der natürlichen Reifung Ethen produzieren und in Räumen, in denen Äpfel gelagert werden, sich soviel Ethen anreichert, dass es durch Lüften oder Unterdruck entsorgt werden muss, habe ich überlegt, ob man vielleicht sogar etwas Ethen im Baum selbst messen kann. Dazu habe ich drei Einmachgläser randvoll mit Wasser gefüllt und verschlossen.

Dann bin ich in den Baum hereingestiegen und habe die Gläser in der näheren Umgebung der Äpfel auf den Kopf gedreht und anschließend geöffnet, sodass das Wasser herausfloss. So sollte das Gasgemisch, das den Baum umgibt oder sich im Baum befindet, im Glas eingefangen werden.

Leider konnte ich bei den Messungen kein Ethen feststellen. Dies kann natürlich daran liegen, dass das ausgestoßene Ethen sich sofort in der Luft verteilt oder durch den Wind verweht wird, sodass die Gaswolke um den Baum herum nicht konzentriert genug ist; auf jeden Fall unter der Erfassungsgrenze, also unter etwa 0,8 bis 1 ppm.

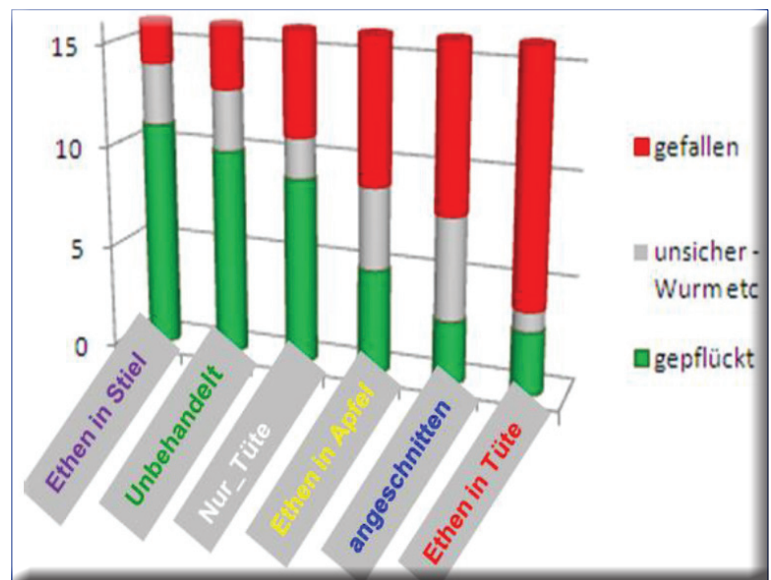
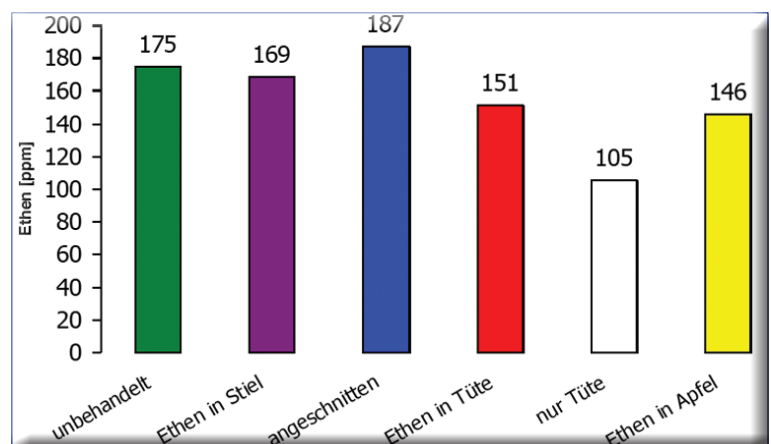


Abbildung 10: Äpfel der Sorte „unbehandelt“ und „Ethen in Stiel“ sind am häufigsten hingengeblieben: Das Ethen im Stiel scheint nichts zu bewirken.

Abbildung 11: Das meiste Ethen konnte in den Äpfeln der Sorte „angeschnitten“ nachgewiesen werden.



Stimmt die Sage: Ethen ist der Apfelflücker?

Da ich bisher vorwiegend chemisch gearbeitet hat, fiel es zunächst schwer, mich in biologische Zusammenhänge einzuarbeiten. Hier muss man viel mehr mit Statistiken arbeiten und diese auswerten. Die Vielzahl der Faktoren macht eine Interpretation häufig nicht einfach.

Es gibt mehr Fragen als Antworten:

Feldversuche

Obwohl ich versucht habe, für alle Äpfel möglichst gleiche Bedingungen zu schaffen, ist dieses kaum möglich. Meinen Eindruck, dass hundertprozentig aussagekräftige und genaue Untersuchungen an natürlichen Pflanzen, in meinem Falle dem Apfelbaum, eigentlich nicht machbar sind, bestätigte auch Herbert Voigt [16] der technische Leiter des botanischen Gartens der Universität Münster. Auch nach seinen Erfahrungen sind exakte Feldversuche in der Natur nahezu unmöglich. Es sind so viele Faktoren zu beachten, dass man niemals optimale und vergleichbare Versuchsbedingungen erzielt.

So hätte ich bei jedem Apfel mit einer neuen Kanüle arbeiten müssen oder zumindest die alte Spritze desinfizieren müssen. Auch das Messer habe ich nicht nach jedem Benutzen gesäubert und desinfiziert, sondern lediglich die Schnittfläche grob mit einem Tuch abgewischt. Somit habe ich keine keimfreie Oberfläche geschaffen und Pilzsporen das Eindringen in den Apfel erleichtert. Außerdem habe ich erst später gemerkt, dass die Gefrierbeutel nicht dicht, sondern ethendurchlässig sind (wie später im Abschnitt *Versuchsreihe zur Ethenkonzentration und -durchlässigkeit der Tüten* beschrieben).

Wo und wie wird das Ethen transportiert?

Wenn ich den Apfel verletzte, ihm viel Ethen zuführte oder er so reif werden konnte, dass er viel Ethen produzierte, wie strömt dann das Ethen in die Blätter, um die Produktion der Abscisinsäure zu starten? Gelangt es durch den Stiel oder die Luft?

Wie viel Ethen ist nötig, bis die Abscisinsäure gebildet wird? Wie lange dauert es?

Verletze ich einen Apfel, merke ich diese Einwirkung erst, wenn er gefallen ist. Aber wie lange dauert es, bis der Apfel merkt, dass er angeschnitten ist und deswegen besonders viel Ethen produzieren muss? Gibt es eine bestimmte Konzentrationsgrenze von Ethen, die erreicht werden muss, um die Synthese der Abscisinsäure zu starten? Wie lange dauert es, bis ein Stiel so sehr verkorkt ist, dass er sich vom Ast löst?

Verläuft die Korrespondenz: Apfel-Blatt-Stamm überhaupt wie von Herrn Yogeshwar [8] beschrieben?

Mein Hauptproblem aber bleibt: Wieso wird bei zwei sehr dichthängenden Äpfeln auch genau der richtige (verletzte) mit Abscisinsäure versorgt und nicht sein gesunder Nachbar? Geht das Ethen durch die Luft, weiß der Ast gar nicht, von welchem der beiden es besonders produziert wurde. Bei dem Weg über den Stiel ist es nicht viel anders. Oder gibt es jedem Apfel zugeordnete Blätter? Sinnvoller wäre da schon eine „Meldestelle“ bei der Verkorkung, die den Apfelzustand mitbekommt – aber bei Pflanzen gibt es ja keine Nerven – oder? Aber es gibt Botenstoffe der Botenstoffe. Das könnte auch hier der Fall sein.

Aber soviel steht fest: Man kann mit genügend Ethen (z.B. in einer Tüte) Äpfel pflücken! Verletzt man den Apfel, entwickelt er so viel Ethen, dass er sich „selbst pflückt“.

Neue Literaturrecherche und Gespräche mit Fachleuten

Da ich im Hinblick auf die Theorie viele unterschiedliche Standpunkte und Erklärungsversuche gefunden habe und ich durch Recherche allein keine Antworten auf meine Fragen fand, wandte ich mich an Fachleute, wie z.B. Herrn Gerhard Baab, Berater für Obstanbau in Rheinland-Pfalz. 17) Seine Aussage dazu war: „Wahrscheinlich spielt die Abscisinsäure bei Äpfeln fast keine Rolle – gemeinsam mit dem Fallen (Abzission) hat sie nur den Namen.“

Mithilfe der Aussagen von verschiedenen Fachleuten und Fachliteratur erscheint mir folgendes Modell schlüssig:

Seneszenzmodell

- Von den Samenanlagen geht ein Strom von Wachstumshormonen (Auxinen und Gibberellinen) durch den Stiel in den Baum.
- Es wird angenommen, dass beim Altern oder Reifen eines Organs (Früchte, Blätter) die Bildung von Auxin nachlässt.
- Durch den verringerten Auxingehalt steigt die Empfindlichkeit der Abszissionszone gegenüber Ethen. Die Abszissionszone ist ein von der Pflanze gebildetes Trenngewebe, das bereits lange vor dem Abfallen nachweisbar ist.
- Erst durch die Ethenaktivierung wird die Abszissionszone zur tatsächlichen Bruchstelle. Dazu werden dann Zellwand abbauende Enzyme gebildet (Glucanasen, Polygalacturonasen), welche den Zellverband in der Abszissionszone auflösen.

Fast alle, die Reife (und den Abfall) betreffenden Stoffwechselaktivitäten, werden dabei letztendlich durch das Eth(yl)en der Früchte gesteuert.

Die Ethensensitivität des Gewebes wird allerdings von anderen Faktoren, insbesondere von den Auxinen, bestimmt.

Das Modell kann durch drei Chemikalien experimentell erhärtet werden:

- Man kann Ethen (als Ethephon) in den unterschiedlichen Reifestufen im Obstbau einsetzen. Ethephon [18] ist flüssig und kann so einfach auf die Pflanzen gespritzt werden, wo es dann im Gewebe unter Abspaltung von Ethen zerfällt. Ethephon wird daher meistens zur Beschleunigung der Fruchtreife oder zur Ertragsregulierung bei unterschiedlichen Früchten verwendet.
- Auch das Verhindern der Wirkung von Ethen kann man steuern und zwar durch Gabe von MCP [19] (1-Methyl-cyclo-Propen). Dies ist ein Gas, welches die entsprechenden Rezeptoren anstelle von Ethen besetzt. So wird nicht nur die Wirkung des Ethens unterbunden, sondern auch die Bildung von pflanzeigenem Ethen gehemmt. Nach der Ernte kann das Gas in einem Lagerraum rund 20 Stunden lang eingesetzt werden. Nach anschließender Lüftung wird das Obst normal weitergelagert.
- Dass Auxine eine Rolle spielen, kann man durch Besprühen der Früchte mit IAA nachweisen. So kann durch Besprühen der Früchte oder auch Blätter ein vorzeitiger Fruchtfall verhindert werden. Allerdings darf eine gewisse Dosis auf keinen Fall überschritten werden, da Auxine in hohen Konzentrationen wachstumshemmend wirken.

Modell der korrelativ regulierten Abszission

Mit diesem weitergehenden Modell kann man auch das Fallen von unreifen Früchten erklären: Es gibt ein Dominanzverhältnis zwischen den Früchten, bzw. Sprossen. Besonders bei Äpfeln gilt: Die sich zuerst entwickelnden Früchte (vor allem die Königsfrucht) dominieren über die sich später entwickelnden seitlichen und können deren vorzeitigen Fruchtfall auslösen (Primigen-Dominanz). Erklärt wird dies durch die Hemmung des Auxinstroms aus den untergeordneten Früchten durch einen besonders starken Auxinexport aus den übergeordneten Früchten. Nach dem „Source-Sink“-Prinzip bekommt nämlich der, der mehr auf sich aufmerksam macht, auch mehr Nährstoffe und Wasser. Mittlerweile ist bekannt, dass die Transportkapazität des Sprosses bzw. der Blütenstandsachse für das Auxin begrenzt sein kann, so dass bei dessen Auslastung durch den Auxinstrom der dominanten Früchte der Auxinfluss aus den untergeordneten Früchten unter einen bestimmten Wert fällt oder komplett unterbunden wird. Dies führt, wie im Seneszenzmodell erklärt, zu einer erhöhten Sensitivität des Trenngewebes auch schon gegenü-

ber wenig Ethen. Die Rechtecke symbolisieren die Transportkapazität für Auxin (Pfeile), das aus den Früchten (K = Königsfrucht; L1, L2 = Lateralfrüchte) exportiert wird. Die Seitenfrucht L2 kann mangels freier Kapazitäten kein Auxin in den Hauptstrom einleiten und wird vorzeitig abfallen (Abbildung 12).

Eine weitere Sage: Lagere kein anderes Obst neben Äpfeln!

Im Alltag ist der Tipp ziemlich verbreitet, man solle verschieden reifes Obst nicht nebeneinander lagern bzw. bestimmte Sorten nicht nebeneinander legen, da besonders reife Äpfel die Reifung anderer Obstsorten beschleunigen. Hintergrund dieser Theorie ist die Allelopathie [21]. Reifes Obst bzw. Obst oder Früchte im Klimakterium können nahe liegende, unreife Früchte durch die ausgeschiedenen Gase Ethen und Kohlendioxid zum Reifen bringen. Besonders gut funktioniert dies bei starken Ethenentwicklern wie z.B. Äpfeln und solchem Obst, das besonders sensibel auf Ethen reagiert.

Diese Hausfrauenweisheit wollte ich genauer untersuchen. Da die Banane eine der Obstsorten ist, die am sensibelsten auf Ethen reagiert,

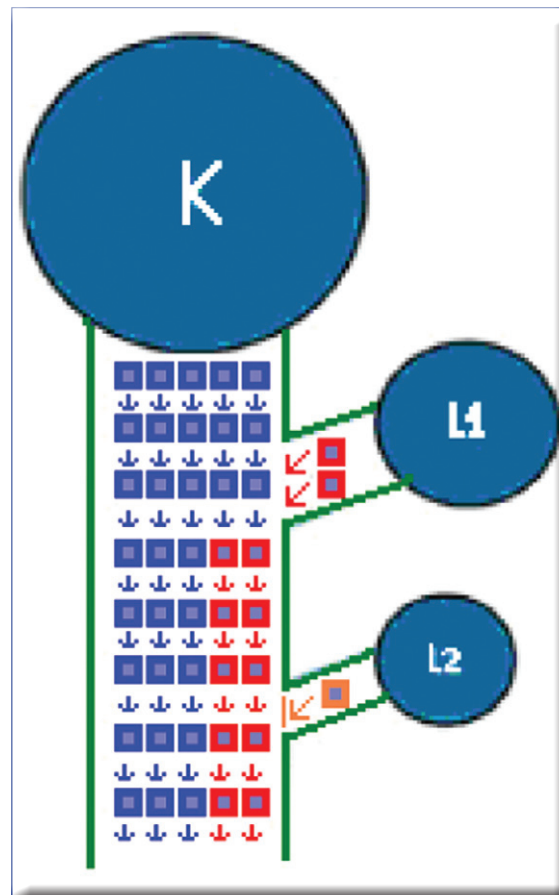
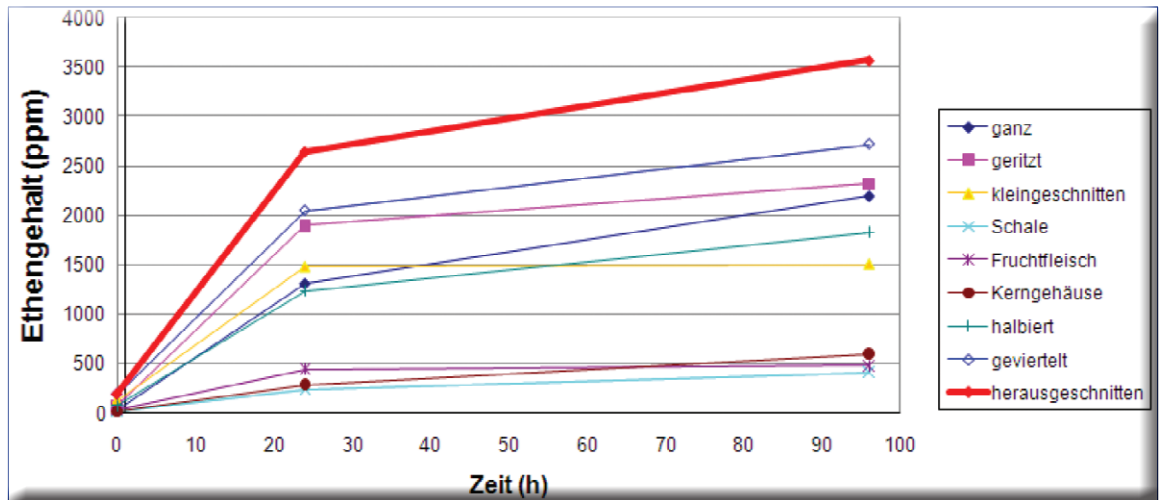


Abbildung 12: Vereinfachtes Modell zur Beschreibung der Transportkapazität der Blütenstandsachse für Auxin (verändert nach Bangerth, 2000 und Ongaro & Leyser, 2008) [20].

Abbildung 13:
Verschieden verletzte Äpfel (von links nach rechts: Nr.1-8 (siehe Tabelle) Apfel Nr. 9 fehlt auf dem Foto.



Abbildung 14:
Ethengehalt bei den unterschiedlichen "Verletzungsarten".



und die Veränderungen während der Reifung gut nachvollziehbar sind, erschien sie mir für die Untersuchung am besten geeignet. Durch die Farbveränderung und die Festigkeitsänderung des Fruchtfleisches (Pulpe) lässt sich die Reifung und damit die Wirkung des Ethens wesentlich besser beobachten als bei anderem Obst wie z.B. einer Kiwifrucht, die zur Kontrolle des Reifungsgrades aufgeschnitten werden müsste.

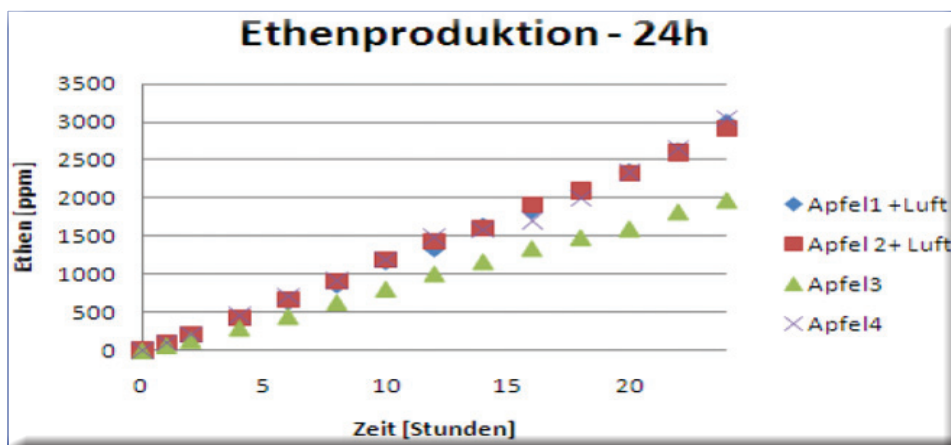
Ethenproduktion des Apfels

Unter welchen Umständen entwickelt der Boskoop am meisten Ethen?

Um die Allelopathie des Apfels auf anderes Obst möglichst genau untersuchen zu können, brauche ich einen Apfel, der möglichst viel Ethen produziert. Von Vorversuchen und vorheriger Recherche wusste ich bereits, dass Äpfel der Sorte Boskoop am meisten Ethen zu produzieren scheinen. Nun suchte ich eine Methode, mit der ich den Boskoopapfel so beeinflussen kann, dass er so viel Ethen wie möglich aussendet.

Schon Anja hatte in ihrer Arbeit [1] herausgefunden bzw. bestätigt, dass gestresste Äpfel, also solche, die verletzt oder anderweitig beansprucht werden, mehr Ethen abgeben. Da es aber viele Arten gibt, einen Apfel zu verletzen, erschien es mir sinnvoll, die beste Art herauszufinden, die den Apfel am meisten Ethen abgeben lässt. Hierzu bereitete ich Einmachgläser vor, die jeweils unterschiedlich verletzte Äpfel bzw. unterschiedliche Teile des Apfels aufnahmen (Abbildung 13).

Abbildung 15:
Ethenproduktion – 24 h.



Am meisten Ethen ließ sich bei dem Apfel nachweisen, bei dem zwei kleine Stückchen (in etwa ein Sechzehntel der Größe) parallel aus dem Apfel herausgeschnitten wurden (im Diagramm rot herausgehoben) (Abbildung 14). Dies könnte man eventuell dadurch erklären, dass auf diese Weise eine Oberfläche entsteht, die ungefähr so groß ist, als hätte man den Apfel halbiert, obwohl die Verletzung vergleichsweise gering ist. Diese Kenntnis habe ich für meine weiteren Experimente genutzt und die Äpfel immer auf diese Art und Weise eingeschnitten. Die herausgeschnittenen Apfelstücke habe ich einfach in die jeweiligen Tüten dazu gelegt.

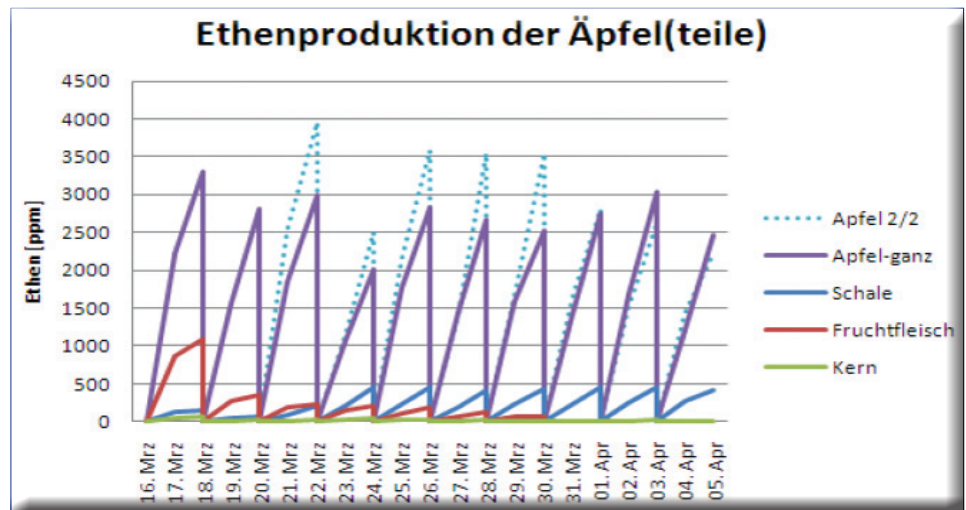


Abbildung 16: Ethenproduktion der Äpfel(teile).

- das Fruchtfleisch abnehmend etwa 15 Tage lang,
 - das Kerngehäuse abnehmend etwa 17 Tage,
 - die Schalen produzieren weiter.
- Ein Ende ist bis zum Wettbewerb wohl nicht abzusehen.

Wo und wie lange wird Ethen produziert?

Mehrere Äpfel wurden in präparierte Einmachgläser gegeben. Einige davon wurden, um "natürliche Zustände" zu simulieren, alle 4 Stunden belüftet: Die Ethenproduktion ist halbwegs linear und beträgt bei den Boskoop-Testäpfeln etwa 90-120 ppm pro Stunde (Abbildung 15). Der Unterschied der einzelnen Äpfel ist wichtiger als das „Lüften“.

Weitere Äpfel wurden aufgeteilt in Schale, Fruchtfleisch und Kerngehäuse und die einzelnen Portionen jeweils in präparierte Einmachgläser gefüllt. Zusätzlich wurden als Vergleich 2 halbierte und 2 ganze Äpfel ebenfalls in die Gläser gefüllt. Der Ethengehalt wurde täglich gemessen. An jeden zweiten Tag wurde das Ethen vollständig entfernt (daher die Sägezahnkurve). Aufgetragen sind Mittelwerte. Man erkennt deutlich, dass das Fruchtfleisch im Laufe der Zeit immer weniger Ethen an die Umgebung abgibt – während die Schale nach anfänglichem Schwächeln etwa gleich viel Ethen produziert (Abbildung 16). Leider entstand bei den halbierten Äpfeln nach 10 Tagen Schimmel, deshalb ist danach die Ethenproduktion geringer.

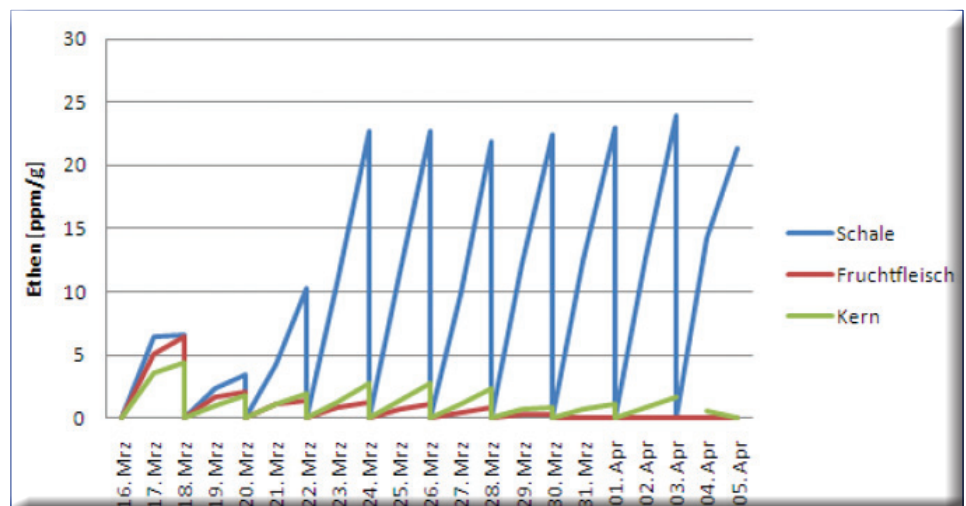
Trägt man auf, wie viel Ethen pro Gramm Substanz produziert wird, so wird noch deutlicher, dass in der Schale der relativ größte Teil des Ethen entsteht (Abbildung 17). Es wäre aber auch eine Korrelation mit der Oberfläche denkbar.

Ein aufgeschnittener Apfel bzw. seine Teile produzieren weiterhin Ethen:

Reifen von Bananen – ein einziger Wettlauf mit der Zeit

Um mehr über die Bananen herauszufinden, informierte ich mich zunächst über deren Reifung [22,23]: Bananen, die wir hier kaufen können, kommen ausschließlich aus Mittel- und Südamerika und werden grün geerntet. Die Zeit vom Pflücken bis zum Verzehr der gegen Schädlingsbefall und mechanische Belastung sehr empfindlichen Früchte durch den Verbraucher ist auf ca. 40 Tage beschränkt: Sonst werden sie unansehnlich, haben einen mehligem Geschmack und sind nicht mehr an die Frau/den Mann zu bringen. Ein Telefonat mit dem Reifemeister [24] der Fa. vanWylick brachte mir genauere Auskunft über Lagerbedingungen, Transport und Reifung.

Abbildung 17: Ethenproduktion auf die Masse bezogen.



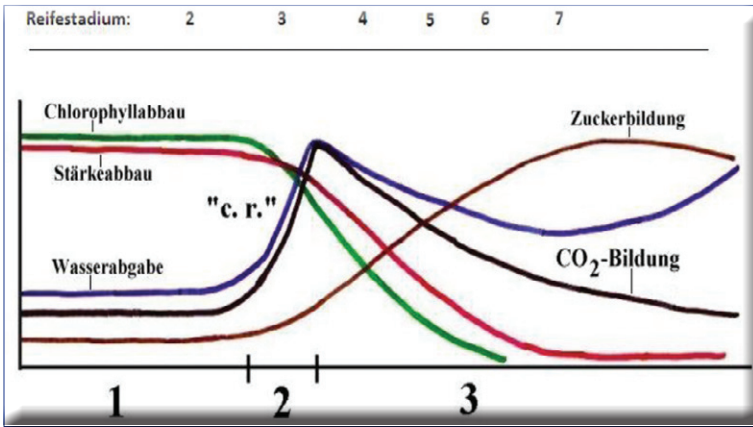


Abbildung 18: Reifephasen: 1= Vorklimakterium, 2= Klimakterium, 3=Postklimakterium.

- Nach Pflücken dauern Transport, Aufarbeiten und Verladen auf ein Schiff (bis zu 530 000 Kartons) ca. 3 Tage. „Biobananen“ unterscheiden sich – außer dass sie nur natürlich gedüngt werden – nur dadurch, dass die Schnittstellen beim Waschen nicht mit Chemie sondern mit Zitronensäure behandelt werden. Sie sind also anfälliger gegen Pilzbefall.
- Je nach Herkunftsland dauert der Transport über das Meer 14-17 Tage. In den Kühlschiffen (Temperatur der Pulpa (Fruchtfleisch): exakt 13,2°C) werden die Bananen in evakuierten Kammern oder in modernen CA-Schiffen („Controlled Atmosphere“) in besonderer „Luft“ (nur 0,3 % Sauerstoff) transportiert. Dadurch werden die Bananen in eine Art „Tiefschlaf“ versetzt.
- Das Löschen der Ladung im Fruchtterminal und der Transport (z.B. Rotterdam-Dortmund) nimmt nochmals 3 Tage in Anspruch.
- In der eigentlichen „Bananenreiferei“ hat man jetzt nur noch 14-17 Tage Zeit, die Banane verkaufsreif zu machen. Die dafür benötigte Zeit beträgt bei „Schnellreife“ 4 Tage, bei „normaler“ Reife 8 Tage. Dieser Spielraum ist sehr klein, so dass man sich auf Erfahrungswerte aus dem Bananenverkauf der Vorjahre und sein Gefühl verlassen muss.

Die Bananen werden in einer der vielen Reifekammern gelagert. In jeder kann ein anderes „Reifeklima“ (Temperatur, Sauerstoffgehalt, Kohlendioxidgehalt) eingestellt werden. Bei einer Temperatur zwischen 14,5-18,0 °C reifen die Bananen, werden dabei mindestens 2 mal täglich vom Bananenreifemeister auf Reifegrad und Temperatur überprüft und permanent elektronisch überwacht. Obwohl die Bananen das Reifegas Ethen selbst produzieren können, wird hier der natürliche Reifeprozess gezielt in Gang gesetzt. Die Dosis beträgt etwa 600-800 ppm etwa 24 Stunden lang. Sobald der Reifeprozess in Gang gesetzt ist, produzieren die Bananen selbst Ethen. In einer Kammer werden so die Bananen gleichzeitig reif. Ungleichmäßig reife Bananen würden den Kundenanforderungen nicht genügen. Während dieses Reifeprozesses wird Stärke in Zucker umgewandelt.

Es gibt – ähnlich wie beim Apfel – 3 Phasen (Abbildung 18):

- Im *Vorklimakterium* wird die Banane geerntet und während des Transports möglichst darin gehalten. Die Frucht ist grün und hart und ungenießbar. Sie hat einen herben, sauren Geschmack (hohe Stärke-, Pektin-, Säure und Gerbstoffgehalt). Es finden nur wenig der Stoffwechselfunktionen wie Stärkeabbau und Atmung statt.
- Das *Klimakterium* wird durch eine erhöhte Ethenproduktion begonnen, welche natürlich abläuft oder künstlich in der Reiferei beginnt. Das Klimakterium zeichnet sich durch einen starken Anstieg der Zuckerbildung und Atmung aus. Die Banane wird gelb (Chlorophyllabbau), weich und die Atmung und damit die CO₂ Bildung erreicht das Maximum (auch c.r. = climatic rise genannt).
- Im *Postklimakterium* wird die Frucht überreif: Das Fruchtfleisch wird mehlig und teigig, die Frucht wird immer ungenießbarer und das Risiko von Schimmelbefall wird größer. Die ein-

2	3	4	5	6	7
hellgrün	mehr grün als gelb	mehr gelb als grün	gelb mit grünen Spitzen	vollgelb	volles Gelb mit Zuckerflecken
- Der Reifeprozess hat eingesetzt	- Bei hohen Temperaturen, üblicher Zeitpunkt der Auslieferung an den Einzelhandel	- Zeitpunkt der Auslieferung an den Einzelhandel	- Bestes Reifestadium zum Verkauf an den Verbraucher	- Optimaler Geschmack zum Verzehr	- Sofortiger Verzehr empfohlen

Abbildung 19: Farbtabelle zur Bestimmung der Reifestadien der Bananen [25].

zelenen Stadien kann man an der Färbung der Schale erkennen (Abbildung 19).

Wie wirkt das Ethen auf die Bananen?

Vorversuche

Für eine hier nicht weiter ausgeführte Versuchsserie kaufte ich unterschiedliche Bananen (meist grüne) und schweißte sie sowohl mit als auch ohne Apfel in einen Gefrierbeutel ein. Diese legte ich auf die Küchenanrichte und beobachtete sie mehrere Tage. Zu meiner Verwunderung wurden die Bananen, die neben einem Apfel in der Tüte eingeschweißt waren, ebenso früh gelb bzw. braun, wie die ohne Apfel eingeschweißten Bananen. Ist also die Theorie, dass ein neben einer Banane liegender Apfel diese eher zur Reife bringt, falsch?

Versuchsreihe mit unbegasten Bananen

Es schien mir sinnvoll, das Ergebnis dieses Vorversuches genauer zu untersuchen. Um sicher zu sein, dass ich den Reifeprozess der Bananen von Beginn an beobachte und den Versuch nicht in einem Zwischenstadium beginne, bemühte ich mich um Bananen, die noch unbegast in einer Bananenreiferei lagerten. Freundlicherweise stellte mir Herr Möllers von der Firma Strotmann, die auch Edeka beliefern, einen Karton unbegaster Bananen kostenlos zur Verfügung, ebenso eine Palette mit Boskoopäpfeln. Zur ersten Versuchsreihe hatte ich mir 12 Elemente überlegt. Bei den ersten sieben wurde das Obst jeweils in einen Gefrierbeutel mit präpariertem Entnahmeventil gelegt und verschweißt. Die weiteren Experimente wurden in speziellen Behältnissen ebenfalls mit präpariertem Entnahmeventil durchgeführt (Abbildung 20).

Die unbehandelte Banane in Gefrierbeutel Nummer 5 erreichte die Verkaufsreife nach 16 Tagen und das Ende der Verzehrreife nach 20 Tagen. Diese Werte habe ich auf alle anderen Bananen bezogen, um die Reifung genauer beurteilen zu können. Die meisten der Ergebnisse entsprachen meinen Erwartungen. Einige Beobachtungen aber waren überraschend:

- Die Tüte mit dem normalen Boskoopapfel dient als Bezug für die Ethenmessungen.
- In der Tüte mit dem angeschnittenen Apfel konnte ich, wie es zu erwarten war, einen höheren Ethengehalt als bei dem nicht angeschnittenen Apfel messen.
- Eine Banane und ein unbehandelter Apfel in der Tüte. Vergleich zum Standard: Kaufreife: 7/16 und Ende der Verzehrreife: 17/20.



- Die Banane mit dem angeschnittenen Apfel in der Tüte erreicht deutlich schneller die Kaufreife als die Banane in Gefrierbeutel 3. Das Anschneiden scheint gewirkt zu haben. Der höhere Ethengehalt konnte auch nachgewiesen werden und bewirkte eine schnelle Reifung bis zum Stadium 6. Vergleich zum Standard: Kaufreife: 4/16 und Ende der Verzehrreife: 15/20.
- Unbehandelte Banane in der Tüte: Sie war immer die Grünste. Erst spät konnte man etwas Ethen messen. Standard: Kaufreife: 16/16 und Ende der Verzehrreife: 20/20.
- Die Banane in der Tüte mit dem zugesetzten Ethen verhielt sich ähnlich wie die unbehandelte Banane. Hier war besonders erstaunlich, dass der Ethengehalt der Tüte mit der einzelnen Banane ständig sank, obwohl ich mehrfach Ethen nachgespritzt habe. Das haben wir später noch genauer untersucht und festgestellt, dass die Tüten ethendurchlässig sind (siehe Abschnitt *Versuchsreihe zur Ethenkonzentration und -durchlässigkeit der Tüten*). Vergleich zum Standard: Kaufreife: 14/16 und Ende der Verzehrreife: 20/20.
- Der Ethenabsorber in der Tüte funktionierte recht gut. Die Banane blieb sehr lange frisch und ist weniger schnell gereift als die Banane in der Tüte mit einem angeschnittenen Apfel, in die kein Ethenabsorber gelegt worden war. Die „Wpro – die Frische-Box“ soll bis zu 97% des Ethylen Gases aufnehmen, das das Obst abgibt [26] (Abbildung 21). Dies scheint zu stimmen! Bei dem Öffnen des Absorbers kam ein kleines Tütchen zum Vorschein, in welchem sich kleine Körnchen befanden. Als ich diese in ein Wasserglas schüttete, färbte sich das Wasser violett. Dies bestätigt die Angabe der Hersteller, dass die Wirkung des Absorbers auf Kaliumpermanganat zurückzuführen ist. Ver-

Abbildung 20: Versuchsreihe mit unbegasten Bananen.

Abbildung 21: Wpro – die Frische-Box.

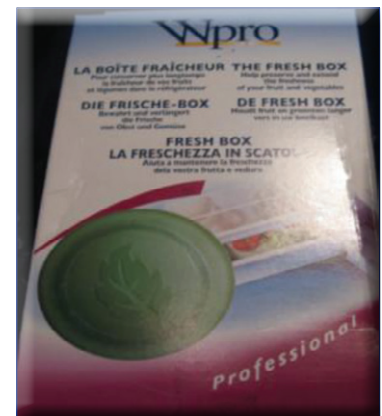




Abbildung 22: WS Always Fresh Box & BAG.

gleich zum Standard: Kaufreife: 12/16 und Ende der Verzehrrife: 20/20.

- Die Banane in dem grünen WS always fresh bag wurde schon kurz nach Beginn der Versuchsreihe eine der gelbsten und gehörte zu den ersten Bananen, die braun wurden. Vergleich zum Standard: Kaufreife: 4/16 und Ende der Verzehrrife: 13/20. „WS Always Fresh Box & BAG“: Einige Firmen scheinen mit den „Reifeverlangsamern“ fälschlicherweise Geld verdienen zu wollen: Sie werben für eine Aufbewahrungsbox, die Obst länger frisch hält. Die Boxen und Tüten sollen dank spezieller Nanotechnologie Ethen „absorbieren und neutralisieren“ und so den Reifeprozess verlangsamen und das Gemüse und Obst länger frisch halten [27] (Abbildung 22). Trotzdem halten die boxen bags nicht, was ihre Produktbeschreibung verspricht. Auch im Internet beklagten sich enttäuschte Kunden über das Produkt. Zudem beeinflusst die grüne Farbe der Frischhalteboxen und -tüten unbewusst die Farbwahrnehmung.
- Auch die Banane in der ersten WS always fresh box wurde schneller reif als die vergleichbaren in der Gefriertüte. Vergleich zum Standard: Kaufreife 4/16 und Ende der Verzehrrife: 14/20.
- Die Banane in der zweiten WS always fresh box wurde ebenfalls vergleichsweise schnell reif. Hier bildete sich Kondenswasser an der Folie, was ein Beobachten der Banane erschwerte.

Abbildung 23: Exemplare einer neuen Versuchsreihe.



Vergleich zum Standard: Kaufreife 4/16 und Ende der Verzehrrife: 14/20.

- Sehr erstaunlich war die geringe Reifung der Banane in der offenen Schüssel. Sie gehörte sogar zu den Bananen, die als letzte braun wurden. Diese Beobachtungen widersprechen sämtlichen Tipps und der biologischen Theorie der Allelopathie. Vergleich zum Standard: Kaufreife: 14/16 und Ende der Verzehrrife: 18/20.
- Die in der Butterbrottdose liegende Banane zeigt ein ähnliches Verhalten wie die Bananen in den freshboxen (8 und 9). Vergleich zum Standard: Kaufreife: 4/16 und Ende der Verzehrrife: 15/20.

Einschränkung: Die Bananen in den Gefrierbeuteln 5, 6 und 7 mussten vorzeitig am 20. Tag entsorgt werden, da sie anfangen, Schimmel auszubilden. Alle 3 hatten noch nicht den Reifegrad 7 erreicht, die drei können deshalb nur eingeschränkt miteinander verglichen werden.

Resümee: Ethen scheint die Reifung von unbegasteten Bananen zu beschleunigen, und wenn ein (angeschnittener) Apfel mehr Ethen produziert, dann erfolgt die Reifung schneller. Ich beschloss außerdem, nur noch Parallelversuche zu machen.

Versuchsreihe zur Ethenkonzentration und -durchlässigkeit der Tüten

Ich wollte nun herausfinden, warum in der Versuchsreihe mit den unbegasteten Bananen der Ethengehalt immer stark abnahm (Probe 6). Mir kam die Idee, dass Gefrierbeutel für Ethen vielleicht durchlässig sein könnten. Außerdem wollte ich überprüfen, ob Äpfel so viel Ethen aussenden, dass der Ethengehalt in den Tüten konstant bleibt oder sogar steigt. Deshalb begann ich eine neue Versuchsreihe (Abbildung 23):

1+2. Präparierte Gefrierbeutel zur Aufnahme von ca. 300 mL ethenhaltiger Luft

3+4. Gefrierbeutel mit Banane und Apfel, zwei kleine Stücke herausgeschnitten

5+6. Gefrierbeutel mit Banane zur einmaligen Ethenzugabe etwa 1000 ppm

7+8. Gefrierbeutel mit Banane zur mehrmaligen „apfelähnlichen“ Ethenzugabe. Es sollten damit etwa 300 ppm enthalten sein.

9. Banane in einer sogenannten Biobox der Fa. Vernier [28]. In einer nicht ganz luftdicht verschlossenen Schüssel lagern Apfel und Banane. Der Kohlendioxid- und Sauerstoffgehalt in der Schüssel wurden mit dem AK Analytik32net [29] Programm laufend aufgezeichnet.

Ergebnis: Bei den Tüten 1 und 2 ließ sich leider sehr schnell feststellen, dass die Gefrierbeutel überhaupt nicht Ethendicht sind. Meine Messergebnisse haben die Form einer e-Funktion (Abbildung 24). Auch durch Nachforschung im Internet bin ich auf Listen gestoßen, in denen

die Durchlässigkeit der jeweiligen Tüten für unterschiedliche Gase notiert ist [16].

Einschränkung: Leider wurden die meisten Bananen aber vom Stiel her schon braun und faulig, obwohl sie sonst noch recht grün waren. Eine Ursache könnte sein, dass ich die einzelnen Bananenfinger zu fest von dem Büschel abgerissen und dadurch die Schale von oben etwas beschädigt habe. Durch den Riss sind eventuell Schimmelpilze in die Banane gelangt und konnten sich ausbreiten [30]. Die Banane in der Biobox wurde wahrscheinlich wegen des größeren Luftvolumens von 2 L recht schnell gelb. Hier wollte ich mal den Sauerstoff und Kohlendioxidgehalt elektronisch erfassen, jedoch schienen die Werte mehr von der Temperatur abzuhängen. Wegen des Befalls hielt ich weitere Ethen-Messungen nicht mehr für sinnvoll und brach die Untersuchung ab.

Wirkt sich die Ethendurchlässigkeit der Tüten auf die Bananen aus?

Da ich durch den vorherigen Versuch herausgefunden habe, dass die Gefrierbeutel relativ viel Ethen durchlassen, musste ich nun noch prüfen, wie stark sich die Ethendurchlässigkeit auf die sich in den Tüten befindenden Äpfel und Bananen auswirkt.

Ergebnisse:

1 + 2 Grüne, unbegaste, in Gefrierbeutel eingeschweißte Bananen blieben erwartungsgemäß sehr lange grün (Reifestadium 2).

3 + 4 Grüne, unbegaste, eingeschweißte Bananen mit einem Apfel noch mal zusätzlich eingeschweißt, blieben genauso lange grün wie die Bananen in den ersten beiden Proben (Reifestadium 2).

5 + 6 Bananen in den Tüten, in denen die Banane zusammen mit dem Apfel lag, sind eindeutig schneller gelb geworden. Sie hatten schon das Reifestadium 6 erreicht, als die anderen gerade anfangen, etwas gelber zu werden (Abbildung 25).

Aus diesem Versuch geht hervor, dass die Tüten für Ethen zwar durchlässig sind, aber dass die Ethenmenge offensichtlich die Bananenreife nicht beeinflusst. Evtl. sorgt die Bewegung der Außenluft dafür, dass das Ethen stärker aus der Tüte heraus diffundiert und dann leicht von der Luft wegtransportiert wird.

Versuchsreihen mit schon begasten Bananen

Lagerung in Beuteln und Schalen (Vorversuchsreihe)

Es hatte mich stutzig gemacht, dass im Versuch mit unbegasten Bananen die Banane in der Schüssel 11 entgegen der in der Einleitung erwähnten These kaum durch den angeschnittenen Apfel be-

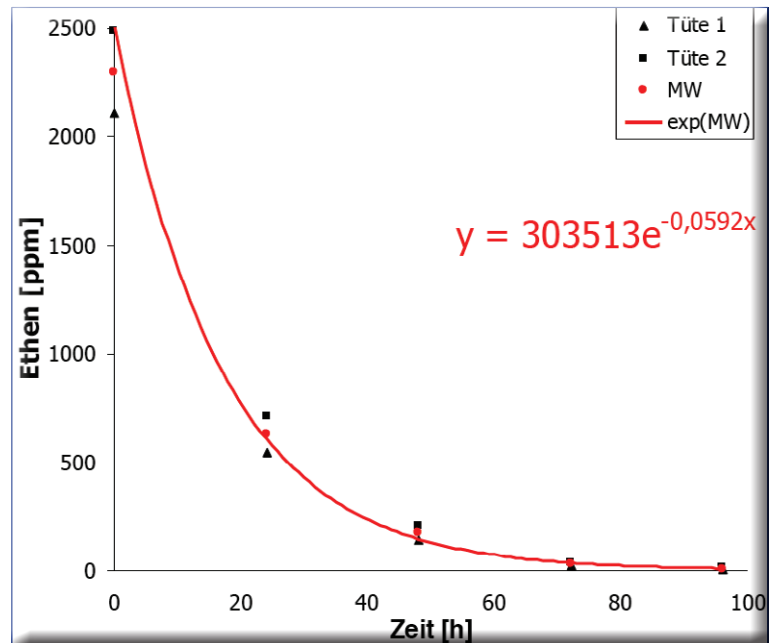


Abbildung 24: Messergebnisse in Form einer e-Funktion.

einflusst wurde. Die Alltagsweisheit kann ja nur widerlegt bzw. bestätigt werden, wenn man vorgereifte Bananen benutzt, weil im Geschäft nur vorgereifte Bananen angeboten werden. Daher kaufte ich normale, begaste Bananen, wie man sie in Geschäften findet. Mit diesen machte ich drei Parallelversuche, um zufällige Einzelergebnisse zu vermeiden. So erreichte ich eine größere Bandbreite und aussagekräftigere Ergebnisse.

In sieben Geschäften meiner Umgebung habe ich die jeweils grünsten Bananen, die im Angebot waren, gekauft. Insgesamt hatte ich 8 unterschiedliche Bananensorten: „normale“ Bananen von Aldi, Rewe, Klaas+Kock (K+K), Wiewel, Hit und Lidl, Biobananen von Aldi und Schulze-Schleppinghoff, Warendorf. Von jedem Geschäft konnte ich also die Entwicklung von insgesamt 9 Bananen beobachten:



Abbildung 25: Erste Bananen mit Reifestadium 6.



Abbildung 26: Versuchsreihe mit schon begasten Bananen von links nach rechts: Bananen von Aldi, Biobananen von Aldi, Rewe, Hit, K+K, Lidl, Wievel, Bioladen Schlepplinghoff.

Bei der S-Serie lagen je 3 Bananen jedes Geschäftes mit Boskoopäpfeln in einer offenen Schüssel.

Bei der – Serie habe ich die drei Bananen einzeln in Gefrierbeutel eingeschweißt.

Bei der A-Serie wurden drei Bananen mit jeweils einem Apfel zusammen eingeschweißt (Abbildung 26).

Da die Messungen des Ethengehalts bei der Anzahl der Versuche zu zeitaufwendig gewesen wären, wurde nur die Reifekategorie jeder Banane optisch bestimmt. Zur Bestimmung verwendete ich die übliche Bananen-Reifetabelle (Abbildung 19). Jeden Tag wurden die Tagesbeobachtungen in eine neue Liste eingetragen. So wurde ich von den Einschätzungen am Vortag nicht beeinflusst. Dennoch gestaltete sich eine genaue Einordnung jeder einzelnen Banane oft schwer, da jede Banane individuell reift und sich nicht immer gut in eine Reifekategorie einordnen lässt. So gab es zum Beispiel Bananen, die an den Enden noch sehr grün waren (Reifestadium 5), aber schon anfangen, Zuckerflecken auszubilden (Reifestadium 7). Daher habe ich die Reifetabelle verfeinert, indem ich jeweils „Übergangsreifegrade“ eingeführt habe. (2,5; 3,5; 4,5 etc.) Auch habe ich die Reifegrade 7,5 und 8 eingeführt, was mir ermöglichte die Ba-

nanen noch länger zu beobachten und auch am Schluss noch möglichst differenziert unterscheiden zu können. Den Reifegrad 8 habe ich Bananen zugeordnet, die mehr braun als gelb, bzw. fast durchgehend braun waren. Die Ergebnisse sind der Übersicht halber mit denen späterer Serien in der Abbildung 29 dargestellt.

Ergebnisse: Ob man eine Banane mit einem Apfel in eine Tüte einschweißt oder sie solo einschweißt, hat fast keinen Einfluss auf die Zeit bis zur Kaufreife und auch nicht bis zum Ende der Verzehrrife. Liegt aber die Banane dicht neben dem Apfel in der offenen Obstschale, reift die Banane eindeutig schneller als in dem Gefrierbeutel.

Einschränkung: Die Bananen eines Geschäftes sind zum Teil überhaupt nicht reif geworden. Sie waren vermutlich kurzzeitig unterkühlt gelagert, denn sie wiesen die „Chilling“ genannten Kaltlagerschäden [31] auf, die Bananen meist gräulich aussehen lassen. Die Reifekategorien von diesen Bananen festzulegen gestaltete sich daher als besonders schwierig bzw. in manchen Fällen sogar als unmöglich.

Die Gefrierbeutel sind zwar durchlässig für Ethen aber durch meine Experimente zur Ethen-durchlässigkeit der Tüten kann ich ausschließen, dass die einzelnen Bananen in den Gefrierbeuteln von dem Ethen der Äpfel aus den anderen Gefrierbeuteln beeinflusst werden. Dass Bananen in offenen Schüsseln schneller reifen als eingeschweißt, könnte also daher kommen, dass Ethen zwar den Reifeprozess auslöst, die Bananen und Äpfel in den Tüten aber weitere Stoffe wie z.B. genug Sauerstoff brauchen, um reifen zu können. So kann man sich auch erklären, dass zwischen den einzeln eingeschweißten und den mit einem Apfel zusammen eingeschweißten Bananen kein Unterschied erkennbar ist (Abbildung 27).



Abbildung 27: Bananen in den offenen Schüsseln reifen viel schneller.

Serie 1: Bananen in offenen Schalen

Bei den obigen Versuchsreihen war ich so überrascht, dass der Apfel mit der Banane in der Schüssel so viel schneller reift, sodass ich über-



Abbildung 28: Bananen in Schüsseln (vl. n.r.: Aldi, Aldibio, Hit, Rewe, Wiewel, Foto links) sowie Bananen mit Äpfel in Schüsseln (Foto rechts, vl. n.r.: Aldi, Aldibio, Hit, Rewe, Wiewel).

prüfen musste, ob die Banane mit dem Apfel an der Luft schneller reif wird als alleine. Die Hausfrauenweisheit sagt, dass die Bananen die Äpfel „riechen“ können. Ich begann mit einer neuen Serie mit Bananen von folgenden fünf Geschäften: Wiewel, Aldi, AldiBio, Hit und Rewe.

Die einzelnen Bananen wurden jeweils in eine Schüssel gelegt, nicht wie zuvor in Tüten. Auch wurden wie in der letzten Versuchsreihe drei Bananen eines jeden Geschäftes jeweils zusammen mit einem Apfel in eine Schüssel gelegt. Die Schüsseln mit den Äpfeln wurden, um eine Beeinflussung der Bananen zu vermeiden, weit entfernt von den Schüsseln, die nur Bananen enthielten, aufgestellt (nur die Fotos erwecken den Eindruck, als ständen die blauen Schüsseln neben den weißen) (Abbildung 28).

Ergebnisse: Nach einem Tag konnte man einen geringen Unterschied erkennen. Die Kaufreife haben die Bananen in den Schalen mit den Äpfeln schneller erreicht, sie waren meistens fast ein Reifestadium weiter. Dann haben die Bananen ohne Äpfel jedoch aufgeholt, und es war am Ende kein Unterschied mehr zu erkennen. Sowohl die Bananen mit den Äpfeln, als auch die einzelnen Bananen haben etwa zum selben Zeitpunkt das Ende der Verzehrrife erreicht. Die Hausfrauenweisheit hat sich zwar insofern bewahrheitet, als dass die Bananen, die neben Äpfeln liegen, manchmal anfänglich schneller reif werden. Für den üblichen Verzehr der Banane im Stadium 6 oder 7 ist dies für den normalen Haushalt aber eigentlich irrelevant!

Einschränkung: Auch bei dieser Versuchsreihe traten leider wieder „Chilling“-Schäden auf, die die Kategorisierung in die verschiedenen Reifestadien leider stark erschwert und damit die Bananen von zwei Geschäften fast unbrauchbar machten.

Serie 2: Bananen in offenen Schalen

Diesen Versuch habe ich zweimal wiederholt, um meine Ergebnisse zu untermauern. Bei dem einen Mal habe ich die Schüsseln in einer unter-

schiedlichen Umgebung aufgestellt. Die Umgebungstemperatur bei uns zuhause war drei bis vier Grad niedriger als bei Herrn Dr. Kappenberg.

Die Versuchsergebnisse sind ebenfalls in Abbildung 29 dargestellt (siehe nächste Seite). Die Reife aller Bananen dauerte erwartungsgemäß etwas länger, also unter anderen Versuchsbedingungen als die zwei vorherigen. Trotzdem jedoch scheint ein neben der Banane liegender Apfel die Reifung der Banane nicht zu beeinflussen.

Serie 3: Bananen in offenen Schalen

Hier habe ich zusätzlich darauf geachtet, dass der Apfel die Banane berührt. Ich habe außerdem einen weiteren Versuch gemacht, bei dem ich die Situation in der Obstschale noch besser nachgestellt habe. Ich habe mehrere Bananen in hohe Gefäße gestellt und so den direkten Kontakt von Apfel und Banane erzwungen, da die Äpfel auf den Bananen liegen mussten. Auch hier kann man beim direkten Vergleich zu den einzelnen Bananen keine beschleunigte Reifung feststellen.

Fazit

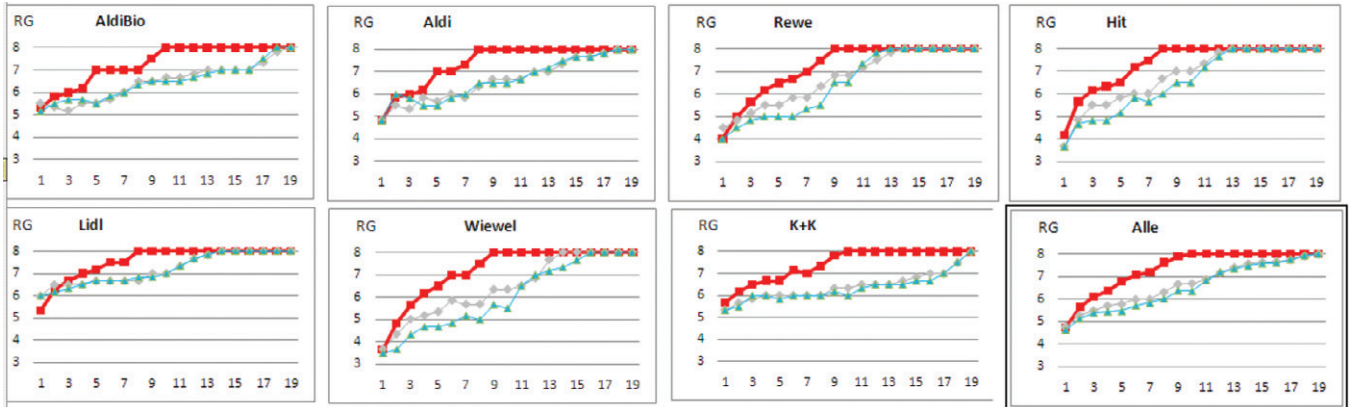
Wenn Bananen mit Äpfeln kuscheln, werden sie vielleicht etwas schneller „erwachsen“ (Kaufreife), aber sie „sterben“ nicht früher (Ende des Verzehrrife). Allerdings hat jede Banane ihr eigenes „Liebesleben“. Dass die Hausfrauenweisheit nur eine Sage ist, scheinen auch Händler zu wissen, wie das Foto aus einem Supermarkt zeigt (Abbildung 30; siehe übernächste Seite).

Ausblick

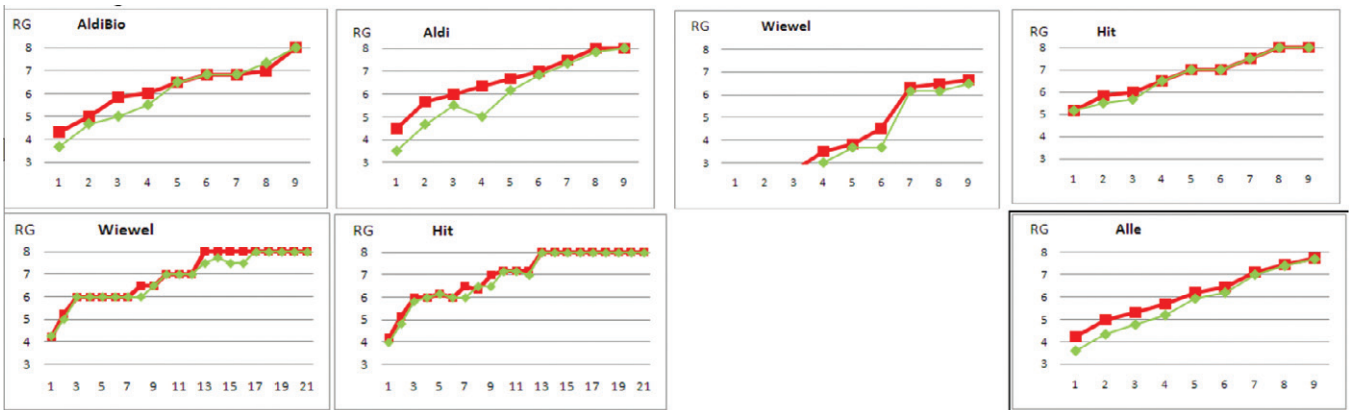
In der Zukunft möchte ich die Verlängerung der Lagerfähigkeit von Bananen untersuchen (optimale Lagerbedingungen, zum Beispiel Temperatur). Außerdem möchte ich die unterschiedlichen Möglichkeiten, die im Obstbau benutzt werden, um Lagerung und Reifung von Äpfeln zu beeinflussen, im nächsten Jahr an dem Boskoopbaum selber ausprobieren (MCP, Auxine, Ethephon).

Abbildung 29: Reifegrad RG in Abhängigkeit von der Zeit (Tage).

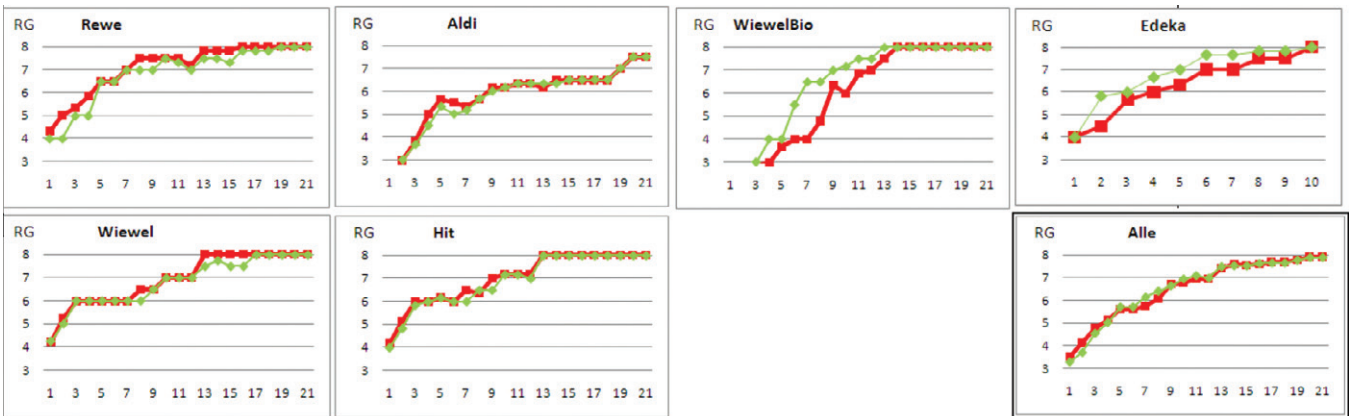
Vorversuchsreihe Beginn: 28.12.10 rot – Apfel und Banane in Schale, grau – A+B in Tüte, blau – nur B in Tüte.



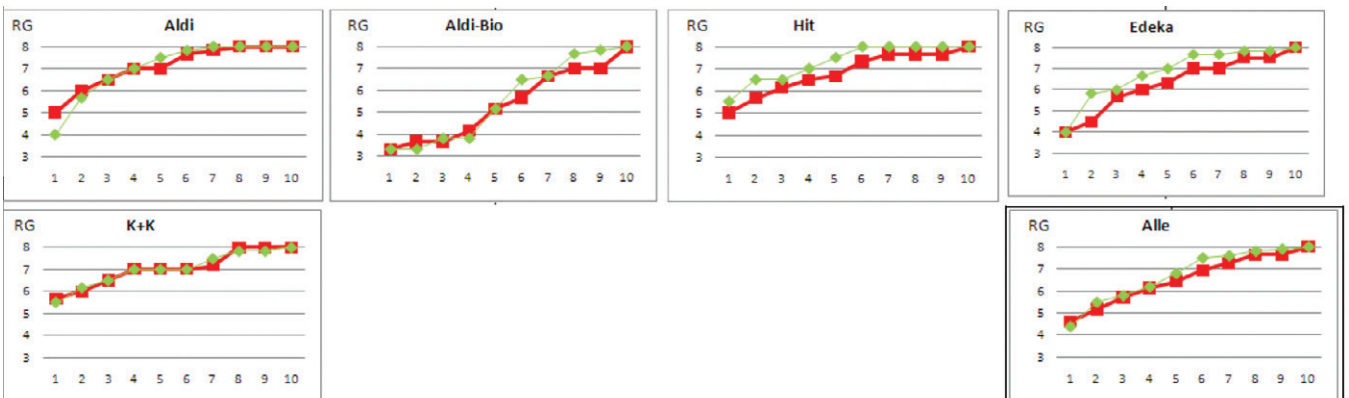
Serie 1 Beginn: 07.01.11, grün – nur Banane in Schale.



Serie 2 Beginn: 11.03.11 Ort: Decker (etwa 3-4°C kühler als bei Kappenberg).



Serie 3 Beginn: 20.03.11.



Danksagung

Der größte Dank gilt Dr. Franz Kappenberg, der mich bei der Durchführung des Projektes unermüdlich mit Rat und Tat unterstützt hat. Ohne seine Hilfe hätte ich diese Arbeit nicht machen können.

Weiterhin möchte ich mich sehr herzlich bei Familie Ahlmann bedanken, die mir erlaubte einen ihrer Boskoopapfelbäume für meine Untersuchung zu nutzen. Außerdem haben sie mir sehr beim Bau des Zaunes geholfen.

Herrn Rieke (Inhaber der Firma Rieke GmbH, Glas u. Spiegel, Münster) gilt ebenfalls mein Dank, denn er hat schnell und kostenlos die Deckel der Einmachgläser mit Löchern versehen. Frau Müller von der Landwirtschaftskammer NRW, Münster (Gartenbauschule Wolbeck), hat mir freundlicherweise eine Reifeprüfung an einigen Äpfeln des Boskoopbaumes vorgeführt. Herrn Herbert Voigt, dem technischen Leiter des botanischen Gartens, danke ich, dass er mir erläutert hat, wie schwierig Feldversuche sind.

Bei Herrn Gerhard Baab vom DLR Rheinpfalz, Kompetenzzentrum Gartenbau und Frau Ines Kubigsteltig möchte ich für fachliche Hinweise und Verbesserungsvorschläge sehr herzlich bedanken. Mein weiter Dank gilt Herrn Möllers von der Firma Strotmann, der mir kostenlos eine Palette von Boskoopäpfeln und ein Paket voll unbegaster Bananen zur Verfügung gestellt hat. Der Reifemeister der Firma van Wylick hat mir mit vielen Informationen und Angaben sehr geholfen.

Besonderer Dank gilt außerdem meinem Vater, der mich tagelang zu dem Boskoopbaum gefahren hat und mich beim Protokollieren stark unterstützt hat.

Literatur

- [1] Jugend- Forscht Arbeit von Anja Kofeoth, 2007
- [2] <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d31/31g.htm>
- [3] Lexikon der Biochemie und Molekularbiologie, Herder (1991) am 03.07.2010
- [4] Lindner Biologie, Metzler Verlag, 18. Auflage
- [5] Lebensmittel-Lexikon Täufel, Ternes, Tunger, Zobel, Behr's Verlag, Hamburg, 1993
- [6] <http://www.obstbau-kompetenzzentrum.de/arbeitsbereiche/Lagerung/bestimmung-des-optimalen-erntetermins> am 11.11.2010
- [7] <http://www.swr.de/odyso/-/id=1046894/nid=1046894/did=2257846/15ts9uq/index.html> am 17.07.2010
- [8] Ranga Yogeshwar: Buch „Ach so!: Warum der Apfel vom Baum fällt und weitere Rätsel des Alltags“, November 2010; Fernsehsendung: Das Erste, „Wissen von 8 - Warum zum Beispiel fällt der Apfel vom Stamm?“ von und mit Ranga Yogeshwar - Sendung vom 19.10.2010
- [9] <http://www.geo.de/GEOlino/kreativ/55247.html> am 16.04.2011
- [10] <http://www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt97/scharnow/scharnow.htm> am 01.03.2010
- [11] Gerhard Friedrich (Hrsg.) Physiologie der Obstgehölze., Akademie-Verlag, Berlin 1978
- [12] http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/1318275_11_pcontent/index.html?druckansicht=ja am 22.02.2011
- [13] <http://www.tis-gdv.de/tis/tagungen/svt/svt97/scharnow/scharnow.htm> am 12.02.2011
- [14] http://www.agroscope.admin.ch/data/publikationen/wa_arb_99_pub_581_d.pdf am 10.02.2011
- [15] <http://www.kob-bavendorf.de/arbeitsbereiche/Lagerung/bestimmung-des-optimalen-erntetermins> am 10.02.2011
- [16] Dipl. Ing. Land.; Dipl. Geo. Herbert Voigt, Technischer Leiter des Botanischen Gartens in Münster
- [17] Gerhard Baab, DLR Rheinpfalz, Kompetenzzentrum Gartenbau, Rheinbach
- [18] [http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/0/432AF09480E1991EC1256F5600409A42?OpenDocument&Highlight=\(ETHEPHON\),\[VERÖFFENTLICHEN\]=JA](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/0/432AF09480E1991EC1256F5600409A42?OpenDocument&Highlight=(ETHEPHON),[VERÖFFENTLICHEN]=JA) am 10.04.2011
- [19] [http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/0/E8FB6AD250E62733C1256F580033738C?OpenDocument&Highlight=\(MCP,APFEL,GAS\),\[VERÖFFENTLICHEN\]=JA](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/0/E8FB6AD250E62733C1256F580033738C?OpenDocument&Highlight=(MCP,APFEL,GAS),[VERÖFFENTLICHEN]=JA) am 10.04.2011
- [20] aus: Wirkungsweise von Wachstumsregulatoren auf die Fruchtausdünnung, Christian Gosch, Karl Stich, Dieter Treutter aus <http://www.obstbauweinbau.info/archiv.php?s,1604/> vom 18.04.2011
- [21] E. Strasburger, Lehrbuch der Botanik für Hochschulen 33. Aufl., G. Fischer Verlag, Stuttgart 1991
- [22] <http://www.schwabfrucht.de/popups/wissenswertes.htm> am 04.11.2010
- [23] <http://www.natuerlich-online.ch/magazin/einzelansicht/artikel/01/03/2008/wo-die-bananen-reifen/> am 04.11.2010
- [24] Telefonat mit dem Reifemeister Peter van Wylick
- [25] Lewinski, Maren: „Eignung der instrumentellen Farbmessung zur Differenzierung und Dokumentation der fortschreiten den Bananenreifung“, Masterthesis, Hamburg, am 27.2.2009
- [26] <http://www.trinkwasserladen-shop.com/Wpro-Frische-Box-Professional-EGA006> am 03.12.2010
- [27] <http://www.amazon.de/TV-Das-Original-238-40-teilig/dp/B00438RN64> am 03.12.2010 <http://www.testberichte.de/t/produkt-meinung/ws-teleshop-tele-shopping-service-22559-1.html> am 24.11.2010
- [28] Vernier Systems
- [29] AK Analytik32net, Dr. Franz Kappenberg www.kappenberg.com
- [30] <http://www.was-wiessen.de/forum/index.php/forum/showExpMessage/id/16602> am 5.01.2011
- [31] <http://www.tis-gdv.de/tis/misc/chilling.htm> am 15.11.2010



Abbildung 30: Präsentation von Äpfeln und Bananen nebeneinander in einem normalen Supermarkt.

Messergebnisse
im Überblick
zum Abschnitt
Auswertungen.

Num- mer	Serie	Behandlung	Farbe	angelegt	Behand- lungen	gefallen	Spezialgrund	verschim- melt	Hänge- tage	Ethengehalt 24h [ppm]
4	1	angeschnitten	blau	20.08.2010	4	30.08.2010		26.08.2010	10	
10	2	angeschnitten	blau	23.08.2010	4	01.09.2010		01.09.2010	9	
16	3	angeschnitten	blau	26.08.2010	5	07.09.2010	Schafe	02.09.2010	12	
22	4	angeschnitten	blau	29.08.2010	4	08.09.2010	Schafe	08.09.2010	10	
28	5	angeschnitten	blau	01.09.2010	3	08.09.2010	Schafe	07.09.2010	7	
34	6	angeschnitten	blau	04.09.2010	3	10.09.2010	??	10.09.2010	6	
40	7	angeschnitten	blau	07.09.2010	5	18.09.2010			11	2
46	8	angeschnitten	blau	10.09.2010	5	22.09.2010		20.09.2010	12	21
0	9	angeschnitten	blau	13.09.2010	5	24.09.2010		23.09.2010	11	97
58	10	angeschnitten	blau	16.09.2010	6	01.10.2010		01.10.2010	15	229
64	11	angeschnitten	blau	19.09.2010	4	28.09.2010	Berührung		9	428
70	12	angeschnitten	blau	22.09.2010	5	03.10.2010		03.10.2010	11	45
76	13	angeschnitten	blau	25.09.2010	5	08.10.2010		06.10.2010	13	44
82	14	angeschnitten	blau	28.09.2010	4	08.10.2010	gepflückt		10	383
88	15	angeschnitten	blau	01.10.2010	3	08.10.2010	gepflückt		7	478
94	16	angeschnitten	blau	04.10.2010	2	08.10.2010	gepflückt		4	146
2	1	in_Apfel	gelb	20.08.2010	12	22.09.2010			33	12
8	2	in_Apfel	gelb	23.08.2010	4	02.09.2010	Wurmstichig		10	827
14	3	in_Apfel	gelb	26.08.2010	9	18.09.2010			23	43
20	4	in_Apfel	gelb	29.08.2010	14	06.10.2010			38	3
26	5	in_Apfel	gelb	01.09.2010	10	27.09.2010			26	195
32	6	in_Apfel	gelb	04.09.2010	10	02.10.2010			28	20
38	7	in_Apfel	gelb	07.09.2010	6	22.09.2010			15	30
44	8	in_Apfel	gelb	10.09.2010	10	08.10.2010	gepflückt		28	354
50	9	in_Apfel	gelb	13.09.2010	1	14.09.2010	Wurmstichig		1	0
56	10	in_Apfel	gelb	16.09.2010	8	08.10.2010	gepflückt		22	353
62	11	in_Apfel	gelb	19.09.2010	4	28.09.2010	Berührung		9	168
68	12	in_Apfel	gelb	22.09.2010	5	03.10.2010			11	105
74	13	in_Apfel	gelb	25.09.2010	4	05.10.2010	Wurmstichig		10	155
80	14	in_Apfel	gelb	28.09.2010	4	08.10.2010	gepflückt		10	54
86	15	in_Apfel	gelb	01.10.2010	3	08.10.2010	gepflückt		7	0
92	16	in_Apfel	gelb	04.10.2010	2	08.10.2010	gepflückt		4	10
3	1	in_Stiel	violett	20.08.2010	5	02.09.2010	Stiel verletzt		13	1
9	2	in_Stiel	violett	23.08.2010	16	08.10.2010	gepflückt		46	0
15	3	in_Stiel	violett	26.08.2010	15	08.10.2010	gepflückt		43	1
21	4	in_Stiel	violett	29.08.2010	14	07.10.2010	Berührung		39	769
27	5	in_Stiel	violett	01.09.2010	11	01.10.2010			30	784
33	6	in_Stiel	violett	04.09.2010	12	08.10.2010	gepflückt		34	392
39	7	in_Stiel	violett	07.09.2010	11	08.10.2010	gepflückt		31	0
45	8	in_Stiel	violett	10.09.2010	10	08.10.2010	gepflückt		28	1
51	9	in_Stiel	violett	13.09.2010	9	08.10.2010	gepflückt		25	2
57	10	in_Stiel	violett	16.09.2010	8	08.10.2010	gepflückt		22	0
63	11	in_Stiel	violett	19.09.2010	3	26.09.2010	abgebrochen		7	
69	12	in_Stiel	violett	22.09.2010	6	08.10.2010	gepflückt		16	0
75	13	in_Stiel	violett	25.09.2010	2	29.09.2010			4	24
81	14	in_Stiel	violett	28.09.2010	4	08.10.2010	gepflückt		10	0
87	15	in_Stiel	violett	01.10.2010	3	08.10.2010	gepflückt		7	0
93	16	in_Stiel	violett	04.10.2010	2	08.10.2010	gepflückt		4	555

Num-mer	Serie	Behandlung	Farbe	angelegt	Behand-lungen	gefallen	Spezialgrund	verschim-melt	Hänge-tage	Ethengehalt 24h [ppm]
6	1	in_Tüte	rot	20.08.2010	5	02.09.2010			13	7
12	2	in_Tüte	rot	23.08.2010	3	30.08.2010			7	83
18	3	in_Tüte	rot	26.08.2010	4	04.09.2010			9	119
24	4	in_Tüte	rot	29.08.2010	6	12.09.2010			14	288
30	5	in_Tüte	rot	01.09.2010	3	06.09.2010			5	386
36	6	in_Tüte	rot	04.09.2010	3	09.09.2010			5	162
42	7	in_Tüte	rot	07.09.2010	11	08.10.2010	gepflückt		31	36
48	8	in_Tüte	rot	10.09.2010	9	04.10.2010			24	235
54	9	in_Tüte	rot	13.09.2010	4	22.09.2010			9	0
60	10	in_Tüte	rot	16.09.2010	3	23.09.2010			7	77
66	11	in_Tüte	rot	19.09.2010	3	24.09.2010			5	16
72	12	in_Tüte	rot	22.09.2010	4	02.10.2010			10	6
78	13	in_Tüte	rot	25.09.2010	2	29.09.2010	Wurmstichig		4	95
84	14	in_Tüte	rot	28.09.2010	4	08.10.2010	gepflückt		10	437
90	15	in_Tüte	rot	01.10.2010	3	08.10.2010			7	194
96	16	in_Tüte	rot	04.10.2010	2	08.10.2010	gepflückt		4	278
5	1	nur_Tüte	weiß	20.08.2010	17	08.10.2010	gepflückt		49	230
11	2	nur_Tüte	weiß	23.08.2010	16	08.10.2010	gepflückt		46	32
17	3	nur_Tüte	weiß	26.08.2010	15	08.10.2010	gepflückt		43	1
23	4	nur_Tüte	weiß	29.08.2010	12	01.10.2010	Wurmstichig		33	701
29	5	nur_Tüte	weiß	01.09.2010	3	08.09.2010			7	63
35	6	nur_Tüte	weiß	04.09.2010	6	18.09.2010			14	1
41	7	nur_Tüte	weiß	07.09.2010	11	08.10.2010	gepflückt		31	0
47	8	nur_Tüte	weiß	10.09.2010	10	08.10.2010	gepflückt		28	296
53	9	nur_Tüte	weiß	13.09.2010	6	27.09.2010			14	176
59	10	nur_Tüte	weiß	16.09.2010	4	25.09.2010			9	135
65	11	nur_Tüte	weiß	19.09.2010	3	25.09.2010			6	51
71	12	nur_Tüte	weiß	22.09.2010	6	08.10.2010	gepflückt		16	1
77	13	nur_Tüte	weiß	25.09.2010	2	29.09.2010	abgeschnitten		4	0
83	14	nur_Tüte	weiß	28.09.2010	4	08.10.2010	gepflückt		10	0
89	15	nur_Tüte	weiß	01.10.2010	3	08.10.2010	gepflückt		7	0
95	16	nur_Tüte	weiß	04.10.2010	2	08.10.2010	gepflückt		4	0
1	1	unbehandelt	grün	20.08.2010	12	21.09.2010	Berührung		32	31
7	2	unbehandelt	grün	23.08.2010	16	08.10.2010	gepflückt		46	0
19	3	unbehandelt	grün	26.08.2010	7	14.09.2010			19	0
97	4	unbehandelt	grün	29.08.2010	14	08.10.2010	gepflückt		40	0
25	5	unbehandelt	grün	01.09.2010	13	08.10.2010	gepflückt		37	481
31	6	unbehandelt	grün	04.09.2010	12	08.10.2010	gepflückt		34	2
37	7	unbehandelt	grün	07.09.2010	11	08.10.2010	gepflückt		31	944
43	8	unbehandelt	grün	10.09.2010	10	08.10.2010	gepflückt		28	0
49	9	unbehandelt	grün	13.09.2010	5	26.09.2010			13	36
55	10	unbehandelt	grün	16.09.2010	8	08.10.2010	gepflückt		22	35
61	11	unbehandelt	grün	19.09.2010	7	08.10.2010	gepflückt		19	329
67	12	unbehandelt	grün	22.09.2010	4	01.10.2010	Wurmstichig		9	270
73	13	unbehandelt	grün	25.09.2010	4	05.10.2010	Wurmstichig		10	405
79	14	unbehandelt	grün	28.09.2010	4	08.10.2010			10	266
85	15	unbehandelt	grün	01.10.2010	3	08.10.2010	gepflückt		7	0
91	16	unbehandelt	grün	04.10.2010	2	08.10.2010	gepflückt		4	0

Weitere Messergebnisse im Überblick zum Abschnitt *Auswertungen*.

Zauberformel gegen Mundgeruch: $C_{42}H_{70}O_{36}$

Jugend forscht: Cyclodextrine führen Jungchemiker zum Preis der Kanzlerin

Gabriel Salg und Nicolas Scheidig, Hösbach

Mundgeruch – zahnmedizinisch Halitosis – haben viele, nur wenige reden darüber. Man schätzt, dass in Deutschland jeder Dritte bis Vierte darunter leidet, auch psychisch [1]. Mundgeruch ist eher ein Tabuthema. Die Idee sich mit Mundgeruch im Rahmen eines Jugend-forscht-Projektes zu beschäftigen geht auf ein bekanntes Experiment zurück: Knoblauchgestank soll nach Kontakt einer Knoblauchzehe mit der Handinnenfläche verschwinden, wenn man Cyclodextrin als Geruchskiller dazugibt [2], [3]. Wir konnten es nicht glauben und stellten das Experiment nach. Es funktioniert: Der Geruch ist wie weggefegt! Vom Knoblauchgestank zum Mundgeruch, das war gedanklich kein weiter Weg, zumal bei beiden flüchtige Schwefelverbindungen die zentrale Rolle spielen [4]. Kann Cyclodextrin Mundgeruch genau so wirksam bekämpfen wie Knoblauchgestank? Gesundheitliche Einwände gibt es nicht: β -Cyclodextrin ist in vielen Ländern zugelassen. Der WHO-Standard für die Tagesdosis beträgt 6 mg pro kg Körpergewicht [5]. Die Recherche ergab, dass Cyclodextrin gegen alle möglichen Stinkereien eingesetzt wird, nur nicht gegen Mundgeruch. Das war zumindest bis zum Jahr 2009 so. Schon damals haben wir uns mit Mundgeruchsbekämpfung durch Cyclodextrine bei „Schülerexperimentieren“ befasst, ohne die Maskierung der Geruchsstoffe und ihre chemischen Hintergründe genauer zu untersuchen. Die für Februar 2009 geplante Patentanmeldung scheiterte aus terminlichen und finanziellen Gründen.

Die Autoren

Gabriel Salg und **Nicolas Scheidig** erzielten im diesjährigen Wettbewerb „Jugend forscht“ mit ihrer Chemiearbeit einen Bundessieg: den Preis der Bundeskanzlerin für die originellste Arbeit. Beide sind 16 Jahre alt und noch Schüler des Hanns-Seidel-Gymnasiums in Hösbach. Beide ziehen nach dem Abitur ein Studium der Chemie in Betracht.

Übrigens. Für die CLB ist ihr Betreuerlehrer Dr. Roland Full ein alter Bekannter. Schon 1994 führte er Maike Hesse zum Wettbewerb „Jugend forscht“. CLB veröffentlichte anschließend ihre Arbeit.



Grundlagen und Methoden

Mundgeruch

Mundgeruch entsteht zu über 90 % in der Mundhöhle und im Nasen-Rachenraum. Geruchsbildende Stoffe sind vor allem flüchtige Schwefelverbindungen, aber auch Carbonsäuren und Amine, die sich in der Mundhöhle ansammeln. Sie werden im Speichel und Zahnbelag durch fäulniserzeugende Mikroorganismen aus schwefelhaltigen Aminosäuren (Methionin, Cystein, Cystin) von Lebensmittelresten zwischen den Zähnen, in den Zahnfleischtaschen oder auf der Zunge gebildet. Mundgeruch kann auch die Folge von schlechter Mundhygiene sein und in seltenen Fällen aus Krankheit oder Diätmaßnahmen resultieren. Die Bekämpfung kann mit Mitteln geschehen, die Bakterien abtöten, z.B. mit quartären Ammoniumsalzen, Chlorhexidin, Triclosan und Parachlorphenol. Sie können nur in begrenzten Tagesmengen dosiert werden und sind daher nur bedingt geeignet.

Eine weitere Klasse sind antibakterielle Pflanzenextrakte, z.B. aus Magnolie, Geißblatt, Weintraube, Grapefruit etc. und Mischungen davon, die auch als Tee verabreicht werden. Die Extrakte umfassen eine Vielfalt biologisch aktiver Materialien. Eine andere Klasse von Mundgeruchsbekämpfungsmitteln enthält Absorptionsmittel, die flüchtige Geruchsstoffe absorbieren, adsorbieren oder komplexieren. Zu ihnen gehören Talk, Pilzextrakte, Zeolithe, Cyclodextrine und Mischungen davon.

Cyclodextrine

Cyclodextrine gehören zur Klasse der cyclischen, nicht reduzierenden Oligosaccharide mit 1,4- α -glykosidisch verknüpften Glucose-Einheiten (Abbildung 1). Sie sind Stärke-Abbauprodukte. Je nach Anzahl der Glucosemoleküle (6–8) erhalten sie einen griechischen Buchstaben als Präfix. Das praktische Interesse an dieser Verbindungsklasse ergibt sich aus der interessanten

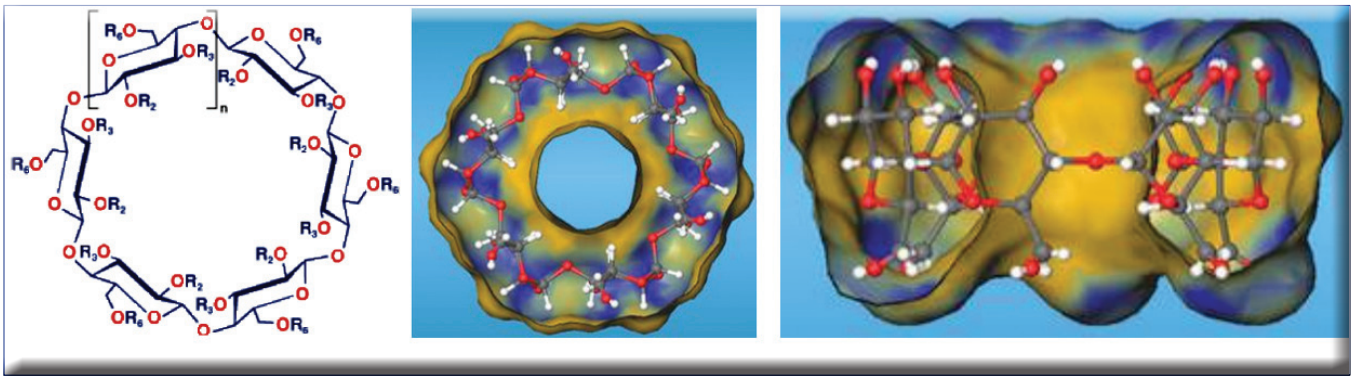


Abbildung 1:
Struktur und
Molekül-
architektur von
 α -Cyclodextrin
(Mitte, rechts:
Computergrafik
nach [6]).

Molekül-Architektur. Ihre dreidimensionale Form wird als offener Kegelstumpf beschrieben.

Die Glucose-Einheiten bilden eine hydrophile Außenseite und einen hydrophoben Hohlraum. Cyclodextrine (im Folgenden kurz CyD genannt) können Moleküle einschließen, wenn die Gastkomponente entweder ganz oder teilweise in den Hohlraum hineinpasst. Sie kann sich aber auch nur von außen anlagern. CyD-Anwendungen im Bereich der Pharmazie, Kosmetik und der Nahrungsmittelindustrie sowie im Bereich des Haushalts, der Landwirtschaft und chemischer Syntheseverfahren ergeben sich aus der Eigenschaft, mit Gastmolekülen Wirt-Gast-Komplexe bilden zu können. Dem Verbraucher begegnen CyD mittlerweile unter den Handelsnamen Febreze und Bounce. Sie können unangenehme Geruchsstoffe binden oder auch eingekapselte Duftstoffe freisetzen. Diese Eigenschaft besitzt auch Cavatex, ein von der Wacker Chemie AG vermarktetes Hilfsmittel zur funktionellen Textilausstattung auf der Basis von CyD. Für die Waschechtheit sorgt ihre Verankerung über kovalente Bindungen an der Textilfaser. Die Textilien zeichnen sich durch anhaltende Frische aus, weil Geruchskomponenten des Körperschweißes maskiert werden können.

Analytik

Im Mittelpunkt der Halitosis-Diagnostik steht die Objektivierung der Intensität des Geruchs. Dies kann mit organoleptischen (Beurteilung mit dem Geruchssinn) und instrumentellen Methoden geschehen. Organoleptische Untersuchungen zur Wahrnehmung von Mundgeruch führt der Zahnarzt in verschiedenen Abständen zum Patienten durch. Hier können subjektive Eindrücke durchaus eine Rolle spielen. Instrumentelle Messungen mit dem Gaschromatographen oder mit Sulfid-Monitoren (Halimeter) gestatten eine objektive Beurteilung. Ein Halimeter erfasst flüchtige Schwefelverbindungen (VSC) in der Ausatemluft im ppb-Bereich. Diese gelten als die Hauptverursacher der schlechten Atemluft. Die

wichtigsten drei sind Schwefelwasserstoff (H_2S), Methylmercaptan (CH_3SH) und Dimethylsulfid (CH_3SCH_3), wobei die ersten beiden etwa 90 % der VSC ausmachen.

Für die menschliche Nase ist CH_3SH besonders gut wahrzunehmen, da es ca. 100mal intensiver riecht als H_2S [8]. Der Halimeter besitzt andererseits im Vergleich mit CH_3SH eine etwa doppelt so große Sensitivität gegenüber Schwefelwasserstoff. Der Mundgeruch liegt im Normalbereich, wenn am Halimeter Werte von 70–110 ppb VSC-Äquivalente angezeigt werden. Neben den VSC tragen noch flüchtige Amine wie Hexylamin und 1,5-Diaminopentan sowie mikrobielle Gärungsprodukte aus der Gruppe organischer Säuren wie 3-Methylbuttersäure zum Mundgeruch bei. Im Vergleich zu den Schwefelverbindungen sind sie eher von untergeordneter Bedeutung. Sie werden vom Halimeter auch nicht erfasst. Die gaschromatographische Analyse kann etwa 10 von ca. 100 flüchtigen Bestandteilen in der Atemluft anzeigen [4].

Unsere Untersuchungen konzentrierten sich auf die Absorption der am Mundgeruch beteiligten VSC durch Wasser im Vergleich mit wässrigen CyD-Lösungen im Chemielabor und auf Untersuchungen mit schlechter Atemluft in der Zahnarztpraxis. Uns stand in der Schule ein Gaschromatograph mit FID, einer 25 m Kapillarsäule mit einer Polyethylenglycolphase und Wasserstoff als Trägergas zur Verfügung (Abbildung 2 links). Damit sind Gase im Bereich von 1000–10000 ppm gut detektierbar. An der Uni in Marburg eröffnete sich die Möglichkeit, die VSC-Absorption an einer GC/MS-Gerätekombination von Hewlett Packard zu messen (Abbildung 2 rechts). Sie besteht aus dem Gaschromatographen 5890A und dem Mass selectiv Detektor 5917A mit einer unpolaren 50 m Kapillarsäule des Typs HP1. Vorversuche zeigen, dass die gaschromatographisch erfassten Molekülpeaks die relevanten Moleküle mit den Massen 34, 48 und 62u vollständig repräsentieren, da der Fragmentanteil bei H_2S , CH_3SH und CH_3SCH_3 vernachlässigbar ist. Eichmessungen ergaben eine VSC-Nachweisgrenze



Abbildung 2 (oben): links: Gaschromatograph mit FID, Schulgerät; rechts: GC/MS-Gerätekombination, Uni Marburg.

Abbildung 3 (unten): Halimeter-Gerät in der Zahnarztpraxis Lippert in Aschaffenburg.



von 1 ppm und eine gute Detektion im Bereich von 1-10 ppm. Diese Messmethode ist also um den Faktor 1000 empfindlicher als das Schulgerät.

Der Zahnarzt-Halimeter (Abbildung 3) detektiert im Routinebetrieb die VSC im 10-1000 ppb-Bereich. Damit wird der VSC-Nachweis im Vergleich mit GC/MS um den Faktor 1000 und im Vergleich mit dem Schul-GC um den Faktor 1 000 000 empfindlicher.

Beschreibung der Untersuchungen und Diskussion der Ergebnisse

Laborexperimente zur Absorption der VSC in künstlichen Mundhöhlen

Im Schullabor arbeiteten wir in einem gut funktionierenden Abzug mit Dimethylsulfid-Dämp-

fen und mit Methylmercaptan. Dimethylsulfid hat eine Siedetemperatur von 37 °C und bildet daher bei Raumtemperatur schnell die Dämpfe, die wir benötigten. Gasförmiges H_3CSH wird durch Auftropfen von Salzsäure auf das salzartige Natriummethylthiolat (NaSCH_3) gewonnen. Die Gase/Dämpfe beider VSC werden in einem 250 ml-Erlenmeyerkolben so weit verdünnt, bis die GC-Peakfläche einer 1000 μl Probe einen Wert um 0,5 relative Flächeneinheiten erreicht. Das entspricht einer Konzentration von 10 000-20 000 ppm. Der Kolben befindet sich bei 40 °C im Trockenschrank, weil dies spontane Kondensationen ausschließt und erfahrungsgemäß stabilere Dämpfe ergibt, erkennbar an weitgehend konstanten Peakflächen im Gaschromatogramm. Nach der gaschromatographischen Bestimmung des Nullwertes werden 50 ml Wasser bzw. 50 ml CyD-Lösung (1,8 %ig für β -CyD; 2 %ig für α -CyD; dies gilt auch für die im Folgenden beschriebenen Versuchsansätze; siehe dazu auch Tabelle 1) durch ein Silikonseptum am Erlenmeyerkolben injiziert. Anschließend wird 10-15 Minuten auf dem Magnetrührer im Trockenschrank gerührt. Alle 5 min eine 1000 μl -Probe zur gaschromatographischen Analyse entnommen. Die relativen Peakflächen stehen für die Menge der in der Innenraumluft des Erlenmeyerkolbens enthaltenen VSC-Gase.

In Abbildung 4 (linke Hälfte) ist der Grad der Absorption der Dimethylsulfid-Dämpfe und von Methylmercaptan durch Wasser und CyD-Lösungen dargestellt. Die CyD-Lösungen liegen im Absorptionsgrad 10-30 % über der Aufnahme der VSC durch Wasser. H_2S entzieht sich leider der gaschromatographischen Untersuchung am Schul-GC weil die FID-Detektion organische

Tabelle 1: Eigenschaften der uns verfügbaren Cyclodextrine nach [7].

	Molare Masse	Höhe der Kavität	Durchmesser der Kavität	Außen Ø der Kavität	Löslichkeit (Wasser, 25°C)
α -CyD	972 g/mol	0,79 nm	0,47 – 0,53 nm	1,46 ± 40 nm	145 g/L
β -CyD	1135 g/mol	0,79 nm	0,60 – 0,65 nm	1,54 ± 40 nm	18,5 g/L

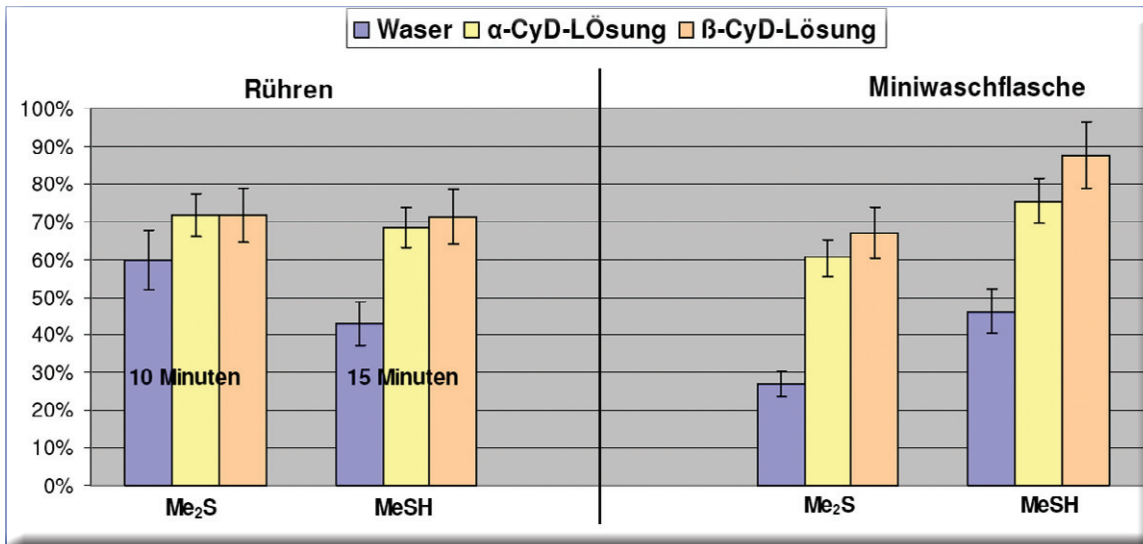


Abbildung 4: VSC-Absorption von Wasser und CyD-Lösungen nach Rühren und in der Miniwaschflasche.

Reste erfordert. Im beschriebenen Versuch wurde quasi nach der Headspace-Methode gearbeitet. Im nächsten Ansatz werden die VSC-Gase/Dämpfe aus einem Kolbenprober mit konstanter Geschwindigkeit durch eine Miniwaschflasche, die einem Blasenähler ähnelt, in einen zweiten Kolbenprober gepumpt (Abbildung 5).

In der Waschflasche befinden sich jeweils 5 ml Wasser bzw. CyD-Lösung und die Glasdüse auf der Zufuhrseite ragt nur 1 cm in die Flüssigkeit, um die Kontaktzeit zwischen den Gasblasen und der Absorberflüssigkeit klein zu halten. Die GC-Proben entnimmt man an den Schlauchverbindungen vor und nach der Waschflasche. Das Ergebnis zeigt die Abbildung 4 (rechte Hälfte). Jetzt werden die Unterschiede zwischen Wasser und den CyD-Lösungen deutlicher. Sie liegen bei 30-40 %, mit leichten Vorteilen für das β-Cyclodextrin.

Nach Ausschöpfen der schulischen Möglichkeiten – und gerade weil sich der wichtige Schwefelwasserstoff dort nicht erfassen ließ – waren wir dankbar, dass uns Prof. Seubert von der Universität Marburg eine GC/MS-Gerätekombination mit Personal und Einarbeitung für 3 Tage zur Verfügung stellte. Die quantitative Erfassung der VSC oberhalb der Nachweisgrenze von 1 ppm erschien uns als wichtige Zwischenstufe zwischen dem Schul-GC und den hochempfindlichen Messungen des echten Mundgeruchs am Halimeter im ppb-Bereich.

Wir gingen vor wie im Schullabor, außer dass das Rühren bei Raumtemperatur stattfand und die Reihe „Miniwaschflasche“ entfiel. Im Konzentrationsbereich der VSC zwischen 1 und 10 ppm werden die Unterschiede zwischen Wasser und den Cyclodextrin-Lösungen offensichtlich noch deutlicher. Wasser adsorbiert im Erlenmeyerkolben zwischen 30 und 40 % VSC, während die

Cyclodextrin-Lösungen bei 90 % und darüber liegen (Abbildung 6).

Uns fehlte noch ein Experiment, bei dem die Absorption eines Gasgemisches der drei VSC untersucht wird. Wir bauten dazu eine künstliche Mundhöhle aus einer 300 ml-Tupperschale mit gasdichten Verschlussdeckel (Abbildung 7). In die Dosenwand wurden an gegenüber liegenden Stellen Löcher gebohrt und mit der Heißklebepistole zwei verschließbare Tüllen eingeklebt. Vor Versuchsbeginn spritzten wir definierte Mengen der Reingase H₂S, CH₃SH und (CH₃)₂S im μl-Maßstab in die geschlossene Schale. Nach 5 min wurde eine 10 μl-Probe entnommen und über die Peakflächen die Mengen der einzelnen Gase zweimal bestimmt. Anschließend wurden 20 ml Wasser bzw. CyD-Lösung eingespritzt und



Abbildung 5: Apparatur zum Durchspülen von Me₂S-Dämpfen und MeSH durch eine Absorberflüssigkeit.

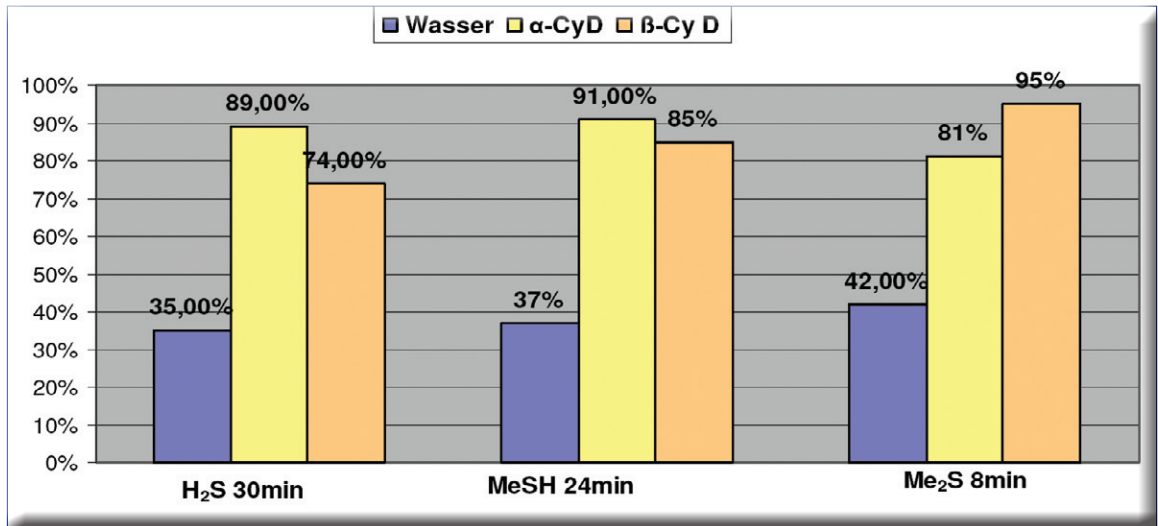


Abbildung 6: Kurzzeit-Absorption von Mundgeruchsgasen durch Flüssigkeiten und Lösungen.

zur Spülung umgeschwenkt. Dann entnehmen wir wieder zweimal Gasproben und bestimmten den Grad der VSC-Absorption.

Bei der Spülung mit den beiden CyD-Lösungen kam es zu deutlichen Abnahmen aller Peakflächen. Merkwürdigerweise ergab die Spülung mit Wasser eine Zunahme aller drei Peakflächen (Abbildung 8), was einer Anreicherung der Gase im Innenraum der „Mundhöhle“ über die Anfangskonzentration hinaus entspricht. Das Ergebnis erschien zunächst rätselhaft. Nachdem es sich aber bei vier weiteren Messungen bestätigte, bleibt nur die Erklärung über den „Wandeffekt“, auf den wir bei unseren GC-Untersuchungen öfters stießen: Nach dem Injizieren wird ein Teil der Reingase in der eingeschlossenen Luft verteilt und ein nicht unerheblicher Teil lagert sich an die Innenwände des Gefäßes an. Dieser Effekt macht sich erfahrungsgemäß bei Kunststoffgefäßen stärker bemerkbar als bei Glasgefäßen. In unserem Fall führt die Spülung mit Wasser offen-

bar dazu, dass die Innenwände sich mit einem Wasserfilm überziehen und dabei die dort gespeicherten Gase in die umgebende Luft verdrängt werden. Insgesamt können wir eindeutig feststellen, dass die Wasserspülung nicht imstande ist, die Konzentration der VSC in der künstlichen Mundhöhle zu reduzieren. Offenbar findet also in diesem Falle kein Stofftransport von der Gas- in die Flüssigphase statt. Für die Beseitigung von H₂S-Geruch mit CyD fanden wir im Übrigen auch einen Hinweis in einer Patentschrift aus der Papierindustrie. Dort wird berichtet, dass Cyclodextrine den Geruch von schwefelwasserstoffhaltigen Abwässern und Schlämmen minimieren und unterdrücken können [9].

Halimetrische Untersuchungen in menschlichen Mundhöhlen beim Zahnarzt

In der Zahnarztpraxis Lippert in Aschaffenburg traten wir an den Messtagen mit ungeputzten Zähnen an, um den eigenen Mundgeruch zu untersuchen. Bei Messzeiten in den Abendstunden bedeutete dies, dass wir unseren Mundgeruch über den ganzen Tag konservieren mussten. Die Messung funktioniert so, dass ein an einen Schlauch angeschlossener Trinkhalm ca. 3-5 cm in den fast geschlossenen Mund eingeführt wird. Der Halimeter ist mit einer Pumpe ausgestattet, die über den Trinkhalm und den Schlauch die Atemprobe aus dem Mund zieht und dem elektrochemischen Sensor zuführt. Er registriert den höchsten gemessenen Wert. Darauf wird die Messung noch zweimal wiederholt und zum Abschluss ein Mittelwert angezeigt.

Wie aus der Abbildung 9 ersichtlich wird, lagen unsere Mundgeruchswerte bei über 300 ppb VSC, also deutlich über 110, was der Zahnarzt als Grenzwert betrachtet. Die Abbildung 9

Abbildung 7: Präparierte Tupperdose als künstliche Mundhöhle.



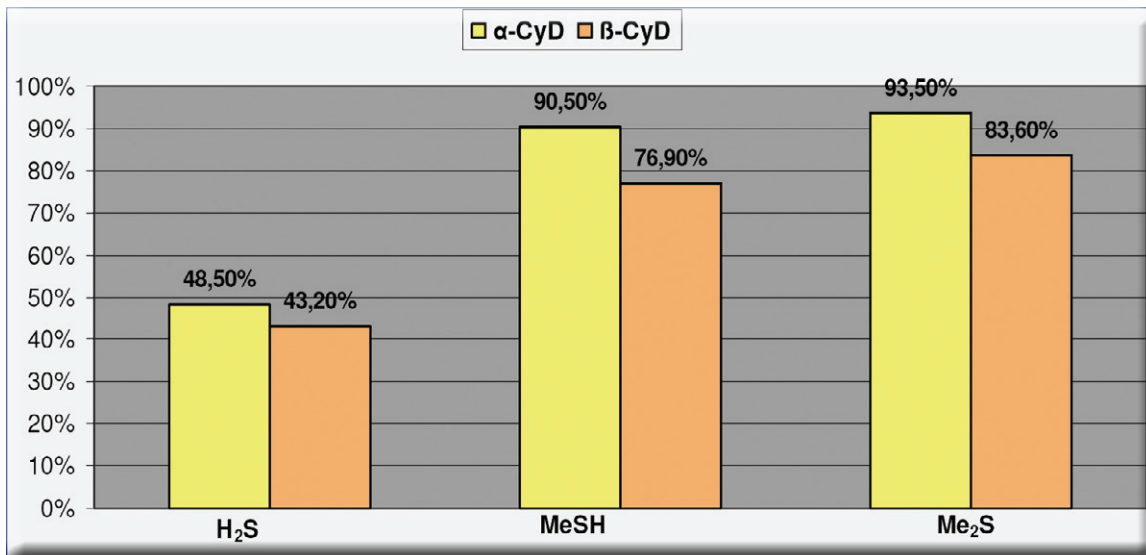


Abbildung 8: VSC-Absorption nach Spülungen mit CyD-Lösungen in einer künstlichen Mundhöhle.

zeigt auch, dass festes Cyclodextrinpulver in der Mundhöhle den Messwert um fast 40 % ansteigen lässt und nur die wässrige Lösung (hier: 1,8 ‰) den schlechten Atem in den Normalbereich zurückführt, was zunächst verwundert. Der Rückgang beträgt immerhin 64 %. Diese Erkenntnis stimmt mit einer Patentschrift überein [10], die ebenfalls berichtet, dass das Cyclodextrin seine Wirkung als Geruchsabsorber erst in wässriger Lösung entfaltet.

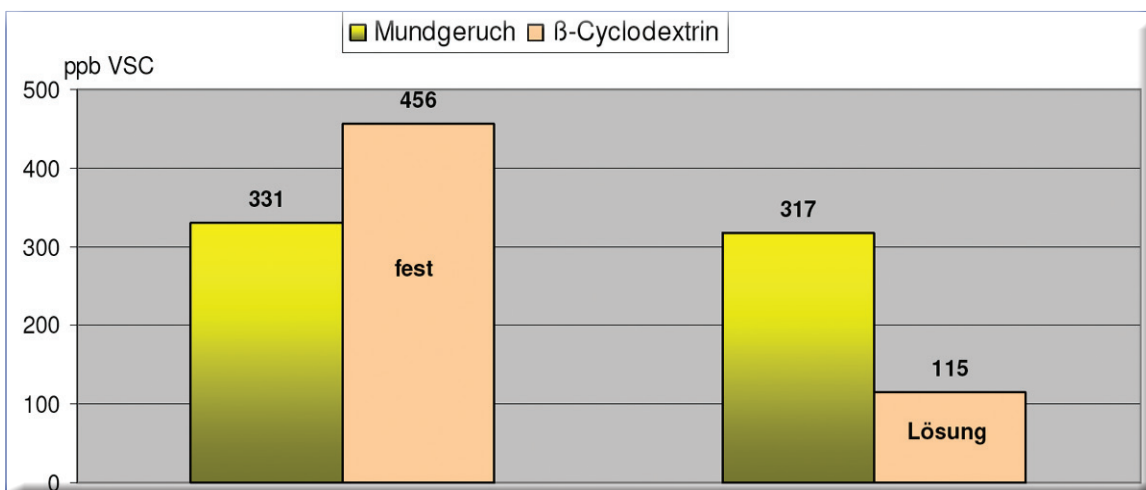
Die Wirkung der Cyclodextrin-Lösung bei Mundgeruch versetzte auch unseren gastgebenden Zahnarzt, der sich als anerkannter Experte schon seit vielen Jahren mit der Halitosis-Problematik befasst, in Erstaunen. In der nächsten Reihe sollte der Einfluss des Lösungsmittels Wasser am Reinigungsprozess geklärt werden. Dazu wurden die Mundhöhlen zunächst mit 30 ml Wasser und beim nächsten Messtermin oder

bei einer anderen Untersuchungsperson mit 30 ml 1,8 ‰iger bzw. 2 ‰iger CyD-Lösung gespült.

Das Diagramm in Abbildung 10 zeigt, dass das Cyclodextrin der tatsächliche Absorber-Wirkstoff ist. Die VSC-Werte nehmen bei Wasser zwischen 20 und maximal 40 % ab. Nach Spülung mit CyD-Lösungen sinken sie um über 60 %, wobei sich α- und β-Cyclodextrin kaum unterscheiden. Wenn das „Mundwasser“ allerdings ein Gemisch beider Cyclodextrine enthält (1,8 % β-CyD, 2 % α-CyD), dann beträgt die Absorptionsleistung erstaunliche 82 %. Diesen Wert konnten wir mehrfach bestätigen.

Das halimetrische Messprogramm in der Zahnarztpraxis war dadurch eingeschränkt, dass uns nur begrenzte Zeiten zur Verfügung standen. Der Zahnarzt rechnet eine halimetrische Bestimmung bei seinen Patienten mit über 100 Euro ab. Leider endete der Messtag in der Regel nach

Abbildung 9: Behandlung von Mundgeruch mit Cyclodextrin in verschiedenen Verabreichungsformen.



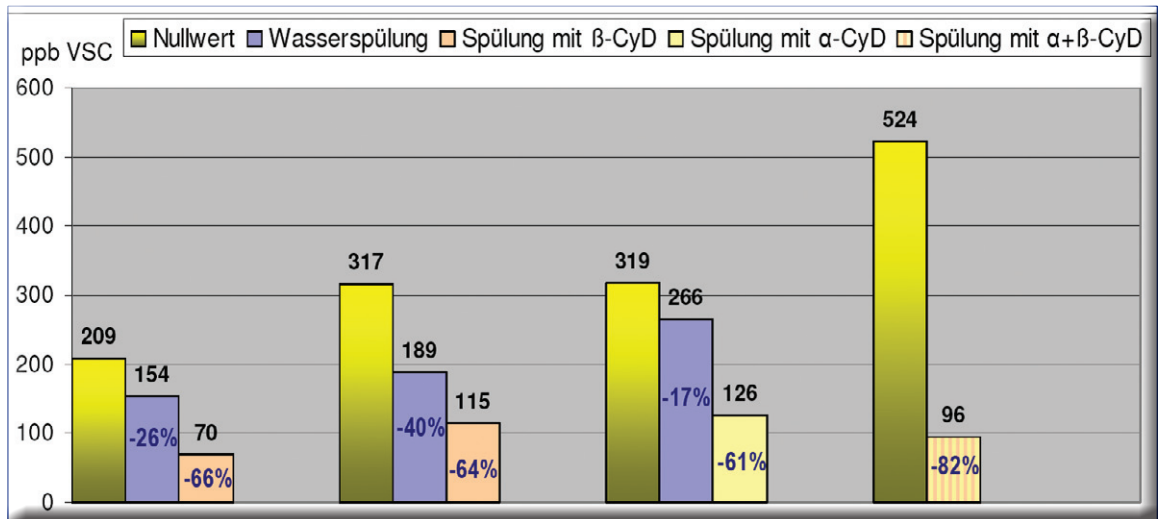


Abbildung 10: Veränderung des Mundgeruchs nach Spülung mit Wasser und mit Cyclodextrin-Lösung.

der ersten Mundspülung, weil der mitgebrachte Mundgeruch irreversibel verändert war. Um die Messzeiten besser zu nutzen, waren wir auf der Suche nach künstlichem Mundgeruch. Dabei stießen wir wieder auf Knoblauch, weil die Geruchsstoffe auch flüchtige schwefelorganische Verbindungen sind, die vom Allicin abstammen. Wir gaben eine gehackte Knoblauchzehe in einen halben Liter Wasser und spülten die Mundhöhle mit 30 ml aus.

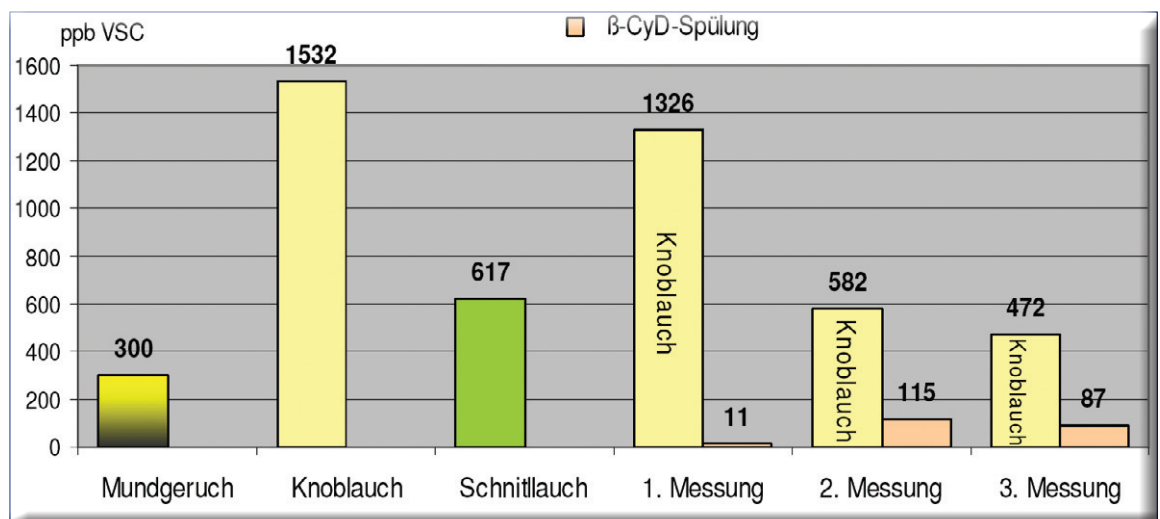
Abbildung 11 zeigt, dass das Knoblauchwasser für einen drastischen Anstieg der VSC-Werte sorgt. Auch das Kauen von Schnittlauch lässt die Messwerte (Mittelwerte aus 3 Messungen) steigen. Dies war zu erwarten, denn Knoblauch und Schnittlauch gehören beide zur Familie der Lauchgewächse (Alliaceae) mit verwandten Inhaltsstoffen (z.B. Alliin). Nun war die Frage, ob die Cyclodextrin-Lösung auch gegen den mit Knoblauch provozierten Mundgeruch hilft. Das

Diagramm in Abbildung 12 zeigt erstaunliche Effekte. Die Abnahme der VSC-Werte liegt bei drei Messungen bei 99,9 %, 80% und 82 %. Cyclodextrin-Lösung erweist sich als ein echter Killer für Knoblauchgestank.

Betrachten wir jetzt die natürlichen Konkurrenten unserer Formel gegen den Mundgeruch. Im Volksmund und in der Literatur wird das Kauen von Petersilie, Petersiliewurzel und Ingwer als Gegenmittel gehandelt. Abbildung 12 zeigt den Vergleich mit Wasser und CyD-Lösungen. Der „künstliche Mundgeruch“ geht nur mit Petersilie deutlich zurück. Man sieht auch, dass die Petersilie nicht mit CyD-Lösung mithalten kann. Die Wirkung der Petersilie wird in der Literatur mit ätherischen Ölen begründet, die das Knoblauch-Allicin übertönen [11] oder mit der Bindung und dem Abbau des Allicins durch Chlorophyll [12].

Unsere halimetrischen Untersuchungen belegen also zweifelsfrei, dass Cyclodextrin-Lösung

Abbildung 11: Halimeter-Messungen von Mundgeruch, Knoblauchwasser und Schnittlauch im Vergleich.



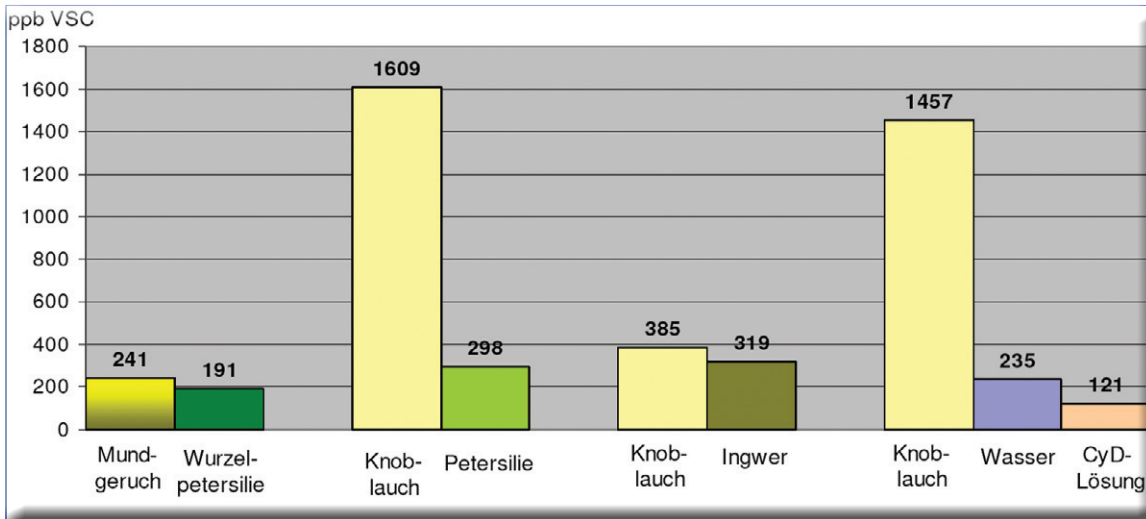


Abbildung 12: Reduzierung von „künstlichem Mundgeruch“ mit Petersilie, Ingwer, Wasser und CyD-Lösung.

Mundgeruch beseitigen kann. Nun wollten wir wissen, ob die Atemfrische auch von Dauer ist. In einer weiteren Messreihe wurde durch Spülen mit Knoblauchwasser wieder ein hoher Nullwert eingestellt. Dann wurde mit Cyclodextrin-Lösung einmal gespült und die VSC-Werte wurden im Halimeter über fast eine Stunde kontrolliert.

Das Messergebnis (Abbildung 13) ist überzeugend, weil die Wirkung nachhaltig ist. Der Wert nähert sich über eine halbe Stunde der Null-Grenze. Auch Kaugummi, mit etwas festem Cyclodextrin versehen, senkt den Knoblauchgeruch deutlich und anhaltend, kann aber mit der Mundspülung nicht ganz konkurrieren.

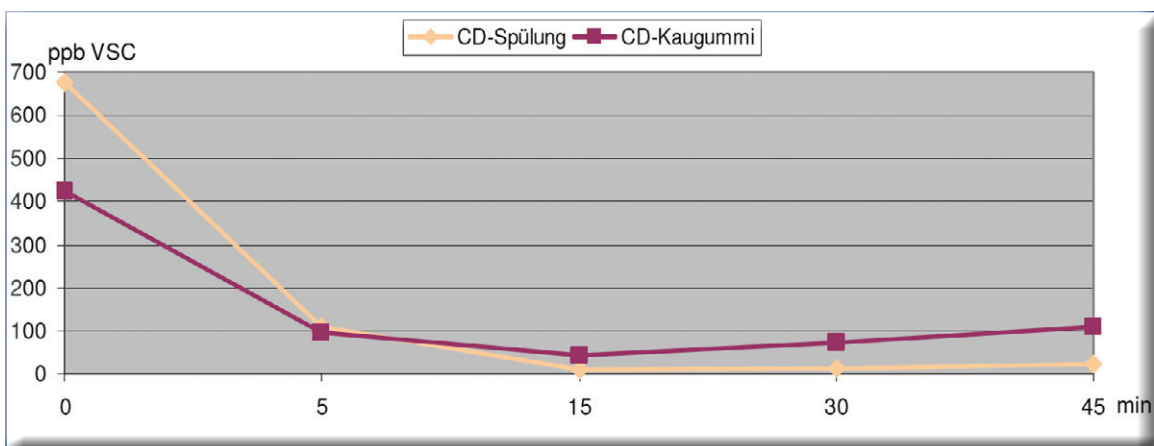
Synthese und Charakterisierung neuartiger R_2S -Cyclodextrin-Komplexe

Die Ausbildung von CyD-Komplexen erfordert die passenden geometrischen Verhältnisse, inter-

molekulare Wirt-Gast-Wechselwirkungen sowie eine geringe Menge Wasser. Als treibende Kraft wird der Austausch der Wassermoleküle aus dem Hohlraum gegen hydrophobe Gastmoleküle angesehen. Dabei sinkt die Ringspannung und die Entropie steigt [5]. Die von uns eingeschalteten Suchmaschinen lieferten die Information, dass R_2S -CyD-Komplexe mit $R = H$ und $-CH_3$ in der Literatur noch nicht beschrieben sind.

Wir machten uns an die Synthese und leiteten H_2S in eine gesättigte wässrige α -CyD-Lösung ein. Aus der klaren Lösung fällt nach kurzer Zeit ein weißer Niederschlag aus, den wir abfiltrierten, wuschen und trockneten. Dann erhitzen wir einige geruchsfreie Kristalle und beobachteten, dass mit steigender Temperatur H_2S -Geruch auftrat. Abbildung 14 zeigt die modellierte Struktur des H_2S -CyD-Komplexes und seine Bildung durch Wasseraustausch. Nach Einleiten von CH_3SH fällt aus der α -CyD-Lösung auch der $MeSH$ -Komplex

Abbildung 13: Mundgeruch-Langzeitmessung nach Knoblauchgabe mit CyD-Lösung und CD-Kaugummi.



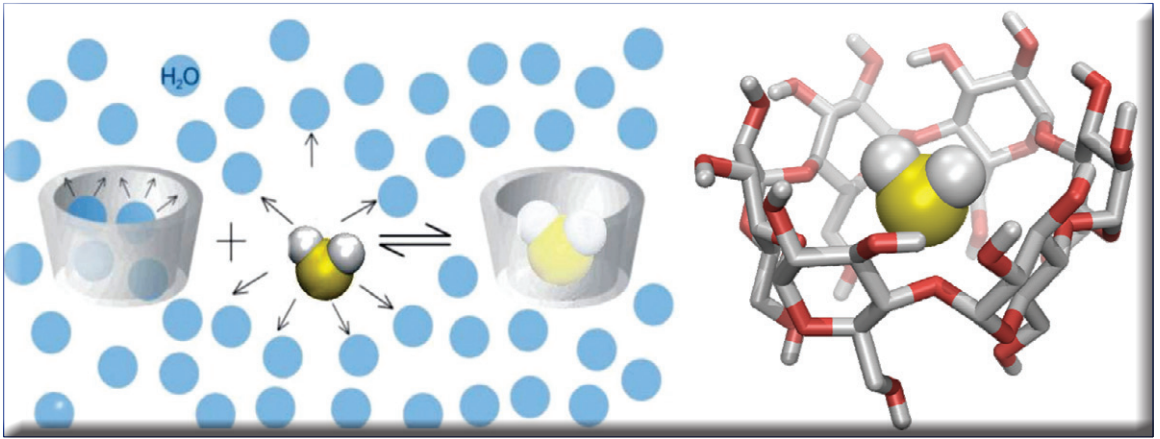


Abbildung 14: rechts: H₂S-CyD Komplex aus dem freeware Programm Pymol Version 0.99, erstellt vom Arbeitskreis Prof. Geyer, Universität Marburg; links: Komplexbildung von H₂S durch Wasseraustausch.

aus. Den Me₂S-Komplex erhält man, wenn man das wasserunlösliche Substrat zur α-CyD-Lösung gibt und schüttelt. Alle geruchsfreien Komplexe entwickeln nach Wasserzugabe die für die jeweiligen Gastmoleküle typischen Duftnoten. Wir zweifelten schon damals nicht an der Existenz der Komplexe, weil das Ausfallen aus der klaren Lösung nach Vereinigung der Komponenten keine andere Deutung zulässt.

Zur Untersuchung der Komplexe nutzten wir Kontakte zu Universitäten und zum Analytik-Labor im Industrie Center Obernburg vor Ort. Erstere ergaben sich durch ehemalige Jufos unserer Schule, die mittlerweile wissenschaftliche

Mitarbeiter sind, und letztere resultieren aus einem Betriebspraktikum, das einer von uns absolvierte. Als Charakterisierungsmethoden für die CyD-Komplexe kamen die Infrarot- und die Kernresonanzspektroskopie sowie die Röntgenstrukturanalyse in Frage. IR-Spektren wurden in Marburg aufgenommen. Ihre Interpretation war auch für Fachleute schwierig. Für kernresonanzspektroskopische Untersuchungen bekamen wir Zusagen von den Unis in Marburg und Tübingen und zuletzt vom Analytik Service in Obernburg. Gemessen wurde zunächst in D₂O, dann in deuteriertem DMSO. Die Informationen der ¹H-NMR-Spektren wurden zu-

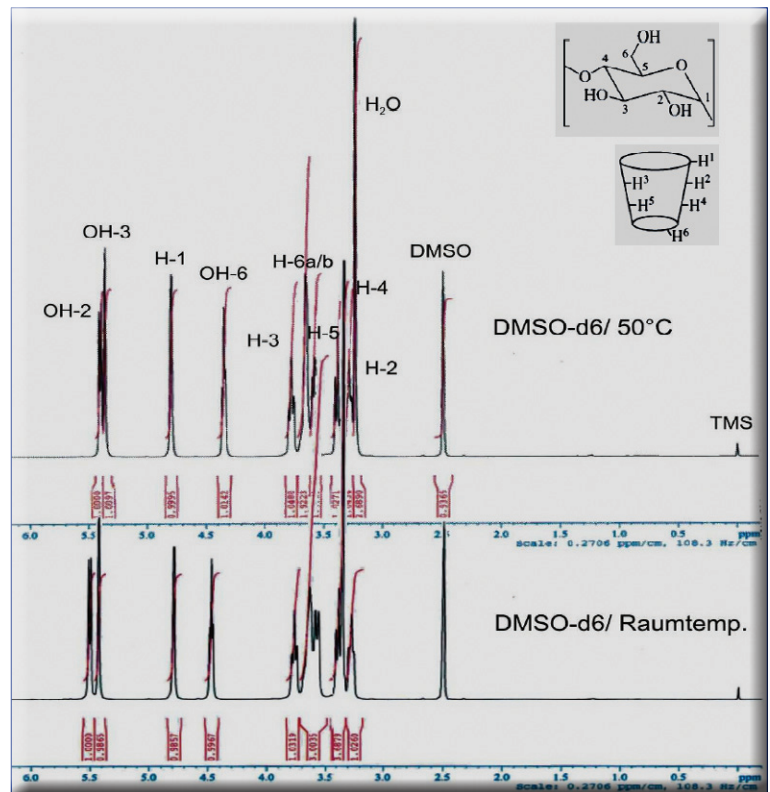


Abbildung 15: ¹H-NMR-Spektren von α-Cyclodextrin in DMSO-d₆, gemessen auf dem 400 MHz NMR Spektrometer Avance DRX 400 der Fa. Bruker mit digitalem Lock, Gradiententechnik und 5mm QNP Probenkopf (internes TMS; Messung nach der internen Standardarbeitsanweisung SAA SP/n/001.0).

nehmend differenzierter. Die mit der größten Aussagekraft kamen aus Obernburg, auch weil man sich dort die Mühe machte, bei Raumtemperatur und bei 50°C zu messen. Die mit steigender Temperatur veränderte Dynamik des Protonenaustausches bei OH- und SH-Gruppen und die damit verbundene Verschiebung der Signale gestattet eine klare Unterscheidung von CH-, OH- und SH-Gruppen. Die Zuordnung durch Datenvergleich mit der Literatur war gut möglich [13]. Sie zeigt exakte Übereinstimmung. Die Abbildung 15 lässt erkennen, dass die Messung bei 50°C nicht nur zu einer besseren Linienform führt, sondern auch zu einer Verschiebung der austauschbaren Protonen nach höherem Feld. Wir sehen auch, dass die Ausgangsverbindung α -CyD Wasser enthält.

Die Spektren in Abbildung 16 dienen uns als erster Hinweis für die Komplexierung, weil sie die Signale der Substrate zeigen. Der Vergleich ihrer Integrale mit denen der CH- und OH-Signale (bei α -CyD: pro Signal = 6 H-Atome) macht deutlich, dass z.T. eine Dissoziation der offenbar labilen Komplexe eingetreten ist. Das passiert schon beim Lagern in Vorratsbehältern (man riecht es auch) und wohl auch durch Aus-

tausch der Substrate mit dem Lösungsmittel bei der Messung. Im Kernresonanzspektrum des H_2S -Komplexes lässt sich der Peak bei 1,95 ppm klar als SH-Signal identifizieren, da die 50°C-Aufnahme eine deutliche Verschiebung zu höherem Feld zeigt. Die beobachtete Linienverbreiterung bei den OH-Signalen könnte ein Indiz für eine Wechselwirkung der OH-Gruppen des Cyclodextrins mit den H_2S -Wasserstoffatomen sein und damit einen Hinweis auf die Positionierung des H_2S im Inneren der Cyclodextrinhöhle geben. Beim MeSH-Komplex stellt sich das Quartett für HS- und das Dublett für $-SCH_3$ mit dem erwarteten Intensitätsverhältnis 1:3 gut dar.

Für einen qualitativen Nachweis des H_2S -Substrats im Komplex nutzten wir das niedrige Löslichkeitsprodukt von Ag_2S ($6,3 \cdot 10^{-51} \text{ mol}^3/\text{l}^3$). Die wässrige Lösung ergibt mit Silbernitrat einen feinen schwarzen Niederschlag.

Den endgültigen Beweis für das Vorliegen der Einschluss-Komplexe erbrachte die Einkristall-Röntgenstrukturanalyse, die freundlicherweise von Mitarbeitern der TU Darmstadt durchgeführt wurde. Das Züchten geeigneter Kristalle war nicht ganz einfach, aber es gelang schließ-

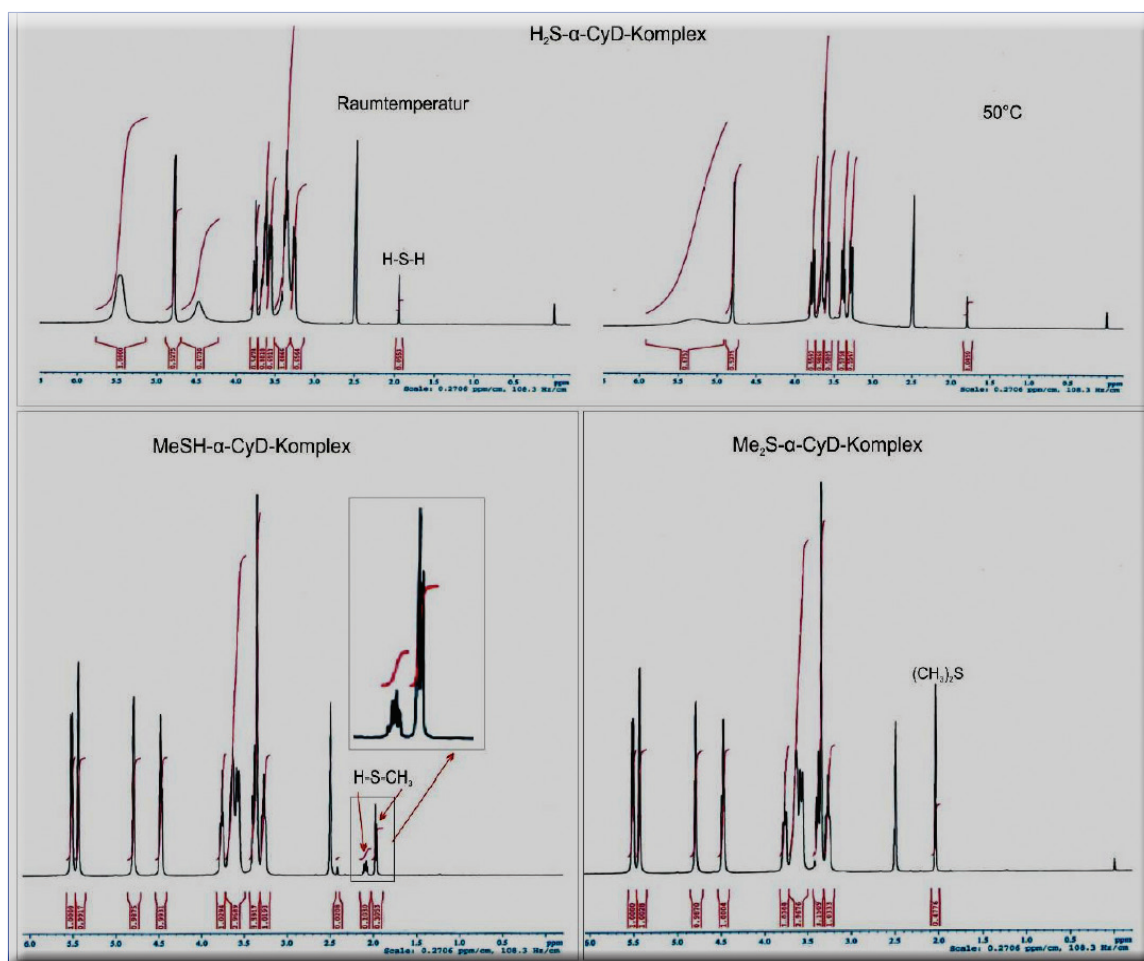


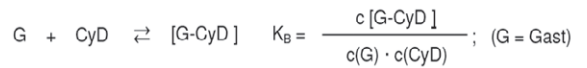
Abbildung 16: ^1H -NMR-Spektren der $R_2\text{S}$ -Komplexe von α -CyD, bei RT und bei 50°C aufgenommen.

lich beim H_2S -Komplex. Das Ergebnis zeigt die Abbildung 17.

Zur Charakterisierung der neuen R_2S -CyD-Komplexe gehört auch die Bestimmung der Komplexbildungskonstanten. In der Reaktionsgleichung gehen wir realistisch von einem 1:1-Komplex aus. Bei der praktischen Synthese ist es allerdings schwer möglich, die 1:1 Stöchiometrie der Edukte einzuhalten, weil zwei von drei VSC bei Raumtemperatur gasförmig vorliegen. Wir leiteten längere Zeit einen H_2S - bzw. CH_3SH -Gasstrom durch eine 5,66 %ige α -CyD-Lösung und gingen davon aus, dass aufgrund der mäßigen H_2S - und der schlechten CH_3SH -Löslichkeit in Wasser, der 1:1-Umsatz in einer einfachen Näherung gewährleistet ist. Da Cyclodextrine

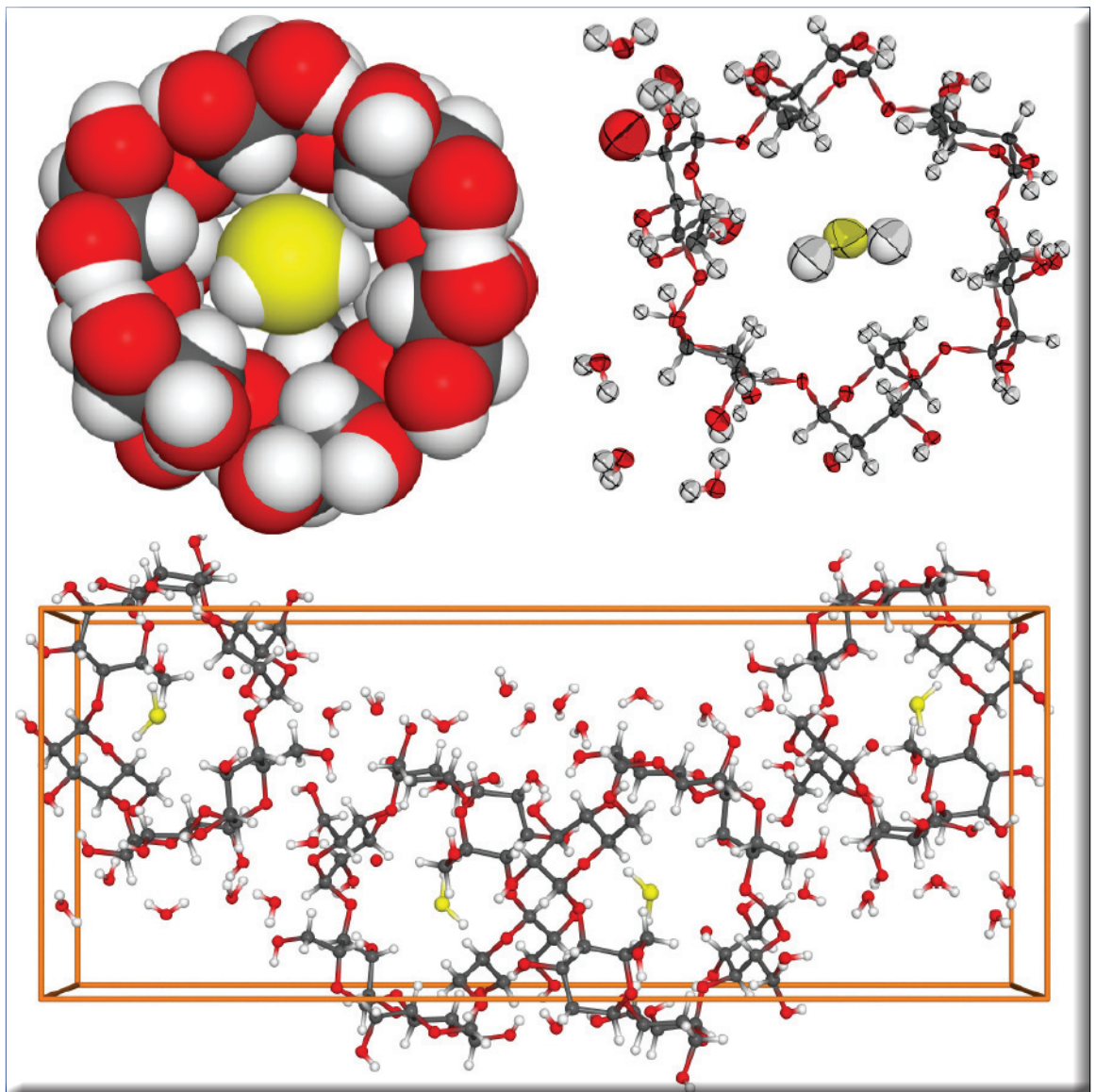
optisch aktiv sind ($[\alpha]_{\text{D}}^{20}$ von α -CyD = $150^\circ \pm 0,5$), ist die quantitative Bestimmung ihrer Restkonzentration nach Fällung des Komplexes polarimetrisch gut möglich. Vorher werden die Filtrate nach Abfiltrieren des Niederschlages zentrifugiert und die VSC-Restanteile verköcht. Die Konzentration des Komplexes entspricht dann der Differenz

$$c(\text{CyD})_0 - c(\text{CyD})_{\text{Rest}} \quad \text{und} \quad c(\text{G}) = c(\text{CyD}).$$



Unsere Daten (Tabelle 2) stimmen durchaus mit Literaturwerten überein. Für kleine Moleküle wie CO_2 und Ethan fanden wir Werte von 15

Abbildung 17: Kalotte (oben links), thermischer Ellipsoid (oben rechts) und Einheitszelle (unten) des α -CyD- H_2S -Komplexes; die Struktur wurde bestimmt mit einem Xcalibur Diffraktometer von Oxford Diffraction mit einem Sapphire CCD Detector in omega-scan mode ($\text{MoK}_\alpha = 0,71073 \text{ \AA}$).



Komplex	α	$c_0(\text{CyD}) \text{ mol/l}$	$c(\text{CyD})_{\text{Rest}}$	K_B	Vergleichswerte [14]
$\text{H}_2\text{S-CyD}$	$8,6^\circ$	0,0582	0,0294	$33,3 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{l}$	Ethanol = $9,7 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{l}$
MeSH-CyD	$1,4^\circ$	0,0582	0,00484	$22,8 \cdot 10^2 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{l}$	Butanol = $79,4 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{l}$
$\text{Me}_2\text{S-CyD}$	$6,45^\circ$	0,0582	0,0361	$73,9 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{l}$	Benzol = $31,6 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{l}$

Tabelle 2: Experimentelle Daten bei der polarimetrischen Bestimmung der Komplexbildungskonstanten.

$30 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{l}$ [15]. Der Wert für den MeSH-Komplex muss als signifikant hoch klassifiziert werden. MeSH ist mit einem kritischen Moleküldurchmesser von $0,45 \text{ nm}$ auch wie maßgeschneidert für die α -CyD-Kavität ($0,47 - 0,53 \text{ nm}$), während das H_2S -Molekül mit $0,36 \text{ nm}$ lose hineinpasst. Die Auswertung der Peak-Integration der NMR-Spektren ergibt eine Korrelation mit den Konstanten, wenn man zum Vergleich den Anteil der intakten Komplexe in Lösung heranzieht (H_2S : ca. 30%; MeSH: ca. 60%; Me_2S : ca. 50%).

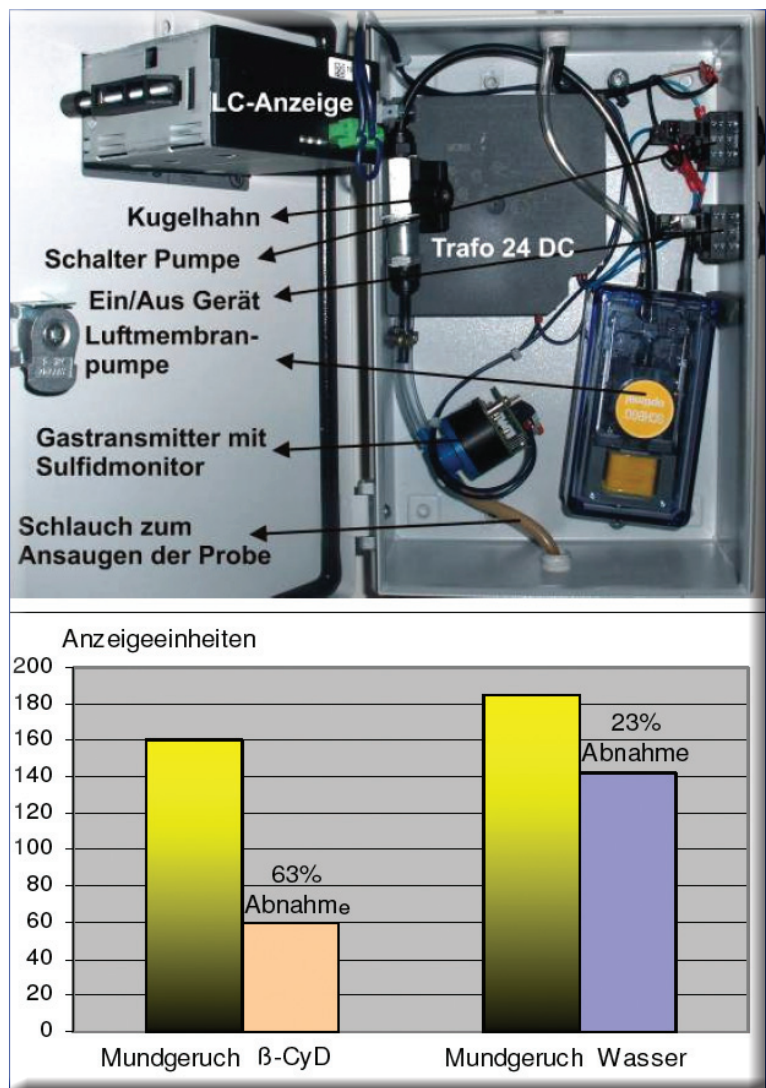
Ein Low-cost-Sulfidmonitor im Eigenbau – für 200 statt über 3000 Euro

Ein Halimeter hat einen stolzen Preis von 3600 Euro. Für uns war es eine Herausforderung, eine Low-cost-Version mit 200 Euro zu entwickeln. Wir fanden einen Gastransmitter mit einem elektrochemischen H_2S -Sensor für den Messbereich von $0-200 \text{ ppm}$. Er liefert am Ausgang Messsignale von $4-20 \text{ mA}$. Wir stellten den Transmitter mit einem 24V -Gleichstromtrafo, einer Aquariumpumpe zum Luftansaugen und einem Anzeigeinstrument zu einem funktionsfähigen Kleingerät zusammen. Die Anzeige sponserte eine Firma. Sie fällt daher etwas nobler aus, kann aber auch durch billige Teile aus dem Elektronikhandel ersetzt werden. Erste Tests ergaben, dass der Sensor H_2S und Mundgeruch in äußerst feinen Konzentrationen detektieren kann (siehe Abbildung 18).

Zusammenfassung

Jeder Mensch ist nahezu täglich mit dem eigenen und mit fremdem Mundgeruch konfrontiert. Bei vielen schafft regelmäßige Mundhygiene Abhilfe, manche werden vom Zahnarzt als Mundgeruchspatient eingestuft. Bekämpfen lässt sich der schlechte Atem durch Abtöten der Bakterien in der Mundhöhle mit chemisch oder biologisch aktiven Materialien oder mit Absorptionsmitteln die die Geruchsstoffe binden. Unser Ziel war es, die Hauptgeruchsstoffe des Mundgeruchs mit Cyclodextrinen zu maskieren und die Effizienz der Methode durch wissenschaftliche Untersuchungen zu belegen. Dabei sollten besonders der Schwefelwasserstoff und seine organischen Methyl-derivate fokussiert werden. Dass Cyclodex-

trine diverse „Geruchsmoleküle“ einlagern und alle möglichen Stinkereien beseitigen können, ist lange bekannt. Mit ihrem Einsatz zur Bekämpfung von Mundgeruch sollte Neuland betreten werden. Unsere Untersuchungen konzentrierten sich auf die Absorption von Schwefelwasserstoff und von organischen Methylsulfiden durch Wasser im Vergleich mit wässrigen Cyclodextrin-Lösungen im Chemielabor und auf Untersuchungen mit schlechter Atemluft aus der Mundhöhle in der Zahnarztpraxis.

Abbildung 18: Halimeter-Eigenbau mit H_2S -Sensor und erste Untersuchungsergebnisse.

Mit dem schulischen Gaschromatographen konnten wir nachweisen, dass α - und β -Cyclodextrin-Lösungen Dimethylsulfid-Dämpfe und gasförmiges Methanthiol um 30-40 % besser aus der Gasphase aufnehmen als normales Wasser. An der Universität Marburg bot sich uns die Gelegenheit, mit einer GC/MS-Gerätekombination zu arbeiten, die eine um den Faktor 1000 höhere Empfindlichkeit besitzt. Dabei zeigte sich, dass im Konzentrationsbereich von 1-10 ppm 30-40 % der Gase und Dämpfe von Schwefelwasserstoff, Dimethylsulfid und Methanthiol vom Wasser gebunden werden. Bei wässrigen CyD-Lösungen reicht der Absorptionsgrad bis über 90 %.

Dieses Ergebnis konnte mit einer künstlichen Mundhöhle aus Kunststoff, die mit einem Cocktail aus den drei mundgeruchsrelevanten Schwefelverbindungen präpariert wurde, bestätigt werden. Aus dem Gemisch absorbieren die Cyclodextrin-Lösungen 50 % des H_2S - und über 90 % des $MeSH$ - und Me_2S -Anteils der Luft.

Für weitere Untersuchungen stand uns in einer spezialisierten Zahnarzt-Praxis ein Halimeter mit einem hochempfindlichen Sulfid-Monitor zur Verfügung. Mit ihm konnten wir in den ppb-Bereich vordringen und die Empfindlichkeit der Messung nochmals um den Faktor 1000 steigern. Die durchgeführten Untersuchungen bestätigen die früheren Ergebnisse auch in der menschlichen Mundhöhle und bei echtem Mundgeruch. Die Wasserspülung reduziert die Mundgeruchswerte um ca. 30 %, mit Cyclodextrin-Lösungen gehen sie um 60-70 % zurück. Mit einem Mundwasser, das α - und β -Cyclodextrin enthält, lag der Reinigungseffekt bei über 80 %.

Auch Knobigestank, auf den der Sulfidsensor sehr empfindlich anspricht, wird radikal beseitigt. Die Werte sinken nach CyD-Spülung auf 1-10 % der Ausgangswerte. Von den bekannten Haushaltsmittelchen gegen Mund- und Knoblauchgeruch wie Wurzelpetersilie, Petersilie und Ingwer kann nur Petersilie den Knoblauchgestank erträglich gestalten, aber auch sie kann bei weitem nicht gegen Cyclodextrin „anstinken“.

Nachweisen konnten wir auch, dass die Mundgeruchsbeseitigung kein Kurzeffekt ist. Bis zu 45 Minuten bewegt sich der Messwert nahe an der Null-Grenze. Damit kann die neue Zauberformel $C_{42}H_{70}O_{36}$ dazu beitragen, dass auch bei Mundgeruchspatienten die zwischenmenschlichen Kontakte störungsfrei verlaufen.

Neben der erfolgreichen Bekämpfung von schlechtem Atem gelang es uns auch, die chemischen Hintergründe der Geruchselimination aufzuklären. Besonders freuen wir uns darüber, dass wir die Wirt-Gast-Komplexe des α -Cyclodextrins mit H_2S , CH_3SH und $(CH_3)_2S$ erstmals synthetisieren konnten. Zur ihrer eindeutigen Charakterisierung tragen 1H -

NMR-spektroskopische Untersuchungen, die Röntgenstrukturanalyse und die Bestimmung der Komplexbildungskonstanten bei. Schließlich können wir noch ein Mundgeruch-Messgerät vorweisen, das mit einem Zwanzigstel des handelsüblichen Kaufpreises nach unseren Plänen entstand. **CLB**

Dank

Wir möchten allen herzlich danken, die unsere Arbeit unterstützt haben. Das erste Dankeschön geht an unseren Betreuungslehrer, Herrn Dr. Roland Full, der uns seit Jahren mit Rat und Tat zur Seite steht und immer für uns da ist. Er war bei der Knüpfung vieler wichtiger Kontakte behilflich. In der Zahnarztpraxis Lippert in Aschaffenburg erfuhren wir großzügige Unterstützung durch den Chef und fürsorgliche Betreuung durch Frau von Papen. Danken möchten wir auch Prof. Geyer und Prof. Seubert von der Uni Marburg, ohne deren Unterstützung und Vertrauen wir kaum so tief in die Thematik hätten eindringen können. Auch den Mitarbeitern und Doktoranden aus ihren Arbeitskreisen, vor allem Rüdiger Penzel und dem ehemaligen HSGler Felix Weiher, die uns engagiert betreut und über Frustrationen hinweg geholfen haben, sagen wir herzlichen Dank. Felix Weiher und Kirsten Storch haben IR- und 1H -NMR-Spektren für uns aufgenommen und mit uns interpretiert. Ein toller Service durch ehemalige Schüler unserer Schule. An der TU-Darmstadt gab sich PD Dr. Stefan Immel größte Mühe, die Aufnahme einer Röntgenstruktur zusammen mit Frau Foro zu organisieren und schließlich erfolgreich abzuschließen. Dafür sind wir außerordentlich dankbar. Herrn Dr. König vom Analytik-Service Obernburg sind wir zu besonderem Dank verpflichtet, weil er sich mit der Aufnahme und der Interpretation der NMR-Spektren über alle Maßen engagierte. Herrn Gebert von der Firma Göhler Anlagentechnik und dem Firmenchef Herrn Michael Göhler danken wir sehr für die Hilfe und die großzügige Unterstützung beim Halimeterbau.

Literatur

- [1] <http://www.stern.de/zaehne/erkrankungen:/Mundgeruch-Die-Angst-Mief/607321.html?p=7>
- [2] B. Lutz, Textilerfrischer eliminiert Geruch, NiU-Chemie, 12 (2001). Nr. 63, S 31-36
- [3] Wirt-Gast-Komplex β -Cyclodextrin und Phenolphthalein, http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/disido_cy/cyde/exp/12app03.htm, Zugriff am 17.06.2010, 17:56 Uhr
- [4] A. Lanzl, Klinische Prüfung von Zahnpasten auf ihre Wirkung im Zusammenhang mit Halitosis, Dissertation, LMU-München, 2008, S. 34
- [5] M. Gröger, E.A. Kretzer, A. Woyke, Cyclodextrine (Reader mit Hintergrundinformationen), Science Forum, Universität Siegen, Didaktik Chemie, Juli 2001, S 13
- [6] F.W. Lichtenthaler, S. Immel, Molecular Modeling of Cyclodextrins; Tetrahedron: Asymmetry 1994, 5, 2045 - 2060
- [7] http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/disido_cy/cyde/info/03_physical_cy.htm;
- [8] E. Rupprecht, Halitosis, in „Kosmetische Medizin“, 6/2002, S. 304
- [9] G.M. Dykstra, J.N. Graham, S.D. Branum, „Use of cyclodextrins for odor control in papermaking sludges, and deodorized sludge and products“, <http://www.faqs.org/patents/app/20090000752>,
- [10] <http://www.patent-de.com/20060119/DE69830170T2.html>
- [11] <http://www.das-wellness-lexikon.de/Knoblauch.html>
- [12] http://www.planet-wissen.de/sport_freizeit/garten/zwiebelgewaechse/index.jsp
- [13] H.J. Schneider, F. Hacket, V. Rüdiger, NMR Studies of Cyclodextrins and Cyclodextrin Complexes, Chem. Rev. 1998, 1755-1785
- [14] M.V. Rehharsky, Y. Inoue, Complexation Thermodynamics of Cyclodextrins, Chem. Rev. 1988, 98, 1875-1917
- [15] F. Cramer, M. Henglein, Chem. Ber. 90, 2561 (1957)

CLB

FAX: 06223-9707-41

Wollen Sie die CLB nicht erst als 4., 5. oder 6. in Ihrer Firma lesen?

Für nur 109 Euro pro Jahr erhalten Sie als persönlicher Abonnent monatlich die CLB mit dem Ausbildungs- und Umweltbezogenen Teil Erreichen&Erhalten.

Abo-Bestellcoupon

- JA, ich möchte die CLB abonnieren. Ich erhalte als persönlicher Abonnent die CLB zunächst für ein Jahr (=12 Ausgaben) zum Preis von 109 Euro zzgl. Versandkosten (Inland: 13,60 Euro, Ausland: 24,40 Euro). Das Abonnement verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, wenn es nicht bis acht Wochen vor Ende des Bezugsjahres gekündigt wird.

Datum / 1. Unterschrift

Name / Vorname

Widerrufsrecht: Diese Vereinbarung kann ich innerhalb von 20 Tagen beim Agentur und Verlag Rubikon Rolf Kickuth, Bammertaler Straße 6-8, 69251 Gaiberg, schriftlich widerrufen. Zur Wahrung der Frist genügt die rechtzeitige Absendung des Widerrufs. Gesehen, gelesen, unterschrieben. Ich bestätige die Kenntnisnahme des Widerrufsrechts durch meine 2. Unterschrift.

Straße / Postfach

Land / PLZ / Ort

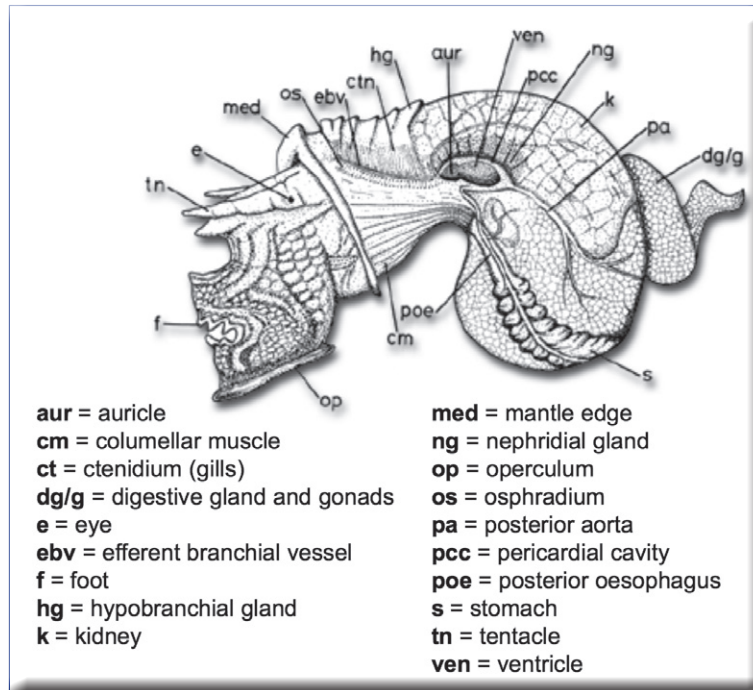
Datum / 2. Unterschrift

Telefon oder e-Mail

Die „Perlen“ der Kegelschnecken

Opercula: Verschlusssteine gegen Feinde und Austrocknung

Wolfgang Hasenpusch, Universität Siegen



An den Stränden des Indischen Ozeans sind sie zu Millionen zu finden, die Schließsteine der Kegel- und Turbanschnecken. Diese Meeresbewohner tragen sie als Verschlüsse für ihr Gehäuse am Mantelkörper. Die Verschlusssteine, die mit wissenschaftlichem Namen Opercula (lat., singular: Operculum = Deckel) heißen, schützen die Kegelschnecken vor Feinden oder vor dem Austrocknen, wenn sie sich von den Flutwellen an den Strand spülen lassen. Als Schmuck und Glücksbringer sind sie bei den Einheimischen seit jeher bekannt. Aber vielleicht regen sie ja auch noch zu neuen Ideen im Sinne der Maritimen Bionik an?

Abbildung 1: Linke Seite der marinen Kegelschnecke prosobranch gastropod *Littorea*.

Die Kegelschnecke und ihr Operculum

Schalen von Muscheln und Meeresschnecken haben Sammler seit jeher fasziniert. Denn diese Meeresbewohner fallen durch eine Vielzahl außergewöhnlicher Geometrien, Formen, Zeichnungen und Farben auf. Daher befassen sich die meisten Bewunderer dieser Weichtiere eher mit den Gehäusen als mit dem morphologischen Aufbau ihres Innenlebens. Besonders im 18. Jahrhundert, mit den vermehrten Kolonisationen und Welthandelsgeschäften über die Meere, kam das Sammeln von Schneckenschalen in Europa verstärkt in Mode.

Die Klasse der Meeresschnecken umfasst einen enormen Umfang an Arten. Ihre Länge reicht von einigen Millimetern bis zu 60 cm. Im Meerwasser mit rund 3,5 % Salinität von höherer Dichte sowie einer höheren Konzentration an Kalzium-Ionen kann der Gehäusekörper massiver ausgebaut werden. Auch die Verschlüsse, die Opercula, bestehen nicht aus nur organisch hornigem Material, sondern einem kompakten Kalziumcarbonat-Körper.

Der Autor

Prof. Dr. Wolfgang Hasenpusch, beschäftigt in der Chemischen Industrie als Referent für Sicherheit und Umwelt, hält darüber hinaus eine Honorar-Professur an der Universität Siegen in Industrieller Anorganischer Chemie mit den Schwerpunkten Innovationsmanagement, Recycling und Bionik. Das weite Spektrum an bearbeiteten Themen resultiert aus der vielfachen Dozenten-Tätigkeit am Deutschen Institut für Betriebswirtschaft, den Schulen der Berufsgenossenschaft Chemie sowie Universitäten.



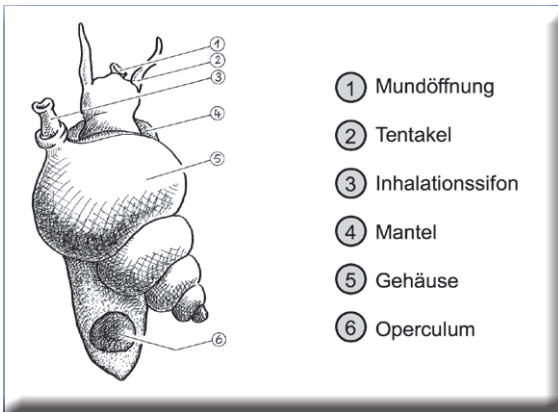
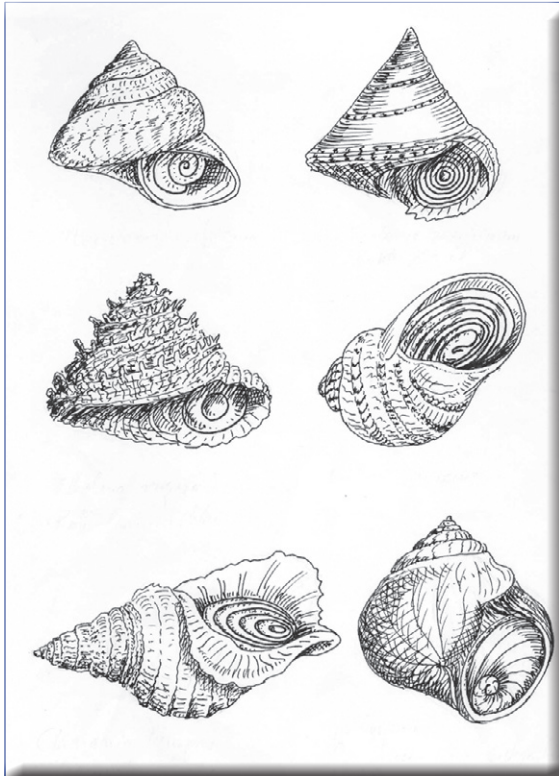
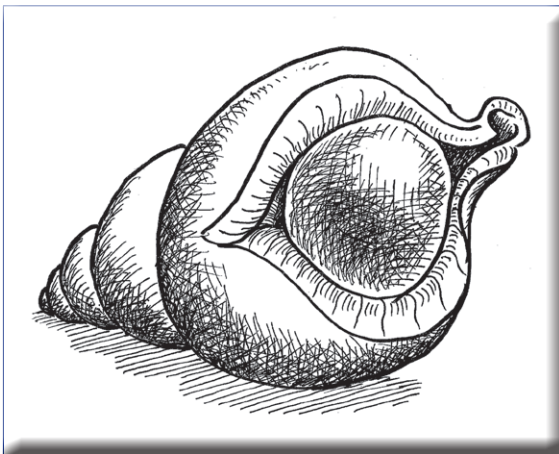


Abbildung 2 (oben): Prinzipieller Aufbau einer Meeres-Kegelschnecke mit Operculum.

Abbildung 3 a (unten): Das Operculum schließt das Gehäuse der Kegelschnecke.

Abbildung 3 b (ganz unten): 3 b: Unterschiedliche Opercula verschließen die verschiedenen Arten von Kegel- und Turbanschnecken.



Die Mehrzahl der Meeresschnecken sind Vorderkiemer. Mit Hilfe eines Sifons führen sie mitunter Wasser in gezielterer Weise zu den Kiemen.

Die Weichtiere der Meere, die Mollusken, haben sich seit Millionen von Jahren kaum verändert, wie an Versteinerungen und Schalen-Einbettungen in Gestein zu entnehmen ist. Der gesamte Aufbau der Gastropoden, der Schneckengehäuse-Bauer, umfasst fünf Bereiche:

- Kopf mit Augen, Tentakeln, Mundöffnung, Hirnganglien und mit Sinnesorganen
- Fuß zum kriechenden Fortbewegen, bei Kegel- und Turbanschnecken mit Operculum am hinteren Ende
- Eingeweidesack mit den Kreislaufsystem, den Verdauungsorganen und den Fortpflanzungsorganen
- Mantel, der den Eingeweidesack umhüllt und für die Ausbildung des Schalen- bzw. Schneckenkörpers verantwortlich ist
- Schale in den vielen Varianten.

Abb. 1 verweist auf einen weitergehenden Bauplan der Gastropoden.

Etwas übersichtlicher in der Außenansicht zeigt ihn die Abb. 2 und verweist auf die Lage des Gehäuse-Schließsteines, des Operculums.

Im bedrohten Zustand schließt das Operculum das Gehäuse der Kegel- oder Turbanschnecken derart hermetisch ab, dass Feinden keine Chance mehr für einen erfolgreichen Angriff bleibt (Abb. 3 a und 3 b).

In Natur sind die geschlossenen Gehäuse in der Abb. 4 zu sehen. Noch häufiger jedoch sind die Opercula an den Gestaden des Indischen Ozeans zu finden. An allen Größen liegen sie im Sand, leicht erkennbar an ihrer oberen Färbung oder an der Schneckenwendel der Unterseite.

Abbildung 4: Geschlossene Kegelschnecken mit Opercula.



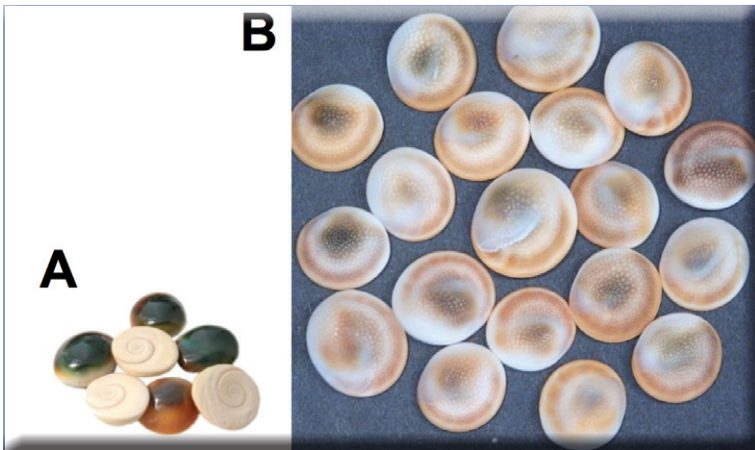


Abbildung 5: Beide Seiten (A) und gewölbte Oberseiten der Opercula.



Abbildung 6 (oben): Die schnelle Flucht des Einsiedlerkrebses.

Struktur und Zusammensetzung der Opercula

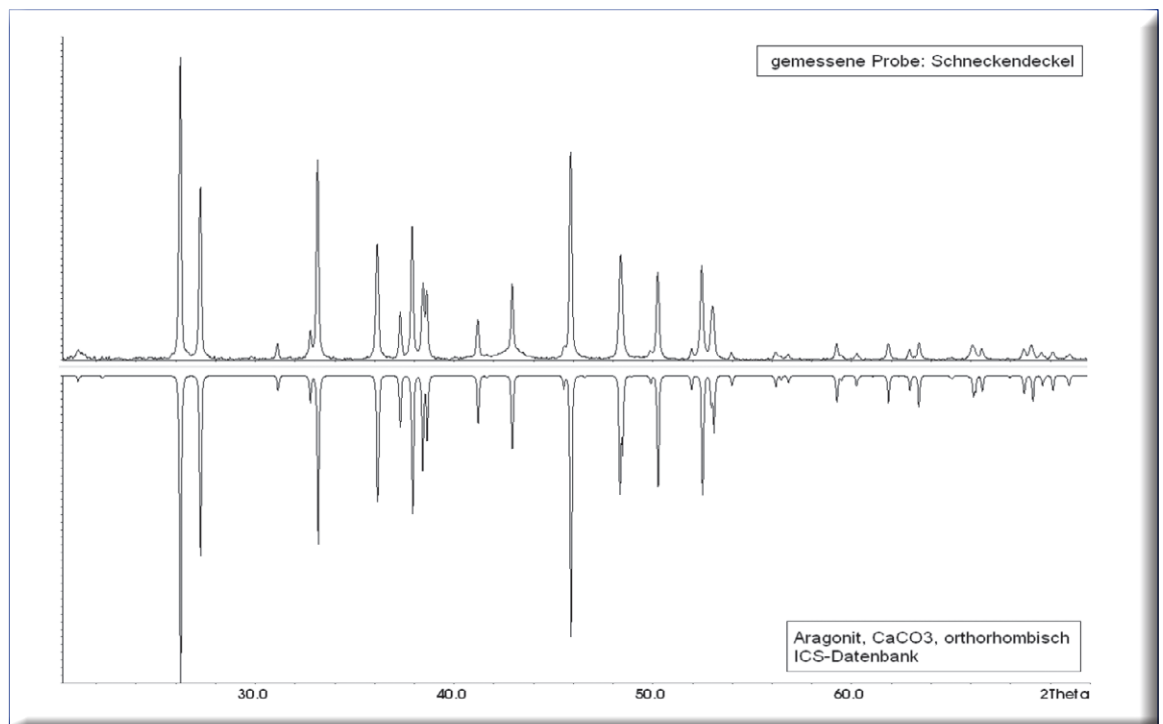
Das Aussehen der Opercula hat die Menschen ebenfalls schon seit Anbeginn veranlasst, daraus Ketten, Ringe und andere Schmuckgegenstände herzustellen.

Wie in der Abb. 4 erkennbar ist, überzieht eine farbige Schicht diesen Schließstein. Wenn sich die Schnecke von dem Operkulum trennt oder sie wird Opfer eines Fressfeindes, treiben die

Abbildung 7 (unten): Einsiedlerkrebse besetzen die leeren Gehäuse der Kegelschnecken.



Abbildung 8: Übereinstimmung des Operculum-Materials mit dem Aragonit (Röntgen-Pulveraufnahme).



Opercula, ebenso wie die Gehäuse an das Ufer. Sie verlieren dabei den größten Teil der Farbschicht. Es bleibt eine leicht bräunlich getönte Farbdeutung zurück. Auf der Abb. 5 sind zum einen die stark gefärbten Schließsteine zu sehen (A) sowie die am Strand und beim Gerätetauchen gesammelten größeren Opercula, die schon vor längerer Zeit abgetrennt wurden (B).

An den leeren ausgeräuberten Schneckengehäusen sind die Einsiedlerkrebse sehr interessiert. Diese „Hausbesitzer“ sind am Strand vor allem dann gut zu erkennen, wenn sie mit ihrer Last davoneilen (Abb. 6). Wie gut sich die Einsiedlerkrebse in die Schneckengehäuse zurückziehen können und wie geschickt sie die Gehäuseöffnung mit ihren ineinander passenden Körperteilen abschließen, ist auf der Abb. 7 zu erkennen.

Opercula bestehen aus Calciumcarbonat in der reinen Aragonit-Modifikation, wie Röntgenpulveraufnahmen von Unter- und Oberseite belegen (Abb. 8). Aragonit besitzt sowohl eine höhere Dichte (= 2,9) als auch eine höhere MOHS-Härte (= 4,5) als die analoge Calcit-Modifikation (entsprechend 2,6 und 4,0), aus der der größte Teil des Schneckengehäuses besteht. Beide Modifikationen haben die chemische Formel CaCO_3 . Die Aragonit-Opercula haben damit die doppelte Härte, wie industriell gefertigte Keramik.

Die Opercula zeigen von den Ausmaßen der Unterseite ein Oval, bei dem das Breiten/Längen-Verhältnis über den gesamten Bereich konstant 0,90 beträgt (Abb. 9).

Die Faszination an diesen Opercula ist sicherlich zum großen Teil der magischen Schneckenzeichnung der Stein-Unterseite zu verdanken: die Natur hat sie exakt nach dem „Goldenen Schnitt“ konstruiert. Der Mittelpunkt der Schnecke auf der Unterseite des Operculum befindet sich genau 62 % von rechts aus gesehen auf der waagerechten Längsachse und 62 % auf der vertikalen Achse von oben gesehen (Abb. 10). 62 % aber entspricht sehr genau der Formel des Goldenen Schnitts:

Länge bis zum Schneckenzentrum : Gesamtlänge = $\frac{1}{2} \sqrt{5} - 1 = 0,618$.

Die Schnecke auf der Unterseite, die zum Körper der Schnecke hingerrichtete Seite, dreht sich stets entgegengesetzt des Uhrzeigersinns zum Zentrum.

In diese Schnecke des Operculums ist, wie auch in den Gehäusen, ein Netzwerk von Conchiolin eingebaut, das dem Polysaccharid Chitin (griech.: chiton = Panzer) (Abb. 11) ähnelt sowie einem Protein (Abb. 12), das im Gegensatz zu unserem Knochen-Collagen, dessen Zusammensetzung der hydrolysierten Aminosäuren in Tab.

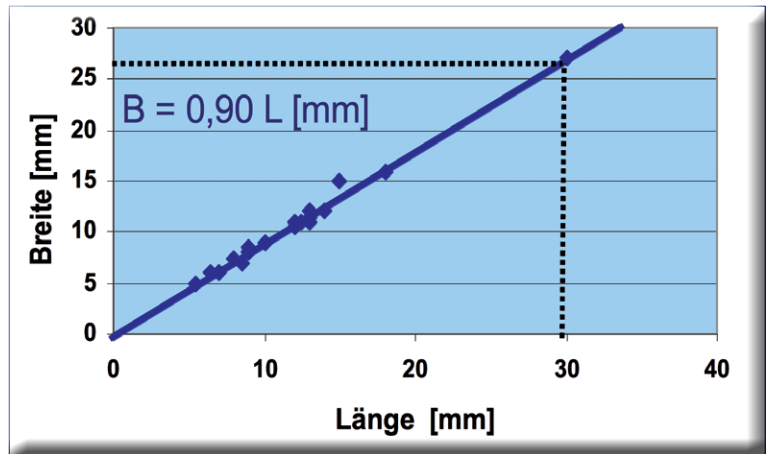


Abbildung 9: Länge-Breite-Relation von Opercula der Kegelschnecken.

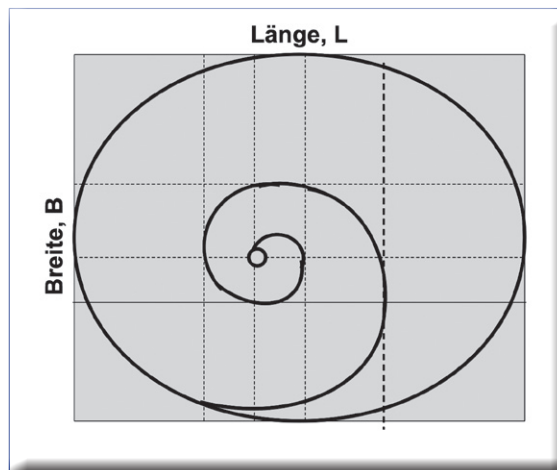


Abbildung 10: Konstruktion der Operculum-Schnecke nach dem Goldenen Schnitt.

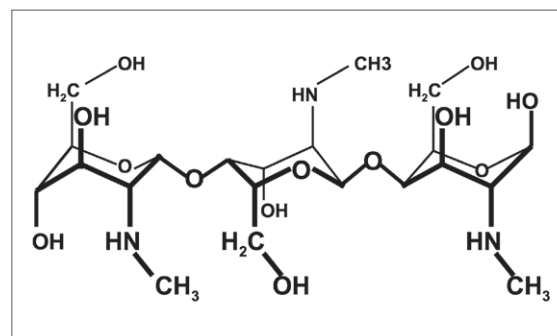


Abbildung 11: Struktur des Chitins.

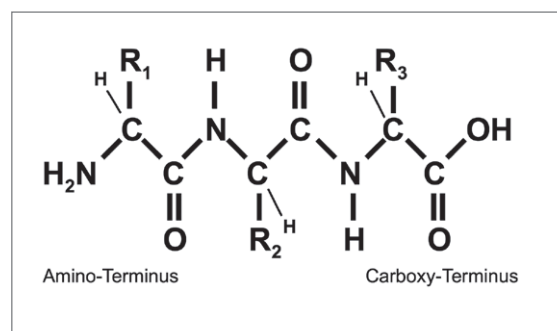


Abbildung 12 (unten): Struktur der Proteine.

Abbildung 13:
Gewicht der Opercula in Relation zur Länge.

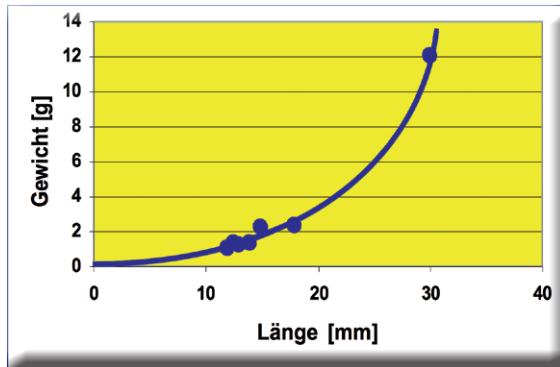


Abbildung 14:
Lineare Abhängigkeit zwischen dem dekadischen Logarithmus des Gewichtes und der Länge von Opercula.

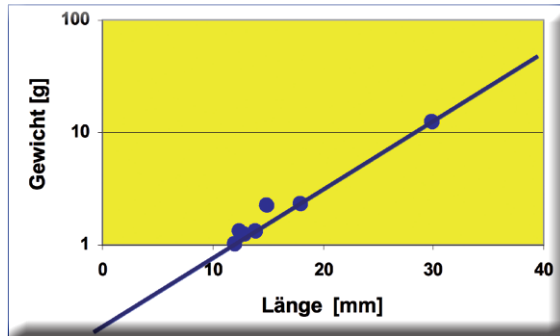


Abbildung 15:
Schnecken-Öffnung in Relation zur Schnecken-Höhe.

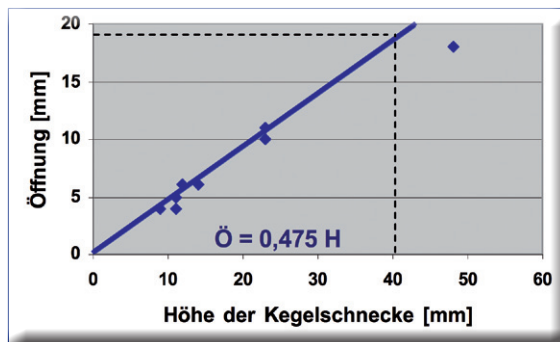


Abbildung 16:
Relation zwischen Höhe der Kegelschnecke und dem Gewicht des Gehäuses.

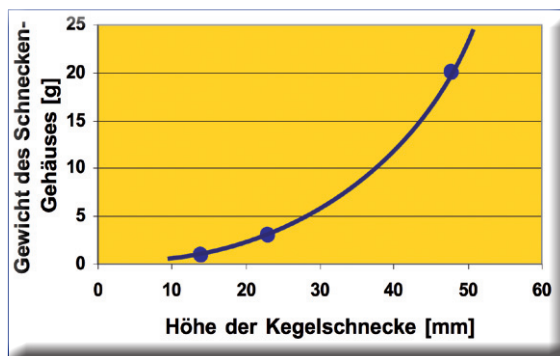
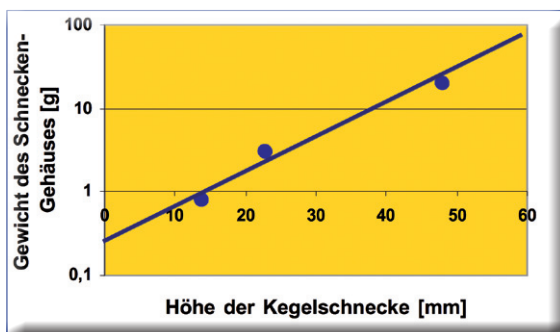


Abbildung 17:
Lineare Beziehung zwischen der Höhe der Kegelschnecken und dem dekadischen Logarithmus ihrer Gehäuse-Gewichte.



l zu finden ist, mehr Asparaginsäure sowie mehr an der Hydroxyaminosäure Serin aufweist.

Diese Conchagen-Netze (lat.: concha = Muschel) lagern die Kalziumcarbonat-Kristalle ein. Besonders die Aminosäuren Asparaginsäure und Serin in den Proteinen sind für die Modifikations-Steuerung des Kalziumcarbonats, CaCO₃, zum Aragonit verantwortlich.

Die gefärbte Decksicht von Gehäuse und Operculum besteht aus reinem Conchiolin. Sobald die Schale nicht mehr von ihrem Erzeuger bewohnt wird, löst sich diese Conchiolin-Schicht relativ schnell auf.

Interessantes ist auch an dem Dickenwachstum der Opercula zu beobachten: Sie bilden sich nicht als symmetrisch gewölbte Aragonit-Steine aus, sondern wachsen asymmetrisch. Die Maximal-Dicke befindet sich rotations-symmetrisch zum Schneckenzentrum an der Operculum-Unterseite um 180° verdreht.

Betrachtet man die Gewichte der Opercula zu ihrem Längendurchmesser (= Länge), so finden wir eine parabolische Kurve (Abb. 13). Das Gewicht nimmt schneller zu, als der Längenwuchs der Opercula. Vergleicht man den dekadischen Logarithmus des Gewichtes in Gramm mit dem Längenwuchs so offenbart sich eine lineare Abhängigkeit (Abb. 14).

Eine lineare Beziehung besteht auch zwischen der Öffnungsweite einer Kegelschnecke und ihrer Gesamtlänge, wie Abb. 15 veranschaulicht.

Gewicht und Höhe der Kegelschnecke folgen wieder in der Gegenüberstellung einer parabolischen Kurve: das Gewicht nimmt schneller zu als die Länge (Abb. 16). Auch in diesem Fall führt die halblogarithmische grafische Auftragung von Gewicht und Länge zu einer Geraden (Abb. 17).

Die Einheimischen in den Küstenregionen am Indischen Ozean sowie die Insulaner in diesen Sphären fabrizieren die vielfältigsten Schmuckstücke aus den Opercula: Knöpfe für Blusen und Kleider, Ketten, bei denen man abwechselnd auf die Vorder- und Rückseite der Opercula schaut, Ringe mit gold- und silbergefassten Operkula-Steinen, Broschen mit besonders großen Opercula, die noch zur Verstärkung der Opercula-Schnecke Goldeinlagen enthalten und vieles an kreativen Schmuckarbeiten mehr.

Aber können wir auch technische Anwendungen aus dem Prinzip der Kegelschnecken-Verschlüsse ableiten?

Mit dem Übertragen biologischer Mechanismen in die Welt der Technik oder in unser Alltagsleben befasst sich die Bionik seit ca. 1960 ganz gezielt und in zunehmender Breite. Stammen diese Mechanismen speziell aus dem Meer

oder angrenzender Bereiche lässt sich dieser Transformationsprozess unter dem Begriff „Maritime Bionik“ eingrenzen.

Ideen aus dem Schutzmechanismus der Kegelschnecken

Das Grundprinzip der Kegel- und Turbanschnecken mit ihren Opercula ist das sichere Abschließen ihrer Gehäuse mit einer stabilen Kalkscheibe, die fast zur Kugel ausgeformt ist. Damit dichtet das Operculum zum einen gut an dem Gehäuseöffnungs-Wulst ab, zum anderen erschwert sie den Angriff von Krebsen, Langusten und anderen Feinden.

Das Operkulum ist mit dem Fuß der Schnecke über ein schneckenförmig ausgebildetes Polypeptid-/ Conchiolin-Netzgewebe verbunden.

Aus diesen Mechanismen bieten sich zwei direkte Suchwege für bionische Anwendungen an:

Wie und wo lässt sich der Schließ-Mechanismus mit einer Scheibe oder Kugel in der Technik umsetzen?

Welche Vorteile kann eine spiralförmige Fixierung von Knöpfen und anderen Gegenständen bringen?

Die erste Suchrichtung kann auf Ideen stoßen, die sich mit der Abdichtung von Röhren und

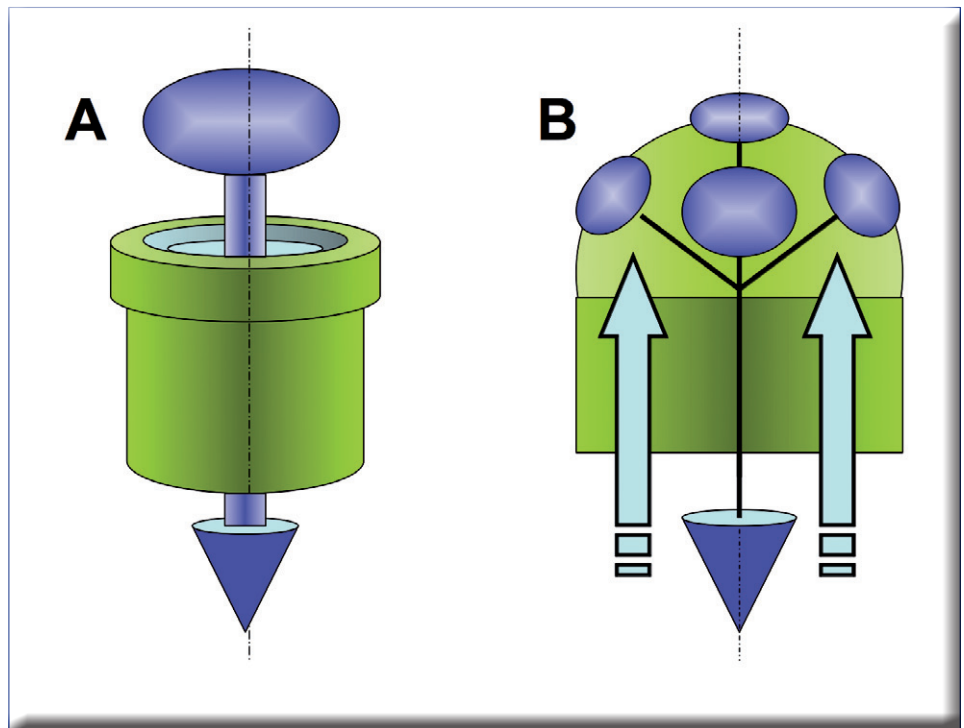


Abbildung 18: Bionische Ableitungen aus den Verschlüssen der Kegelschnecke: Flaschen-Verschluss (A) und Druck-Ventil (B).

Flaschen befassen. Konische Abdichtungen von Weinflaschen und Karaffen kennen wir bereits. Sie ließen sich dahingehend variieren, dass sich die eingeschliffene Dichtung über ein angehängtes Gewicht im gefälligen Design verbessert (Abb. 18 A). Das hätte besonders bei nachgärenden Getränken, wie beim Apfelmost „Süßer“ oder „Rauscher“ oder wie beim „Federweißer“, dem frischen Weintraubenmost, den Vorteil der Überdrucksicherung.

Nr.	Aminosäure	Hydrolyse-Anteil [G.-%]	M	Elemente	Formel
1	Glycin	27,0	75,07	C ₂ H ₅ NO ₂	H-CH(NH ₂)-COOH
2	Prolin	19,7	115,13	C ₅ H ₉ NO ₂	H-C ₄ H ₇ N-COOH
3	Hydroxiprolin	14,4	131,13	C ₅ H ₉ NO ₃	HO-C ₄ H ₇ N-COOH
4	Glutaminsäure	11,8	147,13	C ₅ H ₉ NO ₄	HOOC-(CH ₂) ₂ -CH(NH ₂)-COOH
5	Alanin	9,2	89,09	C ₃ H ₇ NO ₂	CH ₃ -CH(NH ₂)-COOH
6	Arginin	9,1	174,20	C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂	(NH ₂)(NH)C-NH-(CH ₂) ₃ -CH(NH ₂)-COOH
7	Asparaginsäure	6,7	133,10	C ₄ H ₇ NO ₄	HOOC-CH ₂ -CH(NH ₂)-COOH
8	Lysin	5,9	146,19	C ₆ H ₁₄ N ₂ O ₂	H ₂ N-(CH ₂) ₄ -CH(NH ₂)-COOH
9	Leucin	4,2	131,17	C ₆ H ₁₃ NO ₂	(CH ₃) ₂ CH-CH ₂ -CH(NH ₂)-COOH
10	Serin	3,3	105,09	C ₃ H ₇ NO ₃	HO-CH ₂ -CH(NH ₂)-COOH
11	Iso-Leucin	1,9	131,17	C ₆ H ₁₃ NO ₂	CH ₃ -CH ₂ -CH(CH ₃)-CH(NH ₂)-COOH
		113,2			

Tabelle 1: Zusammensetzung des Kollagen-Peptids.

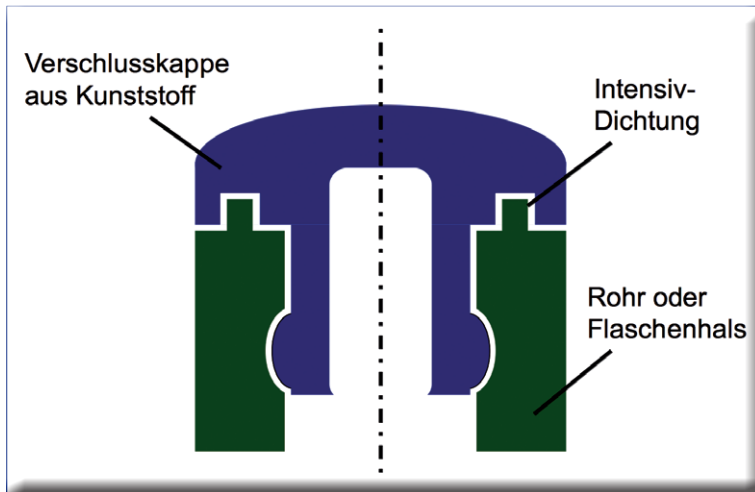


Abbildung 19: Rohr- oder Flaschenverschluss.

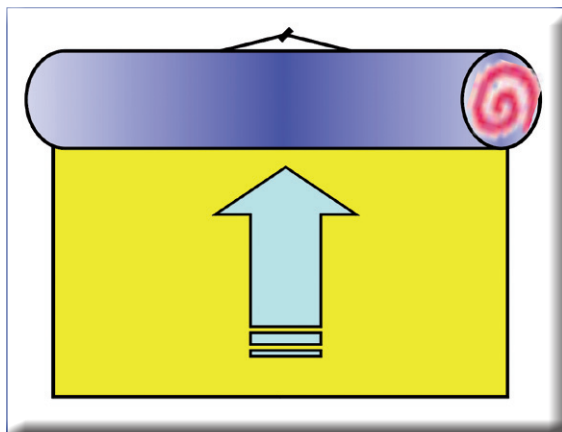
Auch ließe sich ein derartiger Ventil-Verschluss anstelle der Gärröhrchen bei der Weinherstellung verwenden.

Auf eine entsprechend weiterentwickelte Flaschen-Verschluss-technik verweist die Abb. 19: nach dem Druckknopf-Prinzip werden entsprechend geformte Verschlüsse in den Flaschenhals gedrückt.

Das Prinzip der Dichtung ließe sich auch für Entlastungsventile in der Technik einsetzen, bei denen ein entsprechendes Gewicht eine hinreichende Dichtung garantiert, bei Überdruck jedoch Entlastung gewährt (Abb. 18 B).

Der zweite Suchweg führt zu Anwendungen der spiralförmigen Fixierung. Das können zum einen Broschen-Befestigungen sein, die in das Gewebe der Kleidung gedreht werden, wobei ein Pin an der Broschen-Rückseite das Zurückdrehen verhindert, zum anderen aber auch aufgerollte Metall- oder Kunststoffrohre, die mit einer Florschicht überzogen sind, damit Plakate darin fixierbar sind (Abb. 20).

Abbildung 20: Bionische Ableitung aus dem Kegelschnecken-Verschluss: Bildaufhängung am Schneckenrohr.



Mit Sicherheit ist das Prinzip der Kegelschnecken-Dichtung auch noch für weitere Ideen und praktische Nutzenanwendungen gut. **CLB**

Literatur:

Gabbi G., „Muscheln – Juwelen des Meeres“, Jahr Verl., Hamburg, 1999

Göthel, H., „Unterwasserführer Malediven: Niedere Tiere“, Delius Klasing, Ed. Naglschmid, Stuttgart, 1995, S. 94-95

Woodward, F., „Muscheln – Das neue kompakte Bestimmungsbuch“, Könemann-Verl. Ges., Köln, 1997

Schuhmacher, H. und J. Hinterkircher, „Niedere Meerestiere“, BLV, München, 1996

<http://de.wikipedia.org/wiki/Operculum>

Protein ermöglicht Calcit-Skelett in Aragonit-Meer

Calciumcarbonat ist ein Stoff für alle Fälle, der unter anderem in Marmor vorkommt, aber auch biogene Sedimente wie Kalkstein und Korallenriffe bildet – und sogar Perlen. Die chemische Verbindung tritt unter anderem in zwei Modifikationen auf, als Calcit oder als Aragonit. Lange war fraglich, wie in Organismen die Entscheidung für eine Variante gefällt wird, wenn beide sekretiert werden können. Ein Forscherteam um den Geobiologen und Stipendiaten der Alexander von Humboldt-Stiftung Dr. Azizur Rahman an der Uni München konnte nun in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der japanischen Ryukyus-Universität zeigen, dass das Protein ECMP-67 in der Weichkoralle *Lobophytum crassum* der allein entscheidende Faktor für die Produktion von Calcit ist, und zwar unabhängig von den chemischen Verhältnissen im umgebenden Meereswasser. Wohl abhängig vom Gehalt an Magnesium- und Calcium-Ionen im Wasser gab es im Lauf der Erdgeschichte abwechselnd Calcit- und Aragonit-Meere. Heutzutage wird die Bildung von Aragonit im Meerwasser begünstigt, und viele Steinkorallen bilden ihre Skelette ausschließlich aus diesem Material. Dank ECMP-67 aber kann *Lobophytum crassum* auch im Aragonit-Meer das bevorzugte Calcit produzieren. Es ließ sich sogar auf molekularer Ebene zeigen, wie das außerzellige Protein ECMP-67 zur Calcit-Produktion beiträgt.

Entdeckung und heutige Verwendung

Teil 2: Arsen, Antimon und Bismut

Georg Schwedt, Bonn

Der Begriff **Sondermetalle** wird meist als unsystematische Gruppenbezeichnung entweder für die Metalle der 4.-6. Nebengruppe im Periodensystem (Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W) oder für alle Metalle außer Edelmetallen und den sogenannten Gebrauchsmetallen verwendet. Zu den **seltene Metallen** zählen auch Metalle der 4.-6. Hauptgruppe (Ga, In, Ge) sowie auch weitere Metalle aus anderen Hauptgruppen. In dieser Serie werden sie von der Entdeckung über Gewinnung, Eigenschaften bis zur Verwendung heute vorgestellt. Die Fotos und die Informationen über den weltweiten Handel mit den auch als Funktions- oder Nebenmetallen bezeichneten Nichteisenmetallen stammen – wenn nicht anders gekennzeichnet – aus der Bonner Metallhandelsgesellschaft Haines & Maassen.

1948 gründet Hugo Haines in Köln eine Metalagentur, die durch die Übernahme des internationalen Metallkonzerns ASCARO und weiterer Vertretungen in Australien und England expandierte. Am 1.1.1973 trat Hartwig Maassen als Partner in das Unternehmen (nun eine OHG) ein und übernahm am 1.1.1978 die Geschäftsanteile von Hugo Haines. Das Unternehmen firmierte nun unter *Haines & Maassen*. Ende der 1970er Jahre erfolgte eine Erweiterung der Geschäftsbereiche mit dem Eigenhandel in Neben- und Spezialmetallen (seit 1.1.1997 als GmbH) und als Repräsentant internationaler Bergbauunternehmen und Metallproduzenten.

Arsen

Entdeckung: Der Name stammt vom griech. Wort *arsenico* (männlich, gewaltig). Arsen war schon im Altertum bekannt, da es auch im elementaren Zustand vorkommt (beispielsweise in St. Andreasberg im Harz). Arsen ist als Bestand-

teil ägyptischer Kupfermünzen aus dem 2. Jahrtausend v. Chr. nachweisbar. Albertus Magnus (1193-1280) wird die Isolierung von Arsen um 1250 zugeschrieben – durch Reduktion mit Kohle aus Arsenik (Arsentrioxid). Im 18. Jahrhundert wurde die Eigenschaft von Arsen als Halbmetall (Metalloid) erkannt.

Eigenschaften: Arsen tritt in mehreren monotropen Modifikationen auf. Am beständigsten ist das *graue Arsen*, das metallische Arsen, das hexagonal-rhomboedrisch kristallisiert – mit einer Dichte von $5,73 \text{ g/cm}^3$ (Sublimation bei

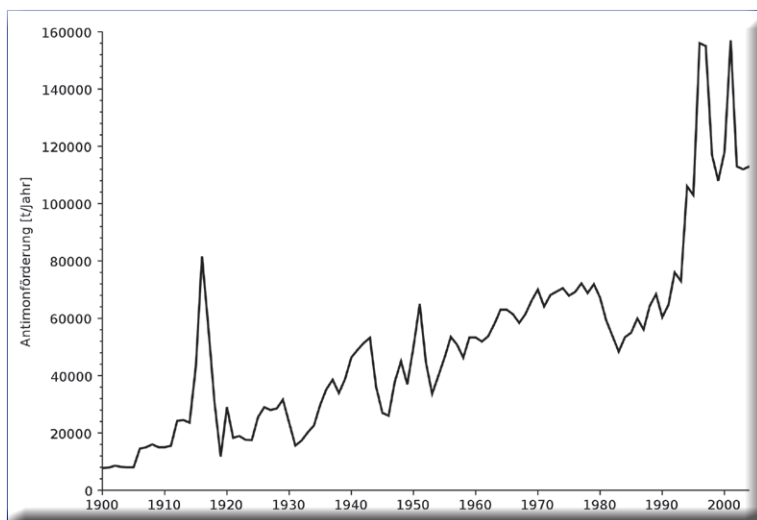
Oben: Gediegenes Arsen in nierig-traubiger Ausbildung aus St. Andreasberg im Harz, aufgenommen im Mineralogischen Museum der Universität Bonn (Foto: Raike).

Unten: Seltene, grobkristalline Ausbildung von gediegenem Arsen, Fundort: Ronna Mine, Kladno, Region Central Bohemia, Böhmen, Tschechien (Foto: Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0).



Der Autor

Der Buchautor und Mitherausgeber der CLB, Prof. Dr. Georg Schwedt, war von 1987 bis zu seiner Emeritierung 2006 Professor für Anorganische und Analytische Chemie an der Technischen Universität Clausthal. Jetzt lebt er in Bonn und widmet sich in vielfacher Weise der Aufgabe, die Naturwissenschaften den Menschen nahe zu bringen.



Zeitliche Entwicklung der weltweiten Antimonförderung. Der starke Anstieg seit etwa 1990 ist auf den Einsatz in der Elektronik zurückzuführen; die Spitze nach 1910 weist auf die Verwendung in Munition im 1. Weltkrieg hin (Quelle: U.S. Geological Survey).

613 °C). Die sehr spröden Kristalle (graues Arsen wird daher auch als Sprödmittel bezeichnet) sind stahlgrau, metallisch glänzend und leiten den elektrischen Strom.

Gewinnung: Arsen fällt als Nebenprodukt bei der Gewinnung von Kupfer, Blei, Cobalt und Gold an. Die größten Produzenten sind China, Chile, Marokko und Peru. Arsenkies (FeAsS) wird unter Luftabschluss in liegenden Tonröhren erhitzt, wobei das Arsen elementar sublimiert und sich in kalten Vorlagen niederschlägt. Hochreines Arsen für die Halbleitertechnik wird aus flüssigem Blei sublimiert, wobei Blei den Schwefel bindet. Auch aus geschmolzenem Arsen kann es bei hohen Temperaturen auskristallisiert, im Wasserstoffstrom aus mehrfach destilliertem Arsentrichlorid sowie durch die thermische Zer-

Gediegen Antimon mit gut entwickelten, glänzenden Kristallflächen und Spaltrissen, Fundort: Monarch Antimony mine, Gravelotte, Murchison Range, Limpopo, Südafrika (Foto: Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0).



setzung von Arsenwasserstoff (Monoarsan, bei 600 °C) gewonnen werden.

Verwendung: Für die Elektronik ist hochreines Arsen (99,9999 %ig – „6 Neuner“) erforderlich. Es wird beispielsweise für Ga-As-Halbleiter (III-V-Halbleiter nach der Zugehörigkeit der Metalle zu den verschiedenen Hauptgruppen des Periodensystems) verwendet. Als InAsP bzw. GaAsP (zu Gallium und Indium s. in CLB Heft 6/2011) wird es für Epitaxieschichten auf Wafern eingesetzt – zur Herstellung von Hochfrequenzbauteilen wie Integrierten Schaltkreisen. Leuchtdioden und Laserdioden. Praktisch alle elektronischen Geräte enthalten auch Arsen. Galliumarsenid wurde von der Europäischen Chemieagentur (ECHA) als sehr gefährlich eingestuft. Die Industrie mahnt an, dass die vorgelegte Einstufung dieses Stoffes wissenschaftlich nicht vollständig und korrekt ist (siehe Artikel Seite 332).

Antimon

Entdeckung: Bereits im 3. Jahrtausend v. Chr. war Antimon in China bekannt. Der Name wird aus dem Griechischen von *anti-monos* (nicht allein, vergesellschaftet mit anderen Mineralen bzw. Elementen), das Symbol Sb von *stibium* (lat. Name für Grauspießglanz Sb_2S_3) abgeleitet. 1604 erschien unter dem Titel „Triumph-Wagen Antimonii...“ die erste Monographie über ein chemisches Element.

Eigenschaften: Wie das Arsen kommt auch Antimon in verschiedenen Modifikationen vor. Das „gewöhnliche“ hexagonal-rhomboedrisch kristallisierende graue oder metallische Antimon ist eine silberweiße, stark glänzende, blättrige-grobkristalline, spröde Substanz (Dichte 6,69 g/cm³). Sie schmilzt bei 630,5 °C und siedet bei 1635 °C. Die Kristallstruktur ist der des grauen Arsens analog.

Gewinnung: Aus dem Grauspießglanz wird Antimon nach zwei Verfahren gewonnen – entweder nach dem Rösten zum nichtflüchtigen, beständigen Tetraoxid Sb_2O_4 mit anschließender Reduktion in Flammöfen mit Koks oder Holzkohle (Röstreduktionsverfahren) oder durch Schmelzen in Tiegeln oder Flammöfen, wobei der Schwefel als FeS niedergeschlagen wird (Niederschlagsarbeit).

Verwendung: Antimon wird hauptsächlich in Legierungen eingesetzt, um anderen Metallen eine größere Härte zu verleihen. An der Entwicklung des Buchdrucks mit *Letternmetall* – einer Legierung aus Pb-Sn-Sb mit 3 bis 25 % an Antimon) hat das Metall einen wesentlichen Anteil. Als *Lagermetalle* werden Legierungen mit 60-80 % Blei sowie den härtenden Metallen Antimon (oder Antimon und Zinn) bezeichnet. *Britanniametall* ist eine Legierung aus 88-90 % Zinn, 8-10

% Antimon und 2 % Kupfer – zur Herstellung von Gebrauchsgegenständen. In Form von Antimontrioxid findet Antimon in großen Mengen Verwendung in Feuerschutz-Beimischungen für Kunststoffe – Beispiel: Computergehäuse aus Kunststoff.

Bismut

Entdeckung: Ursprünglich Wismut genannt (eventuell von „auf Wiesen gemutet“ = abgebaut) wurde das Metall ausführlich von Georg Agricola (1494-1555) in seinem Buch „De re metallica“ (1556 erschienen) erwähnt, war aber schon Paracelsus bekannt. Als chemisches Element wurde es erst 1753 durch Geoffroy *le Jeune* (1685-1752) beschrieben.

Eigenschaften: Das silberweiß glänzende Metall kristallisiert in Terrassenstufen (Dichte 9,79 mg/cm³, Schmelzpunkt 271 °C, Siedepunkt 1564 °C). Es bildet mit zahlreichen Metallen Schmelzlegierungen. 2003 wurde auch eine schwache Alpha-Strahlung (Halbwertszeit 20 Mrd. Jahre) nachgewiesen. Flüssiges Bismut dehnt sich als einer von wenigen Stoffen beim Erstarren aus – wie auch Antimon, Gallium, Germanium sowie Silicium.

Gewinnung: Gediegen kommt Bismut an 1400 Fundorten vor, vor allem in Australien, Bolivien, China, Kanada, Mexiko, Peru und Spanien. Die Darstellung erfolgt nach den gleichen Verfahren wie beim Antimon (Niederschlags- oder Röstreduktionsverfahren) aus sulfidischen Erzen. Es fällt meist als Nebenmetall bei der Gewinnung anderer Metalle an.

Verwendung: Von dem amerikanischen Physiker und Metallurgen Robert William Wood stammt das nach ihm benannte Wood-Metall, eine Bismutlegierung mit 50 % Bi, 25 % Pb und je 12,5 % an Sn sowie Cd. Der Schmelzpunkt wird mit 60 bis 71 °C angegeben. Weitere bekannte Legierungen sind Roses Metall (35-50 % Bi, 25-35 % Pb und 16-30 % Sn mit Schmelzpunkten zwischen 79 und 109 °C, benannt nach dem Chemiker und Apotheker V. Rose dem Älteren, 1736-1771) sowie die Lipowitz-Legierung aus 50 % Bi, 27 % Pb, 13 % Sn und 10 % Cd (Schmelzpunkt 70 °C). Alle Legierungen können wegen ihrer niedrigen Schmelzpunkte z. B. für elektrische Sicherungen und Sprinkieranlagen verwendet werden. Auch in der Elektronik und Optoelektronik findet es Verwendung. Bismut ersetzt aus ökologischen und toxikologischen Gründen in vielen Legierungen das Blei. Es ist eines der am meisten verwendeten Elemente mit Anwendungen von der Medizin (zur Säureneutralisation im Magen) über Kosmetika bis zu hochtechnischen Bismut-Tellurid-Verbindungen für piezoelektrische Bauteile.

CLB



Oben: Bismutkristalle mit ihrer typisch bunten Oxidationsschicht. Unten: Bismut gediegen, gefunden am Rio Vilaque. Der Fluss fließt in etwa 3900 Metern Höhe in Bolivien (Foto: Kickuth).

Quellen

- Hans-Jürgen Quadbeck-Seeger: Die Welt der Elemente . Die Elemente der Welt, Wiley-VCH, Weinheim 2007
 Harry H. Binder: Lexikon der chemischen Elemente, Hirzel, Stuttgart 1999
 Lucien F. Trueb: Die chemischen Elemente. Ein Streifzug durch das Periodensystem, Hirzel, Stuttgart 1996
www.haines-maassen.de/deutsch/wismut.html

Gebündelt im Diamanten

PSI-Forscher: Harte Röntgenlaserstrahlung 100 000fach konzentriert

Bereits vor dem Bau des geplanten Röntgenlasers SwissFEL läuft am Paul Scherrer Institut die Entwicklung der Instrumentierung für diese extrem helle Lichtquelle an. Nun ist es einem vom PSI geleiteten Forscherteam gelungen, harte Röntgenlaserstrahlung 100 000-fach zu konzentrieren und so an einem Punkt Röntgenstrahlung zu erzeugen, die so intensiv war wie wohl nirgends zuvor.

Als Linsen verwendeten die Forscher winzige Ringstrukturen aus Diamant – dem Material, das am besten dem Röntgenlaserlicht standhält. Mit solch intensiver Strahlung erhoffen sich Röntgenphysiker und Biologen unter anderem, die atomare Zusammensetzung und Funktionsweise komplexer Biomoleküle zu entschlüsseln, und so die Grundlage für neue Medikamente zu schaffen.

An verschiedenen Orten weltweit entstehen Röntgenlaser –

Röntgenlichtquellen einer neuen Generation, die auf dem Prinzip des Freie-Elektronen-Lasers beruhen (siehe Kasten rechte Seite). Seit 2010 liefert der amerikanische Röntgenlaser LCLS in Stanford erste Laserpulse im harten Röntgenbereich, seit Juni 2011 auch die Anlage SACLA im japanischen Hyogo. Am PSI soll 2016 mit dem SwissFEL eine vergleichbare Forschungsanlage in Betrieb gehen. Die Röntgenstrahlung wird in extrem kurzen Lichtblitzen ausgesandt, die nur rund 100 Femto-Sekunden dauern, und deren Helligkeit die der heute verfügbaren Röntgenquellen um das Milliardenfache übertrifft.

Diese einmalige Kennzahl ermöglicht Forschern eine Vielzahl von neuen wissenschaftlichen Experimenten in den verschiedensten Disziplinen. Die Beobachtung von Materie unter solch extremer Bestrahlung schafft Erkenntnisse in der Materialforschung. Durch die sehr kurze Pulsdauer kann der Ablauf sehr schneller chemischer Reaktionen verfolgt werden und so zum besseren Verständnis der Katalyse beitragen, die in der chemischen Industrie eine zentrale Rolle spielen.

Biomolekülstrukturen klären

Die höchsten Erwartungen ruhen jedoch auf der Möglichkeit, den genauen Aufbau komplexer Biomolekülstrukturen aufzuklären. Mit heutigen Verfahren ist das nur möglich, wenn man die Moleküle in der regelmäßigen Struktur eines Kristalls anordnen kann, der mindestens einige Tausendstel Millimeter groß sein muss. Für viele interessante Moleküle kann man aber nur Nanokristalle erzeugen, die sehr viel kleiner sind. Am SwissFEL wird man auch diese winzigen Kristalle untersuchen können. „Dieses Experiment stellt die Wissenschaftler vor große Herausforderungen“ erklärt Rafa-

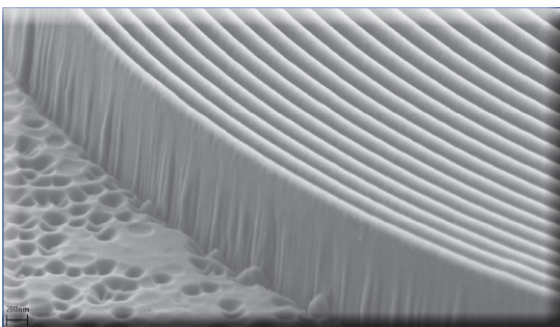
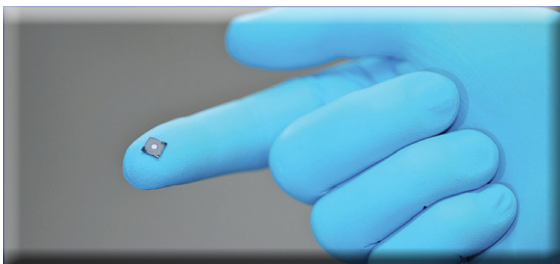
el Abela, einer der beiden Leiter des SwissFEL-Projekts „Da die Strahlung zu einer Zerstörung der Moleküle führt, muss die Abbildung mit einzelnen Pulsen geschehen – quasi mit einer Belichtungszeit, welche schneller ist als der Strahlenschaden. Dazu ist es erforderlich, die an sich schon äußerst hellen Röntgenpulse in einen kleinstmöglichen Fleck zu fokussieren, um die notwendige Strahlungsdichte zu erreichen.“

Beugung statt Reflexion

Genau hier setzt Christian David, Experte für Röntgenoptik am PSI, mit seinen Ideen an. Er beschäftigt sich bereits jetzt mit der Instrumentierung für den geplanten schweizerischen Röntgenlaser SwissFEL. Während man in den USA und Japan in erster Linie auf Spiegelsysteme zur Bündelung der Lichtpulse setzt, entwickeln David und sein Team Röntgenlinsen, die nicht auf Reflektion, sondern auf Diffraktion beruhen. Das heißt, sie nutzen die Welleneigenschaften des Lichts: Die Lichtwellen überlagern sich so, dass sie sich in einem kleinen Bereich verstärken und überall sonst auslöschen. Diese Linsen sind als Fresnel-Zonenplatten ausgeführt. Sie bestehen also aus konzentrischen Ringen, die abwechselnd verschiedene optische Eigenschaften haben. Erste Fresnel-Linsen setzte man zur Bündelung des Lichtstrahls von Leuchttürmen ein. Für Röntgenstrahlung mit einer tausendmal kleineren Wellenlänge als sichtbares Licht müssen diese Ringstrukturen jedoch erheblich kleiner sein: nur etwa 100 Nanometer dick sind die einzelnen Ringe einer solchen Zonenplatte. Zu ihrer Herstellung bedient sich David der Nanolithographie, eines Verfahrens, das bei der Produktion von Computerchips Anwendung findet.

Der Einsatz von Zonenplatten zur Fokussierung von Röntgenstrahlung ist an sich nichts Neues. „Wir ent-

Zonenplatte aus Diamant zur Fokussierung intensiver Strahlung aus einem Röntgenlaser. Der Durchmesser der gesamten Zonenplatte beträgt 0,5 Millimeter. Die äußersten Ringe sind nur 100 Nanometer dick (zum Mittelpunkt hin dicker; Abb. unten: PSI/M. Fischer; ganz unten: REM-Aufnahme, PSI).



wickeln bereits seit einiger Zeit solche Optiken für Röntgenmikroskope an Synchrotronlichtquellen wie zum Beispiel der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Allerdings wurden Zonenplatten für Experimente an Röntgenlasern nicht ernsthaft in Erwägung gezogen. Man ging davon aus, dass ihre fragilen Nanostrukturen durch das extrem intensive Röntgenlicht sehr rasch zerstört würden.“ Dies bewahrheitete sich zunächst auch in Versuchen, die David mit seinen Kollegen am Laser in Stanford durchführte: herkömmliche Zonenplatten aus Goldstrukturen waren bereits nach kürzester Zeit im heißen Strahl buchstäblich zerflossen.

Diamant als ideales Material

Die ideale Alternative bietet Diamant. Es ist das Material mit der höchsten Wärmeleitfähigkeit, so dass es die Wärme, die bei der Bestrahlung entsteht, gut ableitet. Es zersetzt sich auch nicht, wenn es erwärmt wird und ist für Röntgenlicht fast transparent. Jedoch wurde dieses Material noch nie für Zonenplatten verwendet, so dass ein Prozess zur ihrer Herstellung entwickelt werden musste. Durch Beschuss mit Sauerstoff-Ionen konnten sehr schmale und vergleichsweise tiefe Ringstrukturen in den Diamant geätzt werden. Zusätzlich wurden die Strukturen an der Universität Helsinki mit hochschmelzendem Iridium gefüllt. Es zeigte sich, dass diese Materialkombination dem Röntgenlaser in Stanford auch auf Dauer widerstehen konnte.

Rekordverdächtig:

Viel Energie an einem Punkt

Aufgabe der Linsen ist, viel Strahlungsenergie auf einen möglichst kleinen Punkt zu konzentrieren. Zu messen, einen wie kleinen Punkt man optimal erreichen sollte, stellte sich als ein eigenes Problem heraus. Eine Messung mit herkömmlichen Methoden konnte nicht durchgeführt werden – durch die hohe Spitzenleistung im Brennpunkt der Zonenplatten wären die üblicherweise genutzten Teststrukturen durchlöchert worden.

Stattdessen nutzten die Forscher am amerikanischen Laser diesen zerstörerischen Effekt, indem sie die Größen von Löchern in Metalloberflächen bestimmten, die von den fokussierten Röntgenpulsen erzeugt wurden. Daraus ließ sich eine Fokusgröße von 320 Nanometern ableiten – bei einem Querschnitt des ursprünglichen Strahls von 0,5 Millimeter. Das Röntgenlicht war an diesem Punkt 100 000 mal intensiver als im ursprünglichen Strahl. Das ist der beste Wert, der jemals mit Strahlung eines Röntgenlasers realisiert wurde.

Verbesserungspotential

Die Leistungsfähigkeit der diamantenen Fresnel-Zonenplatten kann noch deutlich gesteigert werden. Zum einen war die Fokusgröße durch „Farbfehler“ begrenzt: Die vom Röntgenlaser erzeugten Pulse enthalten gewissermassen Licht verschiedener Farben, und die einzelnen Farben werden auf verschiedene Punkte fokussiert. Die Bandbreite der „Farben“ wird beim SwissFEL deutlich kleiner sein als in Stanford, so dass dort eine zehnfach höhere Konzentration der Strahlungsdichte möglich sein dürfte.

Auch die Effizienz der Zonenplatten lässt sich noch steigern: in den beschriebenen Experimenten wurde nur zehn Prozent der ankommenden Energie im Brennpunkt konzentriert. „Ich bin mir sicher, dass bereits Ende dieses Jahres Werte von über dreißig Prozent demonstriert werden können.“ so David.

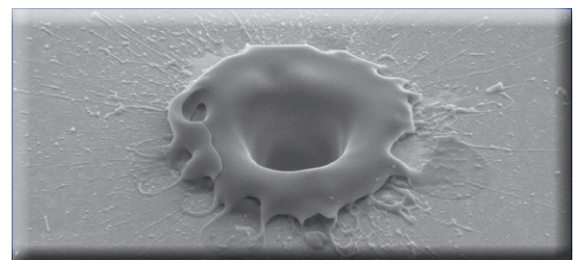
300 000 Quanten pro Atom

Die Leistungsdichte des konzentrierten Strahls betrug im Fokus beträgt etwa $4 \times 10^{17} \text{ W/cm}^2$ – bei einer Effizienz der Zonenplatte von zehn Prozent. Für ein Molekül im Fokus der Zonenplatte entspricht dies einer Dosis von 10 000 Röntgenquanten pro Atom. Durch die verbesserte Effizienz und die Reduktion des Farbfehlers werden es bei der verbesserten Version 300 000 Röntgenquanten auf jedes Atom sein.



Die Fresnel-Linse eines alten Leuchtturms im Point Loma-Museum San Diego (Foto: Kickuth).

Der von einer diamantenen Zonenplatte fokussierte Röntgenlaserpuls erzeugt Krater in einer Metalloberfläche. Um die Fokusgröße und die maximale Strahlungsdichte genau zu bestimmen führt man solche Experimente für verschiedene Intensitäten des Strahls durch. Bei voller Pulsstärke beträgt der Durchmesser einige Mikrometer (REM-Abb.: PSI).



Was ist ein Freie-Elektronen-Laser?

Ein Freie-Elektronen-Laser (kurz: FEL) ist eine Strahlungsquelle, die Synchrotronstrahlung mit sehr hoher Brillanz erzeugt. Zunächst muss ein Elektronenstrahl erzeugt werden. Dieser wird dann üblicherweise in einem oder mehreren Beschleunigern auf eine relativistische Geschwindigkeit beschleunigt. Diese relativistischen Elektronen werden dann in den Undulator injiziert. Im Undulator wird dieser Elektronenstrahl dann durch alternierend angeordnete Magnete in hin- und hergehende transversale Bewegung versetzt, wodurch Synchrotronstrahlung erzeugt wird. Beim FEL wird der Undulator sehr lang gebaut, sodass es zu einer Wechselwirkung zwischen der emittierten Strahlung und dem Elektronenpaket kommt. Die Funktionsweise als Laser wird möglich durch den Microbunching-Effekt, der dafür sorgt, dass eine Mikrostrukturierung des Elektronenpaketes durch die Wechselwirkung mit der erzeugten Laserstrahlung entsteht. Das Elektronenpaket wird in dünne Scheiben strukturiert, die senkrecht zur Flugrichtung ausgerichtet sind. Diese Scheiben haben einen genau auf die emittierte Strahlung ausgerichteten Abstand, der gleich der Wellenlänge ist, so dass alle Elektronen in dem Paket gleichzeitig kohärent emittieren können.

Raupendarm-Bakterie mit molekularen Eisenspeicher Struktur eines Proteins analysiert, das in seinem Innern Eisen speichert

Max-Planck-Wissenschaftler aus Jena und Tübingen haben jetzt die räumliche Struktur eines bakteriellen Enzyms aus *Microbacterium arborescens* aufgeklärt, das mehrere hundert Eisenionen in seinem Zentrum anreichern kann, und zwar je nach Lage der Eisenversorgung in seiner Umgebung: zum Beispiel dem Raupendarm der Zuckerrübeneule (*Spodoptera exigua*).

In fast allen Lebensformen auf dieser Erde spielt Eisen eine wichtige Rolle. Zu wenig Eisen führt zu Mangelerscheinungen, zu viel Eisen wiederum ist gefährlich unter anderem für das Erbmolekül DNA. Das jetzt entschlüsselte Enzym verhindert durch seine zusätzliche Peroxidase-Aktivität auch das Auftreten von zellschädigenden Sauerstoffradikalen. Überdies katalysiert es

die Hydrolyse und Bildung von N-Acylglutaminen, Verbindungen der Aminosäure Glutamin mit Fettsäuren. Anhand dieser Verbindungen erkennt die Pflanze den Raupenschädling und startet ihre chemische Abwehr gegen den Eindringling. In zahlreichen anderen Bakterienarten werden sehr ähnliche Enzyme als Schutzproteine für DNA produziert.

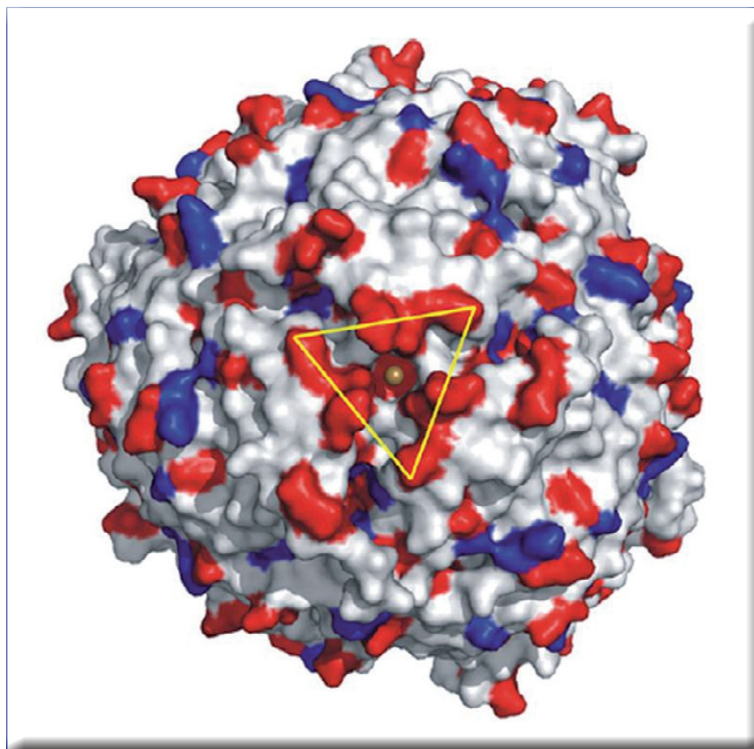
Mikroben sind allgegenwärtig auf dieser Erde. Nicht nur freilebend, sondern auch in Gemeinschaft mit anderen, höheren Organismen werden sie gefunden. Dank moderner biologischer Verfahren kommt man heute diesen „mikrobiellen Mitbewohnern“ auf die Spur und ihre Rolle innerhalb der Lebensgemeinschaft kann genau studiert werden.

Microbacterium arborescens ist ein Bakterium, das sich un-

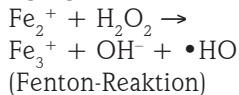
ter anderem in den Därmen von pflanzenfressenden Raupen aufhält. Die Abteilung Bioorganische Chemie des Max-Planck-Instituts für chemische Ökologie in Jena erforscht die Wechselwirkungen zwischen Insekten und Mikroben, die mit oder in ihnen leben. Worin besteht der Vorteil für beide? Wie stark hängen beide voneinander ab? Haben die Mikroben eine Funktion bei der Interaktion zwischen Fraßinsekt und Wirtspflanze? Im Verlauf von Experimenten zur Beantwortung solcher Fragen stießen die Wissenschaftler auf ein Enzym, das sie aus *M. arborescens* gewonnen hatten – einem Darmbewohner der Zuckerrübeneule *Spodoptera exigua*. Es wurde aufgrund seiner katalytischen Eigenschaften als N-Acyl-Aminosäure-Hydrolase (AAH) bezeichnet, weil es die Synthese/Hydrolyse von Amino-/Fettsäureverbindungen betreibt, die über den Speichel und Darminhalt der Raupe in die befallene Pflanze gelangen und dort deren Abwehrmechanismen auslösen.

Die Klonierung und Sequenzierung des AAH-kodierenden Gens führte zu einem interessanten Ergebnis: AAH ist eng verwandt mit Proteinen aus anderen Mikroorganismen, und zwar den „DNA protection during starvation (DPS)“ Proteinen, die an das Erbmolekül binden und durch Kristallisation schützen, sobald Mikroben in einen Mangelzustand verfallen. Jelena Pesek, Doktorandin in der Abteilung Bioorganische Chemie des Instituts, war jedoch erstaunt, dass sich das Enzym AAH aus *M. arborescens* von den DPS-Enzymen anderer Mikroben dahingehend unterscheidet, dass es im Darm die Konzentration der für die Pflanze-Insekt Interaktion wichtigen N-Acylglutamine regulieren kann. Weiterhin kann

Molekulare Struktur des Enzyms N-Acyl-Aminosäure-Hydrolase (AAH) aus *Microbacterium arborescens*: Darstellung der Proteinoberfläche mit negativen (roten) und positiven (blauen) Ladungen. Das Dreieck kennzeichnet die Eisenaufnahmepore (Abbildungen: Zeth, MPI Tübingen).



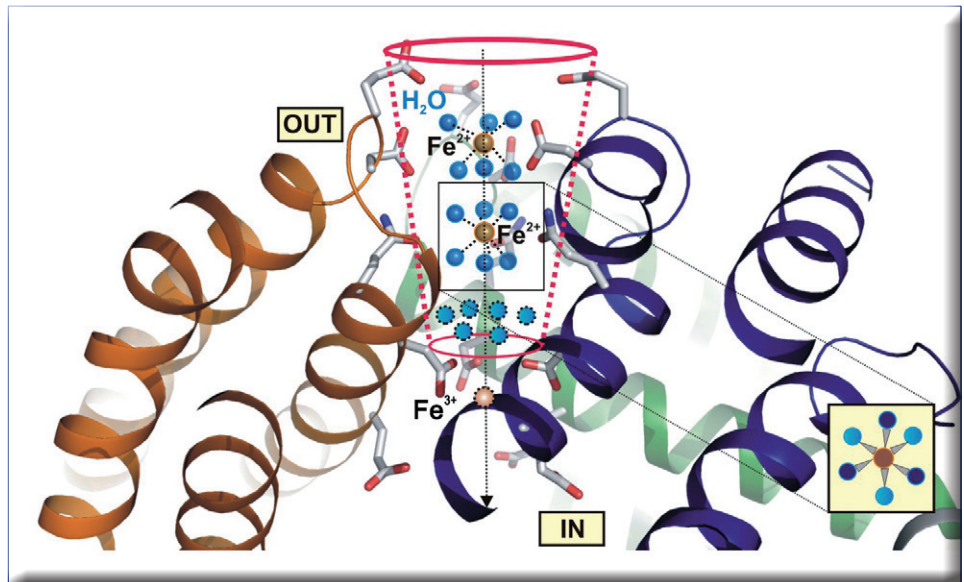
das Enzym in seinem Inneren Eisenionen speichern. Ist freies zweiwertiges Eisen (Fe(II)) im Überschuss vorhanden, entstehen aus Wasserstoffperoxid (H₂O₂), das von den Darmzellen des Insekts zur Abwehr von Mikroorganismen gebildet wird, für die Zelle gefährliche Sauerstoffverbindungen in Form von Hydroxylradikalen durch einen als Fenton-Reaktion bezeichneten Vorgang:



Das sehr reaktionsfreudige Hydroxylradikal •HO schädigt vor allem die DNA und verursacht so gefährliche Mutationen im Erbgut. In Zusammenarbeit mit Kornelius Zeth vom Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen gelangen den Wissenschaftlern schließlich die Kristallisation und die Röntgenstrukturaufklärung und damit auch die Analyse des Eisentransportmechanismus des Enzyms.

Das Protein besteht aus 12 identischen Untereinheiten und weist eine Molekülmasse von insgesamt 204 Kilodalton auf – eine für ein Enzym beachtliche Größenordnung. Das Homooligomer ist rund und im Inneren hohl. In diesem Hohlraum können 500 Eisenatome als dreiwertiges Eisen (überwiegend in Form von Fe₂O₃) gespeichert werden. Dabei bietet der Transport des Eisens in diesen Hohlraum eine Besonderheit: Das kugelförmige Protein besitzt vier selektive Poren, die nur zweiwertige Eisenionen mitsamt ihrer Hydrathülle aus sechs Wassermolekülen durchtreten lassen. Im Innern der Hohlkugel werden die Eisenionen an Ferroxidase-Zentren zu dreiwertigem Eisen umgewandelt, wodurch das gefährliche Wasserstoffperoxid unschädlich gemacht wird, indem daraus Wasser gebildet wird.

Die Wissenschaftler vermuten, dass N-Acyl-Aminosäure-Hydrolase das Überleben von *M. arborescens*



Molekulare Struktur des Enzyms N-Acyl-Aminosäure-Hydrolase (AAH) aus *Microbacterium arborescens*: Längsschnitt durch die Pore mit Darstellung des Eisenaufnahmemechanismus. Eintretende Eisen(II)ionen, von 6 Wassermolekülen umgeben (räumliche Darstellung im Kasten unten rechts), werden zu Eisen(III)ionen oxidiert und verlieren dabei ihre Hydrathülle, bevor sie im Inneren des Moleküls eingelagert werden.

unter den harschen und je nach Nahrungsqualität wechselnden Bedingungen im Darm der Raupe sicherstellt. Das Enzym schützt vor oxidativem Stress, indem es durch Speicherung die Konzentration an freiem Fe(II) reduziert und gleichzeitig H₂O₂ als Quelle für zellschädigende Radikale unwirksam macht. In welchem evolutionären Zusammenhang die durch die AAH ebenfalls katalysierte Bildung und Hydrolyse der N-Acylglutamine steht, ist unklar. Solche Verbindungen könnten der Raupe den Vorteil verschaffen, ihre Blattnahrung besser zu verdauen. Im Verlauf der Evolution haben die attackierten Wirtspflanzen dann „gelernt“, diese Verbindungen, die beim Raupenfraß in ihre Blätter eindringen, als chemisches Warnsignal zu verwenden, um ihre Abwehr gegen den Schädling gezielt zu mobilisieren.

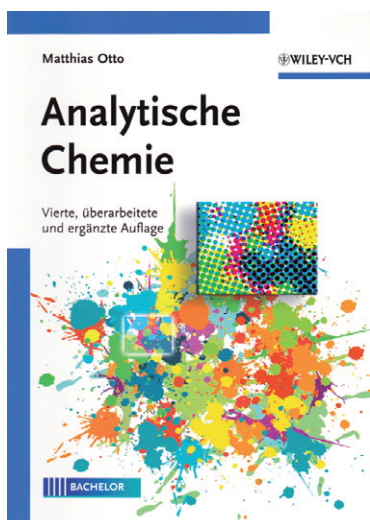
Originalveröffentlichung: Jelena Pesek, Rita Büchler, Reinhard Albrecht, Wilhelm Boland, Kornelius Zeth: Structure and Mechanism of Iron Translocation by a Dps Protein from *Microbacterium arborescens*. *The Journal of Biological Chemistry* 286. DOI: 10.1074/jbc.M111.246108.

Krankheiten:

Mechanismen und Möglichkeiten

- Um gespeichertes Fett zu mobilisieren, besitzt der Körper spezielle fettspaltende Enzyme, die Lipasen. Adipose Triglyceride Lipase (ATGL) ist dabei das Schrittmacher-Enzym, das den wichtigen ersten Schritt im Abbau von Speicherfetten durchführt. Forscher der Uni Graz fanden nun heraus, dass die Fettspaltung durch ATGL unverzichtbare Signalmoleküle erzeugt, die den Energiestoffwechsel steuern. Diese Erkenntnis liefert einen Therapieansatz für Patienten, die an der **Neutralfett-Speicherkrankheit** (Neutral Lipid Storage Disease) leiden.
- Darmkrebspatienten, bei denen der Tumor bereits Lebermetastasen gebildet hat, profitieren eher von einer Chemotherapie, wenn am Tumorrand eine erhöhte Anzahl von bestimmten Immunzellen vorhanden ist, haben Wissenschaftler des Nationalen Centrums für Tumorerkrankungen Heidelberg beobachtet. Die individuelle Zelldichte ist die Antwort des Immunsystems auf den Tumor. Sie kann nun als **Marker für eine personalisierte Behandlung** genutzt werden.
- Es ist jetzt gelungen, 29 neue Genvarianten zu identifizieren, die mit der **Entstehung von Multipler Sklerose (MS)** in Verbindung stehen. Da viele der erkannten Gene in direktem Zusammenhang mit dem Immunsystem stehen, konnten die Experten eine Immunschwäche als wahrscheinliche Ursache von MS ausmachen.
- Das synthetisch hergestellte Cinnamyl-3,4-Dihydroxy-alpha-Cyanocinnamate (CDC, ein Zimtsäureester), hat sich in dieser vorklinischen Analyse als äußerst vielversprechende Substanz gegen **entzündliche Prozesse** erwiesen. CDC hemmt sehr effektiv ein Enzym, das im Entzündungsprozess eine zentrale Rolle spielt. Dadurch wird die Entzündungsreaktion gedrosselt.

Analytische Chemie – ein Fachbereich von weit reichender Bedeutung



Matthias Otto: *Analytische Chemie*, 674 Seiten; Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 4., überarbeitete und ergänzte Auflage 2011, ISBN 978-3-527-32881-9; 55,00 Euro.

Nach Verlagsangaben entspricht der Inhalt dieses Lehrbuches den Empfehlungen der Gesellschaft Deutscher Chemiker sowie der Föderation Europäischer Chemischer Gesellschaften für das *Bachelor-Studium*. Die insbesondere in dem Unterkapitel Massenspektrometrie ergänzte Neuauflage richtet sich an Studenten der Chemie, der Lebensmittelchemie, der Pharmazie, der Biotechnologie und des Chemie-Ingenieurwesens sowie an auf diesen Gebieten tätige Analytiker.

In dem ersten von 9 Kapiteln werden die allgemeinen Grundlagen und Aufgabenbereiche der Analytischen Chemie besprochen. Ebenso wie in allen weiteren Kapiteln findet man am Kapitelende Aufgaben (insgesamt 303), die den jeweiligen Unterkapiteln zugeordnet sind. Vor den *Aufgaben* werden Hinweise (insgesamt 56) auf weiterführende Literatur (Lehrbücher und Monographien.) gegeben. Allerdings ist hierbei das Standardwerk: Küster/Thiel *Rechentafeln für die Chemische Analytik*, de Gruyter Verlag, Berlin, 106. Auflage 2008) nicht mit aufgeführt. Kapitel 2 beschreibt vorwiegend die Typen chemischer Reaktionen, die den klassischen Analysemethoden zugrunde liegen, wie Säure-Base-Reaktionen

und Titrations-, Fällungsreaktionen, Komplexbildungsreaktionen, Redox-Reaktionen sowie Ionenaustausch.

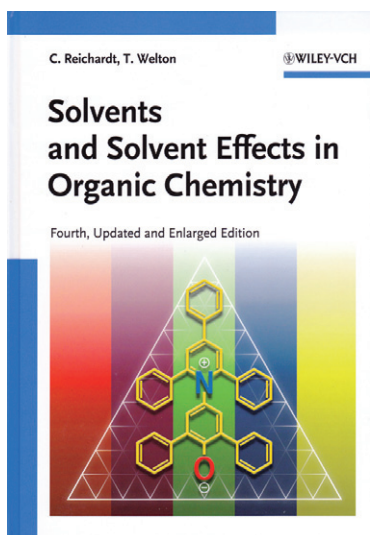
Die Lehrinhalte zu den vielfältigen Methoden der Spektroskopie, einschl. Radiochemischer Methoden, werden in dem mit 177 Seiten umfangreichsten Kapitel 3 dargestellt, ebenso wie die hierbei eingesetzten Geräte und Vorrichtungen.

Kapitel 4 ist den elektrochemischen Methoden vorbehalten. Die Verfahren zur Stofftrennung werden in Kapitel 5 „Chromatographie“ (105 Seiten) beschrieben, wie auch Elektrophorese sowie Kopplungen von Chromatographie und Spektroskopie. Kapitel 6 „Chemometrie“ beinhaltet statistische Grundlagen und den Computer-Einsatz in der Analytik.

Kapitel 7 hebt die Bedeutung der Automatisierung in der chemischen Analytik hervor, insbesondere im Hinblick auf die „stetig steigende Anzahl an Analysen in klinisch-chemischen, pharmazeutischen, industriellen sowie in Wasser- und Umweltlaboratorien“. Von großem Interesse ist auch Kapitel 8 „Bioanalytik“ mit den Unterkapiteln Proteine und DNA. Die Umweltanalytik und die Analytik von Werkstoffen sind Gegenstand von Kapitel 9.

Für 92 ausgewählte Aufgaben sind die Lösungen angegeben, bevor in einem Anhang in 8 Tabellen zahlreiche für die Analytische Chemie bedeutsame Kennzahlen, Redox-Paare und Nachweisgrenzen zusammengestellt sind. Mit dieser auf die angesprochenen Studiengänge abgestimmten Neuauflage liegt erwartungsgemäß ein empfehlenswertes Lehrbuch der Analytischen Chemie vor. Dr. Dieter Holzner

Das große Lösungsmittel-Potenzial – Bedeutung in der Organischen Chemie



Christian Reichardt, Thomas Welton: *Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry*, 692 Seiten; Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 4. Auflage 2011, ISBN 978-3-527-32473-6; 159,00 Euro.

Die hier vorliegende 4., aktualisierte und erweiterte Auflage des bewährten Werkes „*Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry*“ richtet sich sowohl an fortgeschrittene Studierende der Chemie als auch an Chemiker im Hochschul- und Industriebereich. Die aus 8 Kapiteln und einem

umfangreichen Anhang bestehende Neuauflage hat die Merkmale eines Lehrbuches, wie auch einer Monographie.

Nach einer kurzen Einführung befasst sich Kapitel 2 mit Wechselwirkungen zwischen den jeweiligen Lösungsmitteln und den darin gelösten Stoffen. Kapitel 3 dient der Klassifizierung von Lösungsmitteln. Die folgenden Kapitel beschreiben den Einfluss von Lösungsmitteln auf die Lage homogener chemischer Gleichgewichte (4) sowie auf die Geschwindigkeit von homogenen chemischen Reaktionen (5; mit 193 Seiten). Kapitel 6 erläutert eingehend den Einfluss von Lösungsmitteln auf die verschiedenartigen Absorptionsspektren organischer Verbindungen. Kapitel 7 informiert auf 84 Seiten überempirische Parameter der Lösungsmittel-Polarität.

Das neue Kapitel 8 mit der Überschrift „Solvents and Green Chemistry“ beinhaltet sehr aufschlußreiche Ausführungen über umweltverträgliche Lösungsmittel als Reaktionsmedien für nachhaltige Synthese-Verfahren in der Organischen Chemie. Der Begriffserklärung „Green Chemistry“ folgen Unterkapitel über die Beschränkung des Einsatzes an Lösungsmitteln, die Auswahl geeigneter Lösungsmittel, organische Reaktionen in Wasser und superkritischem Wasser, Phasen-Transfer-Katalyse, Synthesen in superkritischem Kohlendioxid und das Potenzial von ionischen Flüssigkeiten.

Der nachhaltigen Auswahl dient die Tabelle: The Pfizer „traffic light“ solvent preference system, die zeigt, welche von 39 Lösungsmitteln, insbes. bei Synthesen in der pharmazeutischen Industrie, vorzugsweise (grün), falls erforderlich (orange) oder gar nicht (rot) eingesetzt werden sollten.

Von besonderem Wert ist noch der Anhang (38 Seiten) mit den Texten und Tabellen über Eigenschaften (wie Tab. A-1 mit physikalischen Konstanten von 100 Lösungsmitteln), Reinigung (insbes. Trocknung) und Verwendung von Lösungsmitteln. Über die Toxizität von 78 organischen Lösungsmitteln findet man zahlreiche Angaben in Tab. A-13.

Außergewöhnlich umfangreich und aktuell (2009 und 2010) ist das Literaturverzeichnis mit mehr als 3500, den einzelnen Kapiteln zugeordneten Angaben unter „References“ (vor dem Sachregister), und mehr als 200 weiteren Angaben in Fußnoten oder als Bestandteil der insgesamt 84 Tabellen. Den angesprochenen Zielgruppen, ebenso wie Fachbibliotheken, ist diese Neuauflage vorbehaltlos zu empfehlen.

Dr. Dieter Holzner

Ein aktueller und allgemeinverständlicher Überblick über Gehirnforschung

Tobias Bonhoeffer / Peter Gruss (Hrsg.): *Zukunft Gehirn – Neue Erkenntnisse, neue Herausforderungen – Ein Report der Max-Planck-Gesellschaft*; 304 Seiten, 43 Abbildungen, 2 Tabellen; Verlag C.H. Beck, München 2011; ISBN 978-3-406-61642-6; 16,95 Euro.

Der Artikel „Struktur und Funktion von Neuronen“ in dieser CLB (S. 346-350) zeigt schon die starke Interdisziplinarität heutiger Hirnforschung. Auch dieses Buch zeigt das deutlich – nicht nur durch seine 18 Autoren. Behandelt werden. Zwölf Kapitel behandeln ausgesuchte Themen, von dem Gedächtnis, Funktion von Neuronen und Gehirn allgemein, der Sprachentstehung, Emotionen, Krankheiten des Hirns, Behandlungsmöglichkeiten mit Stammzellen, Schlaf und Traum bis hin zu Fragen der Ethik bzw. des freien Willens.

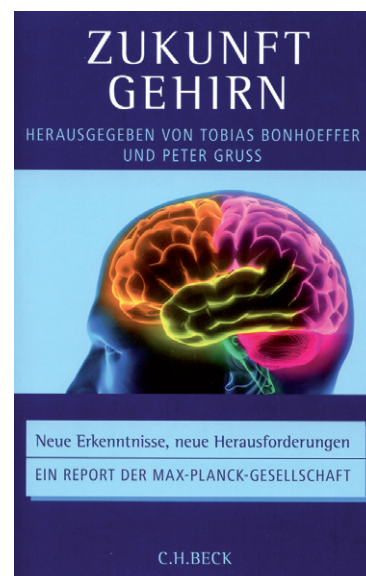
Im Vorwort machen die Herausgeber deutlich, welche Leistungen des Gehirns erbracht werden, meist ohne dass man sich dessen bewusst ist, Leistungen etwa wie die Spracherkennung, die selbst für höchstentwickelte Computer eine ungemaine Herausforderung darstellen. Absicht des Buchs sei aufzuzeigen, „dass die Gehirnforschung einer der aufregendsten Wissenschaftszweige unserer Zeit ist, unabhängig davon, ob wir nun die Navigation von Ameisen im heißen Wüstensand oder die Implikationen der Gehirnforschung für unser Rechtssystem betrachten.“

Das gelingt auch, einmal durch die Darstellung der faszinierenden Funktionsweise des Gehirns – auch über den Anreiz optischer Täuschungen,

andererseits über Verhaltens- und Gefühlsentwicklungen, etwa Belohnungsmechanismen. Dabei hilft der „Lesebuchstil“ des Buchs: Man kann in jedem Kapitel ohne Kenntnis der anderen einsteigen. Gut dabei: Grundlagen werden oftmals in Kästen herausgehoben zusammenfassend dargestellt. Die Abbildungen unterstützen ebenfalls, den naturgemäß komplizierten Stoff zu verstehen.

Vermisst habe ich einen Artikel darüber, welche Mittel es gibt – oder auch nicht, die Gehirnleistung zu verbessern, ebenso wie Rauschmittel wirken. Ebenso hätte ich mir gewünscht, das die modernen Mittel heutiger Hirnforschung etwas ausführlicher dargestellt worden wären, Stichwort funktionelle Magnetresonanztomographie – und andere. Ebenso vermisst habe ich ein Kapitel über Gehirn-Computer-Schnittstellen und die Versuche, das Gehirn mit Computertechnik zu simulieren. Aber in 300 Taschenbuchseiten kann man eben nicht alles pressen. Dem grundsätzlichen Bildungs- und Denkanstoßwert des Buchs tut das keinen Abbruch. Nicht umsonst steht das Kapitel über Bewusstsein und den freien Willen wohl am Ende des Buchs...

Rolf Kickuth



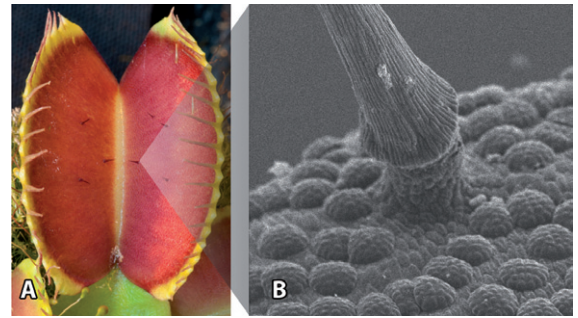
Venusfliegenfalle setzt auf einen raffinierten Mechanismus

**Zu CLB 09/2010, 402-406:
Warum haben Pflanzen
kein Gehirn?**

Steckt ein Insekt in der Venusfliegenfalle fest, versucht es verzweifelt, sich zu befreien. Doch diese mechanischen Reize stimulieren die Falle immer mehr: Sie produziert das Berührungshormon OPDA, das wiederum die Drüsen in der Falle zur Abgabe von Verdauungsssekret anregt. Das lässt sich im Experiment zeigen: Verabreicht man den Fallen eine OPDA-ähnliche Verbindung, so schließen sie sich und bilden einen Magen, in dem die Drüsen aktiv werden – ganz ohne Berührungsreize durch Beutetiere.

Wird eine Falle vom OPDA-Hormon stimuliert, dann leitet sie dieses chemische Signal auch an die anderen Fallen weiter. Die werden damit in erhöhte Fangbereitschaft versetzt. Das ist sinnvoll, denn Insekten kommen selten alleine. Stimulierte Fallen antworten zudem mit einer Serie von Aktionspotentialen, also mit einer vorübergehenden Änderung der elektrischen Leitfähigkeit ihrer Zellmembranen. Von Aktionspotential zu Aktionspotential schließt sich die Falle immer dichter ab. Durch den Überlebenskampf verschlechtern die Opfer ihre Lage zunehmend.

Die Abgabe von Verdauungssaft bedeutet für die Venusfliegenfalle auch einen Wasserverlust. Wie also reagiert sie bei Trockenheit? Dann macht das Welkehormon Abscissinsäure die Pflanze unempfindlicher gegen Berührungen und unterdrückt die Ausscheidung von wässrigem Sekret, wie Wissenschaftler um Prof. Rainer Hedrich, Biophysiker an der Uni Würzburg jetzt festgestellt haben. Bei Wassermangel verzichtet



die Fliegenfalle auf Nahrung – sie hungert, um nicht zu verdursten. Schlussfolgerungen: Das Schließen der Fallen und die Sekretion der Verdauungsflüssigkeit scheinen über verschiedene Signalwege gesteuert zu werden. Die dafür verantwortlichen Gene werden jetzt gesucht. Außerdem will man herausfinden, wie die fleischfressende Pflanze einen beutegerechten Verdauungssaft zusammenstellt. Bilder: Geöffnete Venusfliegenfalle (A): Deutlich erkennbar sind die sensorischen Haare, deren Natur in der Ausschnittvergrößerung (B) mittels Raster-Elektronen-Mikroskopie deutlich wird. Berühren potenzielle Beutetiere ein Haar, werden dessen Zellen an einer Soll-Knickstelle gequetscht. Es entsteht ein elektrisches Signal, das sich über die Fallenoberfläche ausbreitet. Folgt kurz darauf ein zweites Signal, klappt die Falle zu. Aus ihren rosettenartigen Drüsenkomplexen (in B erkennbar) setzt die Pflanze dann Verdauungsssekret frei. Auf jedem Quadratmillimeter sitzen 60 Drüsen, das macht 37000 pro Falle) Bilder: Christian Wiese (A), Benjamin Hedrich (B)).

Blualgen für bessere Wasserstoffproduktion modifiziert

**Zu CLB 01-02/2010, 48-56:
Mikroalgen als
Rohstoffproduzenten**

Cyanobakterien, auch Blualgen genannt, legen unter normalen Bedingungen ein Energiepolster an, das es ihnen erlaubt, unter Stress wie langer Dunkelheit zu überleben. Verantwortlich dafür ist ein molekularer Schalter in einem Enzym. Entfernt man diesen Schalter, sollte man die überschüssige Energie der Bakterien für biotechnologische Zwecke wie z.B. die Wasserstoffproduktion nutzen können, ohne dass es ihnen dadurch schlechter geht. Das haben Forscher der Uni Bochum um Prof. Matthias Rögner herausgefunden. Als Speicher für die mittels Photosynthese gewonnene Energie in Pflanzen dient das energiereiche Molekül ATP. Auf- und bei Bedarf auch wieder abgebaut wird es vom Enzym ATPase. Um das Bakterium gegen Stresssituationen mit zu viel oder zu wenig Licht zu wappnen, verfügt die ATPase der Cyanobakterien über einen kleinen Bereich, der wie ein Schalter wirkt. Er verhindert, dass das ATP bei Dunkelheit, wenn keine Photosynthese läuft, vorschnell wieder abgebaut wird. Das Bakterium

legt so einen Vorrat an Energie an, der ihm über Stressphasen hinweg hilft. Allerdings verlangsamt dieser Schalter auch die Geschwindigkeit des photosynthetischen Elektronentransports mit der Wasserspaltung im Licht. Nun hat man im Experiment den Schalter-Bereich der ATPase bei Cyanobakterien gentechnisch entfernt. Den Bakterien ging es unerwarteterweise nicht schlechter; sie wuchsen unter Laborbedingungen – also ohne Lichtstress – ganz wie gewöhnlich. Allerdings legen sie einen geringeren ATP-Energiespeicher an, weswegen sie sehr lange Dunkelphasen schlechter überleben als der Wildtyp. Andererseits steht nun prinzipiell die überschüssige Energie im Licht, die sonst in den Speicher wandert, zur biotechnologischen Nutzung zur Verfügung. Dies sollte es ermöglichen, zukünftig mindestens 50 Prozent der aus der lichtgetriebenen Wasserspaltung gewonnenen Energie für andere Prozesse zu verwenden, z.B. für eine solarbetriebene biologische Wasserstoffproduktion durch cyanobakterielle Massenkulturen in Photobioreaktoren, schätzen die Forscher.

Die Mikroskopsysteme BX63 von Olympus für die Forschung im Bereich Life Science: Die Lösung für qualitativ hochwertige Fluoreszenzdekonvolution

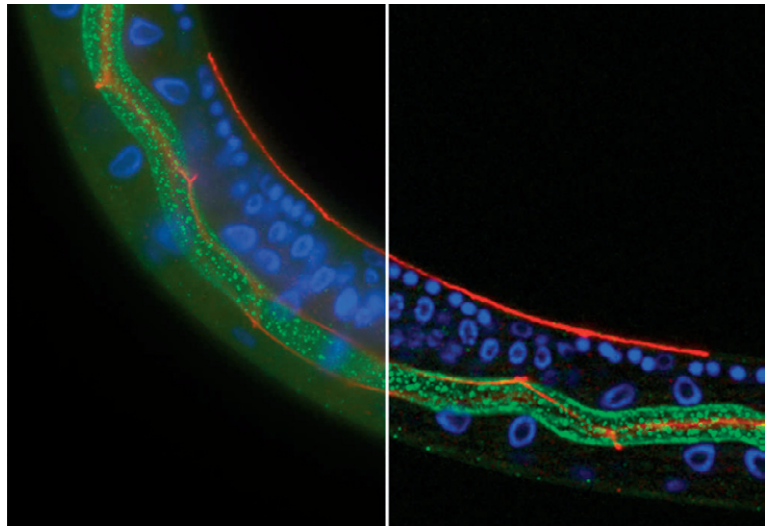
Die BX3-Mikroskopsysteme von Olympus wurden mit Blick auf die Anwender konstruiert, um unter anderem die Qualität der im Rahmen von Life-Science-Forschungsprojekten aufgenommenen Fluoreszenzbilder zu maximieren. Das Hochleistungssystem BX63 eignet sich für die komfortable Ausführung der täglichen Routineanwendungen und weist gleichzeitig eine Reihe technisch ausgereifter Funktionen für höchste Ansprüche auf, zu denen auch die schnelle Dekonvolution von Z-Stapel-Fluoreszenzbildern zählt. Dieses Verfahren eignet sich besonders für die Darstellung dickerer Objekte, wie Gewebe und Zellen, bei starker Vergrößerung. Mittels Dekonvolution wird die Unschärfe der einzelnen Bilder im Z-Stapel entfernt. Dadurch erhöhen sich die Bildschärfe und somit die Präzision der nachfolgenden Bildanalyse. Das lässt sich jedoch nur erreichen, wenn der Abstand zwischen den Z-Stapel-Bildern genauestens kontrolliert wird. Zu diesem Zweck ist das vollautomatische BX63-Mikroskopstativ mit einem hochpräzisen Fokussiermechanismus ausgestattet, der statt des Tisches den Objektivrevolver bewegt. Dadurch wird die Stabilität des Systems verbessert und die Z-Auflösung optimiert. In Verbindung mit dem Softwarepaket cellSens und dem Dekonvolutionsmodul genügen wenige Mausklicks, um äußerst akkurat dekonvolvierte Fluoreszenzbilder zu erzeugen.

Bilddekonvolution ist ein leistungsstarkes Tool für die Forschung im Bereich Life Science. Es dient der Ent-

fernung von Unschärfen und bietet dem Anwender die Möglichkeit, Bilder zu erzeugen, auf denen jedes Detail scharf aufgelöst ist. Diese Technik eignet sich besonders für die mikroskopische Untersuchung von Zellorganellen oder dicken Objekten bei

starker Vergrößerung, da unter derartigen Bedingungen der Schärfentiefebereich verringert ist und der Unschärfeeffekt des Streulichtes verstärkt wird. Um dieses Problem ohne Verwendung eines konfokalen Mikroskops lösen zu können, sind genaue Informationen über die Z-Position, eine hohe Stabilität des Mikroskopstativs, eine qualitativ hochwertige Optik und komplexe Software-Algorithmen erforderlich. Aus diesem Grund ist das Mikroskopstativ BX63 vollständig automatisiert. Auf diese Weise ist eine extrem genaue Steuerung der Objektbewegung und der Fokusposition möglich. Darüber hinaus erfolgt die Scharfeinstellung des Mikroskops über den Objektivrevolver. Der Tisch bleibt fest an seiner Position, das erhöht die Stabilität und Genauigkeit.

Damit Dekonvolution zu einem leistungsstarken Tool für die Life-Science-Forschung werden kann, muss sie



schnell und einfach durchführbar sein. Mit dem Softwarepaket cellSens lässt sich das BX63 intuitiv steuern. Die Planung und Durchführung von Experimenten wird erleichtert.

Die resultierenden Bildstapel lassen sich mit dem leistungsstarken Voxel-Viewer dreidimensional visualisieren – zur Anzeige von Strukturen und ISO-Projektionen genügt ein Mausklick. Tieferegehende Analysen, inklusive Stereo-Adaptionen des Bildes, sind ohne weiteres möglich. Dank der Echtzeit-Deblur-Funktion sehen Anwender bereits während der Live-Anzeige der Kamera geschärfte Bilder.

OLYMPUS DEUTSCHLAND GMBH

Andrea Rackow

Marketing Communication

Tel: 040 / 2 37 73 - 4612

Fax: 040 / 23 08 17

E-Mail: mikroskopie@olympus.de

www.olympus.de

Das cell[^]frap-System von Olympus für simultane Bildgebung und Fotomanipulation: Mikroskope von Olympus bringen Licht in die Echtzeit-FRAP

Olympus stellt das cell[^]frap-Modul für das Lebendzell-Bildaufnahme- und Manipulationssystem xcellence vor, das Techniken wie FRAP (Fluorescence Recovery After Photobleaching), iFRAP (inverses FRAP), FLIP (Fluorescence Loss In Photobleaching) und FLAP (Fluorescence Loss After Photobleaching) ermöglicht. Das cell[^]frap-System eignet sich außerdem hervorragend

für komplexere Verfahren wie Fotokonversion, Fotoaktivierung, Pattern Bleaching, Laserschneiden und Laser-Trapping. Das Modul verfügt über ein spezielles Lasersystem und einen eigenen Strahlengang, wodurch wirklich simultane Bildgebung und Fotomanipulation möglich ist. Diese anspruchsvollen Techniken sind über die intuitiv zu bedienende Benutzeroberfläche der

xcellence-Software ganz einfach zu steuern.

Das cell[^]frap-Modul wird über einen separaten Strahlengang in das Mikroskop eingefügt und kann zwei getrennte Laserlinien oder einen Laser-Combiner aufnehmen. Auf diese Weise werden simultane Bildgebung und Fotomanipulation und die Kombination von FRAP mit Epifluoreszenz, TIRFM



und Spinning-Disk-Techniken möglich. Da nur ein festgelegter Bereich untersucht wird, bietet das System unerreichte Geschwindigkeit und Präzision. Es erreicht eine Bleichungsrate, die Standardmethoden um das Zehnfache übersteigt, und auch mehrere separate Bereiche innerhalb desselben Bildausschnitts werden sehr schnell gebleicht. Damit lassen sich Experimente sehr rasch durchführen und komplexe Protokolle erstellen, welche die Untersuchung mehrerer Zielbereiche vorsehen. Eine intelligente, Hardware-basierte Synchronisation erlaubt den Wechsel zwischen Bleichung und Bildgebung innerhalb von Mikrosekunden, d. h. die ersten Bilder können bereits 150 µs nach Ende des FRAP-Experiments erstellt werden. Das System liefert somit genaue quantitative Daten und qualitativ hochwertige Bildaufnahmen.

Dank vollständiger Software-Steuerung können grundlegende FRAP-,

FLIP- und Foto-Switching-Techniken auf Knopfdruck durchgeführt werden. Die Funktion „Fire on Click“ erlaubt manuelles Auslösen des FRAP-Lasers per Mausklick für Zeitrafferaufnahmen. Komplexere Analysen, beispielsweise unter Anwendung von „Pattern Bleaching“, können über die intuitiv zu bedienende Benutzeroberfläche ganz einfach konfiguriert werden. Der brechungslimitierte Spotdurchmesser des Lasers ermöglicht präzises und punktgenaues Bleichen selbst kleinster Strukturen. Dieser Aufbau erlaubt auch den Einsatz gepulster Laser zum Schneiden von Zellbestandteilen unter gleichzeitiger Sichtkontrolle des Objekts. Dadurch besteht die Möglichkeit, aussagekräftige Funktionsanalysen durchzuführen.

Olympus xcellence

Bei den xcellence-Systemen von Olympus handelt es sich um eine neue Reihe höchst vielseitiger Forschungs-

mikroskope der Spitzenklasse, die für anspruchsvolle Bildgebungs- und Manipulationstechniken mit lebenden Zellen entwickelt wurden. Dazu zählen Hochgeschwindigkeits-Imaging in Echtzeit, TIRFM und HILO (cell^tirf) und Fotokontrolle wie FRAP, FLIP und Fotoaktivierung (cell^frap). Dank der technisch ausgereiften Funktionen erlauben xcellence-Systeme die fortschrittlichsten Fluoreszenz-Imaging-Techniken und setzen damit neue Maßstäbe für die optische Bildgebung. Die Systeme werden von einem neuartigen, Unix-basierten Controller gesteuert, der extrem schnelles Komponenten-Management und die schnellste derzeit mögliche Datenerfassung ermöglicht. Ein Bestandteil der intuitiven xcellence-Software ist der Experiment Manager, ein einfach zu bedienendes Planungs- und Ausführungstool, mit dem sich Experimente mittels „Drag-and-Drop“ erstellen lassen. Mit Schwerpunkt auf Flexibilität und Geschwindigkeit bietet die xcellence-Serie eine umfangreiche und leistungsstarke Lösung für das anspruchsvolle Zell-Imaging.

OLYMPUS DEUTSCHLAND GMBH

Andrea Rackow

Marketing Communication

Tel: 040 / 2 37 73 - 4612

Fax: 040 / 23 08 17

E-Mail: mikroskopie@olympus.de

www.olympus.de

25 Jahre Mikrowellen-Aufschluss – Zeit für ein neues revolutionäres Konzept

CEM stellt 25 Jahre nach der Einführung der Mikrowellen-Aufschlusstechnik ein völlig neues Konzept vor, mit denen die Proben noch flexibler, einfacher und schneller bearbeitet werden können.

Wünsch Dir was...

In einer Marktstudie befragte CEM zahlreiche Labors nach ihren Wünschen für eine Weiterentwicklung. Die Antworten waren eindeutig und wurden von den CEM Ingenieuren umgesetzt.

1. Einfachheit.

Wunsch: Keine Verschraubungen oder Werkzeugmontage für die Druck-

behälter. Die Lösung: Im Discover SP-D werden die Druckbehälter mit einem Schnappdeckel verschlossen. Den Rest erledigt das Gerät. Im Discover SP-D verschließt ein motorgetriebener Druckverschluss den Aufschlussbehälter druckdicht. Nach Aufschlussende öffnet der Druckverschluss und die entweichenden Gase werden abgesaugt. Somit wird ein druckloses Aufschlussgefäß sicher entnommen.

2. Schnelligkeit.

Wunsch: Die Aufschlussgeschwindigkeit soll speziell für eilige Proben noch weiter erhöht werden. Die Lösung: Im Discover SP-D reichen typi-

scherweise 10 min. inkl. Abkühlung für einen Aufschluss. Dann kann die Probe vermessen werden. Keine andere Technologie ist schneller.

3. Vielseitigkeit.

Wunsch: Im Laboralltag fallen ständig unterschiedliche Proben an, die flexibel abgearbeitet werden sollen. Die Lösung: Die Proben werden im Discover SP-D sequentiell abgearbeitet. Ein Autosampler erlaubt sogar das Arbeiten über Nacht. Im Discover SP-D mit dem Autosampler holt sich der Probengeber jede Probe mit der notwendigen Säuremischung in die Mikrowelle und dort wird die Probe dann individu-

ell aufgeschlossen, in nur 2 min. auf Raumtemperatur abgekühlt und vom Autosampler wieder zurück ins Rack gebracht. Nun ist die nächste Probe dran. Auf das Discover SP-D können 3 unterschiedliche Autosampler aufgesetzt werden: Ein Autosampler fasst 48 Proben, ein weiterer Probengeber fasst 72 Proben, und der größte Autosampler kann bis zu 96 Proben am Tag und über Nacht abarbeiten.

4. Platzbedarf.

Wunsch: Autoklavensysteme für vergleichbare Aufschlüsse haben einen enormen Platzbedarf und passen häufig nicht mehr auf den vorhandenen Labortisch. Die Lösung: Das Discover SP-D benötigt die Stellfläche eines DIN A 3-Blattes und hat damit den geringsten Platzbedarf aller am Markt befindlichen Mikrowellen-Aufschlussgeräte. Es kann also flexibel überall aufgebaut werden. In vielen modernen Labors ist das Platzangebot sehr begrenzt, so dass das Discover SP-D hier ideal eingefügt werden kann.

Rekordjahr für das Peptidsynthese-Geschäft von CEM

Die CEM, ein weltweit führender Anbieter von Mikrowellen-Laborgeräten, sieht weiterhin großen Erfolg mit seinen Mikrowellen-Peptidsynthese-Produkten (www.peptid-synthese.de). Im Geschäftsjahr 2011 hat das Unternehmen ein deutliches Umsatzwachstum im Vergleich zum Vorjahr bei den automatisierten Peptid-Synthesizer-Instrumenten verzeichnet und ist auf dem besten Wege, eine Rekordzahl an Systemen zu verkaufen. Außerdem sind die Produkte von CEM auf dem American Peptide Symposium, das von 25. - 30. Juni 2011 in San Diego, Kalifornien, stattfand, sehr gut angekommen, darunter auch der neue halbautomatische Mikrowellen-Peptid-Synthesizer Discover SPS Plus. „Wir freuen uns sehr über die erfolgreichen Ergebnisse in diesem Jahr“, so Dr. Michael Collins, Gründer und Inhaber der CEM. „Sie demonstrieren weiterhin, dass CEM der Marktführer für mikrowellenunterstützte Peptidsynthese ist. Unsere Technologie ist nun weitgehend akzeptiert und hat massgeblich zur Verbesserung der Peptid-Synthese beigetragen.“

CEM hat mehrere Patente im Zusammenhang mit dem Einsatz von Mikrowellenenergie für die Peptid-

synthese(1) zuerkannt bekommen. CEMs patentiertes Verfahren nutzt Mikrowellenenergie zur verbesserten Entschützung und Kupplung von Schritten in der manuellen und automatisierten Peptidsynthese (Liberty). Dies bedeutet, dass andere Mikrowellen-Peptid-Synthesizer (manuell oder automatisiert), auf die Anwendung von Mikrowellenenergie lediglich für die Kupplung oder das Entschützen in einem einzigen Gefäß sind begrenzt sind.

„Eine durchschnittliche Peptid-Länge enthält viele Schritte zur Aminosäure-Entschützung und -Kupplung. Da unvollständige Reaktionen routinemäßig in beiden Schritten beobachtet werden, ist es von erheblichem Nachteil, Mikrowellenenergie nur für eine der beiden Reaktionen in jedem Zyklus zu verwenden“, erklärte Collins. „Unser patentiertes Verfahren ist schneller und führt zu einer höheren Reinheit der Peptide.“

Der Zugang zu dem patentierten Prozess ist im Kauf des manuellen, halbautomatischen oder vollautomatischen Peptidsynthesizers von CEM enthalten. Diese Technologie ist in anderen Mikrowellen-Peptid-Synthesizern nicht vorzufinden.

CEM entwarf, entwickelte und führte die weltweit erste Mikrowellen-Peptid-Synthese für die Wissenschaft 2003 auf dem Markt ein. Seither hat CEM sein Portfolio auf manuelle, halbautomatische, vollautomatische (Einkanal) und vollautomatische (12-Kanal) Systeme ausgeweitet. Alle CEM-Peptidsynthesizer Discover SPS und Liberty können unter üblichen Bedingungen, mit Mikrowellen oder einer Kombination aus beidem betrieben werden.



CEM

Beide vollautomatischen Systeme können optional mit einem UV-Überwachungssystem ausgestattet werden.

Beide CEM-Peptidsynthesizer verwenden eine In-Situ-Faseroptik zur Temperaturüberwachung während der Erhitzung. Die In-situ-Temperaturüberwachung verhindert Temperaturschwinger, was erhebliche Nebeneffekte haben kann. 2007 haben Forscher bei CEM in einer großen Veröffentlichung dargelegt, dass präzise Temperaturüberwachung die meisten Nebeneffekte verhindern können, wie beispielsweise Racemisierung und Bildung von Aspartimidresten (2). Die Liberty Peptid-Synthesizer von CEM werden mittlerweile routinemäßig in Hunderten Labors weltweit angewendet.

(1) Unter anderem US7,563,865; US7,582,728; US7,393,920, EP1491552. Weitere internationale Patente eingereicht und beantragt.

(2) Palasek S., Cox Z., Collins J., J. Pept. Sci.13,143-148, 2007.

CEM GmbH
 Carl-Friedrich-Gauß-Str. 9
 47475 Kamp-Lintfort
 Tel. + 49 28 42 - 96 44 0
 Fax + 49 28 42 - 96 44 11
 web: www.cem.de

ERREICHEN HALTEN

Die CLB-Rubrik für Ausbildung und Weiterbildung
in Chemie, Labortechnik, Biologie, Biotechnik und verwandte Bereiche
sowie für praxisorientierte Themen aus der Umwelt

August/September 2011

Apps programmieren Sommercamp am HPI

Unternehmen und Stiftungen erkennen zunehmend den Förderbedarf Jugendlicher in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik (MINT). Für die Informatik hat sich dieser Aufgabe u.a. das Hasso-Plattner-Institut für Softwaresystemtechnik (HPI) in Potsdam angenommen.

Vom 25. bis zum 29. August lud das HPI 30 Oberstufenschüler aus ganz Deutschland zu einem Informatik-Sommercamp ein. Es knüpfte inhaltlich an den deutschlandweit einmaligen Studiengang IT-Systems Engineering an. Die Jugendlichen lernten, Smartphone-Applikationen zu entwickeln. Gegenüber der CLB betonte Institutsdirektor Prof. Christoph Meinel, es sei sehr wichtig, junge Menschen für Informatik zu motivieren. Wie sehr dieses Fach für Biologie und Chemie von Bedeutung ist zeigt ja auch diese CLB mit ihren Beiträgen über Spintronik bzw. zur Funktion von Nervenzellen. Meinel – auch Vorstandsmitglied des MINT-EC Verein mathematisch-naturwissenschaftlicher Excellence-Center an Schulen – erläuterte der CLB, solch



„Missionar“ für Informatik bei Jugendlichen: Prof. Christoph Meinel bei der Verabschiedung der Informatik-Sommercamp-Teilnehmer (Fotos: RK).

eine Veranstaltung solle nicht nur für Informatik werben. Vielmehr diene sie auch dazu, die HPI-Studenten zu trainieren, ihr Wissen weiterzugeben. Alle Studenten dort engagieren sich neben ihrem Studium in Schülerclubs, veranstalten Arbeitsgemeinschaften von Schülerkollegs, unterstützen verschiedene Wettbewerbe. „Oder wir machen auch mal einen Wandertag“, so Meinel. „Das geht dann beispielsweise einen halben Tag ans Schloss Sanssouci, und die zweite Tageshälfte gibts Einblicke ins HPI.“

Eine Besonderheit des HPI ist übrigens der europaweit einzigartige Zusatzstudiengang „Design Thinking“; auch das wurde den Camp-Teilnehmern vorgestellt. Laut Meinel stammt die Idee dazu von der Stanford Uni-

versity in Kalifornien, mit der das HPI zusammenarbeitet. Erworben wird in diesem Studiengang von Teilnehmern praktisch aller Disziplinen, in multidisziplinären Teams benutzerfreundliche Produkte und Dienstleistungen für alle Lebensbereiche zu entwickeln. Meinel dazu: „Wir wollen Techniker mit Kreativkomponenten ausstatten. Ideenfindung wird groß geschrieben, aber auch das Ertasten und Erkennen: Was will der Nutzer? Das Studienangebot wird sehr gut angenommen – quer durch die Fächer und Unis. 120 Teilnehmer hatte das Studienangebot jetzt; sie kamen aus 67 Disziplinen, von 63 Universitäten und aus 20 Ländern.“

Auch die 30 Sommercamp-Teilnehmer jetzt waren begeistert, wollten am liebsten am HPI studieren. Dort muss man sich aber laut Meinel nach den Zulassungsbedingungen der Uni Potsdam richten, und da zählt vor allen Dingen der Abiturschnitt...

Das HPI wird komplett finanziert vom Namensgeber und Gründer Prof. Hasso Plattner, einem der fünf Gründer des Software-Riesen SAP aus Walldorf bei Heidelberg und Aufsichtsratsvorsitzender des Unternehmens. Der kumulierte Gesamtaufwand für das Institut beträgt bislang weit mehr als 200 Millionen Euro. *Rolf Kickuth*

Unter den 30 Teilnehmern des HPI-Sommercamps war nur eine Schülerin. Das solle sich ändern, wünscht Institutsdirektor Meinel.



Vor-Ort-Analytik: Mineralwasserquellen in der Eifel

19. Sommerakademie der Hochbegabten-Stiftung der Kreissparkasse Köln

Georg Schwedt u. Mitarbeiterinnen*

In der 19. Sommerakademie der Hochbegabten-Stiftung der Kreissparkasse Köln fand vom 21. bis 30. Juli der Kurs „Wasser – das Elixier des Lebens“ statt. In diesem Kurs wurden Analysenkoffer der Firma Machery-Nagel aus Düren mit titrimetrischen, kolorimetrischen und photometrischen Verfahren für die Parameter pH-Wert, Gesamt-, Carbonathärte, Calcium, Eisen, Chlorid, Sulfat und Nitrat eingesetzt.

Beispiele aus den zahlreichen Analysen werden für Wässer aus Mineralwasserquellen an der Ahr und in der Eifel vorgestellt. Die Analysen wurden am Ort der Probenahme und im Vergleich auch im Labor durchgeführt. Ziel war es, die Handhabbarkeit und Zuverlässigkeit der Tests in der Feldanalytik zu erproben.

Beschreibung der Methoden (siehe Tabelle 1)

Die Methoden bzw. Verfahren unterteilen sich in Titrimetrie, Kolorimetrie bzw. Photometrie. Der pH-Wert wurde mit Hilfe von Teststäbchen und kolorimetrisch durch Farbvergleich mit Hilfe von Indikatorgemischen ermittelt. Die Bestimmung der Gesamthärte erfolgte sowohl mit Teststäbchen (zur Orientierung) als auch titrimetrisch nach der Methode der Komplexometrie mit EDTA und Metallindikator. Die Carbonathärte wurde durch Titration mit Salzsäure und Säure-Base-Indikator bis pH 4,5 ermittelt. Die kom-

plexometrische Analyse von Calcium ist nach der Fällung von Magnesium möglich. Nach einer Reduktion wird das gesamte Eisen mit Hilfe eines Triazinderivats als violetter Eisen(II) komplex sowohl kolorimetrisch als auch photometrisch bestimmt.

Die quantitative Analyse des Chlorsilber(II)thiocyanat-Methode. Das Chlorid verdrängt das Thiocyanat aus dem Quecksilber(II)thiocyanat. Die der Chlorid-Ionen-Konzentration äquivalente Menge an Thiocyanat bildet mit Eisen(III)ionen den rot gefärbten Eisenthiocyanat-Komplex. Die Sulfat-Bestimmung erfolgt turbidimetrisch anhand der Trübung nach der Umsetzung zum Bariumsulfat. Nitrat-Ionen werden zunächst in saurem Milieu zu Nitrit-Ionen reduziert. 1,3-Phenylendiamin wird mit Nitrit zum 3-Azoanilin diazotiert, welches anschließend mit einem weiteren Molekül Phenylendiamin zum orange-gelben Azofarbstoff kupelt. Die Konzentrationen werden sowohl kolorimetrisch anhand von Farbtafeln als auch photometrisch bestimmt. Die Bestimmungen von Eisen, Chlorid, Sulfat und Nitrat wurden auch photometrisch mit dem



Vor-Ort-Analytik am Römerbrunnen in Wassenach in der Nähe des Laacher Sees (Fotos: Schwedt).

Photometer PF-12 (Machery-Nagel, Düren) durchgeführt.

Anwendungen und Vergleich der Verfahren

Für die Untersuchung der im folgenden Abschnitt vorgestellten Beispiele sind zur Ermittlung des pH-Wertes die pH-Teststäbchen wegen der kleineren Abstufungen am besten geeignet. Bei den Wässern mit hohen CO₂- Gehalten („Kohlensäure“- bzw. Kohlenstoffdioxid-Gehalten) müssen die Proben zur Bestimmung der Gesamt- und Carbonathärte sowie des Calciumgehaltes mit dest. Wasser verdünnt



Sauerbrunnen Niederzissen mit Ablagerungen an Eisenocker.

*Annkatrin Heitmann, Albert-Schweitzer-Gymnasium, Hürth; Janine Schumacher-Behrend, Antoniuskolleg, Neunkirchen-Seelscheid; Katharina von Schoeler und Marie Lamoth, Kopernikus Gymnasium, Niederkassel; Larissa Schlicher und Veronika Kottisch sowie Zoe Lara Ceelen, Paul-Klee-Gymnasium, Overath.

Tabelle 1: Methodenübersicht zum „visocolor“ ECO Analysenkoffer.

Parameter	Einheiten	Methode / Verfahren
pH-Wert:		
Teststäbchen	3,1 - 8,3 (Stufe je 0,4)	Farbindikator
kolorimetrisch	4,0 - 9,0 (Stufe je 1,0)	Flüssigindikatoren
Gesamthärte:		
Teststäbchen	<3° dH / >4° dH / >14° dH / 21° dH	Komplexometrie mit Indikator
Titration	1 Tropfen = 1° dH	komplexometrisch (DIN 38406-3 E3)
Carbonathärte	1 Tropfen = 1° dH	Titration mit HCl gegen Mischindikator (DIN EN ISO 9963-1 C24)
Calcium	1 Tropfen = 5 mg/l	komplexometrisch (DIN 38406-3 E3)
Eisen	0,04 / 0,07 / 0,10 / 0,15 / 0,20 / 0,30 / 0,50 / 1,0 mg/l (photometrisch: 0,04 - 2,0)	Triazin-Methode (mit Reduktion)
Chlorid	1 / 2 / 4 / 7 / 12 / 20 / 40 / 60 mg/l (photometrisch: 1 - 60)	Hg(II)thiocyanat-Methode
Sulfat	25 / 30 / 35 / 40 / 50 / 60 / 70 / 80 / 100 / 120 / 150 / 200 mg/l (photometrisch: 20 - 200)	Bariumsulfat-Fällung (Trübung)
Nitrat	1 / 3 / 5 / 10 / 20 / 30 / 50 / 70 / 90 / 120 mg/l (photometrisch: 0,3 - 18 und 1 - 80)	Azofarbstoff

Parameter in mg/l	Laboranalyse* (Inst. Fresenius)	Photometrie** (Macherey-Nagel)	Vor-Ort-Analyse (23. 07. 2011)	Photometrie** (24. 07. 2011)
Eisen	<0,005	0,04	<0,04	0,07 / 0,04
Chlorid	63	64	40 - 60	54 (1:1 verd.) / 62 (1:1 verd.)
Sulfat	57	54	50 - 60	73 - 65
Nitrat	7,2	6	5 - 10	3,2 / 3,0

Tabelle 2 (unten): Vergleichsanalysen für die Heppinger Mineralwasserquelle – Entnahmestelle 1.
*: gekühlt und angesäuerte Probe (Analysen im Juni 2011) **: ungekühlte und ungesäuerte Probe.

werden. Eine Verdünnung der Wasserprobe ist auch bei Eisengehalten über 1 mg/L erforderlich, wie sie bei den meisten der untersuchten Mineral(Quell)wässer in der Eifel auftreten.

Für das gesamte Programm sind zur Durchführung am Ort der Probenahme etwa 30 Minuten erforder-

lich. Alle benötigten Materialien sind in einem kleinen Koffer übersichtlich und gut handhabbar angeordnet. Die Beschriftung der Reagenzienflaschen enthält bereits einige Informationen über die genaue Anwendung der einzelnen Verfahren; die Anleitungen im beigegeführten Anleitungsheft sind gut nachzuvollziehen.

Tabelle 2 zeigt Ergebnisse aus Analysen aus der Entnahmestelle 1 in Heppingen/Ahr mit Vor-Ort-Analytik (visuell), Laboranalytik (Institut Fresenius) und der Analytik am Tag nach der Probeentnahme (auch mittels Photometrie). Für eine Vor-Ort-Analytik sind die kolorimetrischen Verfahren zur Bestimmung von Eisen, Chlorid, Nitrat sowie Sulfat (turbidimetrisch) gut geeignet und liefern in den jeweiligen Konzentrationsbereichen mit der Photometrie übereinstimmende Ergebnisse. Bei niedrigen Eisengehalten sind auch Analysen nach der Probenahme im Labor ohne Stabilisierung möglich.

Die Analysen wurden nach Probenstabilisierung (Kühlen und Ansäuerung) im Institut Fresenius/Taunusstein, ohne Probenstabilisierung im Labor der Firma Macherey-Nagel und nach eigener Probenahme vor Ort (kolorimetrisch) sowie am folgenden Tag mit Hilfe des genannten Photometers analysiert. Der Ver-

Parameter in mg/l	Literatur ²⁾	Laboranalytik (Fresenius) 6/2011	Vor-Ort-Analyse (28. 07. 2011)
pH-Wert	-	6,30	6,7
Gesamthärte	37° dH ber.	41° dH	46° dH
Carbonathärte	45° dH ber.	52° dH	60° dH
Calcium	118,2	133	155
Magnesium	88,3	96,1	104
Eisen	17,8	18,0	25 (1:25 verd.)
Chlorid	13,7	14	10
Nitrat	-	<0,03	<1
Sulfat	18,8	26	<25
Hydrogencarbonat	976,0	1138	1302

Tabelle 3: Analyseergebnisse für den Sauerbrunnen in Niederzissen/Brohltal.

Parameter in mg/l	1876 ¹⁾ R. Fresenius	1951 ³⁾ Lab. Fresenius	2009*	Vor-Ort-Analyse (28. 07. 2011)
pH-Wert	-	-	-	7,1
Gesamthärte °dH	51 ber.	40 ber.	50 ber.	90
Carbonathärte °dH	148 ber.	113 ber.	161 ber.	230
Calcium	68	54,5	62	150
Magnesium	182,8	139,3	179	295
Eisen	8,2	4	-	5
Chlorid	217	144,2	180	200
Nitrat	-	-	-	<1
Sulfat	82,2	87,64	123	120
Hydrogencarbonat	3209,5	2458	3486	4991
Natrium	950,1	719,7	1113	-
Kalium	23,4	20	22	-

Tabelle 4: Analysergebnisse für die Lindenquelle in Birresborn.
*Angaben auf einer Tafel im Brunnenhaus.

gleich der Daten in Tabelle 2 zeigt, dass eine Probenstabilisierung nicht erforderlich ist und die Vor-Ort-Analytik bereits zuverlässige Ergebnisse liefert.

In Tabelle 3 sind Analysenergebnisse für eine Quelle in Niederzissen (Brohltal) mit hohem Eisengehalt zusammengestellt. Es handelt sich um einen sogenannten Sauerbrunnen, der bereits von den Römern im Brohltal in der Nähe von Andernach/Rhein genutzt wurde. Hier sind alle Parameter ermittelt worden, die sich mit Hilfe der kolorimetrischen und titrimetrischen Verfahren aus Tabelle 1 bestimmen ließen. Die Daten der Laboranalytik (durchgeführt im Institut Fresenius/Taunusstein) wurden mit Ergebnissen aus der Literatur und eigenen Vor-Ort-Analysen verglichen. Auch hier kann eine weitgehende Übereinstimmung der Daten untereinander festgestellt werden.

Im Rahmen einer ganztägigen Exkursion mit den Teilnehmerinnen des Kurses „Wasser – das Elixier des Lebens“ durch die Eifel an sieben sehr unterschiedliche Quellen (Niederzissen, Tönisstein, Wassenach, Nickenich- Brohltal bzw. Umgebung des Laacher Sees, sowie Daun, Gerolstein und Birresborn in der Vulkaneifel) wurden Wasserproben vor Ort analysiert. In allen Fällen ließen sich die Proben entsprechend der zuvor genannten Verfahrensweise analysieren. In Tabelle 4 sind ausgewählte Daten der in einem historischen Brunnentempel von 1782 befindlichen Lindenquelle von Birresborn in der Nähe von Gerolstein zusammengestellt. In der Originalarbeit von R. Fresenius (1876) erfolgten alle Angaben in Form von Salzen (siehe Tabelle 5). Diese Daten wurden über molare Konzentration in Ionenkonzentrationen (Masse pro Volumen) umgerechnet.

der aktuellen Analysen (Labor- und Vor-Ort-Analytik) sondern auch, dass sich die Zusammensetzung der Lindenquelle über 135 Jahre kaum verändert hat.

Literatur:

- [1] Fresenius, R.: Analyse der Mineral-Quelle bei Birresborn in der Eifel, C. W. Kreidel's Verlag, Wiesbaden 1876
- [2] Stoffels, Mathias & Thein, Jean: Die Mineral- und Heilquellen Brohltal/Laachersee, (Hsgeb. Verbandsgemeinde Brohltal) Görres-Druckerei, Koblenz 2000
- [3] Carlé, Walter: Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. Geologie, Chemismus, Genese, Wiss. Verlags-ges., Stuttgart 1975
- [4] Schwedt, Georg: Mineral- und Heilwässer vom Rhein, von der Ahr und der Eifel, Bouvier, Bonn 2010

In der Linden-
quelle von
Birresborn.

Laboranalytik mit den Analysenkoffern im Schloss Eichholz (Wesseling).



Kaukasischer Löwenzahn: künftige Kautschukquelle? Zuchtmethoden gesucht, um schnell zu ertragreichen Sorten zu gelangen



Vielfalt von *T. kok-saghyz* (Foto: Eickmeyer).

Ein Forscherverbund aus sechs Partnern unter Koordination der Aeskulap GmbH erarbeitet seit diesem Frühjahr die methodischen Grundlagen eines Zuchtprogramms für den Kaukasischen oder Russischen Löwenzahn (*Taraxacum kok-saghyz*). Die Pflanze, bislang nur als Wildform existierend, produziert in der Wurzel unter anderem Naturkautschuk.

Auch die Gummi verarbeitende Industrie ist von der Rohstoffverknappung betroffen und sucht deshalb nach Alternativen zum bisherigen Naturkautschuk-Lieferanten, dem Kautschukbaum *Hevea brasiliensis*. Als eine solche Alternative kommt womöglich der kaukasische Löwenzahn in Frage. Er produziert in der Wurzel unter anderem Naturkautschuk und kann in weiten Teilen Europas auch auf weniger fruchtbaren Böden angebaut werden. Soll dies in kommerziellem Umfang geschehen, muss die bislang nur als Wildform in zahlreichen Varietäten existierende Pflanze jedoch züchterisch bearbeitet werden. Insbesondere gilt es, die Erträge zu steigern.

Auf dem Programm des jetzt gestarteten Forschungsvorhabens steht zunächst die Anpassung bereits existierender biotechno-

logischer Zuchtmethoden auf den Löwenzahn. Daneben wollen die Forscher Saatgut im Kilogramm-Bereich gewinnen. Die Continental Reifen AG, Industriepartner des Verbundes, plant Tests erster Naturkautschukproben.

Bei der Züchtung setzen die Forscher, anders als in anderen europäischen FuE-Projekten zum gleichen Thema, auf zweijährige Pflanzen. Sie versprechen sich davon unter anderem ein höheres Ertragspotenzial im 2. Jahr. Nachteil zweijähriger Pflanzen ist jedoch, dass ihre Züchtung länger dauert, weil die Pflanzen erst im 2. Jahr Samen bilden. Deshalb wollen die Wissenschaftler Methoden wie zum Beispiel spezielle Analysetechniken einsetzen, um den Prozess möglichst zu beschleunigen.

Das Forscherteam um die Aeskulap GmbH setzt auf vernalisationsbedürftige und schnell bestockende Genotypen für einen zweijährigen Anbau. Der Begriff Vernalisation bezeichnet die natürliche Induktion des Schossens und Blühens bei Pflanzen durch eine längere Kälteperiode im Winter. Zahlreiche ein- und zweijährige Pflanzenarten in Regionen mit ausgeprägten Unterschieden zwischen Winter- und Sommerbedingungen schossen und blühen erst, nachdem sie eine andauernde Periode mit niedrigen Temperaturen durchlebt haben. Dies verhindert den Beginn der generativen Phase in der für die Pflanze ungünstigen Zeit vor Wintereinbruch.

Die Wissenschaftler erhoffen sich durch die Auswahl solcher Pflanzen nicht nur eine längere Massenentwicklungsphase im 2. Jahr und damit ein höheres Ertragspotenzial. Die dann gleichmäßigere Abblüte könnte auch die mechanische Blütenentfernung zur Kautschukanreicherung, die Saatguternte und die Kontrolle unerwünschter Verbreitung erleichtern.

Zweijährige Pflanzen bedeuten jedoch eine Verdopplung der Generationszyklen, deshalb ist eine beschleunigte, wissensbasierte Zuchtmethodik gefragt. Im Vorhaben sollen hierzu folgende Instrumente entwickelt werden:

- DNA- und Expressionsmarker zur Artenidentifikation und Selektion von agronomischen Merkmalen und in Rückkreuzungsprogrammen
- In vitro-Techniken zur Generationsbeschleunigung, schnellen Massenvermehrung günstiger Genotypen und zum Erhalt wichtiger Zuchtklone
- Hoch-Durchsatz-Analysetechniken zur simultanen Erfassung aller relevanten Primär- und Sekundärmetaboliten inklusive einer Probenvorbereitungsstraße
- Zerstörungsfreie in situ-Phänotypisierung des Wurzelwachstums und der Wurzelmorphologie im Hochdurchsatz

In dem einjährigen Projekt geht es vor allem um vorbereitende Arbeiten zur Einschätzung und Anwendung dieser Methoden. Zudem wollen sich die Wissenschaftler auf Genotypen mit einer Eignung für Sandbodenstandorte und Untersaaten konzentrieren, um Flächenkonkurrenzen möglichst zu minimieren.

Kaukasischer Löwenzahn enthält weitere interessante Inhaltsstoffe – neben Inulin auch pharmazeutisch wirksame Substanzen. Hier besteht Bedarf bei der Entwicklung geeigneter Produktlinien, eine Aufgabe, der sich der Forscherverbund in möglichen Folgeprojekten widmen will.

Gefördert wird das Vorhaben vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über dessen Projektträger, die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

„T-Shirts, Tüten und Tenside“ DBU-Wanderausstellung in Bremen eröffnet

„Bei der Lösung globaler Herausforderungen wie dem Klimawandel oder der wachsenden Weltbevölkerung spielt die Chemie eine immer bedeutendere Rolle – etwa um alternative Energiequellen zu erschließen und zu nutzen.“ – Das sagte Bremens Umweltsenator Dr. Joachim Lohse am 6. September anlässlich der Eröffnung der neuen Wanderausstellung „T-Shirts, Tüten und Tenside – Die Ausstellung zur Nachhaltigen Chemie“ der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) im Universum Bremen.

Über nachhaltige Einsatzmöglichkeiten sollten die Menschen informiert werden, dazu trage die Ausstellung bei. Der Diplom-Chemiker und ehemalige Leiter des Öko-Instituts in Freiburg zeigte sich beeindruckt von den 18 Mitmachstationen, die für Schüler ab der siebten Klasse die Potenziale der Naturwissenschaft aufzeigen. Noch bis zum 2. November ist die Ausstellung in der SchauBox des Universum Bremen zu sehen.

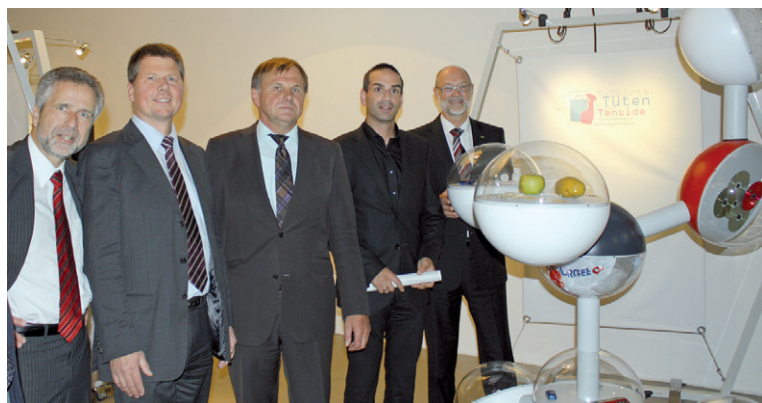
Im Rahmen des „Wissenschaftsforums Chemie 2011“ der Gesellschaft der Deutschen Chemiker (GDCh) eröffnete Lohse gemeinsam mit GDCh-Präsident Prof. Michael Dröscher, Universum-Geschäftsfüh-

rer Arne Dunker und dem stellvertretenden DBU-Generalsekretär Prof. Werner Wahmhoff die Ausstellung. „Hier stimmt die Chemie“, urteilte Dunker und empfahl insbesondere den weiterführenden Schulen in Bremen, den Chemieunterricht doch für einen Schultag ins Universum zu verlegen.

Mit der Ausstellung will man jungen Menschen die Potenziale der Naturwissenschaft nahe bringen, sie für den Umweltschutz sensibilisieren und gleichzeitig neugierig machen auf chemische Verfahren.

An neun Stationen mit interaktiven Elementen und Experimenten lädt die Ausstellung Besucher ein, auf Entdeckungstour zu Themen wie Energie, Wasser oder Ausbildung zu gehen und die Zusammenhänge zwischen alltäglichen Produkten und chemischen Verfahren zu erforschen. Der Eintritt ist frei. Für Schulklassen wird ein pädagogisches Begleitprogramm angeboten (kostenpflichtig). Die Ausstellung eignet sich für Schüler ab der 7. Klasse. Ab dem 6. November steht die Ausstellung dann für etwa eineinhalb Jahre im Zentrum für Umweltkommunikation der DBU in Osnabrück, wo sie entwickelt wurde. Anschließend geht sie deutschlandweit auf „Wanderschaft“ (www.dbu.de/ausstellungen).

Öffneten die Tore von „T-Shirts, Tüten und Tenside – Die Ausstellung zur Nachhaltigen Chemie“ (v.l.): Dr. Kurt Wagemann (Dechema), Dr. Joachim Lohse (Bremens Umweltsenator), Prof. Werner Wahmhoff (DBU), Arne Dunker (Universum Bremen) und Prof. Michael Dröscher (GDCh; Foto: DBU/Taalke Nieberding).



Aus der Bildungslandschaft

- Um diesen veränderten technologischen und arbeitsorganisatorischen Abläufen bereits in der Ausbildung gerecht zu werden, hat das Bundesinstitut für Berufsbildung im Auftrag der Bundesregierung gemeinsam mit den Sachverständigen der Sozialpartner und Vertretern der Länder zwei neue Ausbildungsberufe im Konstruktionsbereich erarbeitet. Die **neuen Ausbildungsordnungen Technischer Produktdesigner und Technischer Systemplaner** traten am 1. August in Kraft. Sie lösen die „alte“ Ausbildung zum Technischen Zeichner ab. Im vergangenen Jahr haben rund 3000 Auszubildende in diesem Bereich einen neuen Ausbildungsvertrag abgeschlossen. Der Anteil der weiblichen Auszubildenden liegt bei knapp 40 %.

- In Deutschland wird sich die Energieversorgung der Zukunft zu einem der größten Wachstumsmärkte entfalten. Mit dem neuem **Schwerpunkt „Energiewissenschaft“** im Masterstudiengang Physikalische Technologien trägt die TU Clausthal dieser Entwicklung Rechnung. Interessierte Studierende können sich noch bis zum 15. Oktober einschreiben.

- Gemeinsam mit Partnern aus der regionalen Wirtschaft starteten die Hochschule Heilbronn (HHN), die Duale Hochschule Baden-Württemberg Mosbach (DHBW) und die German Graduate School of Management and Law Heilbronn (GGSL) am 28. Juli das neue **Internetportal der Hochschulregion Heilbronn-Franken**. Auf der Webseite www.hochschulenhoch3.de können sich Studieninteressierte über die Studienmöglichkeiten in der Region informieren.

- Am 10.10.2011 startet der neue berufsbegleitende **Masterstudiengang „Krankenhauspharmazie“** an der Dresden International University (DIU) in Kooperation mit der Goethe-Universität Frankfurt/Main. Ziel der Qualifizierung ist es, die Arzneimitteltherapie im klinischen Alltag patientenorientiert, sicher und wirtschaftlich zu gestalten und dabei auch unerwünschte Wirkungen und Interaktionen verabreichter Medikamente zu berücksichtigen. Das Studium dauert vier Semester, mit Präsenzveranstaltungen in Dresden und Frankfurt/Main und richtet sich an approbierte Apotheker.

- Mit dem berufsbegleitenden **Bachelor Industriechemie** wurde an der Hochschule Fresenius ein neues Programm im Fachbereich Chemie & Biologie erfolgreich akkreditiert. Ab dem kommenden Wintersemester 2011/12 soll der Studiengang starten. Zugelassen werden können junge Berufstätige, die eine chemiespezifische Berufsausbildung etwa als Chemie-Laborant abgeschlossen haben, die Fachhochschulreife mitbringen und bereits zwei Jahre Berufserfahrung gesammelt haben. Der Studiengang führt mit fünf Präsenzsemestern und der abschließenden Bachelor-Arbeit zum Bachelor of Science in Industriechemie mit 180 ECTS-Leistungspunkten. Die Berufstätigkeit wird während des Studiums zu 40-80% einer Vollzeit-Anstellung aufrecht erhalten.

Nardenöl – von Bibelzitat zu Terpenoiden

Chemie vom Feinsten im Parfümöl der Antike

Viktor Obendrauf, Graz*

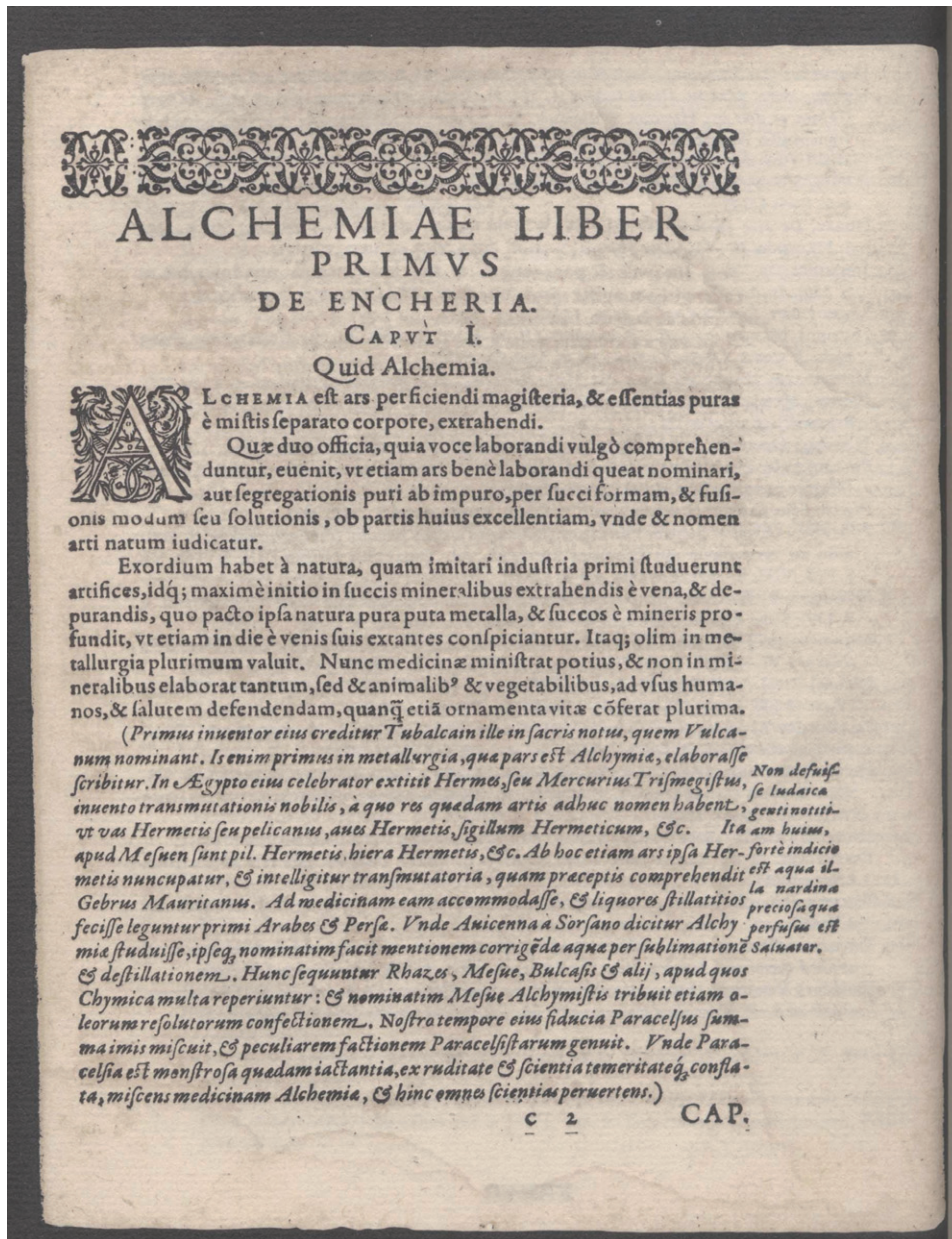


Abbildung 1: Faksimile aus dem Buch „Alchemia“ von 1597 von Andreas Libavius (1555-1616). [1]

Charakteristische Merkmale der Chemie wie z.B. „ausgehend von der Natur und dabei nicht nur im Reich der Minerale (Metallgewinnung), sondern auch im Tier- und Pflanzenreich angesiedelt“, werden aus heutiger Sicht bereits genauso treffsicher formuliert, wie der Nutzen der (Al-) Chemie in der Medizin und bei den Annehmlichkeiten des täglichen Lebens. Von der totalen (paracelsischen) Verquickung der Medizin mit der Alchymie hat Libavius offensichtlich aber gar nichts gehalten (siehe letzter Satz in Abbildung 1).

Für weniger glühende Verehrer der lateinischen Sprache, aber auch für gediegen humanistisch gebildete Naturwissenschaftler, die ihre Latein-Kenntnisse überprüfen und auffrischen möchten, sei nebenstehend die deutsche Übersetzung dieser Faksimile-Seite (Abbildung 1) angeboten.

Von einer Randbemerkung zu einzelnen Bibelstellen

In der Faksimile-Darstellung (Abb. 1) findet man auch eine erklärende Randbemerkung, die in [1] folgendermaßen übersetzt wird: „Als Beweis dafür, dass dem jüdischen Volke deren Kenntnis [gemeint ist die Kenntnis der Alchemie als Scheidekunst] nicht mangelte, dient vielleicht jenes **Nardenwasser**, das über den Heiland ausgegossen wurde.“

Andreas Libavius (Abbildung 2) bezieht sich dabei offensichtlich auf mehrere Bibelstellen, in der gleich mehrere Evangelisten die so genannte „Salbung in Betanien“ bzw. „Die Begegnung Jesu mit der Sün-

Die „Alchemia“ aus dem Jahr 1597 von Andreas Libavius ist wohl das erste Chemie-Lehrbuch, in dem das chemisch-praktische Wissen („Scheidekunst“) aus der Zeit vor 1600 zusammengefasst wird. Wie systematisch und zugleich auch „modern“

der Humanist, Stadtphysikus von Rothenburg ob der Tauber und spätere Rektor des noblen Gymnasiums Casimirianum in Coburg als Lehrbuchautor dabei vorgegangen ist, sollen die Definitionen in der Abbildung 1 dokumentieren.

*Aus dem Nachlass von Prof. Dr. Viktor Obendrauf († 2010)

Der Alchemie erstes Buch

Über die Handgrifflehre

Kapitel I

Was ist Alchemie.

ALCHEMIE ist die Kunst, Magisterien zu vervollkommen (perficere) und reine Essenzen aus Gemischtem durch Abtrennen des Corpus zu extrahieren.

Weil diese beiden Aufgaben allgemein in dem Wort „laborieren“ zusammengefasst werden, könnte man auch von der Kunst, gut zu laborieren (ars bene laborandi), sprechen oder [von der Kunst] der Scheidung (segregatio) des Reinen vom Unreinen über die Gestalt eines „Saftes“ (succus) hin, nach dem Verfahren des Schmelzens (fusio) oder Lösens (solutio); wegen der hervorragenden Bedeutung dieses Teiles hat die Kunst, wie man glaubt von daher auch ihren Namen erhalten. [Anmerkung: Ableitung der Bezeichnung (al)chymia von griech. χυμός = lat. succus „Saft“].

Ihren Ausgang nimmt sie von der Natur, die die ersten Scheidekünstler (artifices) mit Geschick nachzuahmen suchten, und zwar anfangs ganz besonders durch das Extrahieren der mineralischen Säfte aus der Erzader mit [nachfolgender] Reinigung, auf welche Weise die Natur selbst lautere, reine Metalle und Säfte aus den Minen hervorquellen lässt, so dass man sie sogar offen aus ihren Adern zutage treten sieht. Deshalb hat [die Alchemie] ehemals in der Metallurgie die größte Bedeutung gehabt. Jetzt dient sie mehr der Medizin und erstreckt ihre Bemühungen nicht nur auf das Mineral-, sondern auch auf das Tier und Pflanzenreich, zum Nutzen des Menschen und zum Schutz seiner Gesundheit, obwohl sie auch sehr viel zur Annehmlichkeit des Lebens (ornamenta vitae) beiträgt.

(Als ihr erster Erfinder gilt jener aus der Heiligen Schrift bekannte Tubalcain, den man Vulcan nennt. Dieser habe sich, so steht geschrieben, als erster um die Metallurgie, die ein Teil der Alchemie ist, bemüht. In Ägypten ist Hermes oder Mercurius Trismegistus, bekannt durch die Erfindung der Transmutation, als ihr Verbreiter aufgetreten; nach ihm haben etliche Dinge der Scheidekunst bis zur Stunde ihren Namen, wie das „Gefäß des Hermes“ oder der Pelikan, die „Vögel des Hermes“, das „Hermetische Siegel“ usw. So gibt es bei Mesue „Hermespillen“, eine Hiera des Hermes“ usw. Nach eben diesem nennt man [die Alchemie] auch Kunst des Hermes (ars Hermetis) und versteht darunter die Kunst der Transmutation (ars transmutatoria), die der Maure Geber in Vorschriften zusammenfasst. Die ersten, die sie auf die Medizin angewandt und destillierte Liquores hergestellt haben, waren, wie man liest, die Araber und Perser. Daher habe sich Avicenna laut Sorsanus mit der Alchemie beschäftigt, und [jener] erwähnt selbst namentlich das „Korrigieren“ des Wassers durch Sublimieren und Destillieren. Ihm folgen Rhazes, Mesue, Bulcasis und andere, bei denen sich viele chymische Angaben finden; und namentlich Mesue schreibt den Alchymisten die Verfertigung von gelösten Ölen zu. In unserer Zeit hat mit Bezug auf ihn Paracelsus das Unterste zuoberst gekehrt und die besondere Sippschaft der Paracelsisten gezeugt. Daher ist die paracelsische Art eine ganz scheußliche Angeberei, die aus Unkenntnis und Halbbildung zusammengebraut ist, Medizin und Alchemie zusammenmengt und von da aus beide Wissenschaften zu Grunde richtet.) [1]



Abbildung 2: Andreas Libavius, Mediziner, Humanist, Stadtphysikus, Gymnasial-Direktor und Lehrbuchautor.

derin“ beschreiben. Ob dabei tatsächlich ein Pfund „Nardenöl“ – immerhin mehr als 320 Gramm – im Haus des Lazarus oder im Haus eines Pharisäers geduftet haben oder ob das Öl zum Salben der Füße verwendet wurde bzw. aus einem zerbrochenen Alabastergefäß (von einer anderen Frau, häufig als Maria Magdalena interpretiert) über das Haar gegossen worden ist, scheint aus naturwissenschaftlicher Sicht weniger bedeutsam als die Tatsache, dass das „Nardenöl“ zur damaligen Zeit als unglaublich wertvolles Salböl gehandelt wurde. Wenn für ein Pfund Nardenöl dreihundert Denare gezahlt wurden, war dies zur Amtszeit des Kaisers Tiberius (14 – 37 n. Chr.) immerhin der Jahreslohn eines Arbeiters. Dieser materielle Wert des Nardenöls und der exklusive Duft werden von allen vier Evangelisten explizit betont:



Abbildung 3: Maria Magdalena mit dem Nardenöl im Alabastergefäß, Carlo Dolci (entstanden um 1660-70), Palazzo Pitti, Florenz.

a) Die Salbung in Betanien (Johannes 12, 1-11)

Sechs Tage von dem Paschafest kam Jesus nach Betanien, wo Lazarus war, den er von den Toten auferweckt hatte. Dort bereiteten sie ihm ein Mahl; Marta bediente, und Lazarus war unter denen, die mit Jesus bei Tisch waren. Da nahm Maria ein Pfund echtes, kostbares Nardenöl, salbte Jesus die Füße und trocknete sie mit ihrem Haar. Das Haus wurde vom Duft des Öls erfüllt. Doch einer von seinen Jüngern, Judas Iskariot, der ihn später verriet, sagte: Warum hat man dieses Öl nicht für dreihundert Denare verkauft und den Erlös den Armen gegeben? Das sagte er aber nicht, weil er ein Herz für die Armen gehabt hätte, sondern weil er ein Dieb war; er hatte nämlich die Kasse und veruntreute die Einkünfte. Jesus erwiderte: Lass sie, damit sie es für den

Tag meines Begräbnisses tue. Die Armen habt ihr immer bei euch, mich habt ihr aber nicht immer bei euch.

b) Die Salbung in Betanien (Markus 14, 3-9)

Als Jesus in Betanien im Haus Simon des Aussätzigen bei Tisch war, kam eine Frau mit einem Alabastergefäß voll echtem, kostbarem Nardenöl, zerbrach es und goss das Öl über sein Haar. Einige wurden unwillig und sagten zueinander: Wozu diese Verschwendung? Man hätte das Öl um mehr als dreihundert Denare verkaufen und das Geld den Armen geben können. Und sie machten der Frau heftige Vorwürfe. Jesus aber sagte: Hört auf! Warum lasst ihr sie nicht in Ruhe? Sie hat ein gutes Werk an mir getan. Denn die Armen habt ihr immer bei euch, und ihr könnt ihnen Gutes tun, so oft ihr wollt, mich aber habt ihr nicht immer.

c) Die Salbung in Betanien (Matthäus 26, 6-13)

Als Jesus in Betanien im Haus Simons des Aussätzigen bei Tisch war, kam eine Frau mit einem Alabastergefäß voll kostbarem, wohlriechendem Öl zu ihm und goss es über sein Haar. Die Jünger wurden unwillig, als sie das sahen, und sagten: Wozu diese Verschwendung? Man hätte das Öl teuer verkaufen und das Geld den Armen geben können. Jesus bemerkte ihren Unwillen und sagte zu ihnen: Warum lasst ihr die Frau nicht in Ruhe? Sie hat ein gutes Werk getan. Denn die Armen habt ihr immer bei euch, mich aber habt ihr nicht immer.

d) Die Begegnung Jesu mit der Sünderin (Lukas 7, 36-50)

Jesus ging in das Haus eines Pharisäers, der ihn zum Essen eingeladen hatte, und legte sich zu Tisch. Als nun eine Sünderin, die in der Stadt lebte, erfuhr, dass er im Haus

des Pharisäers bei Tisch war, kam sie mit einem Alabastergefäß voll wohlriechendem Öl und trat von hinten an ihn heran. Dabei weinte sie, und ihre Tränen fielen auf seine Füße. Sie trocknete seine Füße mit ihrem Haar, küsste sie und salbte sie mit dem Öl. Als der Pharisäer, der ihn eingeladen hatte, das sah, dachte er: Wenn er wirklich ein Prophet wäre, müsste er wissen, was das für eine Frau ist, von der er sich berühren lässt, er wüsste, dass sie eine Sünderin ist. Da wandte sich Jesus an ihn und sagte: Simon, ich möchte dir etwas sagen: Er erwiderte: Sprich Meister! (Jesus sagte.) Ein Geldverleiher hatte zwei Schuldner, der eine war ihm fünfhundert Denare schuldig, der andere fünfzig. Als sie ihre Schulden nicht bezahlen konnten, erließ er sie beiden. Wer von ihnen wird ihn nun mehr lieben?...Du hast mir nicht das Haar mit Öl gesalbt, sie aber hat mir mit ihrem wohlriechenden Öl die Füße gesalbt...

In der Tat wird der Duft der „Narde“ bereits mehrfach im alttestamentlichen „Hohelied Salomos“ erwähnt. Diese erotischen Gedichte beschreiben die „Chemie“ zwischen zwei Liebenden: „Solange der König an der Tafel liegt, gibt meine Narde ihren Duft.“ (Hohelied 1, 12). Oder: „Ein verschlossener Garten ist meine Schwester Braut, ein verschlossener Garten, ein versiegelter Quell. Ein Lustgarten sprosst aus dir, Granatbäume mit köstlichen Früchten, Hennadolden, Nardenblüten, Narde, Krokus, Gewürzrohr und Zimt, alle Weihrauchbäume, Myrrhe und Aloe, allerbesten Balsam. Die Quelle des Gartens bist du, ein Brunnen lebendigen Wassers, Wasser vom Libanon.“ (Hohelied 4, 12-15)

Die biblische Narde botanisch betrachtet

Nardenöl ist auch heute rar: Die konkrete Suche bei Rompp-Online [2] liefert keinerlei Hinweise. Erst ein gezielter Blick in den fünften Band des repräsentativen „Hager“ (Handbuch der pharmazeutischen Praxis) [3] lässt erahnen, warum das echte, biblische Nardenöl, das auch als Grabbeigabe bei Tutanchamun gefunden wurde, so wertvoll war und ist: Die pflanzlichen Rohstoffe für das alttestamentliche Salb-Öl gedeihen nicht Israel und auch nicht in Ägypten sondern in Nordindien bzw. Nepal. Diese Tatsache mag vielleicht im ersten Augenblick verwundern, aber der Austausch von Handelsgütern zwischen innerasiatischen Gebieten und dem Nahen Osten bzw. Europa ist schon seit mindestens 4000 Jahren dokumentiert. Die Narde bzw. diverse Nardenprodukte gelangten offensichtlich auf klassischen Handelswegen über Mesopotamien und Ägypten schon sehr früh auch ins heutige Israel.

In [3] sind sogar zwei Pflanzentypen charakterisiert: Die Indische Narde (*Nardostachys jatamansi*) bzw. die Chinesische Narde (*Nardostachys chinensis* Batalin). Die englischen Ausdrücke für die Indische Narde (Synonym: *Nardostachys grandiflora*) sind Indian nard, Indian Spikenard bzw. nur Spikenard. Je nach Landesteil werden der indischen Pflanze die Namen Balacharea, balchir, baluchar, bhutijatt, jatamanchi, jatamanshi, jatamansi, jatamashi, jatamasi, jatamavshi, kukikipot, pampe bzw. paumpe zugeschrieben. Im Sanskrit findet man die Namen Akashamansi, bhutajat, mansi bzw. vahnini.

Im Unterschied zur indischen Variante fehlen der „Chinesischen Narde“ (*Nardostachys chinensis* Batalin) am

Wurzelstock die Stengelfasern aus alten Blättern (siehe Abbildung 4).

Die „Indische Narde“ (*Nardostachys jatamansi*) ist ein ausdauerndes Kraut von 10 bis 60 cm Höhe, das sich im unteren Teil meist kahl, nach oben mehr oder weniger behaart zeigt. Charakteristisch sind bei diesem ausnehmend wohlriechenden Typ (griech: *nárdos*, altpers.: *nárda*, von sanskr.: *nálada* = die Wohlriechende) die verholzten Rhizome (Wurzelgeflechte), die von Blattstielresten der abgestorbenen Blätter bedeckt werden (siehe Abbildung 4). Es gibt zwei Arten von Blättern: ca. 2,5 cm breite, wurzelständige Blätter, die bei einer Länge von 15 bis 20 cm zum Blattstiel hin schmaler werden und ein- bzw. zweipaarige Stengelblätter, die nur 2,5 bis 7 cm lang werden. Bis zu fünf Blütenköpfe sind meist von behaarten Deckblättern umgeben.

Das in der in traditionellen indischen Heilkunst weit verbreitete „Nardenöl“ wird aus den Wurzeln und Rhizomen von *Nardostachys jatamansi* isoliert. Die empirisch-philosophische Naturlehre der Inder (Ayurveda-Medizin) beschreibt das „Nardenöl“ u. a. als Medikament zur Behandlung von Epilepsie und als Entkrampfungsmittel. Darüber hinaus gibt es im Ursprungsland der Pflanze sogar klinische Erfahrungen, dass Extrakte der Indischen Narde anti-ischämisch, also gegen Mangel durchblutung und damit dem Schlaganfall vorbeugend wirken können. Auch in der „Aromaöl-Szene“ der westlichen Welt ist dieses – heute durch Wasserdampfdestillation gewonnene – Öl aus den Wurzeln und Rhizomen von *Nardostachys jatamansi* in Gebrauch. Dem Aroma wird eine beruhigende und entspannende Wirkung zugeschrieben. Der Duft des Öls aus den Rhizomen und Wurzeln wird als



Abbildung 4:
*Nardostachys
jatamansi*.

erdig, herb und eher bitter charakterisiert.

Zur Herstellung des alttestamentlich blumig duftenden „Nardenwassers“ für kosmetische Zwecke wird wohl nicht nur die getrocknete Wurzel, sondern die ganze Pflanzendroge gedient haben. Die Anreicherung der Duftstoffe bzw. der physiologisch wirksamen Substanzen wird sehr wahrscheinlich auch nicht durch eine Wasserdampfdestillation im heutigen Sinn erfolgt sein.

In der Literatur des 19. Jahrhunderts [4] wird die biblische „Indische Narde“ mitunter auch noch mit asiatisch-tropischen Süßgräsern verwechselt. So findet man die Bezeichnung „Indische Nardenwurzel“ (bzw. „Indische Spiknard-Wurzel“) auch für die Vetiverwurzel (*Vetiveria zizanioides*). Diese ursprünglich aus Asien kommende Grassorte wird wegen

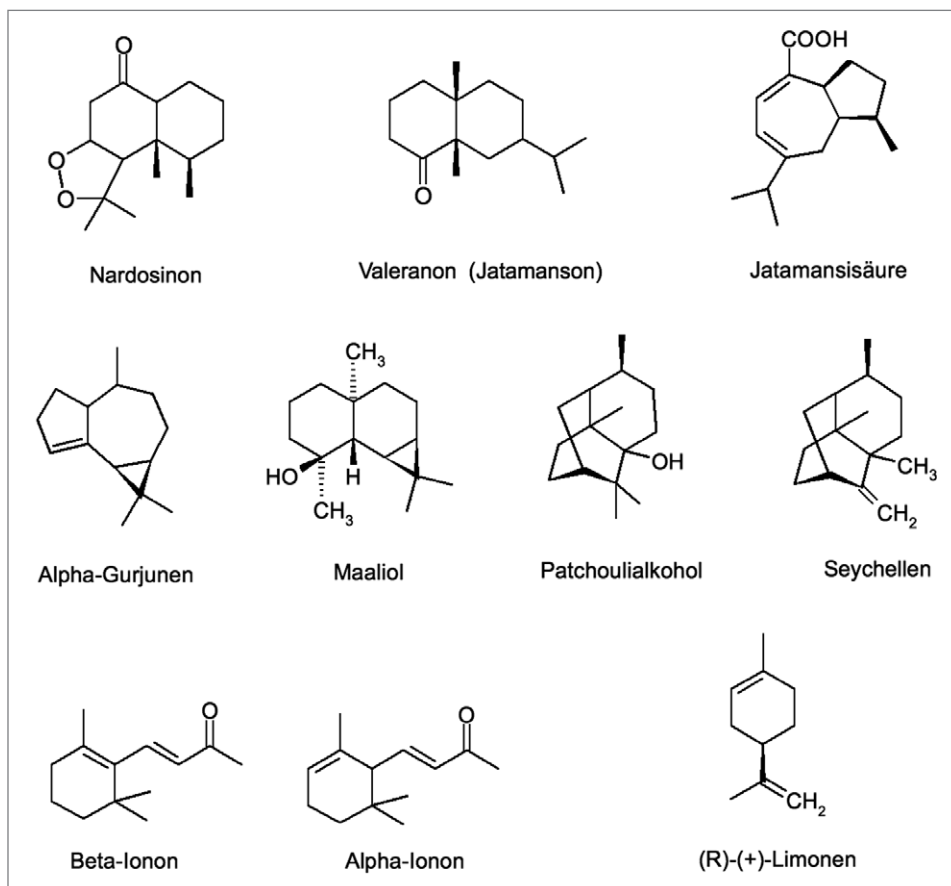


Abbildung 5: Diverse Inhaltsstoffe von Indischer und Chinesischer Narde (Arbeitsblatt-Vorlage).

seines dichten Wurzelgeflechts in Südostasien überall dort angepflanzt, wo der Boden feucht gehalten und eine drohende Bodenerosion verhindert werden soll. Die etherischen Öle dieser Pflanze werden ebenfalls in der Parfümherstellung, in der Aromatherapie bzw. in der Naturheilkunde eingesetzt.

Die Narde in Chemie und medizinischer Forschung

Die „Indische Narde“ unterscheidet sich von der „Chinesischen Narde“ (*Nardostachys chinensis* Batalin) chemisch vor allem in seinem Sesquiterpenoidspektrum in den Rhizomen bzw. in den Wurzeln. In der Indischen Narde findet man vor allem das Sesquiterpen-Keton Valeranon, das auch als Jatamanson bezeichnet wurde und die botanische Verwandtschaft der Pflanze zum deutlich weniger gut duftenden europäischen Baldrian (*Valeriana*

officinalis) bzw. zum alpenländischen „Echten Speik“ (*Valeriana celtica*) dokumentiert.

In der Chinesischen Narde überwiegt das Nardosinon, das als erstes fünfgliedriges Sesquiterpenperoxid pflanzlicher Herkunft gilt [3]. Weiters fand man in den frischen Wurzeln der Chinesischen Narde neben dem Sesquiterpen-Ether Nardonoxid bzw. dem Aristolan-Keton Gansongon auch noch β -Sitosterol, Ethyl-D-glucopyranosid und Oleanolsäure (siehe z.B. [5]).

Als Droge spezifiziert findet man in den getrockneten Rhizom- und Wurzelteilen der Indischen Narde 0,1 bis 1,2% Valeranon, daneben noch Isovaleriansäure und Jatamansisäure, Maaliol, Aristolen, Seychellen u.a. Die chinesische Droge enthält neben dem dominierenden Nardosinon noch Urolsäure sowie β -Maalien und Maaliol. Etliche Sesquiterpenketone wie

β -Ionon, 1(10)-Aristolenon-(2) und 1,8,9,10-Dehydroaristolanon-(2) lassen sich sowohl in der Indischen wie auch in der Chinesischen Narde nachweisen. Die Strukturformeln der bekanntesten Terpenderivate, die in der Indischen bzw. Chinesischen Narde gefunden wurden, sind in Abbildung 5 dargestellt.

Die vielfältige Verwendung von *Nardostachys jatamansi* in der indischen Medizin hat selbstverständlich auch die moderne medizinische Forschung vor allem in Asien inspiriert: Die pharmakologisch wirksamen Substanzen der „Indischen Narde“ scheinen zumindest im Tierversuch eine Art Schutzfunktion gegen Nebenwirkungen von Antitumor-Medikamenten auszuüben. So wird z.B. in [6] beschrieben, dass im Tierversuch ein ethanolischer Extrakt der Pflanze die Leber schädigende Wirkung von Thioacetamid signifikant vermindern kann. Thioacetamid wird als Modellsubstanz für Leber schädigende Medikamente verwendet. In [7] findet man den Hinweis, dass im Tierversuch die Herz schädigende Wirkung des hoch wirksamen Zytostatikums Doxorubicin in Rahmen von Chemotherapien deutlich abgeschwächt werden konnte. In [8] wird beschrieben, dass ein oral verabreichter ethanolischer Extrakt der ganzen Pflanze das Verhältnis des „guten“ HDL zu Gesamtcholesterin bei Ratten signifikant verbessern konnte. In [9] wird u. a. konkret das krampflosende Potenzial der Droge dokumentiert. Dass gewisse Substanzen in der Droge den Hirnstoffwechsel positiv beeinflussen können, ist aus der Ayurveda-Medizin bekannt. Indische Autoren haben in [10] konkret darauf hingewiesen, dass die Lernfähigkeit und das Gedächtnis bei jungen Mäusen mit ethanolischen Extrakten von *Nardostachys jatamansi*

(mit einer Dosis von 200 mg/kg) signifikant verbessert werden kann. Man hofft sogar, in Zukunft den Krankheitsverlauf bei alten, an Demenz leidenden Menschen mit noch näher zu untersuchenden Inhaltsstoffen der Droge abschwächen zu können.

Nardenöl und Schulchemie

Wie bereits aus den Abschnitten 1-4 hervorgeht, gibt es nach kurzer Recherche doch etliche Projekt orientierten Möglichkeiten, mit Hilfe des Themas „Nardenöl“ den Unterrichtsgegenstand Chemie mit den Fächern Biologie, Geschichte, Geografie, Religion, und Latein zu verbinden. Sogar mit den Kunsterziehern ließe sich kooperieren: Die neustamentliche Szene mit Jesus und der reuigen Sünderin (Maria Magdalena?) mit dem Salböl ist ein sehr häufiges Motiv in der bildenden Kunst.

Mit dem Fokus „Nardenöl“ können Lernende im Leistungskurs das sehr vielschichtige und duftige Thema der Terpene bzw. der Terpene (als formale Oligomere des Kohlenwasserstoffs 2-Methylbuta-1,3-dien = „Isopren“) nicht nur auf theoretischer Ebene diskutieren [11, 12]. Unter Berücksichtigung der sehr begrenzten schulischen Möglichkeiten bezüglich Zeit und Ausstattung für präparative organische Synthesen kann auch ansatzweise praktisch gearbeitet und geschnuppert werden.

Sowohl das „Indische Nardenöl“, als auch die Ausgangssubstanzen Citral (ein Monoterpenoid) bzw. Propanon zur Herstellung von Pseudoionon bzw. α -Ionon und β -Ionon, die als duftende Inhaltsstoffe der „Chinesischen“ und „Indischen Narde“ identifiziert wurden, sind im Drogeriemarkt bzw. im Internetversandhandel frei zugänglich. Citral ist neben Limonen als Hauptkomponente im Aro-

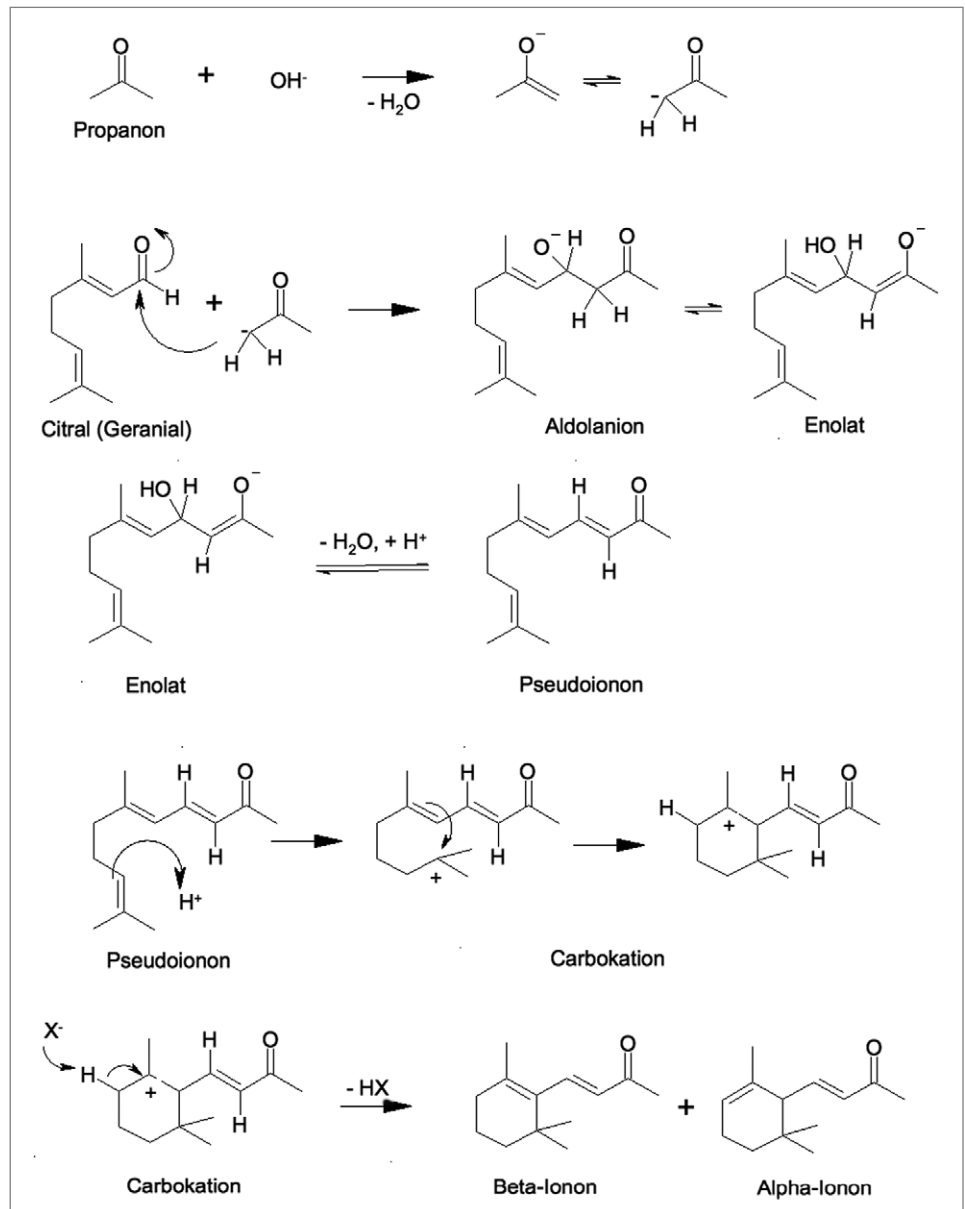


Abbildung 6: Synthese von α -Ionon und β -Ionon aus Citral und Propanon (Arbeitsblatt-Vorlage).

maöl „Lemon Grass“ enthalten. Derartige Aromaölpräparate gibt es ebenso wie Propanon (in Form eines billigen Nagellackentferners) fast in jedem größeren Drogeriemarkt. Aus gegebenem Anlass kann dabei beim praktischen Arbeiten mit dem Monoterpenoid Citral bzw. dem monocyclischen Terpen Limonen auch auf die potenziellen Gefahren von bestimmten Naturstoffen (im konkreten Fall allergene Substanzen) hingewiesen werden.

Typische Beispiele aus der Fülle von möglichen organischen Reaktionsmecha-

men sind mit moderatem Tiefgang auch für interessierte Lernende der Sekundarstufe II thematisierbar: Aus Citral (ein Stereoisomerenmischung aus Geranial und Neral) sowie Propanon lässt sich modellhaft in einer Aldol-Addition bzw. Kondensation (Tiemann-Synthese, Reaktionsschema siehe Abbildung 6) Pseudoionone herstellen [13, 14, 15]. Wenn man auf präparative Ausbeuten verzichtet und viele mögliche Nebenreaktionen aus didaktischen Gründen bewusst ausblendet, lässt sich eine improvisierte Syn-

these in Kleinstmengen auch mit Drogeriemarktprodukten in vergleichsweise kurzer Zeit ansatzweise nachstellen. Ionone können in sehr geringen Konzentrationen gerochen werden. Bei β -Ionon liegt die Geruchschwelle bei 0,1 ppb, so dass die Chancen nicht schlecht stehen, auch bei sehr geringen „Ausbeuten“ und ohne Reinigungsstufen oder spezifischen Nachweisreaktionen im Reagenzglasversuch zumindest den Unterschied zwischen dem signifikant nach Zitronenschalen duftenden Citral-Limonen-Gemisch und dem blumig-süßlichen Geruch des Produktgemisches zu erkennen. Der Unterschied zwischen Edukten und Produkten ist unverkennbar, auch wenn. α -Ionon aufgrund seiner Struktur einen viel niedrigeren Dampfdruck (0,13 Pa bei 20 °C) besitzt als das ebenfalls geruchsintensive Citral bzw. Limonen.

Der Reaktionsmechanismus ist in Abbildung 6 skizziert: Im alkalischen Milieu wird im Zuge einer Aldoladdition bei Propanon-Molekülen das acide H-Atom an dem der Oxogruppe benachbarten C-Atom abgespalten. Dabei bildet sich im Gleichgewicht ein Propanon-Enolat, das dann im Zuge eines nucleophilen Angriffs an die Aldehydgruppe des Citrals addiert wird. Um die konkurrierende Aldol-Reaktion von Aceton-Molekülen untereinander zu Diacetonalkohol zu unterdrücken, wird im konkreten Fall gezielt mit einem Überschuss an Citral gearbeitet. Nach der Protonierung des negativen O-Atoms der ursprünglichen Aldehydgruppe wird unter Wasserabspaltung eine neue Doppelbindung ausgebildet und man bekommt Pseudoionon. Beim Erwärmen mit verdünnter Säure lässt sich Pseudoionon zu α -Ionon bzw. β -Ionon cyclisieren. (siehe Abbildung 6).

Wegen des C_{13} -Gerüsts werden die Ionone auch als Norsesquiterpenoide bezeichnet. α -Ionon ist wegen seines blumigen, in passender Konzentration an Veilchen erinnernden Duftes Bestandteil vieler Parfums. α -Ionon ist mit 22 % tatsächlich eine der Hauptkomponenten im Veilchenblütenöl. Für Herstellung von Pseudoiononen aus Citral sind zahlreiche technische Synthesen beschrieben. Das daraus herstellbare β -Ionon dient als Ausgangsstoff für die technische Vitamin-A-Synthese.

Versuch: Citral zu Ionon

In stark vereinfachter (!) Anlehnung an diverse Aldol-Reaktionsvorschriften (z.B. [14,15]) sei an dieser Stelle eine improvisierte Arbeitsvorschrift zur Umsetzung von Citral mit Propanon zu Pseudoionon und weiter zu Ionon in Kleinstmengen im Reagenzglasversuch und mit alltagsrelevanten Drogeriemarktprodukten skizziert. Eine quantitative Charakterisierung der eingesetzten Substanzen im Rahmen des Reaktionsverlaufs ist unter den beschriebenen Bedingungen naturgemäß nicht möglich.

Material und Chemikalien: Aromaöl „Lemon Grass“ (10 mL), Drogeriemarktware, enthält Citral (Xi = reizend) und Limonen (Xi = reizend bzw. N = Umweltgefährdend), Propanon (Nagellackentferner auf Basis Aceton, Xi = reizend F= leichtentzündlich), Ethanol (Brennspiritus, F= leichtentzündlich), Natriumhydroxid (Plätzchen, C= ätzend), Schwefelsäure (20 %ig, C = ätzend), dest. Wasser, Waage (Genauigkeit 0,01 g), Reagenzgläser 16/160 mm, Reagenzglasständer, 2 Messpipetten 10 mL, 2 mL-Spritze, Kanüle (0,8 x 120 mm), Brenner, Filterpapier, Siedesteinchen, Gummihandschuhe

Durchführung: In einem Reagenzglas werden ca. 0,5 g

Natriumhydroxid in 5 mL Wasser gelöst. Nach Zusatz von 4 mL Ethanol (Brennspiritus) wird das Gemisch mit 0,75 g Citral (ca. 5 mMol, enthalten in ca. 1 g Aromaöl „Lemon Grass“) überschichtet. Als letzte Komponente werden ca. 0,15 g Propanon (ca. 2,5 mMol, enthalten in bestimmten Nagellackentfernern) zugesetzt. Das heterogene Gemisch wird im Reagenzglas (ohne zu Erwärmen) mindestens 5 Minuten lang gut geschüttelt. Anschließend lässt man der leicht braun-orange gefärbten Emulsion weitere 5 Minuten Zeit, um sich zu entmischen. Es sammelt sich eine ca. 1 cm hohe, braun-orange ölige Phase über der gelb-orangen, alkalisch-wässrigen Phase. Mittels langer Kanüle und 2 mL-Spritze wird ein Großteil der öligen Phase abgezogen und in ein Reagenzglas mit ca. 5 mL 20 %iger Schwefelsäure überführt. Nach dem Zusatz von etlichen Siedesteinchen wird das heterogene, leicht zu Siedeverzügen (!) neigende Gemisch vorsichtig unter ständigem Schütteln kurz erwärmt und nach intensivem Schütteln (mind. 5 Minuten lang) über Nacht abgestellt. Am nächsten Tag transferiert man einige Tropfen der öligen Phase auf ein Filterpapier und vergleicht den Geruch der Reaktionsprodukte mit den Ausgangsstoffen (im Aromaöl „Lemon Grass“).

Ergebnis: Der Geruch nach Zitronenschalen ist durch die Umsetzung nahezu völlig verschwunden und wird von einem blumig-süßlichen Blütenduft überdeckt.

Materialgebundene Aufgaben:

a) Das Reaktionsschema (Abbildung 6) wird für die Lernenden so kopiert, dass einzelne Zwischenprodukte (z.B. das Enolat und/oder das Pseudoionon bzw. das Carbokation) ausgespart sind. Die Lernenden sollen aufgrund der Vor- und

Folgeprodukte die Lücke schließen.

b) Für die einzelnen Komponenten sollen aus den vorgegebenen Strukturformeln die Summenformeln bzw. Molmassen der Verbindungen Citral ($C_{10}H_{16}O$), Pseudoionon ($C_{13}H_{20}O$) und Ionon ($C_{13}H_{20}O$) ermittelt werden.

c) Eine analoge Aufgabenstellung lässt sich mit Hilfe der kopierten Abbildung 5 für die Sesquiterpenoide Nardosinon ($C_{15}H_{22}O$), Valeranon ($C_{15}H_{26}O$), bzw. für die tricyclischen Sesquiterpenoide Jatamanisäure ($C_{15}H_{21}O_2$), Maaliol ($C_{15}H_{26}O$), Patchoulialkohol ($C_{15}H_{26}O$) und für die tricyclischen Sesquiterpene α -Gurjunen ($C_{15}H_{24}$) und Seychellen ($C_{15}H_{24}$) konstruieren.

d) Für Citral a (Geranial) soll aus der Strukturformel (Abb. 5) der wissenschaftliche Name (3,7-Dimethylocta-2,6-dienal) generiert werden

e) Aufgrund der Strukturen soll die relative Flüchtigkeit der aufgelisteten Substanzen im Vergleich abgeschätzt werden. Zum Beispiel: Citral (Siedetemperatur: 228 °C) ist aufgrund der Struktur weniger flüchtig als Limonen (Siedetemperatur: 177,6 °C).

f) Die Lernenden sollen eine theoretische Möglichkeit skizzieren, aus dem Citral (Geranial = 3,7-Dimethylocta-2,6-dienal) eine Hauptkomponente des Rosenöls (Geraniol = 3,7-Dimethylocta-2,6-dien-1-ol) herzustellen.

Literatur:

- [1] Die Alchemie des Andreas Libavius, Ein Lehrbuch der Chemie aus dem Jahr 1597, mit deutscher Übersetzung, Hrsg.: Gmelin-Institut in der Max-Planck-Gesellschaft in Verbindung mit der Gesellschaft deutscher Chemiker, Verlag Chemie, Frankfurt/Main 1964
- [2] Roempp-Online: <http://www.roempp.com/prod/index1.html> (Stand: 02. 03. 2008)
- [3] R. Hänsel, K. Keller, H. Rimpler; G. Schneider (Hrsg.): Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis, Band 5, Drogen E-O, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg 1993
- [4] Ph. Funke's und G. H. C. Lippold's neuestes Natur- und Kunstlexicon, Sechster Band, Bey Kaulfuß und Kramer, Buchhändlern., Wien 1825, S. 65
- [5] L. Shide, A. Olbrich, R. Mayer, G. Rücker, Gansongone, a New Arisolane Ketone from Nardostachys chinensis Batalin and Structure Revision of an Aristolenol, *Planta Med.* 53 Dec (6) (1987), S. 556-558
- [6] S. Ali, K. A. Ansari, M.A. Jafri, H. Kabeer, G. Diwakar, Nardostachys jatamansi protects against liver damage induced by thioacetamide in rats, *Journal of Ethnopharmacology*, 71 (2000), S. 359-363
- [7] R. Subashini, A. Gnanapragasam, S. Senthilkumar, S.K. Yogeeta, T. Devaki, Protective Efficacy of Nardostachys jatamansi (Rhizomes) on Mitochondrial Respiration and Lysosomal Hydrolases during Doxorubicin Induced Myocardial Injury in Rats. *Journal of Health Science*, 53 (2007) (1), S. 67-76
- [8] V.P. Dixit, P. Joshi, Hypolipidaemic effects of Curcuma longa L and Nardostachys jatamansi DC. in triton-induced hyperlipidaemic rats. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology* 32, S. 299-304
- [9] V.S. Rao, A. Rao, K. S. Karanth, Anticonvulsant and neurotoxicity profile of Nardostachys jatamansi in rats, *Journal of Ethnopharmacology* 102 (2005), S. 351-356
- [10] H. Joshi, M. Parle, Nardostachys Improves Learning and Memory in Mice, *Journal of Medicinal Food*, 9 (1), 2006, S. 113-118
- [11] J. D. Connolly, R. A. Hill (Editors), Dictionary of Terpenoids, Vol 1, Mono- and Sesquiterpenoids, Chapman&Hall, London 1991
- [12] E. Breitmaier, Terpene – Aromen, Düfte, Pharmaka, Pheromone, 2. Aufl., Verlag Wiley-VCH 2005
- [13] W. Walter (Hrsg.), Lehrbuch der organischen Chemie von Prof. Dr. Hans Beyer, 17. Aufl., S. Hirzel-Verlag Stuttgart 1973, S. 581
- [14] Autorenkollektiv, Organikum, Organisch-chemisches Grundpraktikum, 12. Aufl. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1973, S. 500 ff
- [15] A. Russell and R. L. Kenyon, Organic Synthesis, Coll. Vol. 3, S. 747 (1955)

Massenspektrometrie

Mehrere richtige Antworten pro Frage sind möglich.

- 1** Bei wem entstand das erste Gaschromatogramm?
A Friedlieb Ferdinand Runge.
B Michail Semjonowitsch Tswett.
C Richard Johann Kuhn.
D Arne Wilhelm Kaurin Tiselius.
E Erika Cremer.
- 2** Auf welchem Phänomen können chromatographische Verfahren beruhen?
A Siebwirkung.
B Adsorption.
C Verteilung.
D Ionenaustausch.
E Affinität.
- 3** Welches chromatographische Verfahren beruht auf der Siebwirkung?
A Chirale Chromatographie.
B Molekularsiebchromatographie.
C Gel-Permeations-Chromatographie.
D Planare Chromatographie.
E Ausschlusschromatographie.
- 4** Was ist ein polares Adsorbens für Trennschichten in der Dünnschichtchromatographie?
A Kieselgel.
B Aktivkohle.
C Magnesiumsilikat.
D Aluminiumoxid.
E Polyamid.
- 5** Welche funktionelle Gruppe hat die größte Adsorptionsfähigkeit an Kieselgel?
A -CHO.
B -CO.
C -COOH.
D -CO₂R.
E -OCH₃.
- 6** Ordnen Sie die Fließmittel in einer eluotropen Reihe.
A Petrolether, Cyclohexanon, Methanol, Chloroform, n-Heptan.
B Cyclohexanon, n-Heptan, Petrolether, Chloroform, Methanol.
C Chloroform, Methanol, n-Heptan, Petrolether, Cyclohexanon.
D Cyclohexanon, Chloroform, n-Heptan, Petrolether, Methanol.
E n-Heptan, Petrolether, Cyclohexanon, Chloroform, Methanol.
- 7** Welches Lösungsmittel hat das stärkste Elutionsvermögen?
A Toluol.
B Propan-1-ol.
C Pyridin.
D Aceton.
E n-Heptan.
- 8** Eine Trennsäule ist besonders leistungsfähig, wenn ...
A die Trennstufenzahl gering ist.
B die Retentionszeit gering ist.
C der Druckabfall gering ist.
D die Trennstufenzahl hoch ist.
E die Retentionszeit hoch ist.
- 9** Was ist bei der Verteilungschromatographie eine typische stationäre Phase?
A Wasser.
B Hexan.
C Ethylendiamin.
D Pentan.
E n-Butanol.
- 10** Welches ist die austauschaktive funktionelle Gruppe eines stark sauren Ionenaustauschers?
A -NH₂.
B -SO₃H.
C -COOH.
D -N(CH₃)₃⁺.
E -OH.
- 11** Woraus kann die stationäre Phase in der Gaschromatographie bestehen?
A Stickstoff.
B Kieselgur.
C Aktivkohle.
D Squalan.
E Paraffin auf einem indifferenten Träger.
- 12** Welcher Parameter ist charakteristisch für eine Kapillarsäule?
A Länge: 3 m.
B Länge: 30 m.
C Durchmesser: 0,3 mm.
D Durchmesser: 3 mm.
E Durchmesser: 30 mm.
- 13** Welches ist ein Detektor in der Gaschromatographie?
A Wärmeleitfähigkeitsdetektor.
B Flammenionisationsdetektor.
C Elektroneneinfangdetektor.
D Fluoreszenzdetektor.
E Brechungsindexdetektor.
- 14** Welches Trägergas empfiehlt sich in der GC mit einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor?
A Wasserstoff.
B Helium.
C Stickstoff.
D Argon.
E Kohlendioxid.
- 15** Die für die GC zu wählende Temperatur ...
A muss über der Siedetemperatur der Analyten liegen.
B hängt ab von den Dampfdrücken der Analyten.
C hängt ab von der Säulenlänge.
D beeinflusst die Chromatogrammdauer.
E hängt ab von der Menge der stationären Phase.
- 16** Welcher Detektor empfiehlt sich in der GC, um halogenhaltige Substanzen zu detektieren?
A Wärmeleitfähigkeitsdetektor.
B Flammenionisationsdetektor.
C Elektroneneinfangdetektor.
D Stickstoff-Phosphor-Detektor.
E Leitfähigkeitsdetektor.

Lösungen zu Seite 278 (CLB 06/2011):

1 B, C, E; 2 D; 3 A, C, D; 4 B;
 5 B; 6 D; 7 B, C; 8 E; 9 A, D, E;
 10 B, C, D; 11 A.

(Lösungen zu den Fragen hier finden Sie in CLB 10/2011 sowie auf www.clb.de)

Bezugsquellenverzeichnis

ANALYSEN



Altmann Analytik GmbH & Co. KG
München
Tel: 089 724805-90
info@analytics-shop.com
www.analytics-shop.com
Zubehör für Chromatographie
und Probenvorbereitung
HPLC Säulen, Spritzenfilter, Vials uvm.

Analytische Laboratorien
Prof. Dr. H. Malissa u. G. Reuter GmbH
Postfach 1106, D-51779 LINDLAR
Tel. 02266 4745-0, Fax 02266 4745-19

Ilse Beetz
Mikroanalytisches Laboratorium
Postfach 1164, D-96301 Kronach
Industriestr. 10, D-96317 Kronach
Tel. 09261 2426, Fax 09261 92376

ARBEITSSCHUTZARTIKEL



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 Karlsruhe
Tel. 0721 56060

CHEMIKALIEN



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 Karlsruhe
Tel. 0721 56060

GERBU Biotechnik GmbH
Rischerstr. 12, D-69123 Heidelberg
Tel.: 06221 726416 0
Fax: 06221 726416 9
www.gerbu.de, E-mail: info@gerbu.de

DEUTERIUMLAMPEN



0 61 51/88 06-0
Fax 0 61 51/89 66 67
www.LOT-Oriel.com

DICHTUNGSSCHEIBEN AUS GUMMI MIT AUFVULKANISIERTER PTFE-FOLIE

GUMMI WÖHLEKE GmbH
Siemensstr. 25, D-31135 Hildesheim
Teletex 5 121 845 GUMWOE
Tel. 05121 7825-0

FTIR-SPEKTROMETER-ZUBEHÖR



0 61 51/88 06-0
Fax 0 61 51/89 66 67
www.LOT-Oriel.com

GEFRIERTROCKNER

Zirbus technology
D-37539 Bad Grund
Tel. 05327 8380-0, Fax 05327 8380-80
Internet: <http://www.zirbus.de>

GEFRIERTROCKNUNGSANLAGEN



Martin Christ GmbH
Postfach 1713
D-37507 Osterode/Harz
Tel. 05522 5007-0
Fax 05522 5007-12

HOHLKATHODENLAMPEN



0 61 51/88 06-0
Fax 0 61 51/89 66 67
www.LOT-Oriel.com

KÜHLUND TIEFKÜHLGERÄTE



LAB TECHNOLOGY

Föhrenstr. 12
D-78532 Tuttlingen
Tel. 07461 705-0, Fax 07461 705-125
www.hettichlab.com
info@hettichlab.com

KÜVETTEN

Hellma GmbH & Co. KG
Postfach 1163
D-79371 Müllheim
Tel. 07631 182-0
Fax 07631 135-46
www.hellma-worldwide.com
aus Glas, Spezialgläser, Quarzgläser

LABORCHEMIKALIEN



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 Karlsruhe
Tel. 0721 56060

LABOREINRICHTUNGEN

Wesemann GmbH & Co. KG
Postfach 1461, D-28848 Syke
Tel. 04242 594-0, Fax 04242 594-222
<http://www.wesemann.com>

LABORHILFSMITTEL



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 Karlsruhe
Tel. 0721 56060

LABOR-SCHLÄUCHE UND -STOPFEN AUS GUMMI

GUMMI WÖHLEKE GmbH
Siemensstr. 25, D-31135 Hildesheim
TeleTex 5121845 GUMWOE
Tel. 05121 7825-0

LABORZENTRIFUGEN, KÜHLZENTRIFUGEN



LAB TECHNOLOGY

Föhrenstr. 12
D-78532 Tuttlingen
Tel. 07461 705-0, Fax 07461 705-125
www.hettichlab.com
info@hettichlab.com



Sigma Laborzentrifugen GmbH
Postfach 1713
D-37507 Osterode/Harz
Tel. 05522 5007-0
Fax 05522 5007-12

LEITFÄHIGKEITS-MESSGERÄTE



HANNA Instruments
Deutschland GmbH
Lazarus-Mannheimer-Straße 2-6
D-77694 Kehl am Rhein
Tel. 07851 9129-0 Fax 07851 9129-99

Große
Anzeigen zu
teuer? Hier
kostet ein
Eintrag nur
6 Euro pro
Zeile, ein
Millimeter
pro Spalte
3 Euro!

MIKROSKOPE



hund
WETZLAR

**Labor- und Routine-
Mikroskope
Stereolupen und
Stereomikroskope**

Helmut Hund GmbH
Postfach 1669 · 35526 Wetzlar
Telefon: (0 64 41) 20 04-0
Telefax: (0 64 41) 20 04-44

OLYMPUS OPTICAL CO.
(EUROPA) GMBH
Produktgruppe Mikroskope
Wendenstr. 14-18
D-20097 Hamburg
Tel. 040 237730
Fax 040 230817
email: microscopy@olympus-europa.com

OPTISCHE TAUCHSONDEN

Hellma GmbH & Co. KG
Postfach 1163
D-79371 Müllheim
Tel. 07631 182-0
Fax 07631 135-46
www.hellma-worldwide.com
aus Glas, Spezialgläser, Quarzgläser

PARTIKELANALYSE



0 61 51/88 06 - 0
Fax 0 61 51/89 66 67
www.LOT-Oriel.com


PH-MESSGERÄTE



HANNA
instruments
Deutschland GmbH

HANNA Instruments
Deutschland GmbH
Lazarus-Mannheimer-Straße 2-6
D-77694 Kehl am Rhein
Tel. 07851 9129-0 Fax 07851 9129-99

REINIGUNGSMITTEL FÜR LABORGLAS



Roth GmbH + Co. KG
Postfach 10 01 21
D-76231 Karlsruhe
Tel. 0721 56060

SAUERSTOFF-MESSGERÄTE



HANNA
instruments
Deutschland GmbH

HANNA Instruments
Deutschland GmbH
Lazarus-Mannheimer-Straße 2-6
D-77694 Kehl am Rhein
Tel. 07851 9129-0 Fax 07851 9129-99

TEMPERATUR-MESSGERÄTE



HANNA
instruments
Deutschland GmbH

HANNA Instruments
Deutschland GmbH
Lazarus-Mannheimer-Straße 2-6
D-77694 Kehl am Rhein
Tel. 07851 9129-0 Fax 07851 9129-99

STERILISATOREN

Zirbus technology
D-37539 Bad Grund
Tel. 05327 8380-0, Fax 05327 838080
Internet: <http://www.zirbus.de>

THERMOMETER



Amarell GmbH & Co KG
D-97889 Kreuzwertheim
Postfach 1280
Tel. 09342 9283-0
Fax 99342 39860

TEMPERATUR-MESSGERÄTE



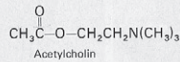
Amarell GmbH & Co KG
D-97889 Kreuzwertheim
Postfach 1280
Tel. 09342 9283-0
Fax 99342 39860

VAKUUMKONZENTRATOREN

Zirbus technology
D-37539 Bad Grund
Tel. 05327 8380-0, Fax 05327 838080
Internet: <http://www.zirbus.de>

**Große Anzeigen zu teuer?
Hier kostet ein Eintrag nur
6 Euro pro Zeile,
ein Millimeter pro Spalte
3 Euro!**

bahnbrechenden Untersuchungen 1970 der Nobelpreis für Medizin verliehen. Sir Bernard Katz untersuchte die molekularen Ereignisse an der Nervenendigung in der Nachbarschaft eines Skelettmuskels (motorische Endplatte) und an der Synapse (Kontaktpunkt), die durch einen Nervenimpuls ausgelöst werden: Der Depolarisationsvorgang setzt am präsynaptischen Nervenende vermehrt Acetylcholin als Überträgersubstanz (Transmitter) in Form multi-molekularer Einheiten einer Standardgröße in den intersynaptischen Spalt frei (Abb. 2).



Acetylcholin diffundiert zur postsynaptischen Zellmembran einer anderen Nervenzelle und verursacht dort mit Hilfe von Calcium-Ionen eine lokale Depolarisation. Die Nervenzelle wird erregt und leitet das Signal zur nächsten weiter. Diejenigen Moleküle, die im intersynaptischen Spalt liegenbleiben, werden mittels eines Enzyms (Acetylcholinesterase) durch Abspalten von Essigsäure inaktiviert. Werden zuwenig Acetylcholinmoleküle durch einen Impuls freigesetzt, so wird keine vollständige Depolarisation erreicht. Erst weitere Impulse bringen dann die „vorgebahnte“ Nervenzelle zur völligen Depolarisation und damit zur Bildung eines Signals.

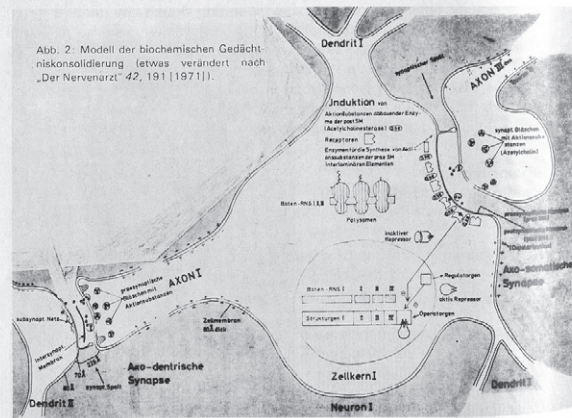
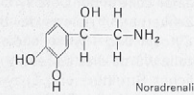
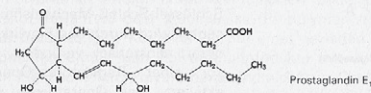


Abb. 2. Modell der biochemischen Gedächtniskonsolidierung (etwas verändert nach „Der Nervenarzt“ 42, 191 (1971)).

Professor *Ulf von Euler* beschäftigte sich mit der Erforschung eines anderen Neurotransmitters, mit dem Noradrenalin.



Dieser Stoff wird bei der Erregung von Neuronen frei, die Antrieb und Schlaf-Wach-Rhythmus der Säugetiere steuern. In den Nervenendigungen dieser Neurone wird Noradrenalin in sog. Granula gespeichert. Dieser Speicher steht mit einem extragranulären Pool von Noradrenalin im Austausch, der in der Nähe der präsynaptischen Membran liegt. Bei elektrischer Erregung treten Noradrenalin-Moleküle aus dem extragranulären Speicher in den intrasynaptischen Spalt aus, diffundieren zur postsynaptischen Membran des nächsten Neurons, depolarisieren diese und werden teilweise von der präsynaptischen Membran wieder resorbiert. Diese Speicherungs- und Rückresorptionsvorgänge benötigen Energie in Form von ATP, die im Stoffwechsel der Nervenzelle durch oxidativen Abbau von Glucose gewonnen wird. Jede Störung bei der Energiegewinnung, z. B. durch Drogen, verursacht ein vermehrtes Austreten von Noradrenalin in den intersynaptischen Spalt und eine verlangsamte Rückresorption. Das bedeutet, daß die postsynaptische Membran langanhaltend depolarisiert wird und damit die postsynaptische Nervenzelle vermehrt signalisiert. Noradrenalin abbauende Enzyme (Monoaminoxidase, Catechol-O-methyltransferase) sorgen jedoch dafür, daß dieser Transmitter rasch inaktiviert wird. Nach den letzten Untersuchungen von Professor von Euler dürfte die Freisetzung von Noradrenalin durch die Mobilisierung von Acetylcholin und Calcium eingeleitet und durch Prostaglandin E₁ gehemmt werden.



Professor *Julius Axelrod* erforschte u. a. den Stoffwechsel des Noradrenalins. Dieses wird aus Tyrosin gebildet (Abb. 3). Der erste Schritt wird durch das Enzym Tyrosinhydroxylase katalysiert, das eine Schlüsselstellung bei der Biosynthese von Noradrenalin einnimmt. Professor *Axelrod* konnte u. a. zeigen, daß eine vermehrte Stimulation von Neuronen die Neubildungsrate von Tyrosinhydroxylase steigert und dadurch mehr Noradrenalin gebildet wird. Die Induktion dieses Enzyms konnte durch Hemmung der Protein- bzw. Ribonucleinsäure(RNS)-Biosynthese in den Neuronen durch Cycloheximid bzw. durch Actinomycin D unterdrückt werden. Die Bedeutung dieser Befunde wird erst durch die Untersuchungen von *M. W. Nirenberg, H. G. Khorana* und *R. Holley* (Nobelpreis für Medizin 1968) ersicht-

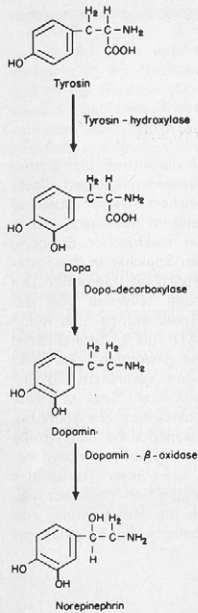


Abb. 3

lich. Diese und andere Forschungsgruppen konnten zeigen, daß die Baupläne für sämtliche Proteine einer Zelle in der Desoxyribonucleinsäure (DNS) des Zellkerns in Triplets der Basen Adenosin, Guanin, Cytosin und Thymin codiert sind. Für die Nervenzelle würde dies bedeuten, daß die Baupläne sämtlicher Struktur- und Enzymproteine in sog. Strukturgenen in der DNS ihres Zellkerns verankert sind. Diesen Strukturgenen ist ein Operatorgen vorgeschaltet, das den unnützen Abruf der in den Strukturgenen codierten Baupläne verhindert. Erst durch Zeichen aus der Peripherie (z. B. vermehrte Reizung) wird der DNS-Code mittels einer DNS-abhängigen RNS-Polymerase in einen RNS-Code (Boten-RNS) transkribiert. An den sehr zahlreichen Ribosomen der Nervenzelle findet dann die Translation des RNS-Codes in die Aminosäuresequenz von Proteinen statt.

Biochemische Konsolidierung des Gedächtnisses

Der Vorgang der Gedächtniskonsolidierung läßt sich biochemisch mit einem Derepressionsvorgang (*Jacob u. Monod*) vergleichen: Der durch den elektrischen Impuls an der präsynaptischen Nervenendigung freigesetzte Transmitter geht mit einem an der Zelloberfläche der postsynaptischen Membran befindlichen spezifischen Rezeptor eine noch hypothetische Verbindung ein, analog einem Schlüssel-Schloß-Mechanismus (Abb. 2): Der Rezeptor wird durch das Einwirken des Transmitters derart allosterisch verändert, daß er den Repressor einer Regulatoren-Operatoreinheit inaktiviert. Das Operatorgen wird jetzt für eine DNS-abhängige RNS-Polymerase zugänglich, welche die in der DNS codierten Proteinbaupläne in einen RNS-Code transkribiert. An den Ribosomen der Nervenzelle wird der RNS-Code in Enzym- und Strukturproteine transformiert.

Die neugebildeten Enzyme können vermehrt Transmitter synthetisieren oder abbauen (s. Abb. 2). Die Strukturproteine stellen u. a. spezifische Rezeptoren und andere Elemente der synaptischen Membran dar, welche die Erregungsausbreitung in ganz bestimmten Nervenbahnen erleichtern oder verhindern. Durch diese biochemisch erfaßbare Bahnung oder Hemmung besonderer Neuronenkreise können neu erworbene neurophysiologische Gedächtnisäquivalente engrammiert werden.

Somit weist vieles heute darauf hin, daß das biochemische Gedächtnisäquivalent letztlich in Proteinbauplänen der DNS von Nervenzellen verankert ist. Fehlsteuerungen bei Abruf und Verwirklichung dieser Baupläne führen zu Erkrankungen des Zentralnervensystems, die durch falsche Transmitter (z. B. LSD) oder Drogen nachgeahmt werden können, die die Synthese, Freisetzung oder Speicherung von Transmittern beeinflussen.

Entwicklungstendenzen der Polyurethanchemie

Von Dr. Helmut Piechota, Farbenfabriken Bayer AG.

Vor etwas mehr als 30 Jahren wurde von *Otto Bayer* und Mitarb. in Leverkusen das Diisocyanat-Polyadditionsverfahren als Aufbauprinzip für makromolekulare Stoffe entdeckt. Diese Entdeckung hat seitdem zu einer Fülle hochwertiger synthetischer Materialien geführt: Weit verbreitet sind heute Polyurethan-Elastomere, die im Gieß- oder Sprühverfahren angewendet werden, oder die man nach den Methoden des Spritzgießens und der Extrusion verarbeitet. Das gleiche gilt für Polyurethanlacke, für Polyurethan-Textilbeschichtungen, für Polyurethan-Syntheseleder, für Polyurethan-Klebstoffe, für Polyurethan-Synthesefasern und -Schaumstoffe.

Als Ausgangsmaterialien zur Erzeugung von Polyurethanen verwendet man im wesentlichen Polyisocyanate und Polyhydroxylverbindungen wie Polyäther oder Polyester. Ihre Herstellung aus Erdöl-Folgeprodukten erfolgt heute im großtechnischen Maßstab. Sie setzt genaue Kenntnis und Beherrschung der Strukturparameter voraus, die für die Eigenschaften der jeweils daraus herzustellenden Polyurethanprodukte wesentlich sind. Die Umsetzung der Grundkomponenten zum Polyurethan erfolgt unter kontrollierten Bedingungen in einem Schritt (one shot-Verfahren) oder stufenweise (Prepolymer-Verfahren). Durch die gesteuerte Umsetzung in Kombination mit einer gezielten Auswahl der Ausgangskomponenten erhält man Polyurethanprodukte mit definierten, vorher bestimmbarer Eigenschaften. Polyurethane sind nicht nur Chemiewerkstoffe mit universellen Eigenschaften, sondern gleichzeitig „Kunststoffe nach Maß“.

Polyurethanschäumstoffe, die sich in allen Härtevarianten erzeugen lassen, sind heute die wichtigsten Vertreter der Polyurethanchemiewerkstoffe. 1970 wurden mehr als 1 Mio t davon hergestellt. In Gestalt konfektionierter, kontinuierlich gefertigter Blockware oder formgeschäumt, dienen welche Polyurethanschäumstoffe als Polstermaterialien, als Matratzen, Automobilsitze und anderes mehr. Neue Entwicklungen führten auf diesem Gebiet zu den sogenannten „Kalt-schäumstoffen“. Sie führen in einem rationellen Herstellungsverfahren zu formgeschäumten Schaumstoffteilen, die über latexähnliche Eigenschaften sowie über bisher bei Polyurethanschäum nicht gekannte Elastizität und ein



Das Online-Magazin
für Labor und Analytik

Kontakt
Newsletter
Anzeigen schalten
Über uns
FAQ
Shop



Labor Magazin ANALYTIK NEWS

Sitemap Profisuche

Labor Magazin

- Produktneuheiten
- Stellenangebote
- Veranstaltungskalender
- Aktuelle Nachrichten
- Fachbeiträge
- Webseite des Monats

LAB-SUPPLY Special

- Labor interaktiv
- Diskussionsforum
- Stellengesuche
- Gebrauchtes

Labor Branchenbuch

- Labor Linktipps
- Analysentechniken
- Anwendungsgebiete
- Qualitätssicherung
- Arbeitssicherheit
- Fachliteratur
- Laborsoftware
- Sonstiges

Weitere Webseiten

- LabFirms.de
- LabCrawler.com
- LaborShop.de
- Chemiker.info
- Chemie-Datenbanken

++ ANALYTIK NEWS Aktuell ++

Produkte
Stellenangebote
Veranstaltungen
Nachrichten
Fachartikel
Links

ANALYTIK NEWS ist ein **Online-Labormagazin** der Dr. Beyer Internet-Beratung und bietet seit 1998 tagesaktuelle, unabhängige, redaktionell geprüfte Informationen aus Labor, Analytik, Chemie, Life Science und Qualitätssicherung.

In unseren wöchentlichen Email-Newslettern informieren wir mehr als 30.000 Anwender im deutschsprachigen Raum über Produktneuheiten, Nachrichten, Fachartikel, Veranstaltungen, Stellenangebote, Fachbücher und vieles mehr.



An indispensable resource for synthetic chemists
 6.0 million molecules
 3.8 million reactions

Produktneuheiten alle Anzeigen schalten

Aktuelle Neuheiten aus Labor, Analytik und Messtechnik inklusive Laborsoftware und Qualitätskontrolle

- **Das neue Optilab® T-rEX™: Differential-Refraktometer - neu definiert**
 Mit seinem 512 Photodioden-Array ist das Optilab® T-rEX™ den herkömmlichen Zwei-Photodioden-Geräten in Empfindlichkeit und Messbereich haushoch überlegen. Der dynamische Bereich ist so groß, dass das...
- **Messkolben mit Individualkennzeichnung, so einzigartig wie ein Fingerabdruck: Die Individualkennzeichnung macht ein Volumenmessgerät unverwechselbar**
 Datamatrix-Code, Barcode, Zahlen und Buchstaben: die innovative Hirschmann-Codierung ermöglicht es jetzt, Messkolben aus Glas individuell zu kennzeichnen. Jeder Messkolben kann nun mit einer einzigar...
- **Kompakte Umwälzkühler für das Labor**
 Die kompakten Huber Minichiller überzeugen als preisgünstige und umweltfreundliche Kühllösung für zahlreiche Laborapplikationen. Die Geräte benötigen mit 225 x 360 mm Stellfläche nur wenig Platz auf ...
- **Elix® Advantage System: keine Limits bei der Wasseraufbereitung, intelligente Nutzung von Energie**
 Während viele der heutigen Laborwassersysteme Reinwasser erzeugen, sind nicht alle in der Lage, stets die gleiche Produktwasserqualität bereitzustellen. Im Verlauf der Nutzungsdauer der Aufbereitungs...

--> alle Produktneuheiten --> Chromatographie --> Spektroskopie --> Probenvorbereitung

Stellenangebote alle Stellenanzeige schalten

Aktuelle Jobs für Chemiker, Biologen, Ingenieure, Analytiker, Laborleiter, Laboranten und Techniker

- **Produktspezialist (m/w) - analytische Chromatographie**
 YMC ist einer der international führenden Anbieter stationärer Phasen für die analytische und präparative Flüssigchromatographie, präparative Säulentechnik sowie präparative HPLC-Systeme, mit Sitz in...
- **Vertriebsbeauftragte/r**
 Als bundesweit agierendes Handelsunternehmen auf dem Gebiet der Laborvollversorgung suchen wir für unser Team eine/n Vertriebsbeauftragte/n in Berlin. Sie vertreten unser umfassendes Sortiment im Ve...
- **Molecular Biologist / Metabolic Engineer (m/f)**
 As a successful candidate your skills and experience will correspond with one of the two job profiles below. Either position requires outstanding interpersonal and communication skills, integrative t...

--> alle Stellenangebote

Metrohm
Ionenanalytik

Titration



Ionenchromatographie



Elektroanalytik



ProcessLab



Dr. Beyer Internet-Beratung Kontakt Newsletter Anzeigen schalten Über uns FAQ AGB Impressum

Was Sie bei uns finden

- Newsletter
- Produktneuheiten
- Nachrichten
- Fachbeiträge
- Veranstaltungskalender
- Stellenmarkt
- Branchenbuch
- Diskussionsforum
- Linksammlung