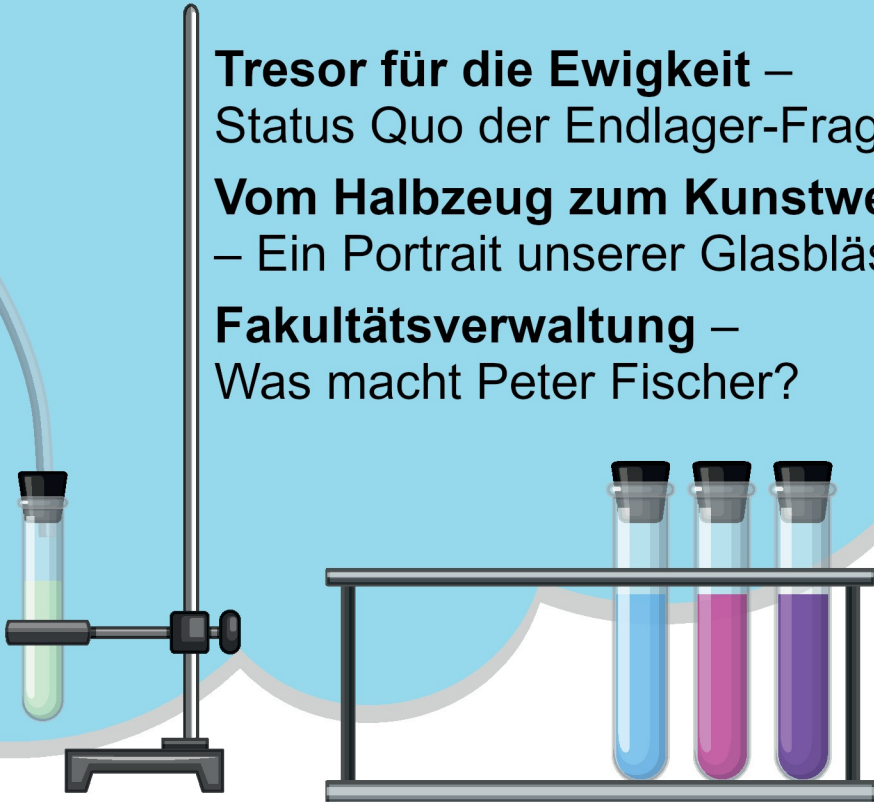




SchallundRauch

Einblicke

Tresor für die Ewigkeit –
Status Quo der Endlager-Frage.
Vom Halbzeug zum Kunstwerk
– Ein Portrait unserer Glasbläser.
Fakultätsverwaltung –
Was macht Peter Fischer?





Geleitwort

Geschätzte Leserschaft,

»Einblicke« lautet das Rahmenthema dieser Ausgabe. Und während wir es uns natürlich zum Ziel gemacht haben, in jeder Ausgabe hinter die Kulissen der Fakultät zu blicken und Ihnen die spannendsten Protagonisten, Institutionen, Initiativen und Projekte dieser vorzustellen, so trifft dieses Motto doch aus zwei Gründen ganz besonders auf diese Aufgabe zu.

Zum Einen begründen wir mit dieser Ausgabe eine neue Serie, in der wir in Zukunft »unsere unerlässlichen Helfer« vorstellen wollen: Personen und Bereiche der Fakultät und Universität, ohne die wir Chemiker, Biochemiker, Pharmazeuten etc. pp. nicht praktisch arbeiten könnten, ohne die Forschung und Entwicklung nicht möglich wäre. Den Anfang in dieser Ausgabe machen die beiden Glasbläser unserer Fakultät, Bernhard Werner und Bálint Klink. In einem ausführlichen Dossier berichten wir über ihre Aufgaben und Arbeitstechniken und bieten euch einen umfassenden Einblick in Ihre fantastische Werkstatt.

Während ohne Glasgeräte keine präparative Laborarbeit möglich wäre, würde ohne die umfassende Verwaltungsarbeit des Dekanats nur Chaos und Wirrwarr herrschen. Höchste Zeit also, unseren Studienkoordinator Peter Fischer und seine vielfältigen Aufgaben einmal im Detail vorzustellen.

Der wahre Namensgeber dieser Ausgabe ist jedoch unser Leitartikel, ein ausführlicher Text von Gerhard Herzberg über die Kernenergie und die Suche nach einem Endlager für unseren Atommüll. Durch diesen Artikel bin ich selbst erst auf das Programm »Einblicke« der Bundesgesellschaft für Endlagerung (einblicke.de) aufmerksam geworden – es brachte mir einige in der Webseite versunkene Stunden.

Zuletzt haben wir natürlich auch wieder zwei Arbeitskreise und ihre hochaktuelle, spannende Forschung für Sie portraitiert. Freuen Sie sich also auf einen Blick in unsere Zellen und die Zukunft, mit den Arbeitskreisen Seibel (OC) und Hertel (PC).

Ich wünsche Ihnen eine angenehme, interessante und bereichernde Lektüre,

Ihr Kasimir M. Philipp
Chefredakteur



1	1.0079
H	
Hydrogen	

Zum Inhalt

**4 UNSERE UNERLÄSSLICHEN HELFER №1:
 AUS DEM LEBEN DER GLASBLÄSER**

Ein Portrait über die Glasbläser unserer Fakultät und ihre abwechslungsreiche und anspruchsvolle Aufgabe.

**14 BIOORGANISCHE CHEMIE – MASSGESCHNEIDERTE
 MOLEKÜLE ZUR ERFORSCHUNG VON KRANKHEITEN**

Der Arbeitskreis Jürgen Seibel präsentiert seine Forschung und bietet Einblicke in die Komplexität und Vielschichtigkeit der interdisziplinären Aufklärung von Erkrankungsprozessen.

**20 TRESOR FÜR DIE EWIGKEIT – ESSAYISTISCHE
 ANALYSE DES STATUS QUO IN DER ATOMKRAFT-
 UND ENDLAGERFRAGE**

Ein Schwenk durch knapp 70 Jahre Kernenergienutzung und die Frage danach, worum es in der Debatte eigentlich geht – physikalische Gefahren oder überforderte Moral.

32 WAS MACHT EIGENTLICH – PETER FISCHER?

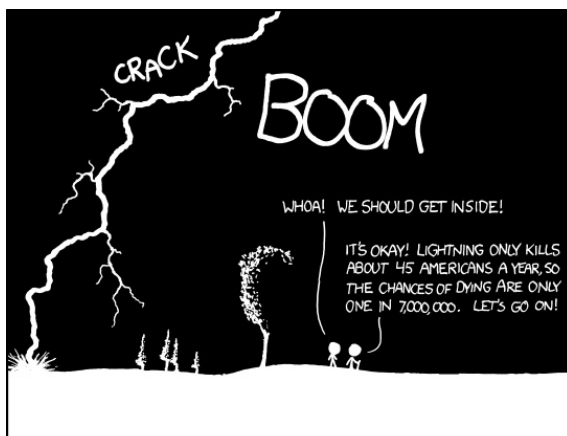
Ein ausführliches Portrait über unseren Studienkoordinator Dr. Peter Fischer und seine vielfältigen Tätigkeiten in der Verwaltung und »Brandbekämpfung«.



38 WIE LICHT UND ATOMAR DÜNNE MATERIALIEN IN DIE ZUKUNFT WEISEN

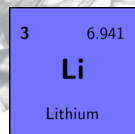
Der Arbeitskreis Tobias Hertel über niederdimensionale Halbleiter, die Forschung an Kohlenstoffnanoröhren und die Kunst, gute Drinks zu mixen.

42 IMPRESSUM / POSTSKRIPTUM



<https://xkcd.com/795/>

THE ANNUAL DEATH RATE AMONG PEOPLE WHO KNOW THAT STATISTIC IS ONE IN SIX.





Bernhard Werner
bei der Arbeit an
einem Kolonnenkopf

Quelle: Facebook-Eintrag der Universität Würzburg



Bálint Klink baut
einen Intensivkühler.

4 9.0122

Be

Beryllium



UNSERE UNERLÄSSLICHEN HELFER ...

Die praktische Arbeit als Chemiker – sei es als Student im Praktikum, als Doktorand in der OC, als Synthese betreibender Arbeitskreisleiter oder als Programmierer in der TC – ist nur dank vieler Unterstützer an unserer Universität möglich. In unserer neuen Serie möchten wir sie Ihnen vorstellen.

№1

AUS DEM LEBEN DER GLASBLÄSER

Text **Kasimir M. Philipp, Paul Mentzel & Alexander Geis** Fotos **K. M. Philipp & Bernhard Werner**

Jeder Student, der mindestens einmal im Praktikum stand – also jeder, der nicht nach den Vorkursen das Handtuch geworfen hat –, hat zumindest schon einmal vage von ihnen gehört: Den Glasbläsern an unserer Fakultät. Doch nur wenige haben sie je einmal persönlich besucht. Wer in den Grundpraktika vorsichtig mit seinen Geräten umgegangen ist und keine gesplitterten Hähne, festgefressenen Schliffe oder Sternchen in seinen Kolben zu beklagen hatte und danach in die PC oder TC verschwunden ist, der wird sie nie aufgesucht haben. Alle anderen – ob verzweifelter Student oder Doktorand mit extravagantesten Wünschen – wissen jedoch, welchen unersetzlichen Dienst sie unserer Fakultät leisten.

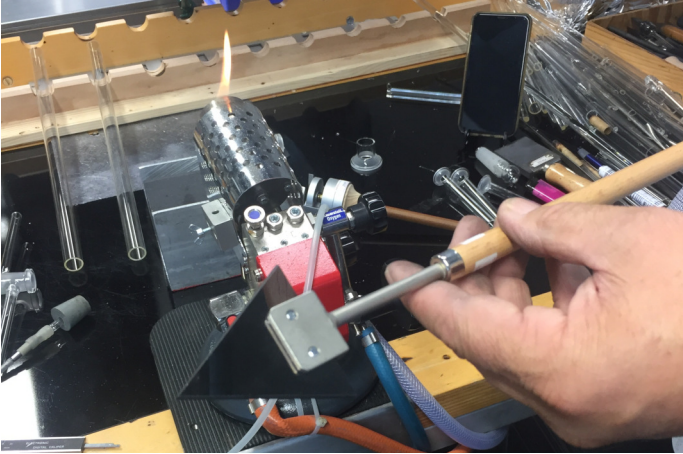
Den Erstsemestern sei soviel der allgemeinen Information gegeben: Die Glasbläser an unserer Fakultät sind zuständig für die Reparatur und Herstellung von Laborgeräten. Ihr Portfolio reicht dabei von der Trennung festgefressener Glasschliffe über die Instandsetzung kaputter Schlenkkolben und Stickstoff-

rechnen bis zur Anfertigung maßgeschneiderter Destillationskollonen.

Wir haben unsere derzeitigen Glasbläser, Bernhard Werner und Bálint Klink, in ihrer neuen Werkstatt besucht und uns ausführlich über ihre Aufgaben, ihre Techniken und ihren Arbeitsalltag unterhalten.

Herr Werner arbeitet seit dem 15. Oktober 2018 an der Uni, zunächst in der separaten Glaswerkstatt des Institutes für anorganische Chemie. Bis zum Frühjahr letzten Jahres stand ihm Jonathan Landeck, der Glasbläser des Institutes für organische Chemie, zur Seite. Im Oktober 2018 zogen die Glasbläser beider Institute aus ihren separaten Werkstätten in den Kellern der Institute in die neue gemeinsame Werkstatt in der neu errichteten AC um. Nachdem Herr Landeck im März 2020 den Weg in die Selbstständigkeit bestritt, trat Herr Klink im April 2020 nach einem langwierigen Bewerbungsverfahren seine Arbeitsstelle als neuer Glasbläser der OC an.

Herr Werner – gelernter »Glasapparatebauer«, so die offizielle Berufsbezeichnung – arbeitete vor seiner Anstellung an der



Ein Aufteiber zum Vergrößern von Durchmessern. Im Hintergrund der Zenit Erdgas Brenner der Fa. Arnold und verschiedene Halbzeuge sowie Werkzeuge.

Universität in der freien Wirtschaft. Während dort die Produktion genormter Massengüter in hohen Stückzahlen im Vordergrund steht und oft in großen, Wärme anstauenden Fabrikhallen gearbeitet wird, ist die klimatisierte Glasbläserwerkstatt eher eine Manufaktur, in der die Glasbläser im direkten Umgang mit den Doktoranden und Studenten die Bedürfnisse des Endverbrauchers aus erster Hand erleben.

Mit welcher hochwertigen Ausstattung die Werkstatt die Arbeit der Glasbläser ermöglicht, bemerkt der aufmerksame Besucher sofort beim Eintreten: Angenehm kühle Luft umweht ihn, trotz der zahlreichen laufenden Brenner – modernsten Absaug- und Lüftungsanlagen sei Dank. Bis auf die Werkbänke und zahlreiche spezielle Werkzeuge ist sie komplett frisch und modern eingerichtet. So finden sich hier zwei Arbeitsplätze mit Tischbrennern zur manuellen Bearbeitung kleinerer

Werkstücke, eine Drehmaschine mit Wasserstoffbrennern zur Bearbeitung von größeren Werkstücken bis 130 mm Durchmesser, zahlreiche Maschinen zum Schneiden und Trennen von Glaswaren – etwa eine Absprengmaschine und eine Diamantsäge – und Öfen um große Glasgeräte langsam zu temperieren.

Schaut man den Glasbläsern bei ihrer Arbeit zu, bekommt man schnell Respekt vor so simpel klingenden Aufgaben wie der »Reparatur von Glasgeräten«. Selbst mit seinen 43 Jahren Berufserfahrung wird Herr Werner noch in einigen Situationen gefordert, auch wenn nur »das wirklich schwierig ist, was man nicht kann«, wie er selbst sagt.

Die häufigsten Geräte stellen in den meisten Fällen Schlenkkolben, Youngrohre und Säulen dar, die in Einzelteilen bei ihm landen. Exzentrische Wünsche aus den Arbeitskreisen – etwa nach mehrstufigen, speziell isolierten und gekühlten Vigreux-

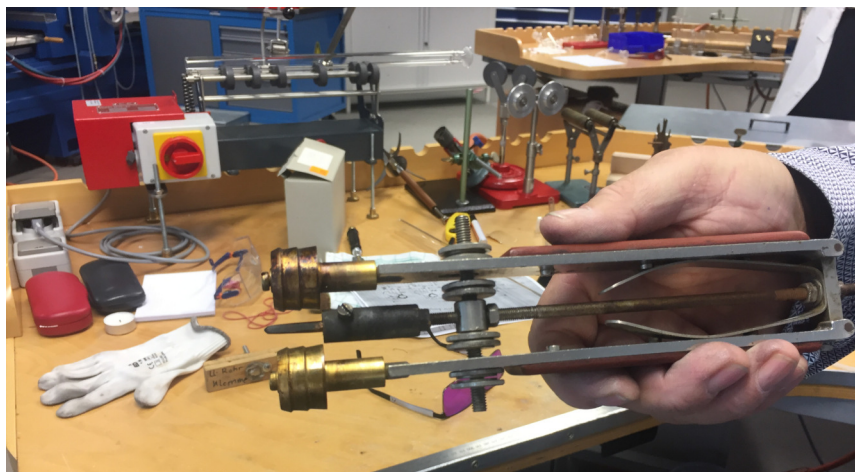


kolonnen oder kompliziert aufgebauten Rückflusskühlern mit zusätzlichen Schutzgas- und Vakuumschlüssen – kommen zwar seltener vor, bringen jedoch auch stets eine gewisse Herausforderung mit sich und sind gewissermaßen die »Haute Couture« von Glasbläserhandwerk und -kunst. Bei der Herstellung dieser individuell maßgefertigten Bauteile ist insbesondere gute Zusammenarbeit und Kommunikation, aber auch Kreativität gefragt.

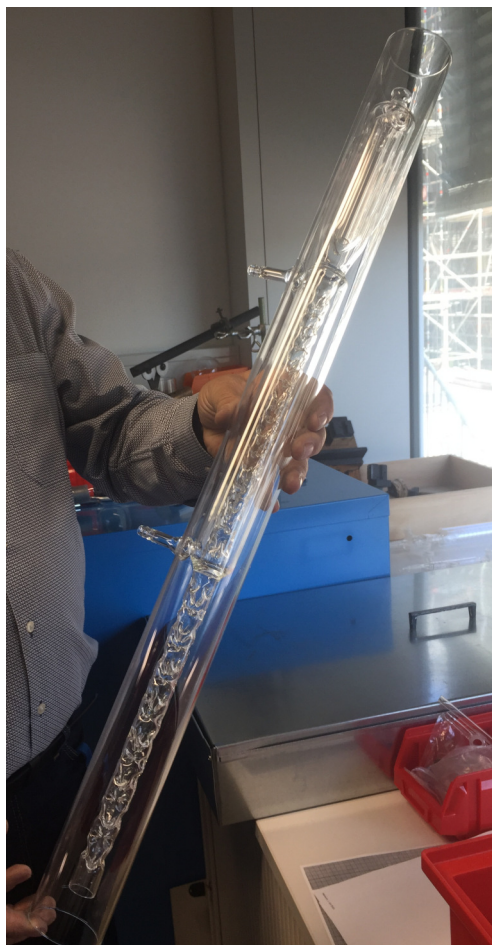
Nicht nur die Arbeitskreise in AC und OC profitieren vom großen Know-how und der schnellen Erreichbarkeit unserer Glasbläser. Auch die Studenten finden während der Laborpraktika meist schnelle und unkomplizierte Hilfe, etwa bei einem festgefressenen Schliff oder leicht beschädigten Glasgerät. Entsprechend höher ist während

studentischer Praktika auch das Arbeitspensum in der Glasbläserwerkstatt, insbesondere aufgrund des selten pfleglichen Umgangs mit den Geräten.

So lautet Herrn Werners Tipp dazu, was man bei einem festgefressenen Glasschliff tun sollte: Garnichts! Und den Schliff einfach zu ihm bringen! Zu oft landen gerissene, geplatze oder abgebrochene Hähne bei ihm, weil Praktikanten auf eigene Faust versuchten, den Schliff zu lösen. Das Aufheizen mit einer Heatgun hilft in solchen Fällen wider Erwarten nicht weiter. Die Temperatur des Glasgerätes verändert sich damit zu langsam, sodass es zu einer gleichmäßigen Erwärmung kommt und der gewünschte Effekt des aufgeweiteten Schliffs nicht funktioniert. Von der Methode, den Schliff mit sanften Stößen



Selbstkonstruierte Zange zur Herstellung von Schlauchanschluss-Oliven. Im Hintergrund eine Maschine, um Rohre kontinuierlich zu drehen und zu erhitzen.



Mehrstufige, speziell isolierte Trennkolonne, die komplett aus einfachen Rohren zusammengesetzt wurde. Die innenliegenden Bauteile wurden zuerst konstruiert und anschließend in das große Rohr eingeführt.

eines Korkrings oder Peleusballs zu lösen, rät er ebenfalls ab. Auf diese Art und Weise klopfe man sich auf Dauer nur das Glas kaputt.

Während der Gang zum Glasbläser also nur wenige Minuten, einige Tage Wartezeit auf das reparierte Gerät und evtl. einen niedrigen Geldbetrag kostet, können unvorsichtigerweise zerstörte Geräte mit Kosten im zwei- bis drei-, oder mitunter vier-,stelligen Bereich schnell ein Fall für die dann hoffentlich abgeschlossene Laborversicherung werden. Damit es gar nicht so weit kommt, hat Herr Werner noch einen weiteren, sehr simplen aber auch sehr wirkungsvollen Tipp parat: Schliffe immer gut fetten, nach der Benutzung reinigen und neu fetten. So lassen sich die meisten Unfälle, und damit oft einhergehendes Blutvergießen, vermeiden.

Doch es gibt auch Situationen, in denen die Glasbläser mit ihrer Ausstattung nicht mehr weiterkommen: »Alle Bauteile mit einem Durchmesser von mehr als 130 mm sind zu groß, als dass wir sie hier bearbeiten könnten. Diese müssen wir dann außer Haus geben.«, so Herr Werner auf die Frage, was sie eigentlich alles herstellen oder reparieren können. Bei kleineren Geräten sind ihren Möglichkeiten jedoch fast keine Grenzen gesetzt.

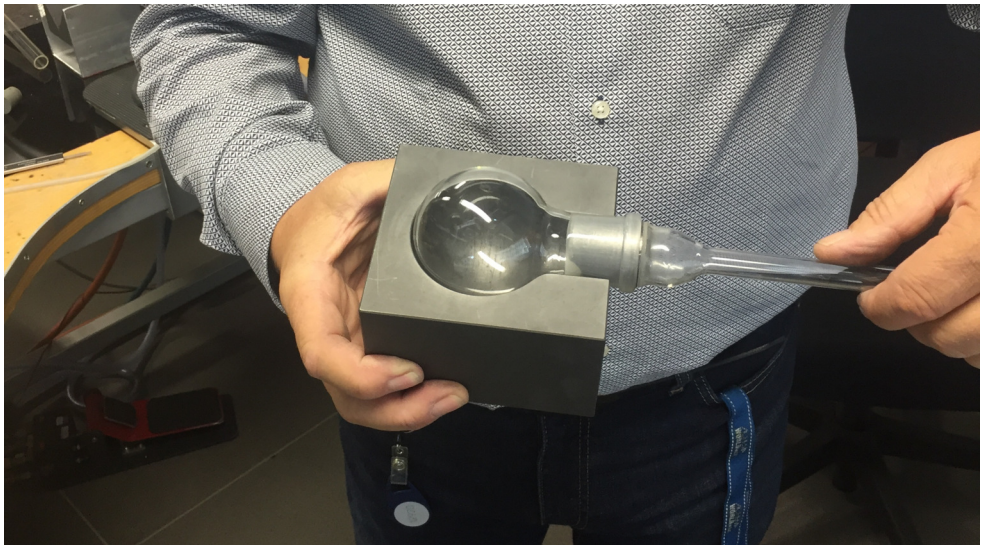
Doch wie arbeitet ein Glasbläser nun genau? Wie entstehen aus einzelnen Rohren, Schliffen, Hähnen und Flanschen – den sogenannten Halbzeugen, wie ihre Ausgangsmaterialien bezeichnet werden – Schlenklines, Destillationskolonnen und Rückflusskühler? In der Theorie sind die Arbeitsschritte nicht sehr kompliziert. Nachdem der Bauplan für das Glasgerät steht, werden zunächst die Halbzeuge entsprechend vorbereitet, Rohre also zum



Beispiel auf die gewünschte Länge gekürzt. Zum Trennen von Glas steht neben einer Diamantsäge, die Bauteile auf klassische Weise mechanisch trennt und der Möglichkeit, Glas per Hand anzuritzen und dann an der Ritzstelle zu brechen, auch eine sogenannte »Absprengmaschine« der Fa. Arnold – einem führenden Hersteller für Maschinen zur Glasbearbeitung – zur Verfügung. Diese funktioniert nach einem ähnlichen Prinzip wie das manuelle Ritzen und Brechen, ist allerdings auch für größere Bauteile geeignet und liefert sauberere Trennergebnisse als durch Brechen oder Sägen möglich. Das entsprechend zu kür-

zende Rohr wird dabei von zwei rotierenden Walzen in ständiger Drehung gehalten, während gleichzeitig von innen ein lanzenförmiger Wasserstoffbrenner eingeführt wird. Mit diesem Brenner wird das Glas punktuell an der zum Trennen bestimmten Stelle über die ganze Kreislinie sehr stark erhitzt. Nachdem das Glas auf dieser Kreislinie zuvor über seinen gesamten Umfang eingeritzt wurde, springt es in Folge der thermischen Spannungen mit einer glatten und sauberen Kante auseinander.

Nachdem die Halbzeuge entsprechend vorbereitet wurden, werden die einzelnen Bauteile bis zur Zähflüssigkeit im Brenner



Kolben und andere Glasgefäße werden hergestellt, indem ein verschlossenes Rohr erweicht und anschließend in eine Negativ-Form eingeblasen wird.



Herr Werner bei der Arbeit an den Trennmaschinen der Werkstatt.

Links: Wassergekühlte und Diamant-beschichtete Kreissäge; ermöglicht das Schneiden beliebiger Winkel.

Unten: Absprengmaschine in Betrieb. Deutlich zu erkennen sind die Brennerlanze und das Anritzrad.



10 20.180

Ne

Neon



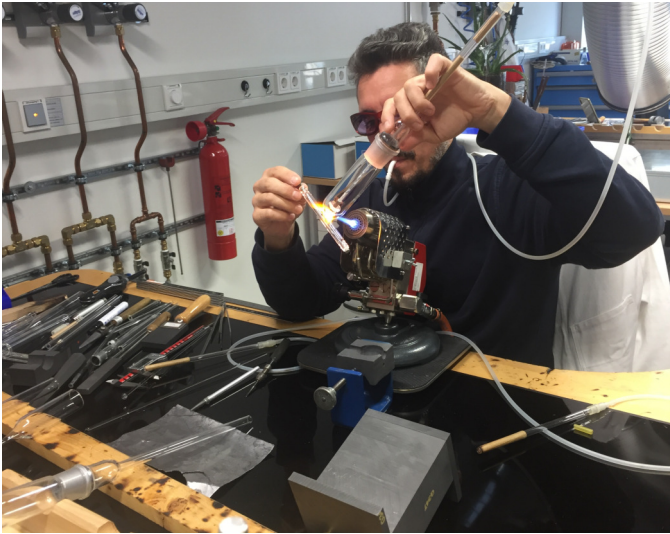
erhitzt, verformt und zusammengefügt. Was wieder einfach klingt, ist dabei in der Praxis eine Arbeit, die Konzentration, Feingefühl und Erfahrung benötigt; denn weder darf das Glas zu schnell erhitzt werden, noch darf es zu großflächig oder zu stark aufgeweicht werden, da es sich sonst verzieht. Durchgänge müssen am Ende durchgängig sein und Verbindungen dicht, riss- und spannungsfrei. Um die Bildung von Spannungen oder Rissen zu verhindern, müssen das Aufheizen und Abkühlen langsam und kontrolliert erfolgen, größere Bauteile müssen daher häufig vor der Bearbeitung in einem speziellen Ofen temperiert und nach der Bearbeitung wieder sukzessive heruntergekühlt werden. Auch kann die Arbeit an einem vorbereiteten Bauteil nicht einfach ›mal unterbrochen‹ und später fortgesetzt werden. »Wenn ich gerade bei der Arbeit bin und jemand klopft an der Tür, dann muss derjenige mitunter auch ein paar Minuten warten, bis ich den Arbeitsschritt vollendet habe und das Bauteil zur Seite legen kann«, so Herr Werner.

Zur Verformung der Bauteile gehören neben dem Biegen auch das Aufblasen von Hohlräumen – daher der Begriff Glasbläser –, das Verschließen von Öffnungen und das Schaffen solcher, das Ziehen und das Anbringen von Einbuchtungen. Bei einer Vireuxkolonne etwa wird jede einzelne Eindellung – ob gerade oder gebogen – von Hand mit einer Wolframnadel in das heiße Glas gedrückt. Neben solchen Nadeln gehören auch zahlreiche andere, unterschiedlich geformte Werkzeuge zum Ziehen, Drücken und Halten – etwa Auftreiber, Anstecher und Pinzetten – zur Ausstattung der Werkstatt. Gerade die Haltewerkzeuge sind aufgrund des für die bloßen Hände zu heißen



Ein neuer Patient für die Glasbläserwerkstatt. Der Younghahn muss als Ganzes ausgetauscht werden, da es sich dabei um ein KPG handelt.

Glases unentbehrlich, da wegen des benötigten Feingefühls auch keine Handschuhe bei der Arbeit getragen werden können. Gefertigt sind die Werkzeuge zumeist aus den hoch temperaturstabilen Materialien Wolfram oder Keramik, oder aus Holz – vorzugsweise Buchenholz –, welches isolierend, antihaftend und ebenfalls begrenzt temperaturstabil ist. Um das Festschmelzen der Bauteile und der Werkzeuge zu verhindern, werden letztere entweder mit Graphit beschichtet oder es wird nasse Pappe als Zwischenschicht verwendet. Für die meisten Arbeiten wird der speziell einstellbare,



Herr Klink bei der Arbeit an einem Überdruckventil.

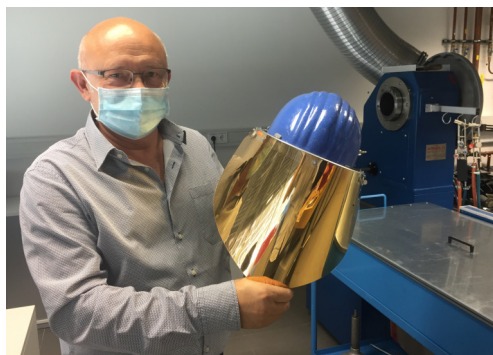
Deutlich zu erkennen sind die zahlreichen Werkzeuge sowie der Schlauch, mit dem er eine Öffnung in das aufgeschmolzene Glas bläst.

mit Erdgas betriebene Tischbrenner verwendet, die sogenannte Glasbläserlampe. Während als Alternative zu Methan auch Propan als Brenngas verwendet werden kann, ist Acetylen, welches hauptsächlich in der trennenden und fügenden Metallverarbeitung verwendet wird, für den Einsatz bei der Glasbearbeitung zu »schmutzig«, also zu kohlenstoffreich. Um höhere Temperaturen zu erreichen, wird gegebenenfalls sauber verbrennender Wasserstoff verwendet.

In Hinsicht auf den Arbeitsschutz ist die lange Arbeit mit mehrere Tausend Grad heißen Brennern natürlich strapazierend. Aus diesem Grund – und zur Entfernung giftiger Verbrennungsrückstände – sind an den Arbeitsplätzen große Absaugrohre angebracht. Zum Schutz der Augen vor den grell leuchtenden Flammen tragen die Glas-

bläser sogenannte Didymium-Brillen, benannt nach der Verbindung Didym, welche aus Praesodym und Neodym besteht. Durch die violettfarbenen Gläser wird nicht nur die Lichtintensität allgemein herabgesetzt, sondern zugleich rotes Licht besonders gefiltert und dadurch der Kontrast und die Sichtbarkeit der glühenden Glasteile in der ebenfalls hellen Flamme erhöht. Für stationäre Arbeiten besitzen die Glasbläser auch verstellbare Schutzscheiben aus Didymium, während für Arbeiten an der großen Drehbank auch ein – den ganzen Kopf vor der thermischen Strahlung schützender – »Stormtrooper-artiger« Helm zur Verfügung steht.

Zuletzt erfahren wir von Herrn Werner auch noch einiges Interessantes über den eigentlichen Kern der ganzen Arbeit: über das Glas. Denn auch im Labor ist Glas nicht



Hitze- und Strahlungsschutzhelm für größere Arbeiten. Im Hintergrund ist gut die Drehmaschine mit Brennern und Absaugung zu erkennen.

gleich Glas, vielmehr gibt es zahlreiche Glasarten mit unterschiedlichen Eigenschaften und Anwendungsbereichen, die auch auf unterschiedliche Weise bearbeitet werden müssen.

Das hauptsächlich im Labor zum Einsatz kommende Glas ist Borosilikatglas, erkennbar an der bläulich grünen Farbe, die das Glas hat, wenn man entlang des Glaskörpers hineinschaut. Die großen Vorteile, welche es zum Allrounder im Labor machen, sind seine große Widerstandsfähigkeit, die hohe Resistenz gegen Chemikalien und der geringe Wärmeausdehnungskoeffizient. Da dieser in der gleichen Größenordnung liegt wie der von Metallen wie Platin oder Wolfram, lassen sich diese Metalle sogar mit dem Glas verbinden. Borosilikatglas lässt sich außerdem leicht aufschmelzen und gut verarbeiten. Letztere Eigenschaft besitzt Quarzglas zum Beispiel

nicht. Da es eine deutlich höhere Erweichungstemperatur hat als Borosilikatglas, lassen sich beide Gläser nicht so einfach mit einander verbinden. Aufgrund des außerdem nochmals deutlich geringeren Wärmeausdehnungskoeffizienten wären simple Verbindungen beider Gläser durch entstehende Spannungen beim Abkühlen instabil und würden zerbrechen. Da Quarzglas aber im Gegensatz zu Borosilikatglas unter anderem durchlässig für UV-Strahlung ist, besitzt es seine speziellen Anwendungsbereiche in der Chemie. Um beide Gläser daher trotzdem miteinander verbinden zu können, werden sogenannte Zwischengläser benötigt, welche Zusammensetzungen zwischen denen der zu verbindenden Materialien aufweisen. Ein weiteres wichtiges Glas ist außerdem gewöhnliches Soda-Kalk-Glas.

Für Herrn Werner, der im Laufe seiner beruflichen Laufbahn auch in der Ausbildung tätig war, ist der Beruf zugleich auch eine Leidenschaft. Außerhalb der Arbeitszeit an der Uni betreibt er eine eigene Kunstbläserei zum Ausgleich und Nebenerwerb. Einige dieser Kunstwerke – etwa ein Galileo-Thermometer – sind auch in seiner Werkstatt an der Fakultät zu finden. Neben den unscheinbareren, aber nicht weniger kunstfertigen, die Tag für Tag ihren Dienst in den Laboren der Fakultät verrichten, verdeutlichen sie die große Bedeutung, die das Glasbläserhandwerk für die Kunst, allen voran aber für die Wissenschaft hat. Ohne Glasbläser gäbe es (mit Ausnahme der TC) auch keine Chemie.

Vielen Dank an die Glasbläser der Fakultät für ihren unerlässlichen Dienst.



BIOORGANISCHE CHEMIE – MASSGESCHNEIDERTE MOLEKÜLE ZUR ERFORSCHUNG VON KRANKHEITEN

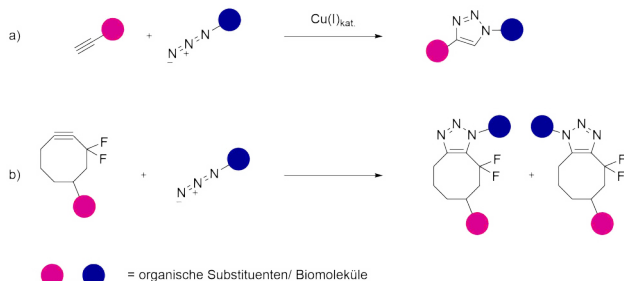
Der AK-Seibel über seine Forschung

Text Tobias Flegler & Christine Sternstein

Abbildungen AK-Seibel

Die vermehrte Bildung von Resistenzen gegen Bakterien, die Entstehung neuer Virenstämme und bisher nicht heilbare Krankheiten stellen die Gesellschaft vor immer mehr Herausforderungen. Daher steigt die Relevanz für die Entwicklung neuer Medikamente und die Untersuchung derer Wirkungsmechanismen, sowie die Erforschung der Krankheitsursachen. Doch wie können diese biologischen Prozesse aufgeklärt und untersucht werden? Dafür ist es nötig, diese mit Hilfe von Fluorophoren zu visualisieren und zu verfolgen.

Ein wichtiges Tool hierbei sind bio-orthogonale Reaktionen, da diese selten unerwünschte Nebenreaktionen mit einem biologischen System eingehen. Ein Beispiel hierfür ist die $[2+3]$ -Cycloaddition zwischen einem Alkin und einem Azid, die zur Gruppe der Click-Reaktionen gehört. Azide und Alkine sind metabolisch stabil und gehen kaum Reaktionen mit den zahlreichen funktionellen Gruppen eines biologischen Systems ein. Diese Modifikationen an einem Naturstoff sind klein genug, dass sie von einer Zelle toleriert und die Natur-



Darstellung von Click-Reaktionen, die unter physiologischen Bedingungen ablaufen können. a) Ausschließliche Bildung des 1,4-Isomers unter Kupfer(I)-Katalyse. b) Bildung beider Regioisomere unter Abbau der Ringspannung.

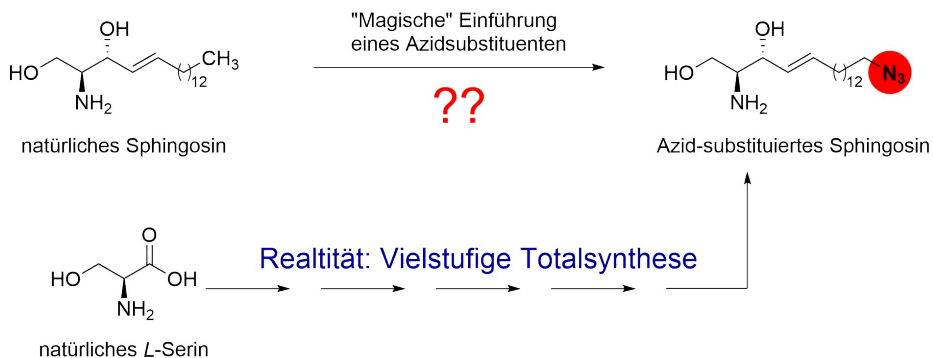
Die [2+3]-Cycloaddition ist sowohl thermisch, Kupfer(I)-katalysiert als auch unter Abbau der Ringspannung in Cycloalkinen möglich, wobei nur die letzten beiden unter physiologischen Bedingungen ablaufen können.

Click-Reaktionen ermöglichen die einfache Derivatisierung funktionalisierter Moleküle in einem Syntheseschritt. Somit können durch kombinatorische Chemie verschiedenste Modifikationen vorgenommen werden. Da bei [2+3]-Cycloadditionen kaum

stoffanaloga genauso wie die natürlich vorkommende Verbindung im biologischen System umgesetzt werden. Diese beiden Aspekte sind die Grundvoraussetzung für unsere Zielverbindungen, die wir zusammen mit unseren Kooperationspartnern aus den Bereichen der Biologie, Medizin, Immunologie und Virologie anwenden.

Nebenreaktionen auftreten, ist der ressourcenverbrauchende und zeitaufwendige Einsatz von Schutzgruppen nicht erforderlich.

Doch wie kann eigentlich eine Azid-Funktion in ein Biomolekül eingefügt werden? Das natürliche Molekül durch eine einzige Reaktion zu der Azid-funktion



Synthese von Azid-substituiertem Sphingosin ausgehend von L-Serin.

nalisierten Verbindung umsetzen? Ganz so einfach ist es dann doch nicht. Alle unsere Themen beruhen auf der Totalsynthese, bei der – ähnlich wie bei einem Puzzle – das Molekül aufwendig in mehreren Schritten aufgebaut werden muss.

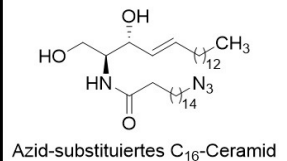
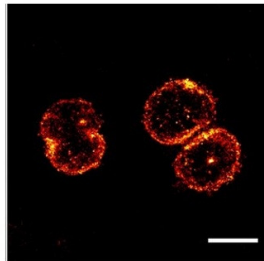
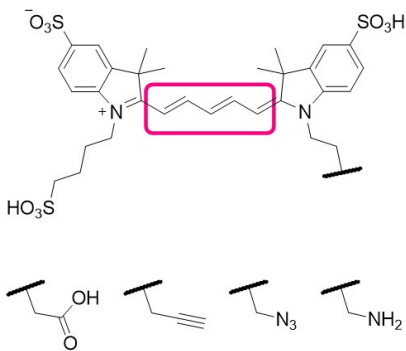
Ein Forschungsgebiet unseres Arbeitskreises sind Sphingolipide, die nicht nur ein wichtiger Bestandteil von Zellmembranen sind, sondern auch als bioaktive Moleküle in der Signaltransduktion eine Rolle spielen. Der Aufbau von funktionalisiertem Sphingosin erfolgt beispielsweise über eine aufwendige, zehnstufige Totalsynthese ausgehend von natürlichem L-Serin.

Auch ohne Click-Reaktion werden Azid-substituierte Sphingolipide bei der Aufklärung komplexer Metabolismen eingesetzt, die eine wichtige Rolle bei vielen Krankheiten spielen können. Das Naturstoff-analogon wird genauso wie die natürliche Verbindung von einer Zelle aufgenommen und metabolisiert. Durch die Markierung

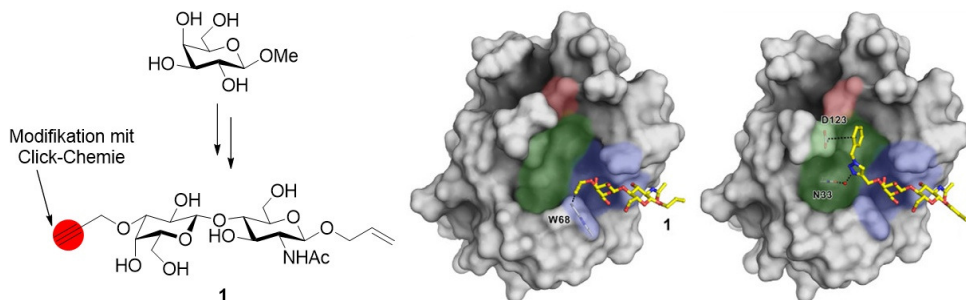
ist eine massenspektrometrische Unterscheidung des Azid-substituierten Sphingolipids und seiner Metaboliten von den Naturstoffen möglich.

Mit Hilfe der eingefügten Azid-Funktion ist auch die Visualisierung der Lipide nach Einbau in einer Zelle möglich. Durch Click-Reaktion mit einem Fluoreszenzfarbstoff können die eingebauten Sphingolipide angefärbt und mit hochauflösender Fluoreszenzmikroskopie analysiert werden. So können die markierten Biomoleküle in der Zelle lokalisiert und deren Bewegungen verfolgt werden. Je nach biologischer Fragestellung ist hierfür ein maßgeschneiderter Farbstoff mit speziellen Eigenschaften nötig.

Um diese anspruchsvollen Charakteristika zu erfüllen, ist die gezielte Farbstoffsynthese ein weiterer Forschungsbereich unserer Arbeitsgruppe. Beispielsweise beschäftigen wir uns mit Modifikationen an Cyanin-farbstoffen. Durch die Substitution mit



Links: Funktionalisierter Cyanin-Farbstoff Cy5. **Mitte:** Hochaufgelöste Fluoreszenzmikroskopie (dSTORM) von *N. meningitidis* (Bakterienstamm). Visualisiert wurde mit Cy5 geklicktes Azid-substituiertes C₁₆-Ceramid (**rechts**).



Links: Synthese eines *N*-Acetyl-lactosaminderivates (**1**) aus β -1-Methoxygalactose.
Mitte: Ligand **1** gebunden in der Bindetasche von Galectin-1. **Rechts:** Mit Benzyl-azid geklickter Ligand **1** gebunden in der Bindetasche von Galectin-1. Zuvor nicht adressierter Teil der Bindetasche geht zusätzliche Wechselwirkungen mit dem ge-clickten Substituenten ein.

Sulfonsäure-Gruppen wird die im biologischen System nötige Wasserlöslichkeit sichergestellt. Über die Länge der Kette (In der Abbildung links pink markiert) können Absorption und Emission des Farbstoffes eingestellt werden.

Funktionelle Gruppen wie Säure- und Aminfunktionen erlauben Amidkupplungen mit funktionalisierten Linkern, während Azide und Alkine auf Click-Reaktionen mit modifizierten (Sphingo-)Lipiden, Proteinen oder Zuckern abzielen.

Neben der Visualisierung von Zuckern auf Zelloberflächen untersuchen wir auch die Erkennung und Bindung von Kohlenhydraten durch bestimmte Proteine. Mittels Click-Chemie funktionalisierte Zucker können dabei als Inhibitoren eingesetzt werden. Doch welchen Sinn hat diese Inhibition? Und wie wird sie erreicht?

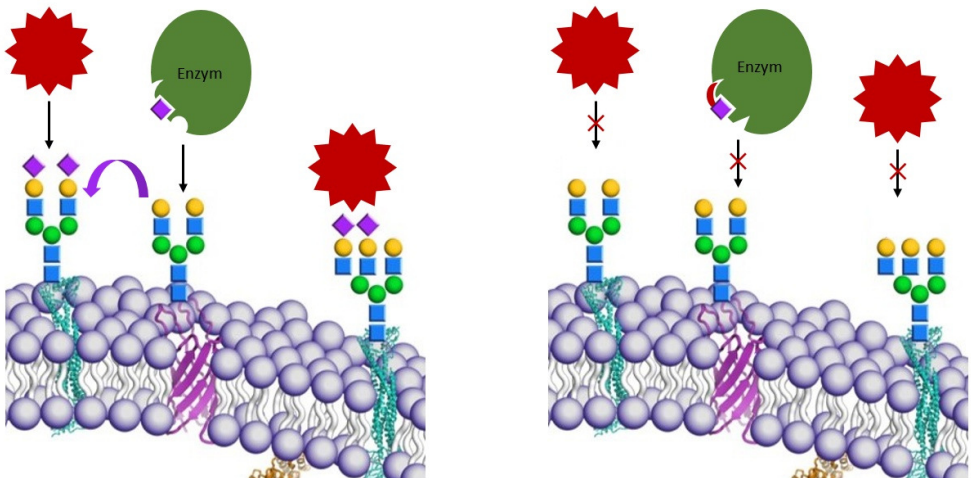
Einige Proteine werden in Tumorgewebe überexprimiert und beeinflussen so das Tumorstadium; ein Beispiel dafür ist Galectin-1, dessen Ligand das *N*-Acetyl-lactosamin ist. Daher soll das Tumorstadium durch Proteininhibition reduziert werden. Um dies zu ermöglichen, kann durch gezielte Totalsynthese funktionalisierter Liganden die Wechselwirkung zwischen Zucker und Protein verstärkt werden, die Proteinbindetasche wird blockiert und das Protein so inhibiert.

Ein weiteres Beispiel sind die Sialyltransferasen, eine Enzymklasse, welche Sialinsäuren auf Glycane an der Zelloberfläche überträgt. Eine zu starke Sialylierung aufgrund von Überexpression bestimmter Sialyltransferasen begünstigt die Bildung von Metastasen. Um dies zu verhindern, können die entsprechenden Enzyme kovalent inhi-

biert werden. Dafür wird ein Inhibitor benötigt, welcher mit der aktiven Tasche des Enzyms reagieren kann und diese so blockiert. Dadurch können keine Sialinsäuren auf die Glycane übertragen werden und eine Erkennung durch ein tumorauslösendes Effektormolekül ist nicht möglich. Durch die Bindung an eine Sialinsäure wird der Inhibitor selektiv zum Enzym dirigiert und blockiert dieses durch Ausbildung

einer kovalenten Bindung. Unter Einsatz clickbarer Sialinsäuren ist es nun möglich, in nur einem Schritt verschiedenste Inhibitoren zu designen.

Die Aktivität der synthetisierten Inhibitoren wird anschließend in unserem Biolabor getestet. Durch chemische und biochemische Modifikation der Proteine können deren Reaktionsmechanismen untersucht und das Produktspektrum ver-



◆ Sialinsäure ★ tumorauslösendes Effektormolekül ⤴ Geclickte Sialinsäure (Inhibitor

Links: Sialylierung der Glycane an der Zelloberfläche durch das Enzym hSTGal1 mit anschließender Erkennung eines Effektors. **Rechts:** Durch geclickte Sialinsäure blockiertes Enzym. Da keine Sialinsäure an die Glycane der Zelloberfläche gebunden wird, kann diese nicht durch einen Effektor erkannt werden.



ändert werden. So können durch eine ebenfalls bioorthogonale En-ähnliche Reaktion Tyrosinreste einer Levansucrase (SacB) chemisch modifiziert und so die aktive Tasche verändert werden. Dadurch katalysiert das Enzym die Bildung eines anderen Produktes. Die so generierten maßgeschneiderten Produkte sind für die Pharmazie- und Lebensmittelindustrie von Interesse. Außerdem werden kohlenhydrat-aktive Enzyme eukaryotischen und prokaryotischen Ursprungs produziert, verbessert und in ihrer Anwendung untersucht. Deren Katalyseprodukte sind interessant für die Untersuchung physiologischer Prozesse.

Aufgrund der aktuellen Situation arbeiten wir verstärkt auf dem Thema der Infektionsforschung. Es wurden bereits zahlreiche unserer Verbindungen gegen das neue Coronavirus Sars-CoV-2 getestet und erste Ergebnisse erzielt. Zudem analysiert

das neu entstandene GRK 2581 SPHINGOINF, zu dem auch unsere Arbeitsgruppe gehört, den gezielten Einsatz von Sphingolipiden zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten.



Bildung eines alternativen Produkts durch chemische Modifizierung des Enzyms.



Quelle: Gesellschaft für
Zwischenlagerung mbH

TRESOR FÜR DIE EWIGKEIT

Essayistische Analyse des Status Quo in der Atomkraft- und Endlagerfrage

Text Gerhard Herzberg

I. Der Prolog – Die Bahn der roten Sonne

In der derzeitigen, durch die Sars-CoV-2-Pandemie bedingten – nun schon beinahe ein Jahr andauernden – »Ausnahmesituation« wird oft und von verschiedener Stelle angemahnt, andere wichtige und mitunter auch drängende Aufgaben nicht aus dem Blick zu verlieren. Oft genannt wird in diesem Zusammenhang etwa die globale Erderwärmung, die »Klimakrise«. Denn »Treibhausgase steigen trotz Lockdown weltweit auf neues Rekordhoch«, wie DIE ZEIT unlängst titulierte, und schließlich ist der »Klimawandel gefährlicher als Corona« – zumindest nach der Einschätzung des IFRC.

Die Hoffnung, dass »a flatten of the curve« bald nicht nur an den Pinnwänden des RKI, sondern auch an denen des IPCC zu sehen sein wird, bringt schließlich noch immer tausende Menschen jeden Freitag für die Zukunft auf die Straße – jedem Widerstand trotzend! In Punkto Erdgesundheit ist die Ausnahme immerhin schon längst zur Regel geworden, und da man niemanden gegen steigende Meeresspiegel impfen kann und gegen Kohlendioxid auch keine FFP3-Masken helfen, begnügt man sich auch nicht mit Dieselauto-Ausfahrsperrungen zwischen 21 und 04 Uhr. Vielmehr fordert man den ganzen Menschen, die ganze Wirtschaft, die 540°-Wende – Effizienz, Konsistenz und Suffizienz bis zur Wahl der Schnürsenkel. Ein allmächtiges



Mittel in dieser Hinsicht ist es, in den Augen vieler Menschen, unsere Industrie und insbesondere die Erzeugung elektrischer Energie auf absolute Nulldiät setzen zu wollen: Statt Kohle nur Wasser, statt Erd- nur ein Maisöl. Insbesondere für diejenigen, die zurzeit leidenschaftlich gerne in irgendwelchen Wäldern – von denen bis dato noch nie jemand gehört hat – auf fremde Bäume klettern, ist diese Methode unterdessen zum unumstößlichen Mantra geworden, so als hätten sie nie einen anderen Feind gehabt, als das braune und schwarze Gold.

Schaut man jedoch ein wenig in die Vergangenheit, stellt man fest, dass die Umweltbewegung schon seit mehr als 50 Jahren gegen »böse Energie« auf die Straße geht und sich dafür – damals noch an Eisenbahngleisen – freiwillig festkettet. Im Rückblick mutet die Kohlekraft – die ein einzelnes schwedisches Schulmädchen in wenigen Jahren zu Fall brachte – wie ein lächerlicher Sparringspartner an im Vergleich zu dem Dämon, den ein halbes Jahrhundert lang kein noch so engagierter Hippie besiegen konnte: Der Atomkraft.

Lange bevor die Gesellschaft überhaupt wusste, was CeOzwei eigentlich ist, hatten viele schon die lachende rote Sonne auf ihren VW-Bulli-Boliden – damals noch ohne Platin-, nur mit Bleifahne und ordentlich Feinstaub. Über die Interpretation der roten, sediert lächelnden Sonne wollen wir uns hier nicht im Detail den Kopf zerbrechen – mag die Designerin nun zu lange ins Abendrot gesehen und

schließlich ein Grinsen ausgemacht haben; steht die rote Farbe nun allegorisch für das unabwendbare Schicksal unseres Sterns, sich eines Tages zum roten Riesen aufzublähen und dabei die Erde in ein einziges Barbecue zu verwandeln, oder hat ein roter Punkt auf gelbem Grund einfach die beste alarmistische Wirkung –, muss man doch leider und vermutlich unabänderbar konstatieren: Die Kernspaltung in Deutschland ist tot, und daran wird der Umstand, dass sie klimafreundlich und leistungsstark ist wie keine andere Energieform, auch nichts ändern. Das dieses »Verdienst« eigentlich gar nicht den Umweltbewegungen zusteht – welche sich jahrzehntelang sowohl alleine, als auch mit Unterstützung aufwühlender Bilder sowjetischer Liquidatoren an der Atomlobby die Zähne ausbissen –, sondern einigen ganz schlauen Energiekonzern-Managern, welche die grandiose Idee hatten, mitten auf einer Subduktionszone einige Leichtwasserreaktoren aufzustellen, sei ebenfalls dahingestellt. Schließlich sei es etwas grundsätzlich anderes, ob es die »Kommunisten halt nicht können«, oder japanische Ingenieure amerikanische Reaktoren falsch bedienen – folgt man Volker Kauders, vor einigen Tagen in einem Interview mit DIE ZEIT geäußerten, Begründung für den übereilten Ausstieg aus dem Deutschen Atomprogramm im Sommer 2011. Letztlich konnten die Umweltbewegungen aus dem Schadensfall und formalen Erfolg ihrer Kampagnen politisch Kapital schlagen – ein fast

meisterhaft populistisch komponierter Schachzug, wie mir scheint ...

Unterdessen, knapp zwei Jahre vor dem Fristende für die Abschaltung der letzten drei Deutschen Standorte (Isar 2, Neckarwestheim 2 und Emsland) reicht die Ablehnung von Kernenergie vonseiten der Umweltschutzbewegungen sogar so weit, dass die Abneigung gegen die Kernspaltung schon in Form von pauschaler Zurückweisung auf ihre saubere – und noch viel coolere, aber leider eben noch etwas unreife – Schwester, die Kernfusion, übergreift. So lehnt beispielsweise auch die federführende Umweltpartei Bündnis 90/Die Grünen die massiven Bemühungen, die Kernfusion zur Serienreife zu bringen, ab – mit der Begründung, dass sie keine Rolle in der der Energiewende mehr spielen wird und in 20 oder 30 Jahren schon genug regenerative Energie aus Sonne, Wind und Co. gewonnen werden kann, so dass man ihrer nicht mehr bedürfen würde ... Manchmal frage ich mich schon, ob sich die zahlreichen Umwelt- und Klimaschützer eines Tages, wenn Diesel und Kachelofen auch aus dem Weg geräumt sind, schließlich im Endlevel gegen ihre eigenen Kinder – die ganzen, im Namen der Energiewende errichteten Windräder, Staudämme und Biogasanlagen – stellen und – mit Verweis darauf, dass diese Vögel schreddern, Fische häckseln und Methan in die Umwelt blasen – den sofortigen Ausstieg aus diesen Energieformen fordern ...

Aber wenden wir uns nur einmal kurz vom traurigen Zustand hier ab und einer

trockenen Betrachtung der Fakten zu: Global präsentiert sich die Situation nämlich durchaus weniger drastisch als in Deutschland. Weltweit lieferten im Jahr 2019 456 Kernkraftwerke (kurz- und langfristig heruntergefahren eingeschlossen) bei einer Spitzenleistung von zusammen 402,9 GW insgesamt 2.586 TWh. Zurzeit (Stand 8. Januar 2021) operieren 443 Kernkraftwerke mit einer Netto-Leistung von 393,3 GW, während weitere 52 mit einer erwarteten Leistung von 55,3 GW im Bau befindlich sind. Betrachtet man die Entwicklung der letzten zwanzig Jahre, fällt auf, dass das Reaktorunglück von Fukushima in dieser Hinsicht keinen wesentlichen Einfluss auf die bereitgestellte Leistung und die Gesamtzahl der im Betrieb befindlichen Reaktoren hatte, wenn die Fluktuation letzterer doch auch zunahm. Generell ist die zu Spitzenzeiten bereitgestellte Leistung von 351,4 GW bei 438 operierenden Kraftwerken im Jahre 2000 relativ unbeeinflusst bis 2019 angestiegen. Deutlich wird der Einfluss des Unglückes erst bei einem Blick auf Kennzahlen wie den UCF, eine Art Nutzungsgrad, welcher zwischen 2010 und 2012 von 82 % auf 74 % einbrach und auch 2019 mit 77,5 % noch 7,5 % unter dem Höchstwert von 2001 lag. Die zunehmende Teillastnutzung und temporäre Abschaltung nach dem Unglück zeigt sich auch deutlich im Vergleich der zur Verfügung gestellten Energie in den letzten 10 Jahren. Von 2.630 TWh im Jahr 2010 sank die bereitgestellte elektrische Energie auf



2.346 TWh im Jahr 2012. Obwohl die produzierten Energiemengen seitdem wieder sukzessive anstiegen, wurde 2019 noch immer weniger Energie produziert als vor dem Unglück. Um diese Zahlen vielleicht anschaulicher auszudrücken: 2019 lieferten die global laufenden AKW etwa so viel elektrische Energie wie 58.000 große, moderne Windkraftanlagen an idealen Standorten (Bsp.: Die ab diesem Jahr verfügbare V164-10.0 MWTM der Firma MHI Vestas Offshore Wind mit angenommenen 45 GWh Jahresproduktion unter optimistischer Zugrundelegung von 4.500 Volllaststunden bei 10 MW Leistung und einer durchschnittlichen jährlichen Windgeschwindigkeit von 11 m/s) – oder wie 3,5 Mio. kleinere, ältere Windkraftanlagen an durchschnittlichen Standorten (Bsp.: Enercon E-40/5.40 des Herstellers Enercon GmbH aus dem Jahr 1993 mit 0,75 GWh Jahresproduktion bei 1.500 Volllaststunden und 0,5 MW Leistung).

Während diese blank analytische Beschäftigung mit den – auf der Webseite des IAEA frei verfügbaren – statistischen Daten bereits sehr interessante Einblicke in den Stand der Kernkraft bietet, wird es beinahe kriminell interessant, wenn man etwas tiefer gräbt und dabei über einen Namen stolpert: Generation IV International Forum (GIF). GIF – was die meisten Menschen wohl nur als Synonym für primitive Unterhaltungsanimationen kennen – vereint die Expertise von 13 Staaten und EURATOM zu Zwecken der Spitzenforschung an Kernreaktoren der

vierten Generation. Von Deutscher Seite ist das KIT an den Forschungsarbeiten beteiligt und arbeitet u. a. an der technischen Realisierung von Transmutation zur Verringerung der Abfallmenge und -aktivität. Im Gegensatz zu den Reaktoren der Generationen III+ bzw. III und deren Vorgängern der Generation II, welche alle im wesentlichen als gewöhnliche Leichtwasserreaktoren konstruiert sind, sollen die Reaktoren der vierten Generation neue Maßstäbe in Punkten der Effizienz, Nachhaltigkeit und Proliferations- sowie Anlagensicherheit setzen. Seit 2002 werden daher sechs disruptive Reaktortypen auf diese Aspekte hin untersucht – mit dem Ziel, bis 2030 einsatzbereite Konzepte entwickelt und realisiert zu haben. Die Konzepte hier im einzelnen auszuführen, würde den Rahmen sprengen und das eigentliche Kernthema – dem wir uns langsam nähern – verfehlen; Interessierte seien hier auf die Internetpräsenz des GIF und insbesondere ihre »Technology Roadmap« verwiesen – ich kann an dieser Stelle nicht mehr als versprechen, dass es sich für jeden naturwissenschaftlich-technisch Interessierten lohnen wird!

An dieser Stelle ist es Zeit, einmal kurz innezuhalten und zu rekapitulieren, wo wir stehen: In Deutschland ist die Energiegewinnung durch Kernspaltung aufgrund der Irrationalität des Menschen weitestgehend Geschichte, und auch wenn die Beteiligung Deutschlands an den Forschungsprojekten des GIFs Hoffnungen wecken mag, dass es in Deutschland noch

eine kerntechnische Zukunft gibt – wirklich dran glauben kann ich nicht in Anbetracht der aktuellen Situation. Denn was der verbitterte Atomkraftgegner, der Rot-Sonnen-Demonstrant der ersten Stunde schon seit 60 Jahren skandiert – die Bösartigkeit aller Kerntechnologie – ist mittlerweile in der Haltung der breiten Masse verankert: Zu medizinischen Zwecken noch akzeptabel – wenn man da nicht doch schon ein Anhänger der B17-Aprikosenkern-Therapie ist –, doch keineswegs zur Energiegewinnung! Doch jeder, der sich 2011 mit dem Atomausstieg am Ziel gesehen hat, wer die High-Tech-Forschung des GIF als irrelevante Nachwehen des vergangenen Atomzeitalters ansieht, der irrt: Auch wenn die Hoch-Zeit des Atomhypes schon seit den 60er Jahren vorüber ist und die Aufdeckung der in den 40 Jahren des Kalten Krieges im Namen der nationalen Sicherheit und des Weltfriedens begangenen Verbrechen an Mensch und Umwelt – interessierten Lesern seien hier zum Einstieg die Wikipedia-Artikel »Hanford Site« und »Kerntechnische Anlage Majak« empfohlen – einen leicht zum Pazifisten und Atomkraftgegner werden lassen kann – die wirkliche Beschäftigung mit der Atomkraft beginnt erst jetzt, denn in Hinsicht auf den Umgang mit dem strahlenden und giftigen Abfall des Atomzeitalters stehen wir noch ganz am Anfang. Wer der Meinung ist, wir sollten über die Pandemie-bedingte »Ausnahmesituation« andere wichtige Themen nicht aus den Augen verlieren, der vergisst leicht,

dass in Hinblick auf den Atommüll der Welt die Ausnahme die bisherige Regel ist. Denn reguläre Endlager für hochradioaktive Abfälle existieren bisher nirgendwo auf der Erde – nur zahlreiche irreguläre Bohrlöcher, Salzseen, Deponien und Unterwasserfriedhöfe, die den Militärs der Atomkräfte im vergangenen Jahrhundert als probat zur Verklappung schienen ...

II. Das Lager – Aufgabe für die Ewigkeit

Während die Menge des seit der industriellen Revolution in die Atmosphäre geblasenen Kohlenstoffdioxids recht genau bekannt ist (Anstieg von 280 ppm zu vorindustrieller Zeit auf aktuell etwa 400 ppm) und ubiquitär zitiert wird, besitzt niemand genaue Zahlen über die global freigesetzte Quantität und Qualität radioaktiver Substanzen und radioaktiver Strahlung. Letztere umfassen insbesondere radioaktive Fallouts, Boden- und Wasserkontaminationen nach Atomwaffentests und Störfällen in kerntechnischen Anlagen; Kontaminationen durch den Uranbergbau (insbesondere auf den Gebieten indigener Bevölkerungsgruppen) und durch die Verklappung von radioaktiven Abfällen – u. a. ganzen Kernreaktoren mit Brennelementen – in Meeren etc. pp. Doch nicht bloß die zivile Energiegewinnung und militärische Nutzung sind Verursacher strahlender Emissionen.

So mannigfaltig wie die Wege der Freisetzung, so zahlreich sind auch die Quellen



von Radioaktivität: Bei der Verbrennung von Kohle in Kraftwerken zur Energiegewinnung werden alle in der Kohle neben Kohlenstoff enthaltenen Substanzen ebenfalls umgesetzt und – mangelhafte Filterung vorausgesetzt – im Wesentlichen über die Abgabe in die Atmosphäre ausgestoßen, sonst eingascht. Im Hochofenprozess beispielsweise werden die Begleit- und Zuschlagstoffe der Erze und des Koks in der Schlacke gebunden. Obwohl die Konzentration natürlich vorkommender, radioaktiver Substanzen wie Uran-238, Thorium-232 oder Kalium-40 in Braun- und Steinkohle im Mittel geringer ist, als in den Gesteinen der Erdkruste, und der größte Teil dieser Elemente in modernen Kraftwerken in den Verbrennungsaschen und Filtern zurückbleibt, werden trotzdem erhebliche Mengen über Feinstäube emittiert. Untersuchungen des ORNL schätzen die zwischen 1940 und 2040 voraussichtlich weltweit freigesetzten Mengen auf 800.000 t Uran und 2.000.000 t Thorium. Verschiedene Untersuchungen – vom Bund-NRW 2008 in einem Positionspapier zusammengefasst – kommen zu dem Ergebnis, dass die radioaktive Belastung in der Umgebung von Kohlekraftwerken mindestens zwei- bis dreimal so stark ist wie in der Umgebung von Atomkraftwerken.

Auch über die konventionelle Landwirtschaft werden permanent große Mengen an radioaktiven Stoffen in die Umwelt eingetragen, insbesondere durch mineralische Phosphordünger aus sedimentären Lagerstätten. Eine zusammenfassende Untersuchung des Umweltbundesamtes aus dem

Jahr 2012 beziffert die durchschnittlichen jährlichen Einträge von Uran auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland mit 2,9 – 23 g/ha. Unter der Annahme eines durchschnittlichen Eintrages von 8 g/ha (NPK-Dünger) und einer landwirtschaftlichen Nutzfläche in Deutschland von 18,1 Mio. ha (UBA, 2019; unberücksichtigt ist für diese Annahme die Form der Nutzung, bspw. biologische Landwirtschaft ohne Einsatz von Kunstdüngern), ergibt sich ein jährlicher Gesamteintrag von ca. 145 t Uran.

Diese scheinbar unvorstellbaren Zahlen offenbaren ein wesentliches Problem von statistischen Daten: Zahlen lügen zwar nicht, aber erst der Kontext, in den sie gesetzt werden, gibt Ihnen eine Bedeutung. So ist die durchschnittliche Strahlenbelastung durch all diese künstlichen Quellen im Mittel marginal. Der von Randall Munroe in »what if« geschilderte Sachverhalt, dass man bei einem Bad in einem Abklingbecken insgesamt einer geringeren Strahlenbelastung ausgesetzt ist, als an der Umgebungsluft, verdeutlicht dieses Paradoxon. Letztendlich geht von dem Feinstaub, den Kohlekraftwerke freisetzen, eine ungleich größere Gesundheitsgefahr aus, als von der emittierten Radioaktivität – und von dem freigesetzten Kohlenstoffdioxid eine größere Umweltbelastung als von den Abraumhalden der Wismut. Die natürliche Strahlenbelastung durch bodenfreigesetztes Radon übersteigt die Belastung durch Kernwaffentest, kerntechnische Zwischenfälle und zivile Kerntechnik um mehr als

den Faktor 20 (denen unter Ihnen, die im Keller wohnen, rate ich daher eindringlich, nur mit offenem Fenster zu schlafen ...) – und trotzdem wird ein Bergmann unter Tage weniger belastet als beim Gang zum Arzt – medizinische Strahlungsquellen machen etwa die Hälfte unserer Gesamtbelastung aus. Wenn Raucher – die mit jeder Zigarette durchschnittlich 9 – 15 mBq Polonium-210 aufnehmen – aus diesem Grund nicht zum Arzt gehen, ist das durchaus nachvollziehbar ...

Aber kommen wir zurück zur Kernenergienutzung und deren Folgen: In jedem Land, das Kernwaffen produziert(e) oder zu zivilen Zwecken Kernkraftwerke und kerntechnischen Anlagen verwendet(e), lagern noch immer erhebliche Mengen schwach-, mittel- und hochradioaktiver Abfälle. Bis 1993 war es gängige und – so unglaublich das aus heutiger Sicht klingt – legale Praxis, Fässer mit Atommüll im Meer zu versenken. Deutschland selbst entsorgte im Jahr 1967 480 Fässer LLW (low level waste) mit einer Aktivität von 0,2 TBq im Atlantik vor der Küste Portugals; insgesamt sollen nach Daten der IAEA und NEA bis zum Verbot durch die Londoner Konvention – hauptsächlich im Atlantik und Eismeer – Abfälle mit einer Gesamtaktivität von 85 PBq versenkt worden sein, wovon der größte Anteil auf die Konten der ehemaligen UdSSR und Großbritanniens geht.

Die Einleitung flüssiger, schwachradioaktiver Abfälle war jedoch zu keinem Zeitpunkt international verboten. Noch heute leiten einige kerntechnische Anlagen

ihre Abwässer ins Meer ein – so etwa der französische Wiederaufbereitungskomplex La Hague (400 m³ pro Tag) oder der britische Sellafield (keine genauen Daten bekannt). Auch radioaktive, hauptsächlich Krypton-85 haltige, Abgase werden produziert und in die Atmosphäre freigesetzt. In La Hague werden auch Brennelemente aus Deutschen Kernkraftwerken aufbereitet.

Die genauen Prozesse der Aufbereitung sind wie alle Aspekte der Kerntechnik komplex und vom Ziel abhängig; nach dem typischen PUREX-Prozess erfolgt im besten Fall eine Abtrennung spaltbaren, also wiederverwendbaren, Materials (Uran-235 und Pu-239) von den sonstigen Bestandteilen (hauptsächlich Uran-238 und andere Spaltprodukte), was ein »Recycling« von bis zu 10 % des Materials ermöglicht. In der heutigen europäischen Praxis ist der Prozess jedoch nicht mehr auf Wiederverwendung ausgerichtet, sondern auf eine bloße Trennung nach der Aktivität, wodurch das Volumen hochradioaktiven Abfalls deutlich verringert werden kann. Die Krux bei diesem Verfahren ist jedoch, das dafür deutlich erhöhte Mengen schwach- und mittelradioaktiven Abfalls anfallen, zu denen auch die in Bezug auf La Hague erwähnten Abwässer gehören. Sinnvoll ist der Prozess – obwohl er die Gesamtmenge endzulagernden Abfalls erhöht – dennoch, da für die Endlagerung von hochradioaktivem Abfalls – der nach der Aufbereitung nur etwa 8 % der Menge ausmacht, dafür aber über 98 % der Radioaktivität besitzt – deutlich höhere Anforderungen gelten. Im



Aufbereitungsprozess werden außerdem bestimmte Elemente, die in der Forschung, Medizin oder Technik Anwendung besitzen, abgetrennt und aufgearbeitet.

Um die in flüssiger Form vorliegenden Abfälle in eine lager- und transportfähige Form zu überführen, werden sie eingedampft und verglast, also mit Zuschlagstoffen aufgeschmolzen, in einen Edelstahlbehälter gefüllt und dort zu einem festen, sehr schwer flüchtigen Borosilikatglas erstarrt. Die entstandenen Glaskokillen mit Abfällen Deutscher Herkunft werden – nach einer Zwischenlagerung in der Wiederaufbereitungsanlage zur Reduktion der Nachzerfallswärme – in Transportbehälter – etwa Deutsche Castoren oder Französische TN 85 – verladen und via Schiene zum Abklingen in das Transportbehälterlager Gorleben verbracht. In ganz Deutschland lagern etwa 1.100 Behälter in verschiedenen Zwischenlagern, weitere 800 werden noch durch die im Betrieb und Abbau befindlichen AKW gefüllt werden. Letztlich werden es wohl 11.000 Tonnen hochradioaktive Abfälle werden, für die die Deutsche Gesellschaft eine sichere Verwahrung bewerkstelligen muss.

An dieser Stelle sei mir wieder ein kleiner Exkurs erlaubt, denn wer denkt, dass es sich bei Castor-Behältern bloß um überdimensionierte Konservenbüchsen für Atommüll handelt, der täuscht sich gewaltig. Ein Blick in die Broschüre der Herstellerfirmen GNS/Siempelkamp macht deutlich, dass es sich um ein High-Tech-Produkt handelt, an dem jeder Material-

wissenschaftler seine Freude haben müsste. Monolithisch gefertigt aus massivem, duktilem Gusseisen mit speziell entwickeltem Kugelgraphit; ausgestattet mit einem Aufnahmehalter für die Glaskokillen, geschweißt aus speziellem Bor-Stahl zur Gewährleistung der Kritikalitätssicherheit; veredelt mit Nickel-Korrosionsschutz; inklusive Polyethylen-Platten zur Moderation von Neutronenstrahlung; gebettet auf Holzstoßdämpfern etc. pp. Wenn Sie sich denn den Anschaffungspreis von schlappen 1,5 Mio. Euro (2006, nicht inflationsbereinigt) leisten können und noch dazu irgendwo ein paar Glaskokillen auftreiben, werden Sie Ihr Leben lang keine Heizprobleme mehr haben: Ein Behälter strahlt vollbestückt ungefähr 40 kW ab. Wenn Sie nun überlegen, sich so einen Behälter tatsächlich in Ihren Keller zu stellen, sollten Sie jedoch vorher eine Baugrunderkundung in Auftrag geben (Ein Behälter wiegt beladen bis zu 125 t) und ihn auf einer fahrbaren Vorrichtung installieren, um ihn im Sommer zum Grillen raus in den Garten fahren zu können (einfach abschalten wie bei einer Gasheizung funktioniert nämlich nicht). Dafür können Sie sich dann auch entspannt zurücklehnen, denn selbst wenn ein ICE durch Ihr Haus fährt oder des Nachbarn Öltank explodiert – Ihre Heizung wird weiterlaufen, sie ist sogar für den Abwurf von einem Helikopter zertifiziert.

In Gorleben und den anderen Zwischenlagern der Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH (BGZ) warten die Behälter nun auf den Tag, in dem ein Endlager gefunden,

gebaut und zur Einlagerung freigegeben ist. Dann übernimmt die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) die Behälter. Die Kokillen werden entnommen, in Endlagerbehälter umgeladen und unter Tage verbracht. Bis dahin wird es jedoch noch mindestens 30 Jahre dauern, nicht nur wegen der nötigen Abklingzeiten, sondern vor allem, weil noch immer kein probates Endlager für hochradioaktiven Müll in Deutschland zur Verfügung steht – wie auch nirgendwo sonst auf der Welt. Die Betonung auf »hochradioaktiv« ist hier wichtig, da gerade dieser Müll – durch seine erhebliche und lang anhaltende Wärmeentwicklung und besonders hohe Aktivität – die Endlager-suche erst kompliziert macht. Noch viel komplizierter, als die geologischen und technischen Aspekte, sind in Deutschland aber die – oben bereits eingeführten – gesellschaftlichen und politischen Vorbehalte. Diese machten das komplexe, auf maximale Transparenz und Dominanz fachlicher Beweggründe ausgerichtete »Standortauswahlgesetz« notwendig, nach dem zurzeit ein Ort für unser Endlager gesucht wird und in einigen Jahren gebaut werden soll.

Unbedingt notwendig ist ein solch komplizierter Prozess keineswegs, was ein Blick nach Schweden und Finnland zeigt: Beide Länder beziehen 40 % bzw. 30 % ihrer elektrischen Energie aus Kernkraft und setzen auch in Zukunft auf Atomkraft zur klimafreundlichen Energieproduktion. In Finnland befindet sich auf der Insel Olkiluoto zurzeit das erste Endlager für

hochradioaktive Abfälle im Bau, es soll die Abfälle der nahegelegenen AKW aufnehmen; am gleichen Standort befindet sich bereits ein Endlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle. Planung und Bau der Endlager wie auch der Betrieb der AKW laufen ohne größere Vorbehalte der Bevölkerung.

Wer die massiven Vorbehalte in Deutschland näher verstehen will, der muss einen Blick in die Historie werfen und trifft auf eine Geschichte voller Naivität, Kurzsichtigkeit und Unfähigkeit – um nichts schlimmeres unterstellen zu wollen. Der Klappentext könnte etwa so lauten:

»Als mit dem Beginn des Atomzeitalters irgendwann klar wurde, dass die strahlenden Überreste irgendwo eingelagert werden müssen, wurde aufgrund politischer Beweggründe in den sechziger und siebziger Jahren das Niedersächsische Salzbergwerk Schachtanlage Asse zu einer Forschungseinrichtung ausgebaut. In dieser sollte weiterhin – unter mangelnder Berücksichtigung geologischer Aspekte – schwach- und mittelradioaktiver Abfall eingelagert werden. Dies wurde auch getan, bis zum Ende der Einlagerung 1978 wurden etwa 127.000 Gebinde eingelagert – und dabei Einnahmen i. H. v. umgerechnet weniger als 1 Mio. Euro erzielt (die Einlagerung für ein 200 Liter Fass war für etwa 100 DM zu bekommen). Mittlerweile ist erwiesen, dass der Salzstock instabil ist, Wasser eintritt und der Müll zurückgeholt werden sollte – kurz, dass die ganze Geschichte des Endlagers Asse eine voller politischen Versagens



und wissenschaftlicher Hybris ist. Die Kosten für die Rückholung – die nie vorgesehen war, was sich auch in den rudimentären Einlagerungsmethoden widerspiegelt – und Sanierung werden sich auf einige Milliarden Euro Steuergeld belaufen ...

Die Suche nach dem »Standortauswahlgesetz« ist im letzten September in eine neue Phase gegangen. Die BGE hat den Zwischenbericht Teilgebiete veröffentlicht, welcher aus der anfänglichen, »weißen« Landkarte eine bunte machte. Da zunächst ganz Deutschland für ein potenzielles Endlager in Betracht gezogen wurde, wurden im ersten Schritt geologische Untergrunddaten der ganzen Republik gesammelt, auf deren Basis bestimmte Gebiete ausgeschlossen werden mussten. Der Zwischenbericht weißt nun 90 potenzielle Teilgebiete aus. Die Teilgebiete werden nach dem Wirtsgestein eingeteilt, generell kommen Steinsalz, Tongestein und kristallines Wirtsgestein (Granit) in Betracht. Jedes dieser Gesteine hat seine spezifischen Vor- und Nachteile: Salz ist eigentlich in jeder Hinsicht ideal, es eignet sich sowohl für den Bergwerksbau, leitet Zerfallswärme gut ab und zeigt ein selbstheilendes Verhalten – wäre da nicht die Wasserlöslichkeit, die auch in der Asse die Wurzel der Probleme war. Ton hingegen ist nicht wasserlöslich und platisch verformbar, leitet jedoch Wärme sehr schlecht ab, weshalb das Endlager entsprechend groß dimensioniert werden müsste. Granit schließlich ist besonders standfest und sowohl hitze- als auch wasserbeständig, neigt allerdings zur

Rissbildung, was den Zutritt von Wasser wahrscheinlich macht.

Dies ist der Status Quo, die Kernkraft ist am Ende, die Endlagerung ganz am Anfang. In den nächsten Schritten wird der Bundestag zunächst Gebiete für übertägige und anschließend untertägige Erkundungen genauer spezifizieren, bevor 2031 die entgeltliche Entscheidung über den Standort fallen soll. Dazwischen soll durch zahlreiche Informations-Konferenzen, Gesprächsrunden, Anhörungen etc. die Beteiligung und Berücksichtigung der Öffentlichkeit gewährleistet werden.

Für den schwach- und mittelradioaktiven Abfall Deutschlands – insgesamt etwa 600.000 Tonnen – wurde bereits eine Lösung gefunden: Im Niedersächsischen Salzgitter-Bleckenstedt wird ein ehemaliges Eisenerzbergwerk zum Endlager Konrad ausgebaut. Konrad ist das erste vollständig genehmigte Endlager für Atommüll, der Aus- und Umbau soll bis 2027 dauern, dann soll nach einer Kalterprobung 30 Jahre lang der Abfall eingelagert und das Endlager anschließend innerhalb von 10 Jahren vollständig verschlossen werden. Die Anforderungen sind enorm, die Methoden für Bau und Betrieb nicht mit der Asse vergleichbar. Deutschlands führende Unternehmen für Berg- und Spezialtiefbau sind beteiligt. Wenn man mit den Ingenieuren spricht, wird deutlich, dass der Bau eines Endlagers auf einem ganz anderen Level erfolgt, als der eines gewöhnlichen Bergwerkes. Beispielsweise bei der Sicherung der aufgefahrenen Strecken: Normalerweise

werden Gebirgsanker nur vereinzelt und in geringer Dichte zur Sicherung der beraubten Firste, Stöße und Sohlen eingebracht – die Strecken Konrads allerdings sehen aus wie ein nach innen gestülpter Igel, in Abständen von unter einem Meter werden Spezialanker eingetrieben, jeder wird einzeln geprüft und mit allen zu erfüllenden Normen dokumentiert – es fehlt bloß noch, dass jeder der Anker auch einen Namen bekommt ...

III. Der Epilog – Von Polemik und Debatte

Wir haben uns jetzt durch Jahrzehnte einer Debatte gearbeitet, die stets ein vielfaches mehr war und ist als nur eine technisch-wissenschaftliche Angelegenheit. Die Spaltung der Atome – diese große Menschheitsleistung, die scheinbar endgültige Ebenbürtigkeit zur enormen Gewalt der Natur – verband immer Visionen und Furcht, Utopien und Dystopien. In der Debatte um die Kernenergie und Atomwaffen fand die allgegenwärtige Emotionalität und streckenhafte Irrationalität heutiger Debatten und Diskurse vielleicht ihren Keim: Unbegründete und berechtigte Ängste, das Trauma eines ganzen Jahrhunderts, die Hoffnungen einer Welt, die wissenschaftliche Faszination und die letztendliche Kapitulation der Menschheit vor ihrer eigenen Moral im Angesicht der übermächtigen Naturkräfte machten das Thema zu einem von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft – aber am wenigsten zu einem der Physik.

Als im September letzten Jahres die Kommission ihren Zwischenstandsbericht veröffentlichte, war dies eine Nachricht, die im allgemeinen Diskurs ziemlich untergegangen ist. In Deutschland wollen die meisten Bürger weder Atommüll, noch ein Endlager dafür vor der Haustür. Aber der Müll ist da und er wird uns – gerade wenn wir hier schlampen – noch ungleich länger beschäftigen, als etwa die derzeitige Pandemie. In Hinsicht auf die Irrationalität im langfristigen Denken der Menschen und ihren Umgang mit abstrakten Gefahren, sind sich Viren und Strahlung sogar ziemlich ähnlich. Auch in Hinblick auf konkretere Aspekte wie politische Unverantwortlichkeiten, die gesellschaftlich begrenzte Bedeutung von wissenschaftlicher Expertise, wirtschaftliche Unkalkulierbarkeit etc. zeigen sich Gemeinsamkeiten. Der Unterschied ist jedoch: Atommüll hat Zeit, braucht aber auch Zeit. Zwischenlager sind vorhanden und der Abfall läuft uns nicht weg, wir müssen aber auch sicherstellen, dass er in 100.000 Jahren noch immer keinen Grund zur Sorge bereitet. Daher sollten in dem Prozess der Endlagersuche Ruhe und wissenschaftliche Expertise, Offenheit und Transparenz vorherrschen. Mein Wunsch ist, dass am Ende diejenigen, unter deren Dorf der geeignete Standort gefunden wird, dies letztlich auch akzeptieren. Demonstrationen gegen Castor-Transporte, gegen Zwischenlager, gegen ein potenzielles Endlager – all dies bringt niemandem etwas, durch Aktionismus lässt sich keine Halbwertszeit verringern. Ein



Virus ließe sich – theoretisch – besiegen, brächten wir alle zwei Wochen Willenskraft auf und blieben zu Hause – die Glaskokillen jedoch beeindruckte dies nicht im geringsten. Darin liegt letztlich vielleicht auch der Wesens-Unterschied von Physik und Biologie – Der Phlegmatismus und die Unabänderlichkeit der physikalischen Gesetze – der Atom Müll strahlt ruhig und gleichmütig vor sich hin – im Gegensatz zur Ekstase und Hysterie der biologischen Entwicklung – ein Virus, das mutiert, wie ein Gespenst durch die Welt wabert (Persönlich gründet sich aus dieser Seelenruhe auch meine Sympathie für die Physik, aber im antropogenen Kontext haben natürlich beide Wissenschaften ihre Bedeutungen ...).

Wir sind im Aufbruch in die neue (erneuerbare) Zeit, aber wir sollten die alte, mit Ihren Kohlezechen, Dieselaautos und Industrieruinen nicht vergessen. Wir sollten den Kindern unserer Kinder einmal erzählen können, was tief unter ihren Füßen lagert – und warum.

Die Politik muss ich in der Hinsicht – alles in allem – auch einmal loben, zeigt sie doch Bereitschaft zum langfristigen Denken

und hat angefangen, aus den begangenen Fehlern zu lernen. Nun gilt es, konsequent weiterzudenken, im internationalen Verbund zu arbeiten, alle technischen Möglichkeiten in Betracht zu ziehen und ruhig abzuwägen.

Als Chemiker stehen wir zwischen den Wissenschaften, und wie wir gegen Viren und Pandemien Lösungen finden können, so können wir auch entscheidende Beiträge zur Endlagerfrage leisten. Ungeklärt sind beispielsweise noch immer Fragen dazu, ob und wie in den späteren Einlagerungskammern durch Korrosion und Radiolyse Gase (etwa Methan/Wasserstoff) entstehen könnten, die durch Druckaufbau ein Problem für die Dichtigkeit und Sicherheit des Lagers darstellen würden. Gerade aus materialwissenschaftlicher Sicht gibt es also noch einige Aufgaben zu bewältigen ...

So viel aber auch konkret zu tun ist – fest steht, dass auch noch viel geredet werden wird. Und ich glaube, recht zu behalten, wenn ich prophezeie, dass die Polemik dieses Artikels nur ein Witz ist gegen die, die uns in der Debatte noch erwarten wird.

WAS MACHT EIGENTLICH – PETER FISCHER?

Ein Gespräch mit unserem Studienkoordinator
Dr. Peter Fischer über WueStudy, die »Fakultäts-
feuerwehr« und das Pandemiemanagement

Text **Thomas Zimmermann, Alexander Geis, Dr. Peter Fischer & Kasimir M. Philipp**

Interview vom **Sommer 2019**: Nahezu jeder Studierende der Chemie kennt ihn: Studienkoordinator Dr. Peter Fischer, den Ansprechpartner bei allen Fragen, die im Laufe des Studiums auftreten, bei denen Studis selbst nicht mehr weiterwissen. Auch für Fachschaftler ist er eine der ersten Anlaufstellen, wenn mal bei einer Frage nicht weitergeholfen werden kann. Doch was macht Herr Dr. Fischer eigentlich alles, wenn gerade mal kein hilfsbedürftiger Studierender vor seiner Tür steht?

Wir, die Fachschaft Chemie, haben mit Herrn Dr. Fischer ein Interview geführt und neben zahlreichen weiteren Fragen, hat uns dies als allererstes interessiert. Seine Antwort dazu: »Was ich mache? Erstmal mach ich mir einen Kaffee!«

Herr Dr. Fischer hat nach Abschluss seiner Doktorarbeit hier in Würzburg im AK-Radius zunächst ab Januar 2012 im Rahmen des Qualitätspakts Lehre zahlreiche neue Tutorienangebote und -formate mit entwickelt und war an unserer Fakultät für die hochschuldidaktische Ausbildung der Tutoren und Übungsgruppenleiter zuständig. Zudem übernahm er in dieser Zeit bereits organisatorische Aufgaben in den Lehramtsstudiengängen der Chemie. Seit



September 2013 hat er als Nachfolger von Herrn Dr. Oechsner, der damals auf die Stelle als Geschäftsführer unserer Fakultät wechselte, seine jetzige Position als Studienfachkoordinator für den Fachbereich Chemie sowie Studienkoordinator der Fakultät für Chemie und Pharmazie inne.

Doch was hat es denn nun damit auf sich, dass wir hier zwischen Studienkoordinator und Studienfachkoordinator unterscheiden?

Gemäß dem offiziellen Rollen- und Aufgabenkonzept der Universität ist für jedes Studienfach ein Studienfachverantwortlicher vorgesehen, allerdings nur ein soge-



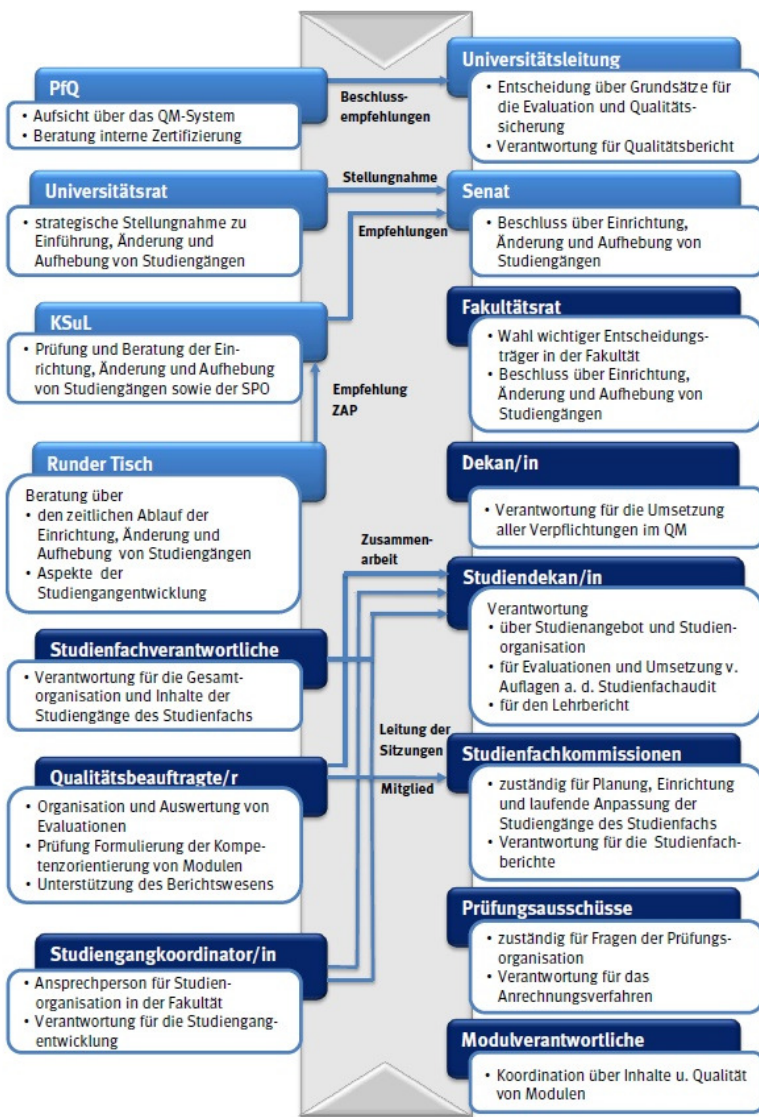
nannter Studiengangkoordinator pro Fakultät. An unserer Fakultät, mit ihren sieben weitestgehend voneinander unabhängigen Studiengangsrichtungen – Chemie (B.Sc. + M.Sc.), Chemie Lehramt (Stex), Biochemie (B.Sc. + M.Sc.), Lebensmittelchemie (B.Sc. + M.Sc.), Pharmazie (Stex), Funktionswerkstoffe (B.Sc. + M.Sc.) und Biofabrikation (M.Sc.) –, werden daher mehrere Studienfachkoordinatoren eingesetzt, die sich um organisatorische Aufgaben innerhalb des jeweiligen Studienfaches kümmern. Diese sind Georg Polleichtner (Biochemie), Torsten Staab (Funktionswerkstoffe und Biofabrikation), Carolin Kleider (LMC), Jens Schmitz (Pharmazie) und eben Peter Fischer (Chemie und Lehramt Chemie). Zusätzlich zu diesen Studienfachkoordinatoren gibt es einen Studienkoordinator, der Ansprechperson für organisatorische Aspekte der Fakultät ist (Raumverwaltung, Veranstaltungsmanagement, Öffentlichkeitsarbeit etc.) sowie als koordinierende Schaltstelle zwischen der Fakultätsleitung, den Studienfächern sowie zentralen Einrichtungen der Universität fungiert. Diese Aufgabe übernimmt bei uns ebenfalls Herr Dr. Fischer (Ausführliche Informationen zu diesen Ämtern finden sich im Rollen- und Aufgabenkonzept der Fakultät für Chemie und Pharmazie, siehe Abbildung).

Welche Aufgaben kommen damit konkret auf Herrn Dr. Fischer zu? An erster Stelle stehen selbstverständlich die Studierenden und deren Beratung. Angefangen bei der Information und Einführung von Erstsemestern erstreckt sich dies bis zur Beratung und Unterstützung derer, die die Universität oder das Fach wechseln wollen oder gewechselt haben. Stoßzeiten sind

besonders zu Semesterbeginn und innerhalb der Vorlesungszeit während der Prüfungsanmelde- sowie Rückmeldezeiträume. In der vorlesungsfreien Zeit hingegen hält sich der Andrang an Studierenden normalerweise eher in Grenzen, sodass hier Zeit für Arbeiten bleibt, die unter dem Semester häufig zu kurz kommen.

Allerdings ist die kommunikative Arbeit von Herrn Dr. Fischer nicht allein auf Studierende beschränkt. Die Koordination und Vermittlung zwischen der Zentralverwaltung sowie den Instituten, Lehrstühlen und Fachbereichen, oft zusammen mit den anderen Studienfachkoordinatoren, stehen ebenso auf der Tagesordnung. Dabei geht es oft darum, Vorlesungszeiträume zu optimieren und aufeinander abzustimmen, die Hörsaalbelegung anzupassen und Veranstaltungen – insbesondere Klausurtermine und Praktika – zu koordinieren. Neben den generellen Aufgaben in diesem Bereich, hilft Herr Dr. Fischer stets dort weiter, wo es gerade brennt. Diese »Feuerwehr-Aufgaben«, wie Herr Dr. Fischer sie nennt, nehmen täglich teilweise mehrere Stunden in Anspruch. Am schwierigsten ist es immer, wenn sich Veranstaltungen überschneiden, und Studiengänge überbelegt werden. Dann ist viel Fingerspitzengefühl gefragt, um Streitigkeiten zu vermeiden und Kompromisse auszuarbeiten. Das Resultat ist dafür eine meist sehr präzise und gut funktionierende Abstimmung, bei der lediglich nicht abgesprochene Aktionen zu Komplikationen führen können.

Einen weiteren großen Aspekt in der Arbeit als Studienkoordinator stellt die Gremienarbeit an der Universität dar. Wie in der SuR-Ausgabe des WS 2018/19 bereits



Quelle: Qualitätsmanagement der Universität

Übersicht zu Rollen und Aufgaben im QM-System der Universität Würzburg:
 Hellblau markierte Bereiche stellen universitätsweite Gremien dar, bei dunkelblau markierten Bereichen handelt es sich um Ämter und Gremien auf Fakultäts Ebene. Weitere und ausführlichere Infos finden sich auf der Homepage des Qualitätsmanagements der Universität.



im Artikel zu den Studienfachkommissionen zu lesen war, sitzen in diesen u. a. der Studienfachkoordinator des jeweiligen Studienfaches sowie der Studienkoordinator. Herr Dr. Fischer ist also in jeder Studienfachkommission unserer Fakultät vertreten und kümmert sich dort mit um die Weiterentwicklung der Studiengänge sowie die Verbesserung der Studienbedingungen in den einzelnen Fachbereichen. Ein weiteres großes Gremium, in dem Herr Dr. Fischer aktiv ist, trägt den Namen *Runder Tisch zur Studiengangentwicklung*. Hier treffen sich die Studiengangkoordinatoren (in unserem Fall der Studienkoordinator) der zehn Fakultäten unserer Universität sowie die Leiter beinahe aller zentralen Einrichtungen (Prüfungsamt, Studierendenzentrale, International Office etc.), beraten über den zeitlichen Ablauf der Einrichtung, Änderung und Aufhebung von Studiengängen und diskutieren sämtliche Aspekte der Studiengangentwicklung. Dieses Gremium tagt aktuell einmal pro Monat und stellt ein wichtiges Organ zum regelmäßigen Austausch zwischen den einzelnen Fakultäten und der Zentralverwaltung dar. Dominierendes Thema war in den letzten Monaten vorrangig WueStudy.

WueStudy stellt gerade in den letzten Jahren unabhängig von der Gremienarbeit einen großen Aufgabenbereich für Herrn Dr. Fischer dar. Angefangen hat dies mit der Vorbereitung der Umstellung auf das neue System, das, wie der Name der zugrundeliegenden Software *HiSinOne* bereits andeutet, sämtliche Aspekte des studentischen Lebens verknüpfen und den Studienplaner als zentrales Element enthalten soll. Doch selbst bis heute bereitet das

neue System ein großes Maß an Arbeit. Viele Fehler und Bugs wurden bereits entdeckt und gemeldet, jedoch wollen stets neue gefunden werden. Die WueStudy-Hotline erhält bis zu 100 Anrufe pro Tag und auch Herr Dr. Fischer bleibt von dieser Flut an Fragen nicht unberührt. Hierbei handelt es sich allerdings nicht immer um Erklärungen für Studis, sondern wesentlich häufiger Hilfe für Professoren, Dozenten und Mitarbeitern in den Sekretariaten, die aufgrund der intensiveren Nutzung des Systems mit mehr Problemen konfrontiert werden und daher Unterstützung bei der Bedienung benötigen. Bei vielen dieser Anliegen handelt es sich um Prüfungsangelegenheiten.

Doch trotz aller Fehler und Probleme, die WueStudy momentan noch bereitet, teilte uns Herr Dr. Fischer mit, dass gerade bei den neuen Studienanfängern, die das Vorgängersystem SB@Home nie kennengelernt haben, deutlich weniger Probleme in der Nutzung des Systems auftreten. Das lässt darauf hoffen, dass nach einer Phase der Eingewöhnung und weiteren Verbesserungen der Software auch bei den übrigen Studis, Dozenten und Mitarbeitern ein problemloserer Umgang möglich sein wird. An erster Stelle seiner persönlichen Wünsche für WueStudy stehen hierbei eine bessere Nutzerfreundlichkeit und bessere Übersichtlichkeit. Das System ist gegenwärtig zu groß und verwirrend, hier besteht ohne Frage Verbesserungsbedarf. Zudem treten immer noch regelmäßig technische Probleme auf, die von der IT dringend in den Griff bekommen werden müssen. Ein weiterer, wichtiger Punkt sind die verpflichtenden Online-Prüfungsanmeldun-

gen. Diese sind zwar für schriftliche Klausuren und mündliche Prüfungen zwingend notwendig, bei Praktika sowie insbesondere Modulen, zu denen es gar keine konkrete Prüfung gibt, aber wenig sinnvoll. Gerade in diesem Bereich sind allerdings die Vorgaben des Prüfungsamtes sehr starr und wenig flexibel, was gar nicht einmal unbedingt technische, sondern vor allem organisatorische Gründe hat.

Eine weitere, sehr umfangreiche Aufgabe für Herrn Dr. Fischer ist die kontinuierliche Weiterentwicklung der Studien- und Prüfungsordnungen (kurz: PO) des Fachbereichs Chemie. Vor allem in den Jahren 2014 und 2015 gab es in diesem Bereich besonders viel zu tun, als die POs jedes einzelnen Studienganges der JMU an die Vorgaben der neuen Allgemeinen Studien- und Prüfungsordnung (kurz ASPO) 2015 angepasst werden mussten. Doch was hat es mit einer solchen Änderung der PO eigentlich auf sich und wie lange dauert es denn von der initiativen Idee bis zur fertigen Studienordnung?

Die schnellste Möglichkeit dafür ist es, eine rein begünstigende PO-Änderung durchzuführen. Das bedeutet, dass diese einzig und allein zu der Verbesserung der studentischen Situation innerhalb des Studienganges führt. Dabei kann es sich z. B. um eine Änderung in der Notenberechnung, eine Absenkung der Zugangsvoraussetzungen oder die Aufnahme zusätzlicher Module in den Wahlbereich handeln. Solche Änderungen können, wenn alles glatt läuft, in wenigen Monaten umgesetzt werden.

Eine sogenannte wesentliche Änderung der PO, wie sie beispielsweise mit Einfüh-

rung der mündlichen Prüfungen im Pflichtbereich des Chemie-Bachelors der Fall war, muss hingegen eine Vielzahl an Gremien durchlaufen, bevor diese offiziell in Kraft tritt. Der Änderungsprozess beginnt üblicherweise in der Studienfachkommission. Hier wird ein Konzept ausgearbeitet, das dem Fakultätsrat zum Beschluss vorgelegt wird. Der Fakultätsrat entscheidet über alle wichtigen Belange unserer Fakultät und muss auch einer solchen Änderung zustimmen, damit diese auf Universitäts- und nicht länger nur auf Fakultätsebene weiterbearbeitet wird. Nachdem die Änderungen zusammen mit den Juristen des ZiLS (Servicezentrum für innovatives Lehren und Studieren) in die Studienordnung eingearbeitet wurde, beschäftigt sich die KSuL (Kommission für Studium und Lehre) damit. Sofern der Änderung auch hier zugestimmt wird, erreicht die PO das höchste der universitären Gremien, den Senat. Stimmt auch dieser schlussendlich der Änderung zu, gelangt der fertige Beschluss zurück in die Fakultät, nicht jedoch, ohne dass auch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst noch die Möglichkeit hat, Auflagen oder Empfehlungen zur geplanten Änderung auszusprechen. Hier können nun zum nächsten Studiensemester die Bewerbungsportale auch für die erneuerte Studienordnung freigeschaltet werden. Insgesamt ist bei diesem aufwändigen Verfahren mit einer Dauer von mehr als 18 Monaten zu rechnen.

Ein weiteres, erst vor kurzem hinzu gekommenes Amt von Peter Fischer wurde bisher noch nicht erwähnt. Seit dem Wintersemester 2018/19 ist Herr Dr. Fischer



zusätzlich der Erasmus-Beauftragte für das Fach Chemie. Bisher kamen ihm dabei hauptsächlich Aufgaben im Bereich der Beratung von Studierenden und der Bearbeitung einiger Anträge zu. In Zukunft will er sich aber hier mehr Zeit für Neuerungen nehmen, insbesondere im Bereich der Informationsveranstaltungen sowie beim Abschluss neuer Partnerschaften.

Update vom Herbst 2020: Zu Beginn des Besuches kommt Herr Dr. Fischer frisch aus einer Zoom-Besprechung. Er wirkt gehetzt, zunächst einmal holt er sich einen Kaffee, passend zum Thema trinkt er ihn aus einer Tasse mit »WueStudy«-Schriftzug.

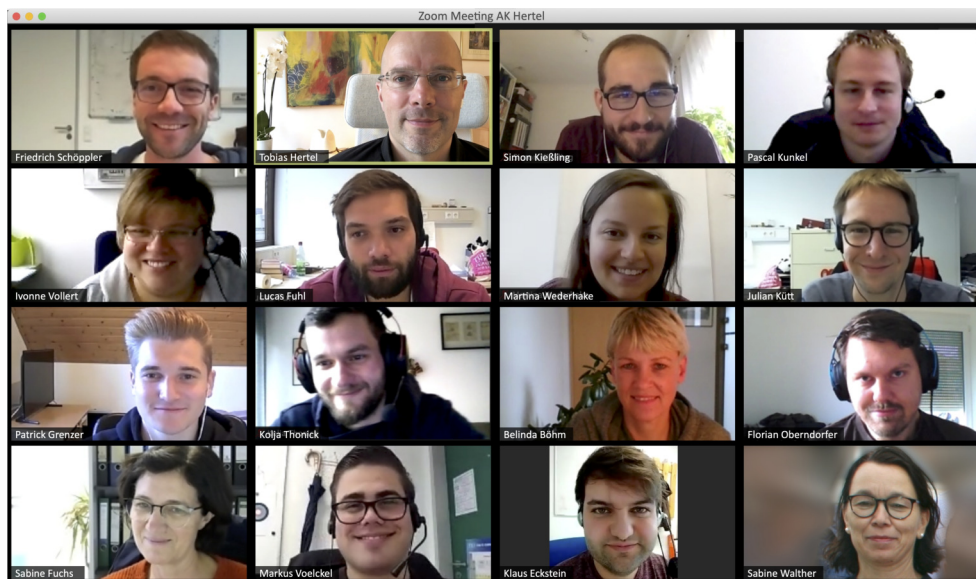
Durch die Corona-Pandemie haben sich die Aufgabenschwerpunkte für Herrn Dr. Fischer deutlich verschoben. In seinen Aufgabenbereich fällt seit März zusätzlich ein großer Teil des Krisenmanagements der Fakultät im Bereich Studium und Lehre, angefangen von der Durchsetzung der Hygienevorschriften über die Koordination von digitaler Lehre und (Präsenz-)Prüfungen bis zur Planung des neuen Semesters und der Einführung der neuen Erstsemester. Das Problem, dass niemand über konkrete Informationen verfügt und alle Entscheidungen nur unter Vorbehalt getroffen werden können, trifft auch ihn – der an der Schnittstelle von Dozierenden, Studierenden und der Verwaltung sitzt – besonders hart. »Keiner weiß etwas, aber jeder erwartet, dass man etwas weiß«, so fasst Herr Dr. Fischer die Gesamtsituation zusammen. Durch dieses permanente und primäre Krisenmanagement leiden auch

seine anderen Aufgaben, wie die Weiterentwicklung des Studienganges oder die Betreuung von Erasmus. So fand im Sommersemester zum Beispiel keine Sitzung der Studienfachkommission Chemie statt, und der internationale Austausch im Rahmen von Erasmus ist durch die Reisebeschränkungen und Infektionsrisiken stark eingebrochen. Auch die Verbesserung und Etablierung von WueStudy liegt seitdem völlig auf Eis. Noch immer sind die Anfragen und Problemmeldungen an die Service-Hotline konstant hoch und die Benutzerzufriedenheit und Praktikabilität mangelhaft. Seine vor über einem Jahr dahingehend geäußerten Wünsche konnten also noch keineswegs erfüllt werden.

Schließlich wollen wir Herrn Dr. Fischer für seine Arbeit an der Fakultät ausdrücklich danken! Für die stete Bereitschaft und das Bemühen in der Beratung sowie im generellen Umgang mit Studierenden, für seine Kompetenz in der Problembehandlung und -behebung – nicht nur für studentische Anliegen – und insbesondere für seine reibungslose Kooperation mit der Fachschaft. Ganz besonderer Dank und Respekt gebührt ihm und dem ganzen Dekanat für die unersetzliche Arbeit im Krisenmanagement der Corona-Pandemie, ohne das der Betrieb nicht ansatzweise so gut laufen könnte, wie er trotz aller Einschränkungen doch läuft.

Also denkt daran, wenn es im Studium mal nicht läuft, ihr eine Frage habt und nicht weiterwisst:

Nicht verzagen, Herrn Dr. Fischer fragen!



WIE LICHT UND ATOMAR DÜNNE MATERIALIEN IN DIE ZUKUNFT WEISEN

Der PC-AK Tobias Hertel über seine Forschung

Text & Fotos AK-Hertel

38	87.62
Sr	
Strontium	

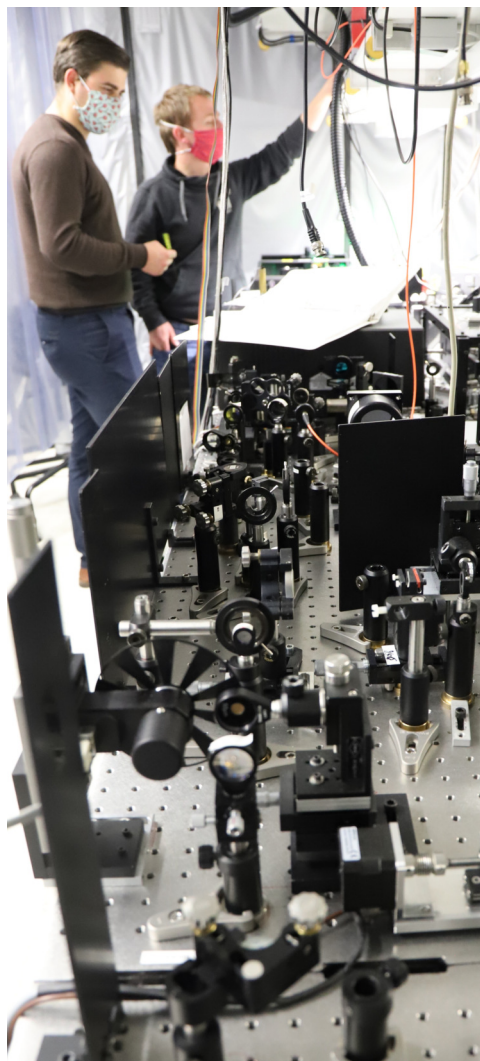


Wenn räumliche Begrenzung neue Horizonte eröffnet

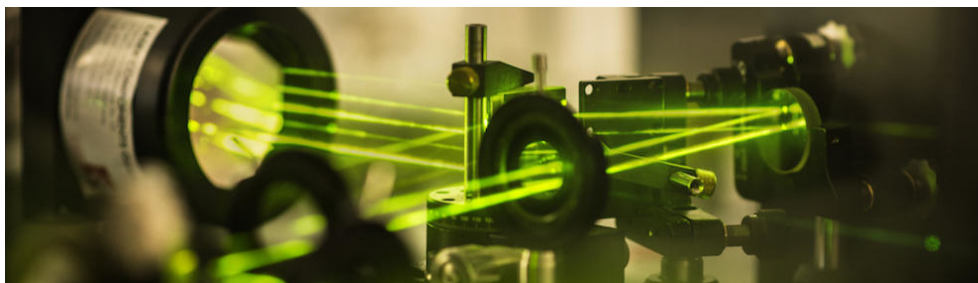
Klimawandel und Ressourcenverknappung gehören in diesem Jahrhundert zu den größten Herausforderungen für unsere Gesellschaft, ihren Wohlstand und ihre Gesundheit. Als angehende Forscher und Entwickler seid Ihr dazu aufgerufen, diese Herausforderungen anzunehmen und im Interesse aller nach Lösungen zu suchen. Als Lehrender und Forschungsbegeisterter sehe ich unsere Aufgabe darin, Euch auf Wissenschaft (neu)gierig zu machen und Euch das hierfür notwendige Fachwissen sowie Problemlösungskompetenzen nahezubringen.

Die Forschung an neuen und atomar dünnen Materialien eignet sich hierzu ideal. So stellen niederdimensionale Halbleiter nicht nur eine sich rasch entwickelnde und facettenreiche Materialklasse dar, sie lassen sich dank des Freiheitsgrades *Dimensionalität* auch in technologisch spannende Systeme mit vielseitigem Anwendungspotenzial verwandeln. Spätestens seit der Verleihung des Nobelpreises für Experimente an dem nur einer Atomlage starken Graphen vor 10 Jahren, ist auch populärwissenschaftlich bekannt, dass räumliche Begrenzung zu qualitativ neuen Eigenschaften führt, die in Elektronik, Informations- und Energietechnologien einmal zur Anwendung kommen könnten.

Methodisch und konzeptionell stellen atomar dünne Systeme Chemiker und Phy-



Markus und Pascal bei Justagearbeiten
an unserem FemtosekundenLasersystem.



sikochemiker dabei allerdings gleichermaßen vor besondere Herausforderungen. Wie beispielsweise, lässt sich eine einzelne (!) Lage eines frisch gewachsenen Perowskitkristalls vom Typ AzBX_4 zerstörungsfrei ablösen und für weitere Untersuchungen auf eine Glasoberfläche ablegen? Und wie können wir diese kaum staubkorngroßen Objekte mit herkömmlichen oder mit spezialisierten spektroskopischen Methoden erforschen? Das erfordert Kreativität, Erfindergeist und originelle Lösungsansätze.

Genau hier setzt die Forschung unseres Arbeitskreises an: sie befasst sich mit der Herstellung atomar dünner ein- bzw. zweidimensionaler Halbleiterstrukturen und Hybridsysteme sowie mit der Entwicklung innovativer spektroskopischer Ansätze zu deren Untersuchung. Die detaillierte Analyse experimenteller Daten führt dann – in Verbindung mit Modellierung und Simulation – meist zu einem tieferen Verständnis mikroskopischer Mechanismen und nützlicher Phänomene.

Ladungskontrolle in 1D und 2D als Grundlage von Zukunftstechnologien

Während sich Elektronen-Wellenfunktionen der meisten Moleküle und Festkörper frei in drei Raumrichtungen ausdehnen können, werden sie in den von uns untersuchten Halbleitern gezwungen, sich in nur zwei oder einer Dimension zu bewegen. Hieraus ergeben sich faszinierende Möglichkeiten zur Kontrolle unterschiedlichster Materialeigenschaften.

In den quasi-eindimensionalen Kohlenstoffnanoröhren beispielsweise, lässt sich das HOMO-LUMO Gap durch geeignete Wahl des Nanorohrdurchmessers über einen großen Bereich praktisch frei einstellen, ohne chemische Eigenschaften dabei in nennenswerter Weise zu verändern. Eine derart elegante Kontrolle über die HOMO-LUMO Aufspaltung und die für technische Anwendungen entscheidenden Energie- und Ladungstransferprozesse erlaubt kaum ein anderes molekulares oder kristallines System.



Auch schichtförmig gestapelte Übergangsmetall-Dichalogenide lassen sich durch Exfolierung bis zur einzelnen Monolage, von kaum oder gar nicht fluoreszierend, in effizient leuchtende Objekte verwandeln.

Sowohl die Fluoreszenz wie auch andere technologisch relevante Eigenschaften lassen sich über die Kontrolle von Ladungsverteilung und -bewegung in diesen Halbleitersystemen beeinflussen. Grundsätzlich kann man die Fähigkeit, Ladungen in Halbleitern zu steuern, sogar als eine der Schlüsseltechnologien dieses Industriezweiges bezeichnen.

Aber wie lassen sich Ladungen in niederdimensionale Systeme gezielt einbringen oder ihnen entziehen? Können sich solche Ladungen frei bewegen oder werden sie durch natürlich vorkommende Verunreinigungen und Inhomogenitäten daran gehindert? Wie steht es um die Wechselwirkung bewegter Ladungen oder optisch angeregter Zustände mit Schwingungsfreiheitsgraden? Wie lassen sich redoxchemische, kovalente oder physikalische Modifikationen von Halbleitern zur Ladungskontrolle einsetzen? Und was passiert, wenn Wellenfunktionen eines zweidimensionalen mit denen eines eindimensionalen Systems in Wechselwirkung treten? Diesen und anderen Fragen versuchen wir mit Hilfe unterschiedlichster präparativer, spektroskopischer und analytischer Methoden auf den Grund zu gehen.

Hierzu gehören neben Standardtechniken auch spezialisierte Methoden wie zeitaufgelöstes Einzelphotonenzählen, die Einzelpartikel-Fluoreszenzmikroskopie und -spektroskopie, Maschinenlernen und AI,

Spektroelektrochemie oder die Femtosekunden zeitaufgelöste Anregungs-Abfrage-Spektroskopie.

Über den wissenschaftlichen Tellerrand hinaus

Etliche unserer Projekte finden im Rahmen internationaler Kooperationen statt, die vielseitige Möglichkeiten zum Austausch mit Wissenschaftlern in den USA, Europa und Asien bieten. Sobald internationale Reisen wieder möglich sind, werden Studenten unseres Arbeitskreises erneut die Chance haben, an internationalen Tagungen und Austauschprogrammen mit Kooperationspartnern teilzunehmen.

Bei der Lösung vieler Probleme steht Euch in der Physikalische Chemie außerdem ein tolles Team von Physikalisch-Technischen Angestellten, Chemielaborantinnen, einem Elektrotechniker und Feinmechanikern mit Rat und Tat zur Seite.

Das gute Miteinander im AK wird unterstützt durch das gemeinsame Freitags-Kochen oder den obligatorischen Mittwochs-Kuchen ebenso wie unser alljährliches »Dirty Santa« Event (derzeit leider nur soweit es die Hygieneregeln zulassen). Außerdem wird dem Chef eine hohe Affinität zum Cocktailmixen und -verkosten nachgesagt, was auf Weihnachtsfeiern oder Sommerfesten immer wieder mal ans Licht der Öffentlichkeit kommt.

Spektroskopiebegeisterte Studenten in allen Studienphasen, die Engagement, Können und Kreativität bei uns weiterentwickeln oder unter Beweis stellen möchten, sind jederzeit willkommen, einmal zum Reinschnuppern und Hallo-Sagen vorbeizukommen.

Impressum

Herausgeber: **Fachschaft für Chemie und Pharmazie Würzburg**
Am Hubland, D-97074 Würzburg
mail@fs-chemie.de
+49 (0) 931 31-88146

Chefredakteur: **Kasimir M. Philipp** (verantwortlich i. S. d. BayPrG)
SuR@fs-chemie.de
+49 (0) 162 33 49 740

Layout: **Kasimir M. Philipp**
Covergestaltung: **Eva Schaller**
SuR/FS-Logo: **Maximilian Elfert/Christopher Schwarz**

Druck: **FLYERALARM GmbH** (Stand: 25. Januar 2021; Auflage: 1000 Stück)

Die Autoren sind für die Inhalte der Beiträge selbst verantwortlich. Alle Angaben nach bestem Wissen und Gewissen, Irrtümer vorbehalten. Für die Inhalte und die Aktualität externer Verlinkungen und Quellen wird keine Gewähr übernommen.

Sie haben Fragen, Anmerkungen, Lob, Kritik oder wollen die SuR durch Ihre Mitarbeit oder interessante Beiträge bereichern? **Schreiben Sie uns an SuR@fs-chemie.de!**

Postskriptum

Ein ereignisreiches Jahr liegt hinter uns – und ein neues beginnt just in diesem Moment. Ich schreibe dieses PS, mit dem ich mir angewöhnt habe, die Arbeit an einer jeden Ausgabe der SuR abzuschließen, in der Nacht von Silvester auf Neujahr, wenige Minuten nach Mitternacht, begleitet von vereinzelt, im direkten Vorjahresvergleich deutlich selteneren Detonationen. Obwohl ... eigentlich kann ich diesen Vergleich gar nicht anstellen, da ich die letzten Jahre an Silvester immer der Einladung eines guten Freudes gefolgt bin und den Jahreswechsel bei ihm verbracht habe.

wo auch immer Sie dieses Weihnachtsfest und diesen Rutsch verbracht haben mögen, ob und wie stark Sie in den letzten zehn Monaten von der Pandemie und ihren Auswirkungen eingeschränkt wurden, persönlich betroffen waren oder doch ziemlich unbehelligt blieben: Danke, dass Sie den Betrieb an der Uni trotz allem ermöglicht haben. Ich wünsche Ihnen für das kommende Jahr und seine Herausforderungen Gesundheit und Durchhaltevermögen.

Herzlich,
Ihr Kasimir M. Philipp

