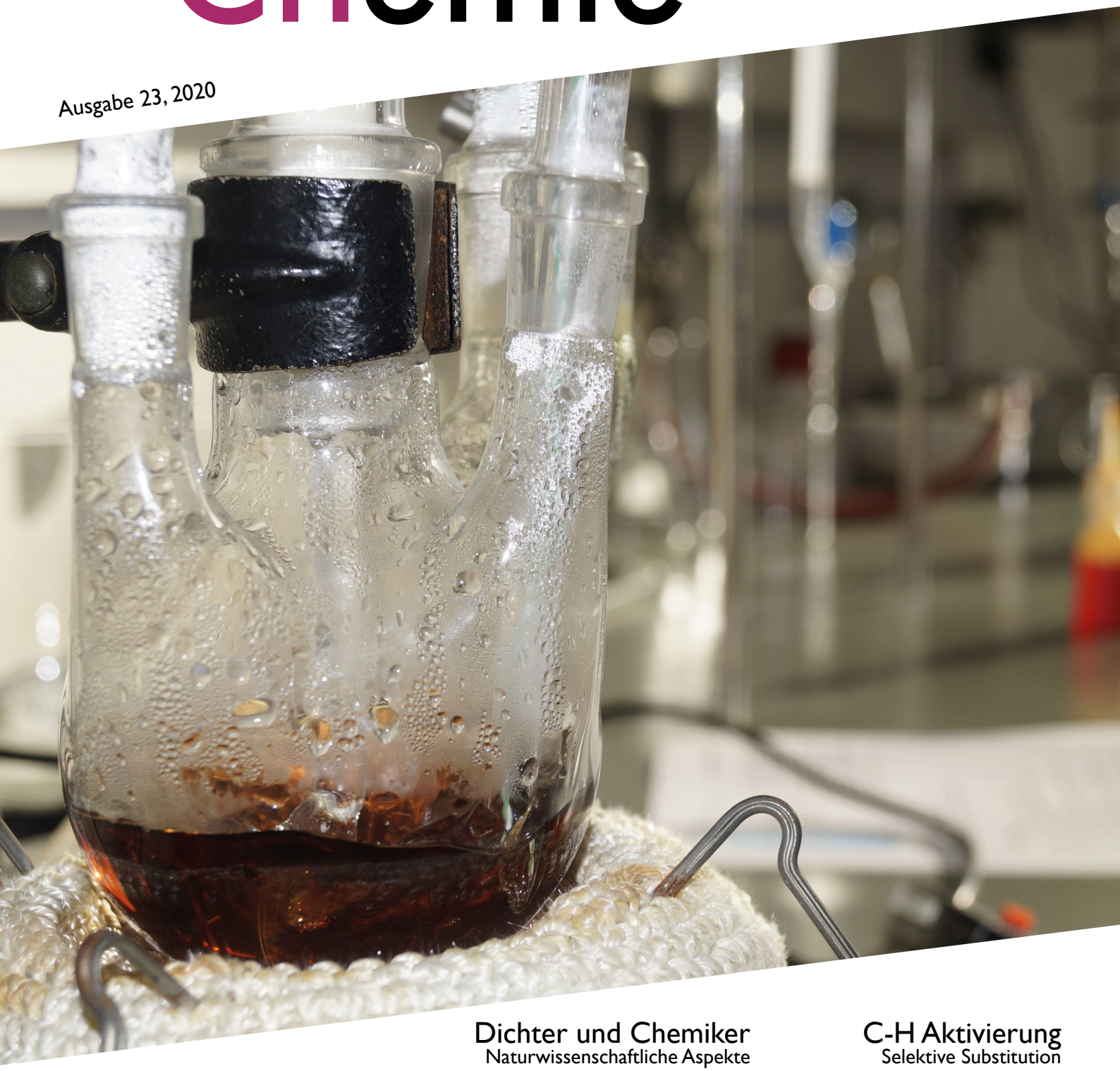
Die Zeitschrift des Fördervereins Chemie-Olympiade e.V.

Faszination Chemie

Ausgabe 23, 2020



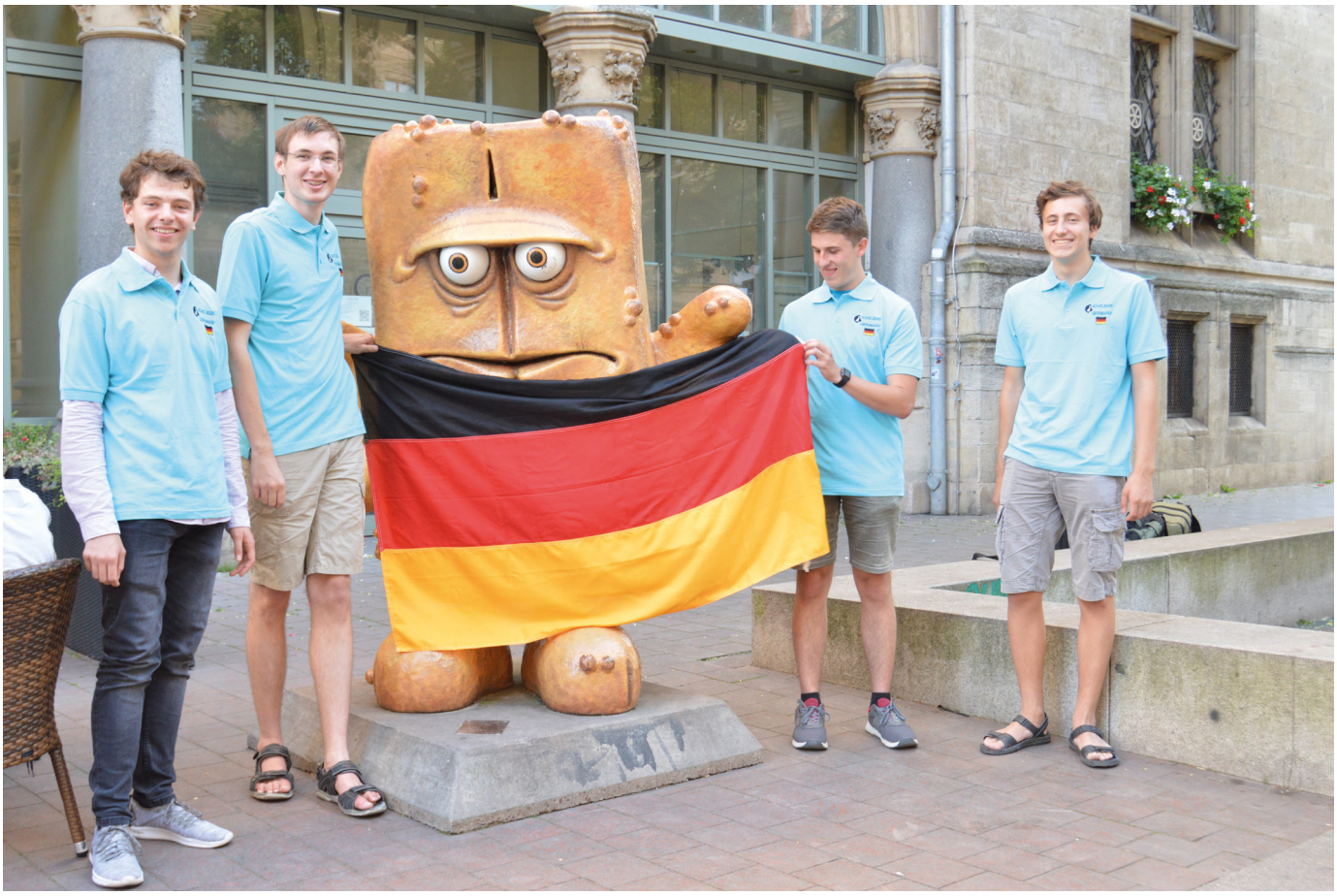
Dichter und Chemiker
Naturwissenschaftliche Aspekte in Goethes Werken

C-H Aktivierung
Selektive Substitution am Aromaten

Karrieren mit Chemie
Laufbahnen nach der IChO-Teilnahme

Crashkurs im Organischen Labor
Schnupperpraktika

Förderverein Chemie-Olympiade e.V.



Das deutsche Team bei der Internationalen ChemieOlympiade 2020 in Erfurt (v. l. n. r.):
Tom Erik Steinkopf, Frederik Laurin Walter, Maximilian Mittl und Linus Schwarz.

Impressum

Herausgeber
Förderverein Chemie-Olympiade e. V. (FChO)
E-Mail: info@fcho.de

Redaktionsschluss
26.01.2021

Vorsitzender (V. i. S. d. P.)
Felix Strieth-Kalthoff
Von-Esmarch-Str. 19
D-48149 Münster
E-Mail: striethkalthoff@fcho.de

Chefredakteur
Truc Lam Pham

Redaktion
Nils Rendel, Anton Rikus, Kasimir Merlin Philipp, Christian Schärf, Lea Korn, Felix Schäfer, Lukas Gschwind

Gestaltung
Nils Rendel

Autoren
Felix Strieth-Kalthoff, Frederik Laurin Walter, Anna-Yaroslava Bodnar, Yann Thele, Maximilian Fellert, Daniel Weidig, Nils Rendel , Truc Lam Pham, Kasimir Merlin Philipp, Florian Berger

Bilder
Lukas Gschwind (Titelbild)
Philipp Gremler
IPN
Florian Berger
Andre_de
Truc Lam Pham
Sonja Hanebaum
Jan Bandemer
Daniel Weidig
Roman Behrends

Druck
WirmachenDruck.de
Sie sparen, wir drucken!

Spendenkonto
Kontoinhaber:
Förderverein Chemie-Olympiade e. V.
IBAN: DE55100205000003299301
BIC: BFSWDE33BER
Bank für Sozialwirtschaft, Berlin

Haftungsausschluss
Die Zusammenstellung der Informationen für diese Zeitschrift wurde von der Redaktion mit größtmöglicher Sorgfalt vorgenommen. Dennoch kann keinerlei Gewähr für Aktualität, Korrektheit, Vollständigkeit oder Qualität der bereitgestellten Informationen und Daten übernommen werden.

Für Feedback sind wir immer sehr dankbar.
faszination@fcho.de

Vorwort der Redaktion

Liebe Leserinnen und Leser,

das Neue, das Unbekannte, neue Wege zu beschreiten übt immer eine gewisse Faszination aus. Gerade dann, wenn es gewollt und geplant ist, wie bei Schüler:innen, die sich bewusst entscheiden, an einem MINT-Wettbewerb teilzunehmen, den vertrauten Rahmen des Schulunterrichts zu verlassen und Naturwissenschaften auf andere Art zu erleben. Doch dieses Jahr hat ein unerwartet aufgetauchter, neuartiger Krankheitserreger dafür gesorgt, dass wir uns zu oft in das vertraute Heim zurückziehen mussten. Nichtsdestotrotz ist es mit Kreativität, neuer digitaler Technik sowie Engagement vonseiten vieler Mitglieder des FChO und des IPN gelungen, den plötzlich aufgetretenden Herausforderungen zu begegnen, sodass auch in dieser Ausgabe der Faszination Chemie über die erfolgreiche Durchführung des vereinseigenen Wettbewerbs CDS, der Internationalen ChemieOlympiade 2020 (die eigentlich in Istanbul stattfinden sollte) sowie zahlreicher Schnupperpraktika berichtet werden kann.
Das Neue, das Unentdeckte ist auch ein Ziel der chemischen Forschung. Im diesjährigen Fachartikel werden neue Methoden vorgestellt, wie die als unreaktiv geltenden C-H Bindungen gezielt funktionalisiert werden können. Doch muss sich ein:e Chemiker:in unbedingt mit Chemie beschäftigen? Wie wäre es, nach dem Masterabschluss in Chemie erstmal etwas Neues zu machen und bei der Deutschen Bahn zu arbeiten? Und was passiert, wenn sich ein Jurist plötzlich für Chemie interessiert und dazu noch ein talentierter Dichter ist?
Diese und andere Neuigkeiten erwarten euch in dieser Ausgabe Faszination Chemie. Viel Spaß dabei!

Für die Redaktion,
Truc Lam Pham

Vorwort des Vorstands

Liebe Leser:innen,

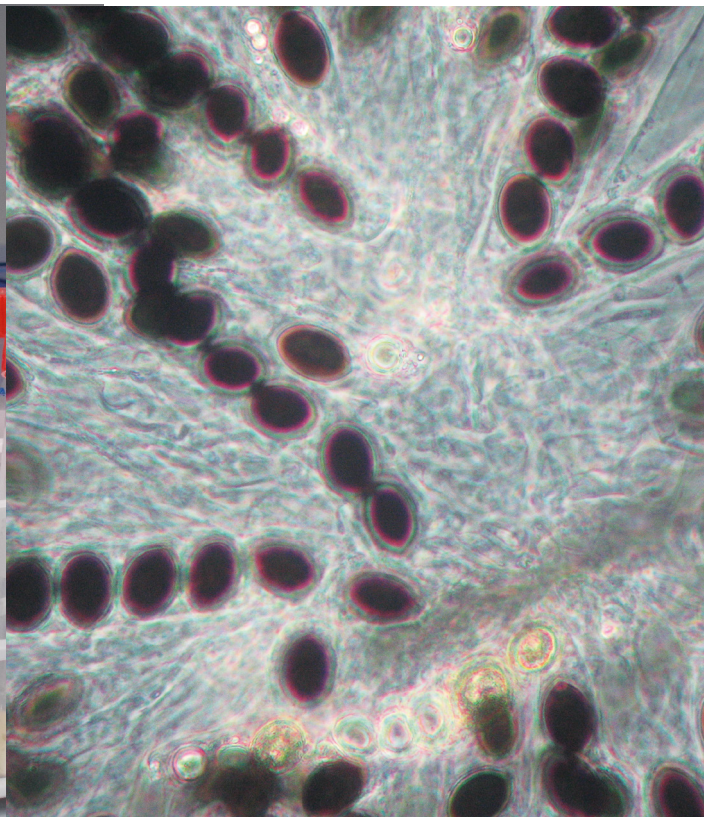
das Jahr 2020 war in jeder Hinsicht ein außergewöhnliches – die COVID-19-Pandemie hat das Leben jedes Einzelnen gehörig durcheinandergewirbelt. So hatte auch unser Vereinsleben unter der Infektionslage zu leiden – vor allem aber die Schüler:innen, die ihren Begeisterungen und Begabungen rund um die Naturwissenschaften nicht so nachgehen konnten, wie es in einem „normalen“ Jahr möglich gewesen wäre. Schulschließungen, abgesagte Seminare, geschlossene Labore, Kontaktbeschränkungen – ideale Voraussetzungen für die Förderung motivierter und talentierter Schüler:innen sehen sicherlich anders aus.

Die Kunst ist es jedoch, auch in solchen Situationen nicht den Kopf in den Sand zu stecken, sondern neue, kreative Lösungen zu finden. Dies haben zum Beispiel die Verantwortlichen von „Chemie – die stimmt!“ gezeigt, die in kürzester Zeit ein alternatives Konzept für die zweite und dritte Wettbewerbsrunde entwickelt und realisiert haben. Weniger als zwei Wochen nach der Absage der Präsenzveranstaltungen zur zweiten Wettbewerbsrunde waren die Aufgaben einer neuen, offenen Heimarbeitsrunde online, und weitere verfeinerte digitale Angebote folgten in den nächsten Monaten. Solche Entwicklungen zeigen eindrucksvoll, wie lebendig und dynamisch unser Verein auch heutzutage noch immer ist. Auch im Rahmen der Landesseminare, der Internationalen ChemieOlympiade und der Organisation und Infrastruktur unseres Vereins wurden neue, kreative und digitale Lösungen gefunden. Von diesen und vielen weiteren Beispielen zeugt auch diese 23. Auflage der „Faszination Chemie“ – wir wünschen viel Spaß beim Lesen!

Natürlich hoffen wir alle darauf, dass sich die Lage in naher Zukunft wieder normalisiert, damit wir die Schüler:innen bald wieder in gewohntem Umfang fördern und fordern können – und um gleichzeitig auch die weiteren Aktivitäten wieder aufleben zu lassen, die unseren Verein so lebendig und einzigartig machen: seien es Workshops, Arbeitstreffen oder regionale Stammtische. Vielleicht lässt sich der aktuellen Situation sogar etwas Positives abgewinnen, wenn wir solche Gelegenheiten des Beisammenseins und des bereichernden Austausches noch viel bewusster wahrnehmen, schätzen und genießen können. Bis dahin wünschen wir allen Leser:innen in diesen Zeiten Geduld, Gelassenheit und Optimismus – und vor allem: bleibt gesund!

Für den Vorstand,
Felix Strieth-Kalthoff

Inhaltsverzeichnis



Die Wettbewerbe

08 IChO 2020
Ein Bericht des Teams

20 „Chemie - die stimmt!“ Ein außergewöhnliches Wettbewerbsjahr

Schülerförderung

12 Schnupperpraktika
Protein-Engineering

22 Schnupperpraktika
Methodik und Ablauf in der Naturstoffsynthese

Immer

02 Impressum
03 Vorworte
06 Kurz notiert
28 Unsere Partner
29 Aufnahmeantrag
31 Organigramm

Über den Horizont

14 Karriereweg
Als Chemiker:in bei der Bahn – völlig abgefahren!?

17 Goethe und die Chemie
Von Versen und Farben

24 Fachartikel
Aromatische C-H Funktionalisierung an Aromaten

Vereinsleben

07 Statistiken
Wer sind wir – und wenn ja, wie viele?

09 Porträt
Der neuen Faszi-Referent

Extra

11 Kreuzworträtsel

Kurz notiert

IChO – Neue Leitung in der Geschäftsstelle
Seit dem 01.08.2020 ist in der Geschäftsstelle des deutschen Auswahlverfahrens zur Internationalen ChemieOlympiade am IPN in Kiel ein neues Team aktiv. Aktuell leiten Dr. Felicitas Niekiel, Dr. Christine Köhler und Benjamin Rönnau als Übergangs-Team den Wettbewerb. Der bisherigen IChO-Leiterin Sonja Hanebaum danken wir für die tolle und konstruktive Zusammenarbeit in den vergangenen Jahren!

52. IChO in einem neuem, ungewohntem Format!
Bei der Internationalen ChemieOlympiade, die 2020 nur als Remote Access Exam durchgeführt werden konnte, hat das deutsche Team hervorragende Erfolge erzielt. Für Maximilian Mittl (Carl-Orff-Gymnasium Unterschleißheim), Frederik Laurin Walter (Werner-von-Siemens-Gymnasium Magdeburg), Linus Schwarz (Landesgymnasium für Hochbegabte Schwäbisch Gmünd) und Tom Erik Steinkopf (Georg-Cantor-Gymnasium Halle) hieß es im Juli also Erfurt statt Istanbul und Livestream statt Hörsaal. In der virtuellen Siegerehrung regnete es für das deutsche Team vier reale Medaillen – zweimal Silber und zweimal Bronze. Im Namen des gesamten Vereins gratulieren wir dem deutschen Team herzlich zu diesen tollen Erfolgen!

Stellenanzeige

Damit wir auch in den kommenden Jahren eine vielseitige, spannende Auflage der „Faszination Chemie“ herausgeben können, suchen wir helfende Hände, die das Faszi-Team bei der Planung, Zusammenstellung und Gestaltung der Zeitschrift unterstützen. Du hast Freude an Redaktionsarbeit, inklusive Verfassen, Überarbeiten und Setzen von Artikeln? Dann melde dich beim Faszi-Team (faszination@fcho.de)!

Workshop 2021
Die Infektionslage rund um die COVID-19-Pandemie hat auch das Vereinsleben des FChO durcheinander gewirbelt – so kann der Vereinsworkshop, der seit 1993 traditionell am ersten Januarwochenende durchgeführt wird, im kommenden Jahr nicht wie gewohnt stattfinden. Eine positive Entwicklung der Infektionslage vorausgesetzt, soll im Juni 2021 in Mainz ein verkürzter Workshop angeboten werden – schließlich stellt der Workshop einen integralen Bestandteil unseres Vereinslebens dar, der verschiedene Mitglieder von Jung bis Alt zusammenbringt. Auch die Mitgliederversammlung inkl. Neuwahl des Vorstands soll vom Januar in den Juni verschoben werden.

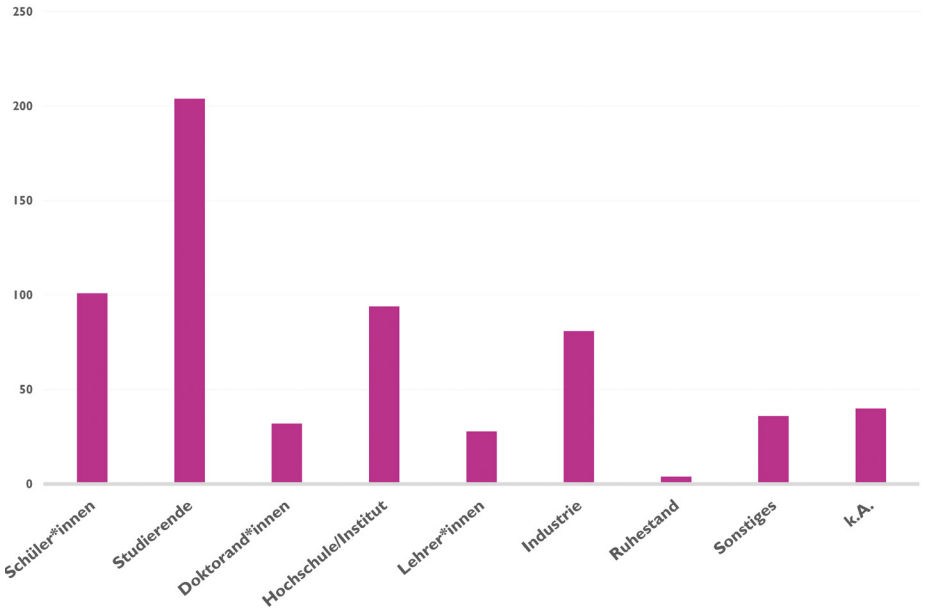
Digitalisierung im FChO
Auch im FChO schreitet die Digitalisierung immer weiter voran – nach Einführung des Mitgliederbereiches in der Homepage und der FChO-Cloud sowie des Lehrerportals zur Verwaltung der Schülerlösungen im Rahmen von „Chemie – die stimmt!“ wurde in den vergangenen Jahren auch das Abrechnungssystem digitalisiert. Statt postalischer Einsendungen beim Schatzmeister können Abrechnungen nun online eingereicht werden – einfacher, schneller und weniger fehleranfällig. Vielen Dank an das IT-Team um Simon Scheeren und Niklas Hölter für Aufbau und Entwicklung des Tools!

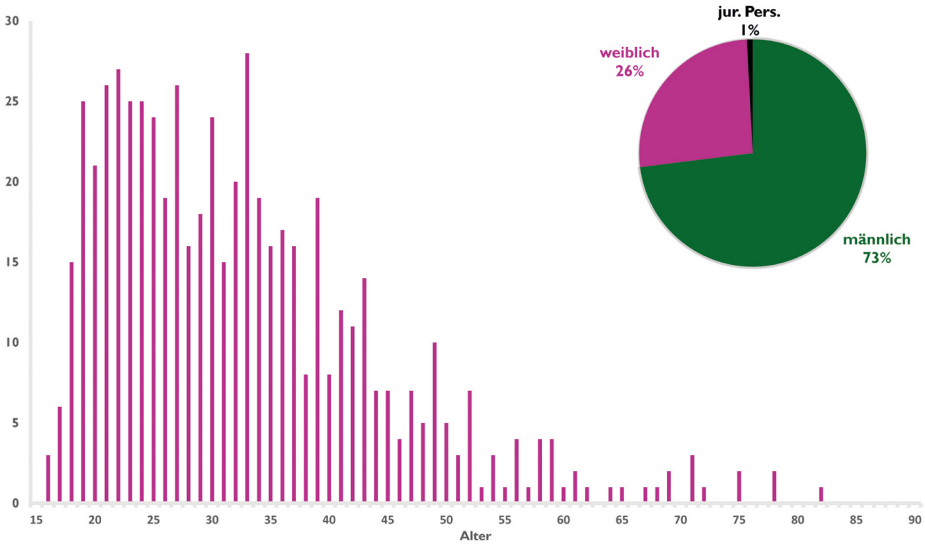
Aktualisierung von Kontaktdaten
Im Mitgliederbereich der Homepage besteht die Möglichkeit, die beim Verein hinterlegten Kontaktdaten zu prüfen und zu aktualisieren. Wir möchten alle Mitglieder bitten, dies regelmäßig zu tun! Bei Fragen steht unsere Schriftführerin Teresa Karl (karl@fcho.de) gern zur Verfügung!

Wer sind wir, und wenn ja, wie viele?

Der FChO besteht schon seit 28 Jahren und ist weiterhin ein junger Verein mit inzwischen 620 Mitgliedern (Stand 25.10.2020). Der Altersdurchschnitt beträgt etwa 33 Jahre, was sich auch im Berufsstand widerspiegelt: Der größte Anteil der Mitglieder sind Studierende (und männlich ...). Dennoch ist klar erkennbar, dass der FChO breit aufgestellt ist – nicht nur hinsichtlich der Berufe, sondern auch hinsichtlich der Wohnorte: Hier ist der FChO weit über ganz Deutschland (und darüber hinaus) verteilt.

Die Erstellung solcher Statistiken geht stets mit einer Bitte einher: Halten Sie die beim FChO hinterlegten Daten bitte aktuell (siehe Seite 6)!





Alters- und Geschlechtsverteilung im FChO (Stand 25.10.2020)

Termine 2020

02. – 05.01.
FChO-Workshop in Freiburg

11. – 12.01.
Landesseminar Baden-Württemberg I

17. – 18.01.
Landesseminar Baden-Württemberg II

26. – 30.01.
Landesseminar Hessen-Thüringen

27. – 30.01.
Landesseminar Brandenburg

27. – 30.01.
Landesseminar Sachsen

03. – 05.02.
Landesseminar Nord

08. – 11.02.
Landesseminar Nordrhein-Westfalen

16. – 20.02
Landesseminar Rheinland-Pfalz/Saarland

28.02. – 06.03.
3. Runde IChO in Göttingen

30.03. – 18.04.
2. Runde „Chemie – die stimmt!“ als Heimarbeitsrunde

17.05.
4. Runde IChO als digitale Klausur

14.06.
3. Runde „Chemie – die stimmt!“ als digitale Klausur

22.06.
Siegerehrung zur 3. Runde „Chemie – die stimmt!“

23. – 28.07.
Internationale Runde der IChO als digitale Klausur

07. – 09.08.
Vorstandstreffen in Willich

14. – 17.09
4. Runde „Chemie – die stimmt!“ in Leipzig

23. – 25.10.
Beiratstreffen in Warnemünde

04.12.
2. Runde IChO 2021

IChO 2020 – das Team berichtet

Text: Frederik Laurin Walter

Wenn man es endlich ins Nationalteam geschafft hat, stellt man sich das irgendwie so vor: Eine Woche lang ein fernes Land bereisen, Menschen aus der gesamten Welt kennenlernen und viel Spaß haben. Zwischendurch noch zwei Klausuren schreiben, die hoffentlich das Gesamtbild nicht trüben und am Ende mit einem Stück Edelmetall belohnt werden. Bloß das Coronavirus wollte uns (Maximilian Mittl, Linus Schwarz, Tom Erik Steinkopf, Frederik Laurin Walter) dieses Erlebnis nicht gönnen.

Daher tauschten wir zehn Tage Istanbul gegen zwei Tage in Erfurt. Auch die traditionelle Team-Vorbereitung in Kiel musste auf Zoom verlegt werden, sodass wir einzeln am Nachmittag des 24.07. unser Hostel erreichten. Als Betreuer erwarteten uns Philipp Gremler und Peter Pörsch. Da Philipp in Erfurt zur Schule ging, konnte er uns am Abend eine kleine Stadtführung geben und erleichterte uns damit die Orientierung. Nach dem gemeinsamen Abendessen war der erste Tag schon schnell vorbei, um für die Klausur am nächsten Tag ausgeschlafen zu sein.

Am Samstag fuhren wir morgens in das Kindermedienzentrum, in dem wir als Team Zeit zur individuellen Vorbereitung hatten. Die Betreuer kümmerten sich derweil um den Druck und die Vorbereitung der Klausur. Als Stärkung gab es einen kleinen Imbiss, der uns wegen des schon einige Stunden zurückliegenden Frühstücks sehr gelegen kam. Pünktlich um 12:00 Uhr begannen dann die fünf Stunden, in denen wir uns nochmal an alles erinnern mussten, was wir während des Auswahlverfahrens erlernt haten.

Erwartungsgemäß haben wir in der Klausur viele Themen aus den Preparatory Problems wiedererkannt, jedoch gab es einige Themen, die zu unserer Verwunderung nicht aufgegriffen wurden. Zugegebenermaßen war die Klausur subjektiv (und auch an den späteren Ergebnissen gemessen) einfacher als die Klausur in der 4. Runde, worüber sich aber niemand beschweren wollte. Mit viel Adrenalin im Blut, gestresst, aber auch glücklich, dass es geschafft war, gaben wir um 17:00 Uhr den Stapel Papier ab.

Während Philipp und Peter unsere Antworten einscannten und zur Korrektur in die Türkei schickten, besuchten wir Schüler den nahegelegenen egapark. Durch die Vorbereitungen auf die Bundesgartenschau 2021 gab es dort zwar einige Baustellen, vom Klausurstress erholen konnten wir uns in der schön gestalteten Anlage aber trotzdem.

Zurück in der Innenstadt fehlte natürlich noch das Teamfoto. Und was wäre ein besserer Ort für ein Teamfoto der Deutschen (wenn man nicht gerade in Bayern ist, um Klischees zu bedienen) als bei Bernd das Brot? Ob die UNESCO bei der Aufnahme der deutschen Brotkultur in das Weltkulturerbe auch an dieses spezielle Brot dachte, ist natürlich nicht mit Sicherheit zu sagen, aber solche Kleinigkeiten störten uns nicht.

„Mit viel Adrenalin im Blut, gestresst, aber auch glücklich“

Bei einem gemeinsamen Abendessen gab es nochmals Gelegenheit, sich über verschiedenste Themen auszutauschen, bevor schon am Abend die Abreise folgte. Unter den damaligen Bedingungen war dies sicherlich eine berechtigte Entscheidung, jedoch änderte dies nichts daran, dass das Team lieber noch eine Übernachtung mehr gehabt hätte. Wenn man nicht gerade in einer Großstadt

Abb. 1: Das deutsche IChO-Team beim Lösen der theoretischen Klausur der 52. Internationalen ChemieOlympiade 2020.

wohnt, sind die letzten Zugverbindungen des Tages und die Deutsche Bahn ja ebenfalls so eine Sache …

„hatten wir viel Spaß in Erfurt“

Aller Einschränkungen zum Trotz hatten wir viel Spaß in Erfurt und haben uns gefreut, dass wir uns wenigstens als Team treffen konnten und nicht von zu Hause aus die Klausur schreiben mussten. Natürlich dürfen an dieser Stelle die Personen in Kiel nicht unerwähnt bleiben, welche uns durch organisatorische Arbeiten, die Übersetzung der Klausur und die Diskussion über die Punktevergabe mit den türkischen Korrektoren im Hintergrund unterstützten. Wir danken allen Beteiligten für ihr Engagement, uns dieses Erlebnis unter den schwierigen Voraussetzungen zu ermöglichen.

„Die Siegerehrung folgte etwa eine Woche später als Livestream auf YouTube“

Die Siegerehrung folgte etwa eine Woche später als Livestream auf YouTube, der wir von zu Hause aus beiwohnten und uns, um es etwas persönlicher zu gestalten, nebenbei auf Skype unterhielten. Mit der Verkündung der Medaillengewinner hatte dann die Zeit des Wartens und der Spannung ein Ende. Wir sind mit den zwei Silber- und zwei Bronzemedaillen sehr zufrieden. Für drei von uns, Tom, Max und Frederik, bedeutete dies auch den Abschluss mit der IChO, zumindest aus Teilnehmersicht, während Linus noch einmal mitmachen darf. Wir wünschen ihm viel Erfolg und hoffentlich eine Präsenzrunde in Japan 2021.

Porträt: Neuer Referent für die Faszination Chemie

Text: Truc Lam Pham

Im Januar 2020 wurde der Posten des Faszi-Referenten mit Truc Lam Pham neu besetzt, der sich hier kurz vorstellt.

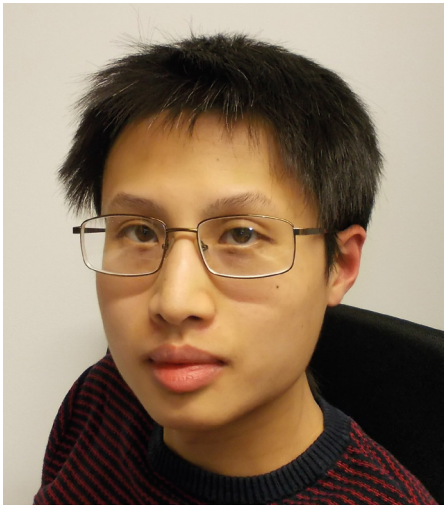


Abb 1: Der neue Referent für die Faszination Chemie Truc Lam Pham.

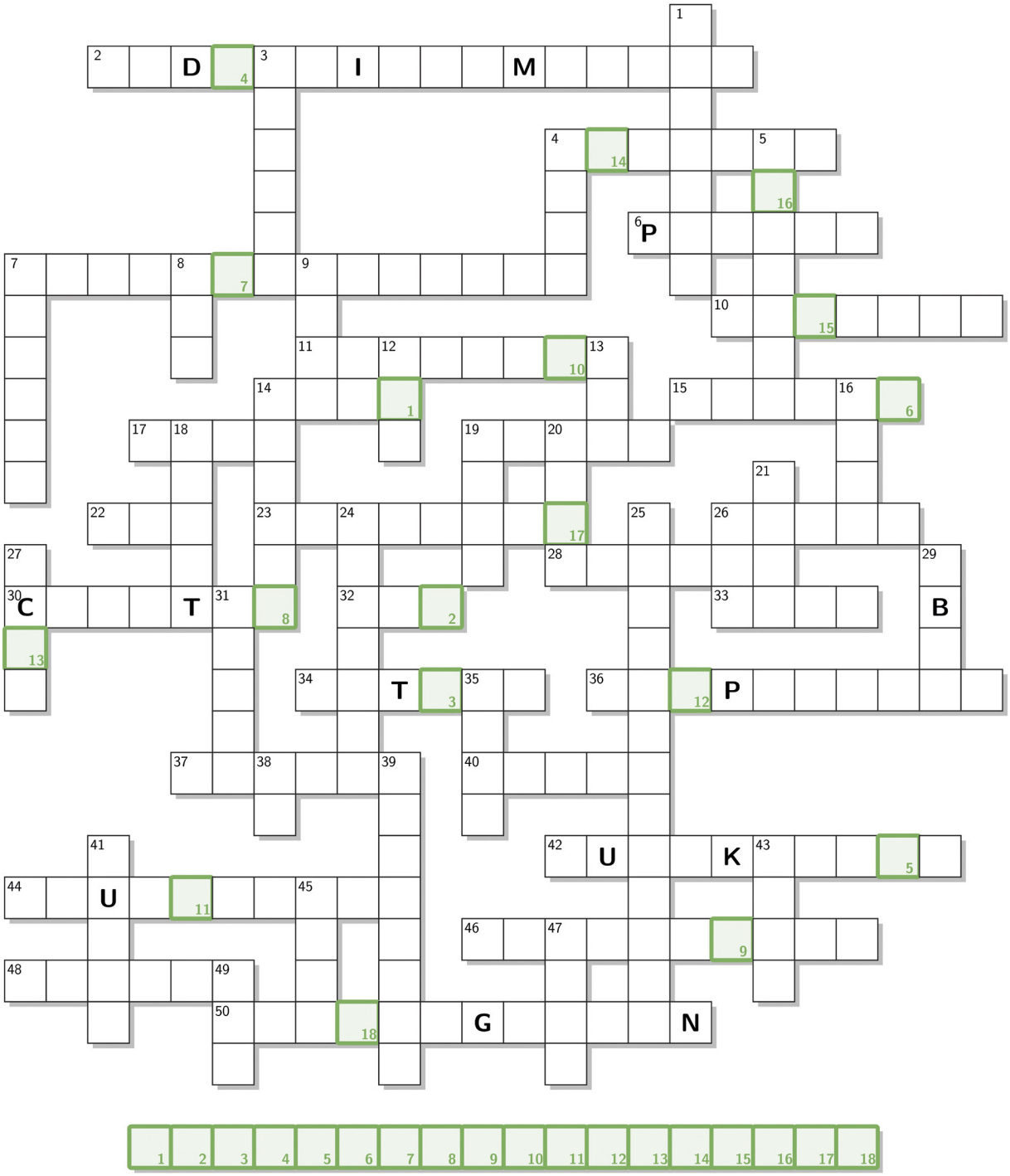
Im Frühling 2012, ich war in der 11. Klasse, sprach mich meine Chemielehrerin an, ob ich Lust hätte, beim deutschen Auswahlverfahren zur IChO mitzumachen, und überreichte mir den Aufgabenbogen für die erste Runde. Die Aufgaben fand ich ansprechend und bearbeitete sie. Die folgende zweite Runde, damals noch als Hausaufgabenrunde, hat mich fachlich dann doch etwas umgehauen und ich kam nicht weiter. Im Jahr darauf war ich besser vorbereitet und schaffte es in die vierte Runde. Die Teilnahme am Wettbewerb selbst, aber auch an den zusätzlichen Veranstaltungen, wie dem Schnupperpraktikum oder dem Viertrundenseminar, haben mir unglaublich viel Spaß gemacht und mir war klar, dass ich all das Erlebte auch den folgenden Teilnehmergenerationen weitergeben möchte.

Der FChO, der hinter vielen dieser Projekte steht, bot für mich damit die perfekte Gelegenheit dazu. Das erste Vereinsprojekt, mit dem ich in Berührung kam, war tatsächlich die Faszi, für die ich einen Artikel zum Viertrundenseminar verfasste. In den folgenden Jahren war ich immer wieder an der Erstellung der Faszi beteiligt, hauptsächlich als Korrekturleser. Als der Posten des Referenten für die Faszi Anfang 2020 frei wurde, habe ich ihn übernommen. Die Faszi ist für mich immer eine willkommene Gelegenheit, um das vergangene IChO/FChO-Jahr Revue passieren zu lassen und auch über die Forschungstätigkeiten oder anderen Interessen und Werdegänge von FChOlern zu erfahren, die über das Vereinsleben oder den Wettbewerb hinausgehen. Neben der Faszi

„Ich möchte verstehen, wie Lebewesen funktionieren.“

bin ich auch für ein weiteres Printmedium des Vereins verantwortlich: das Experimentierheft, welches gelegentlich um weitere Versuche ergänzt wird.

Nach dem Abitur (2014) fing ich direkt mit dem Biochemiestudium (Bachelor) in Göttingen an, woran sich ein Chemiestudium (Master) anschloss. Zufälligerweise hat der Studienort Göttingen den Vorteil, dass ich jedes Jahr ohne Probleme die dritte Runde, die schon seit etlichen Jahren in der Göttinger Jugendherberge stattfindet, mitbetreuen konnte. Bezüglich meines fachlichen Interesses muss ich gestehen, dass ich im Herzen eigentlich Biologe bin: Ich möchte verstehen, wie Lebewesen funktionieren. Der klassische analytische Ansatz war mir aber nie genug und ich fragte mich, ob es nicht möglich ist, unsere Kenntnisse zu erweitern, indem Lebewesen (oder Bestandteile davon) nach unseren Vorstellungen verändert oder neu entworfen werden. Und da Lebewesen aus Atomen bestehen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten unterworfen sind, bin ich am Ende bei der Chemie gelandet. Aktuell promoviere ich in Heidelberg über das Design von Peptiden. Ziel ist es, katalytisch inaktive, aber gut verstandene Peptidgerüste in künstliche Mini-Enzyme zu verwandeln.



Kreuzworträtsel

Text: Kasimir Merlin Philipp

Nachdem wir letztes Jahr zum ersten Mal ein Kreuzworträtsel gedruckt haben, wurde diese Idee in die neue Faszination Chemie übernommen. Viel Spaß beim Lösen und um die Ecke denken. Die Lösung befindet sich auf Seite 27.

Waagerecht
2 Der Durchschnittswert von Verringerungen gibt gerne Elektronen ab.
4 Trägt mittels Isomerisierung zum Sehen bei.
6 Dinge die sowohl Teenager, als auch Flüssigkeiten mit unterschiedlichen Polaritäten aufweisen.
7 Diese quantenmechanische Grundbedingung ist Individualisten zuwider.
10 Wer braucht schon Sphalerit, wenn man auch die metastabile Hochtemperatur-Modifikation der Verbindung dieser beider Elemente haben kann.
11 Nach einem aus fossilem Harz bestehenden Schmuckstein benanntes Fermion.
14 Halo i kome fong 1 crazy vulkanstein her.
15 Entspannteste Sitzgelegenheit in der organischen Chemie.
17 n-/sec-/tert-...; Im Labor als Base gebraucht.
19 Asteroid und chinesische Unterprovinzstadt; letztere erlangte im letzten Jahr traurige Bekanntheit.
22 Blaupause des Lebens.
23 Hat man den grünen Gift-Wulstling erstmal gegessen, helfen nur Mariendisteln gegen dieses Gift.
26 Griechischer Riese der als Leichtgewicht um die Welt fliegt.
28 Wofür AC-Trennungsgänge mal geschaffen wurden.
30 Wird in der AC gekocht und in der TC zum Rechnen benutzt.
32 Kinder lernen es am Anfang und Soldaten haben eine eigene Truppengattung dafür.
33 Lug und ...
34 Die Schnittstelle von Biologie und Informatik findet auch in der TC oftmals Anwendung.
36 Mit Eisen ein Menschen-, mit Magnesium ein Pflanzenbestandteil.
37 Bestieg sich karrieremäßig selbst, um Chef des Ladungstransports zu werden.
40 Tschechischer Name des Berges Osser im Böhmerwald.
42 Professionelle Schnellkochtöpfe.
44 Damit das Brot nicht im Innersten zusammenhält.
46 Hat mit Goldfolie den Entdecker von 10-Waagerecht widerlegt.
48 Menschliche Lautäußerung; Gegenstand der Gelotologie.
50 Astronomische Dämmerung am Anfang des Tages.

Senkrecht
1 In der Bibel als jüngstes erwähnt, ist es bei fachgerechter Zubereitung sehr schmackhaft.
3 Das alchemistische Symobl dafür findet man häufig an Damentoiletten.
4 Korrosionsprodukt, auf das man gerne Würstchen oder Matratzen legt.
5 Offizieller Abfallbehälter für Dihydrogenmonoxid, wird oft auch für Ketone und Ähnliches missbraucht.
7 Edelstahlbestandteil; wird mit Kar- süß und flauschig.
8 Kanalisat-, Frustrat-, Mill-.
9 Beliebt bei Mobstern, an Silvester und in der Strahlenforschung.
12 Europäische Raumfahrtbehörde (Abk.).
13 Amerikanische Waffenlobby (Abk.).
14 Es gibt 10 Arten von Leuten: Solche, die es verstehen und solche, die es nicht tun.
16 Hat gerade nach der Synthese viermal frisch gezahnt und schon kaut es auf dem erstbesten Metall herum.
18 Mit T am Ende eine Eigenschaft, die dieses Gebirge mit allen anderen gemeinsam hat.
19 Wurmiger, matschiger Meeresboden; aber Inbegriff von Leistung.
20 Dieser Berg kann mit seiner Namensreaktion substituiertes Thiophen herstellen.
21 Treibhausgashaltige Ethanollösung mit der Farbe des Namensgebers von 10-Waagerecht.
24 αναλυσις auf Deutsch.
25 Kochen im 80er Style.
26 Unempfindlicheres Substitut zur Erfindung des weltbekanntesten Preisstifters.
27 Wenn Anorganiker Reaktionskontrolle betreiben, ist das der Grundstein des Hard Rock und Rock'n'Roll.
29 Akronym für die gefährliche Interpretation von 26-Waagerecht.
31 von lat. »auslesen«; Präfix zahlreicher Hochschulen.
35 Stoff mit markantem Geruch, im Himmel ein Segen, auf der Erde ein Fluch.
38 Stephen Kings Horrorstory über Datenverarbeitung.
39 Einengendes Kreisen.
41 Wenn dir Saitama ein alkoholisches Getränk mit Obst drin ins Gesicht schlägt.
43 Schokoriegel der Firma Nestlé, benannt nach einer in Rudeln lebenden Großkatze.
45 Bakterielle Infektionskrankheit; Namensgebender Fluss einer deutschen Metropolregion.
47 Öl aus dem Speck von Seefischen/Walen.
49 Heißt in der Medizin MRT, weil nuclear so gefährlich klingt.

Protein-Engineering und Kunststoffabbau in einem interdisziplinären Arbeitskreis

Text: Yann Thele

Im Rahmen meines Praktikums in der Arbeitsgruppe Prof. Bornscheuer am Institut für Biochemie der Universität Greifswald lernte ich die Arbeitsschritte des „Protein-Engineering" kennen, also der Veränderung und Optimierung von Enzymen für verschiedene Anwendungen. Innerhalb der zwei Wochen unterstützte ich eine Vielzahl verschiedener Mitarbeiter des Instituts bei ihren Forschungsprojekten. Dazu zählen unter anderem die Suche nach optimalen Enzymen für den Abbau von Polyamiden oder die Oxidation von Aminen und die Steigerung der Substratspezifität eines Enzyms aus dem Aminosäurestoffwechsel.

Enzyme zählen zu den wohl mächtigsten Werkzeugen der Chemie. Mit ihnen lässt sich unter milden Bedingungen eine gewaltige Vielfalt an Reaktionen katalysieren. Diese Vielfalt ist aber in gewisser Weise auch die Ursache für die Notwendigkeit intensiver Forschungsbemühungen um ihre Nutzbarkeit: Die Enzyme, die in der Natur gefunden werden können, sind in der Regel nicht effizient genug für eine sinnvolle großtechnische Anwendung.

Meine Arbeit fand in Laboren der Sicherheitsstufe 1 statt. Das bedeutet, dass ich es mit gentechnisch veränderten Organismen (GVO) zu tun hatte, von denen jedoch keine Gefahr für die menschliche Gesundheit ausgeht. Zudem wäre die Mehrheit der eingesetzten Lebewesen in der Natur vermutlich nicht überlebensfähig. Dennoch muss vorsichtshalber stets darauf geachtet werden, dass keine GVOs in die Umwelt entweichen können. Infolge der Pandemiesituation mussten zudem jederzeit Schutzmasken getragen werden.

Da, wie häufig in der Biochemie und der Biotechnologie, mit dem Darmbakterium *Escherichia coli* gearbeitet wird, sind die in Bakterien vorkommenden Plasmide als Träger von Erbinformationen ein zentraler Gegenstand aller Betrachtungen. In meinem Praktikum isolierte ich mehrfach Plasmide aus Bakterien. Um die Träger der Erbinformationen von Proteinen, Membranbestandteilen und anderen unerwünschten Stoffen zu trennen, sind eine Reihe von Aufspaltungs-, Zentrifugations- und Waschschritten notwendig. Um Rückschlüsse auf die Qualität der Extraktion und die Größe der Plasmide zu ziehen, kann im Anschluss daran eine PCR (also eine DNA-Vervielfältigung) und eine Gelelektrophorese (also eine Auftrennung unterschiedlich großer DNA-Fragmente durch ein elektrisches Feld) durchgeführt werden. Eine Messung der DNA-Konzentration ist entweder über direkte Spektralphotometrie („NanoDrop™") oder mittels Absorptionsmessung unter Zuhilfenahme eines Fluoreszenzfarbstoffs, der sich in die DNA einlagert, möglich. Die Einführung von Fremdplasmiden in Bakterienzellen (Transformation) – und somit die Erzeugung gentechnisch veränderter Organismen – ist über verschiedene Methoden möglich. Einige Bakterienarten verfügen über eine sogenannte natürliche Kompetenz und nehmen Plasmide aus dem umliegenden Medium ganz von selbst auf. Bei *E. coli* ist dies jedoch nicht der Fall. Daher wird das Verfahren der Elektroporation verwendet. Dabei erhöht ein kurzer Stromfluss durch das Medium kurzzeitig die Permeabilität der Bakterienmembranen, was die Aufnahme fremder Plasmide ermöglicht. Da sich dadurch die Bakteriensuspension kurzzeitig stark erhitzt, muss diese nach der Elektroporation sofort durch die Zugabe von zusätzlichem Nährmedium gekühlt werden, um eine Zerstörung der Bakterien durch Hitze zu verhindern. Gleichzeitig werden die Bakterien mit einem Antibiotikaresistenzgen versehen. Eine anschließende Kultivierung in antibiotikahaltigem Nährmedium überleben so nur die erfolgreich veränderten Bakterien. Diese gentechnisch veränderten Organismen tragen nun neues Erbgut in sich, werden in einem Schüttelkolben bei üblicherweise 37 °C vermehrt und beginnen mit der Produktion des gewünschten Enzyms nach der Zugabe eines Aktivators (häufig Isopropyl-*β*-D-thiogalactopyranosid, das strukturell eng mit Laktose verwandt ist und verwendet wird, weil das Ablesen der „künstlichen" Plasmide über ein dem *lac*-Operon ähnliches Operon gesteuert wird). Um die produzierten Enzyme auf ihre Wirksamkeit zu untersuchen, müssen sie in Reinform gewonnen werden. Das bedeu-

„Enzyme zählen zu den wohl mächtigsten Werkzeugen der Chemie."

tet, dass sie von den Bakterien getrennt werden müssen. In einigen Fällen ist dies relativ einfach, weil die Zellen die Produkte selbstständig nach außen in das Nährmedium abgeben. Meistens aber ist für die Gewinnung des Enzyms eine Zerstörung der Bakterienzellen und eine anschließende Aufreinigung notwendig, weil sich das gewünschte Produkt im Cytoplasma oder in der Membran befindet. Während meines Praktikums wurde der Aufschluss der Zellen mithilfe einer Ultraschallsonde durchgeführt. Dabei wird die Hülle eines Bakteriums durch eine schnelle Folge von Ultraschallpulsen zerstört. Dabei ist eine Kühlung der Bakteriensuspensionen mit Eiswasser notwendig, damit es nicht zu einer die Proteine denaturierenden Überhitzung kommt. Im Anschluss an den Aufschluss wird eine Zentrifugation durchgeführt, um die festen Membranbestandteile von den gelösten Enzymen trennen zu können. Die Lösung wird nun über eine Säule per Affinitätschromatographie gereinigt. Die hergestellten Enzyme sind mit einem sogenannten Polyhistidin-Tag versehen. Wenn nun die Lösung aus der Zentrifugation eine Chromatographiesäule durchläuft, die Cobalt-Ionen enthält, bildet sich eine Komplexverbindung mit den Histidin-Ringen als Liganden. So verbleiben die markierten Enzyme im Säulenmaterial, während alle anderen gelösten Bestandteile die Säule durchqueren. Anschließend wird die Säule mit einer hochkonzentrierten Histidin-Lösung gewaschen, wodurch die Proteine aus dem Komplex verdrängt werden. Die Verwendung der Cobalt-Ionen hat den Vorteil der hohen Selektivität, wodurch das gesuchte Protein in einer sehr hohen Reinheit gewonnen werden kann. Dies geht jedoch nur auf Kosten der Ausbeute. Beim Einsatz von Nickel-Ionen als Alternative würde vom gewünschten Protein fast nichts verloren gehen, allerdings wären wesentlich mehr Verunreinigungen, zum Beispiel andere Proteine, enthalten.

Das gezielte Design hocheffizienter Enzyme über Computermodelle ist aktuell nur äußerst begrenzt möglich. Daher ist es notwendig, im Prozess der Enzymoptimierung verschiedene Varianten eines Enzyms zu erzeugen, vornehmlich durch den Austausch einzelner Aminosäuren. Im Rahmen eines sogenannten „Hochdurchsatz-Screenings“ untersucht eine Maschine in hoher Geschwindigkeit die Aktivität verschiedener Enzymvariationen über photometrische Messungen. Dafür werden diese zuvor auf einer Mikrotiterplatte mit dem entsprechenden Substrat gemischt. Die photometrische Messung kann durch eine Reaktion mit Farbumschlag vereinfacht werden. Beispielsweise entstand bei einer untersuchten Reaktion Wasserstoffperoxid als Nebenprodukt, das in einer Folgereaktion eine farblose Chemikalie zu einem pinken Farbstoff oxidierte. Neben diesem „klassischen“ Ablauf war ich während meines Praktikums noch an anderen Tätigkeiten beteiligt. Dazu gehören typische Routinearbeiten wie beispielsweise das Gießen von Agarplatten für die Bakterienkultivierung oder die Herstellung von Pufferlösungen. Zudem half ich beim Beginn eines Forschungsprojektes, bei dem am Ende eine photochemisch aktive, nicht natürlich vorkommende α-Aminosäure in Enzyme eingebaut werden sollte, um photochemische Enzymreaktionen zu entwickeln. Dafür wurde zunächst eine von den Mitarbeitern des Instituts selbst gebaute Vorrichtung zur Durchführung photochemischer Reaktionen getestet, indem einige bereits bekannte Kupplungsreaktionen zwischen Ethylbenzol und verschiedenen Vinylen mit Benzophenon als Katalysator durchgeführt wurden und mit einer Dünnschichtchromatographie (DC) nach Produkten gesucht wurde. Diese Vorrichtung beinhaltet mehrere UV-Lampen sowie einige kleine Ventilatoren zur Kühlung. Gesteuert wird die Gerätschaft über einen Raspberry Pi, also einen kleinen Einplatinencomputer. DC und Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) wurden auch bei einer anderen Gelegenheit zur Untersuchung physiologisch aktiver Ester verwendet. Außerdem verbrachte ich einen Tag damit, Enzymlösungen anzusetzen und eine Mikrotiterplatte zu befüllen. Die Beschäftigung mit dem Polyamid-Abbau fand im „Center for Functional Genomics“ (kurz „C_FunGene“), einem interdisziplinär ausgerichteten Laborgebäude außerhalb des eigentlichen Instituts für Biochemie statt. Für die Arbeit mit den Kunststoffen half ich bei der Erzeugung einer Nylonsuspension mit einer geringen Partikelgröße, um den Enzymen eine große Angriffsfläche zu bieten. Dafür wurde zunächst Nylon in Ameisensäure gelöst und diese Lösung unter starkem Rühren in Wasser getropft, wodurch der Kunststoff ausfiel. Langfristig soll durch diese Forschung der enzymatische Abbau großer massiver Plastikkörper möglich werden. Gegen Ende meines Praktikums lernte ich noch die Arbeit mit einem Roboter im Besitz des Instituts kennen. Mit diesem ist unter Anwendung einer integrierten Benutzeroberfläche am Computer (oder eleganter und wirkmächtiger: eines

„Die Enzyme, die in der Natur gefunden werden können, sind in der Regel nicht effizient genug für eine sinnvolle großtechnische Anwendung.“

Python-Skriptes) die Automatisierung vieler Arbeitsschritte, zum Beispiel das Hochdurchsatz-Screening, möglich. Leider bestanden jedoch noch einige technische Schwierigkeiten.
Insgesamt hat mir das Praktikum große Freude bereitet und ich erhielt die Möglichkeit, in einem recht multidisziplinären Arbeitsumfeld (bestehend aus Biologen, Chemikern, Biochemikern und Pharmazeuten) eine Vielzahl biochemischer Arbeitsmethoden kennenzulernen. Die Betreuer waren sehr engagiert und stets daran interessiert, mir auch die theoretischen Hintergründe der ausgeführten Arbeiten zu erläutern. Daher halte ich dieses Praktikum für überaus empfehlenswert und bewerte es sehr positiv, dass der FChO es anbietet.

Als Chemiker:in bei der Bahn – völlig abgefahren!?

Text: Maximillian Fellert

Viele Chemiker:innen in Deutschland haben in ihrem Leben sicherlich schon einmal mit der Deutschen Bahn zu tun gehabt – vermutlich jedoch eher mit ausgefallenen Klimaanlagen oder einer umgekehrten Wagenreihung als mit der Deutschen Bahn als Arbeitgeber. Im ersten Halbjahr 2020 habe ich beide Welten erlebt und möchte im folgenden Artikel meine Erlebnisse als Praktikant bei der internen Unternehmensberatung der Deutschen Bahn schildern.

Warum Unternehmensberatung?
In meinem Bachelor-Studium dachte ich noch, dass ich auf jeden Fall den „klassischen Weg“ vieler Chemiker:innen gehe. Bachelor, Master, Promotion, Laborleitung. Doch während des Masters begann ich, mir auch Gedanken über alternative Berufsfelder zu machen. Dabei kam mir auch die Unternehmensberatungsbranche in den Sinn, wobei ich diese zunächst vor allem mit den „gängigen Klischees“ verband – ständig auf Dienstreise, Arbeiten bis in die Nacht und Erstellung von Hochglanzfolien als Hauptaufgabe. Dennoch reizte mich die Möglichkeit, mich binnen kürzester Zeit in ein neues Thema einzuarbeiten, die Problemstellung zu analysieren und effektive, aber auch kreative Lösungen zu finden.
In dieser Hinsicht unterscheidet sich die Arbeit in der Unternehmensberatung gar nicht so sehr vom Beginn eines neuen Syntheseprojektes im Labor. Man definiert ein Zielmolekül, liest die zugrundeliegende Literatur, stellt einen Syntheseplan auf – und ist dann die meiste Zeit damit beschäftigt, eine kreative Lösung für all die Unwägbarkeiten der Synthese im Labor zu finden. Als Vollblut-Organiker folgte ich dem Motto „Probieren geht über Studieren“ und beschloss, mich für ein Praktikum in der Unternehmensberatung zu bewerben.

Warum die Deutsche Bahn als Arbeitgeber?
Dies erklärt aber noch nicht, warum ich schließlich bei der Deutschen Bahn gelandet bin. Ich hätte, wie viele andere auch, zu einer der vielen Strategieberatungen gehen können. Dort hätte man mich ob meines Hintergrunds als Chemiker vermutlich auf ein Projekt in der Pharma- oder Chemiebranche gesetzt, aber eher nicht in den Bereich Mobilität.
Mich bei drei der auf den Mobilitätssektor spezialisierten Beratungen zu bewerben, war eine Entscheidung aus Leidenschaft. Da ich aus Überzeugung Bahnfahrer bin, kenne ich das Reisen mit der Bahn im Fernverkehr und im ÖPNV sehr gut aus der Reisendenperspektive. Immer wieder fallen mir bei Fahrten kleinere Dinge auf, die man verbessern könnte: Warum gibt es noch keine App, in der ich für alle Verkehrsverbünde ein Ticket kaufen kann? Oder warum kann ich bei einer Verspätung die Entschädigungszahlung nicht online beantragen?
Die Möglichkeit, bei genau diesen Fragen hinter die Kulissen schauen und vielleicht sogar direkt etwas umsetzen zu können, war der Grund, mich für die Deutsche Bahn zu entscheiden. Obwohl diese Entscheidung bereits nach dem Bewerbungsgespräch und der schnellen Zusage der Bahn feststand, führte ich dennoch drei weitere Bewerbungsgespräche bei anderen Beratungen. Denn ich hatte ja einerseits nichts zu verlieren und andererseits gaben mir die Gespräche die Möglichkeit, das Führen von Bewerbungsgesprächen zu üben und weitere Erfahrungen zu sammeln.

Das Bewerbungsgespräch
Bewerbungsgespräche hatte ich schon länger nicht mehr geführt, erst recht nicht für ein Praktikum in der Unterneh-

mensberatung. Daher begann ich, mit einem der einschlägigen Bücher Cases zu üben – also Fallstudien, in denen man sein analytisches Denken und das Kommunizieren von Lösungsstrategien unter Beweis stellen soll.
Hier werde ich nur über das Bewerbungsgespräch bei DB Management Consulting berichten, die anderen Bewerbungsgespräche liefen aber ähnlich ab. Das Bewerbungsgespräch fand noch in Zeiten vor Corona statt. Dennoch konnte ich mich entscheiden, ob ich die jeweils vier Stunden Fahrtzeit von Zürich nach Frankfurt auf mich nehmen oder per Videochat teilnehmen wollte. Ich entschied mich für ein persönliches Gespräch, da ich mir im physischen Miteinander einen Eindruck machen wollte.
Das Gespräch gliederte sich in drei Teile. Im ersten Teil sollte ich meinen Werdegang und meine Motivation für das Praktikum schildern. Dazu sollte ich zwei PowerPoint-Folien nutzen, die ich etwa zwei Wochen vor dem Gespräch zusenden sollte. Recht pfiffig, so konnte direkt überprüft werden, wie es um meine graphischen Fähigkeiten bestellt ist, denn am Klischee des fortwährenden Folienerstellens ist tatsächlich etwas dran.
Der zweite Teil des Bewerbungsgesprächs bestand aus einer Case-Study. Die Aufgabe bestand darin, die finanziellen Auswirkungen der Aufstockung des Sicherheitspersonals im S-Bahn-Netz einer deutschen Großstadt abzuschätzen. Ich bekam fünf Minuten Bedenkzeit, in der die beiden Mitarbeiter auch den Raum verließen. Danach wurde ich gebeten, meine Überlegungen mithilfe einer Flipchart zu skizzieren und zu erklären. Auch wenn ich als Chemiker bis dahin noch keinen Gedanken an Personalplanung bei der Bahn verschwendet hatte, konnte ich die mir gestellte Aufgabe mit ein bisschen logischem Denken lösen. Der Fokus liegt hierbei darauf, wie strukturiert und nachvollziehbar die eigenen Überlegungen begründet werden und wie auf etwaige Nachfragen reagiert wird. Im letzten Teil des Gesprächs wurde mir dann das Unternehmen etwas nähergebracht und ich erhielt die Möglichkeit, Fragen zu stellen

Abb.1 . Ausbesserungswerk Dessau.

Das Leben als Praktikant in der Unternehmensberatung

In der Unternehmensberatung ist es wie im Labor: Kein Tag gleicht so richtig dem anderen und man weiß morgens oft nicht so genau, was man bis abends alles machen wird. Der typische Tagesablauf unterschied sich sehr zwischen der Zeit vor und der Zeit während Corona.
Mein Praktikum begann im Januar 2020, sodass ich typische Beraterwochen erleben konnte: Montagsmorgens in den Zug steigen, am Abend ins Hotel einchecken, Donnerstagnachmittag wieder nach Hause reisen und den Freitag im Home-Office verbringen. Mein Projektstandort war Frankfurt, ich konnte jedoch meinen Wohnsitz behalten, was hieß, dass ich jede Woche pendelte. An den ersten beiden Arbeitstagen standen eine Excel- und PowerPoint-Schulung sowie eine allgemeine Einführung ins Unternehmen auf dem Programm. Es fingen zwölf Praktikant:innen gleichzeitig an, sodass ich gleich ein paar Mit-Praktikant:innen fand, deren Projektstandort ebenfalls Frankfurt war. Erfreulicherweise entwickelte sich unter uns „Frankfurter Praktikant:innen“ schnell eine gute Stimmung und Freundschaft, sodass wir uns an jedem Mittwochabend gegenseitig in unseren Hotels besuchten, um die neueste Folge des „Bachelors“ zu gucken.
Am dritten Tag arbeitete ich dann das erste Mal mit meinem Projekt-Team. Wie bei vermutlich jedem Praktikum musste zunächst eine Aufgabe für mich gefunden werden. Nach ein bis zwei Wochen hatte ich mich dann gut ins Team eingefunden und durfte erste kleinere Arbeitspakete selbstständig bearbeiten.

„In der Unternehmensberatung ist es wie im Labor“

Ich war Teil eines Projekts, das sich mit der Definition und Implementierung neuer Kennzahlen für die Fahrzeuginstandhaltung beschäftigt. Die Deutsche Bahn hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Fahrzeuginstandhaltung, d.h. die Wartung und Reparatur von Loks, ICEs, Waggons etc., auf eine möglichst hohe Verfügbarkeit an Fahrzeugen auszurichten. Daher sollten alle bisherigen Kennzahlen, die vor allem finanziell orientiert waren, auf den Prüfstand gestellt und ggf. angepasst werden.
Ich stieß in einer Phase des Projekts zum Team, in dem die Definition der Kennzahlen auf dem Papier schon abgeschlossen war und nun die in den Betrieben vorhandenen Datenquellen zusammengeführt und managementgerecht aufbereitet werden mussten. Konkret bedeutete dies, dass ich eine riesige Excel-Tabelle erstellte, die automatisch alle benötigten Daten aus Tabellen abgriff, die von den einzelnen Mitarbeiter:innen ausgefüllt wurden. Anschließend bereitete ich die Daten auf und überführte sie in eine PowerPoint-Präsentation, die sich automatisch aktuali-

siert und monatlich dem Konzernvorstand vorgestellt wird. In dieser Zeit habe ich viel über die Möglichkeiten und Unmöglichkeiten von Excel- und PowerPoint und die Kompatibilität von Firmenhardware gelernt, aber auch, dass in einem Großkonzern nicht immer alles einfach und problemlos läuft. Dennoch konnte ich bis Mitte März einen ersten Prototypen erstellen, auch wenn ich mich dank einer knappen Deadline nur eine Woche lang darin ausprobieren konnte, wie es ist, jeden Abend im Hotel noch an Excel-Tabellen zu arbeiten.

„eine gewisse Frustrationstoleranz sowie die Fähigkeiten zum analytischen Denken und kreativer Lösungsfindung“

Neben meiner Arbeit an der Excel-Tabelle war ich viel mit der Dokumentation meiner Arbeit, d.h. dem Erstellen von PowerPoint-Folien für meinen Projektleiter, beschäftigt und lernte dabei, alles zur Vermeidung von späteren Missverständnissen genau zu dokumentieren. Zudem durfte ich einige Aufgaben des Projektmanagements wie das Organisieren und Leiten von Meetings übernehmen und das Team des Change-Managements bei der Moderation und Dokumentation von Workshops unterstützen.

Das Praktikum in Zeiten von Corona

Natürlich hatte der Ausbruch der COVID-19-Pandemie auch Auswirkungen auf mein Praktikum. Mitte März wurden alle Berater:innen der Deutschen Bahn bis auf Weiteres ins Home Office geschickt. Doch nicht nur mein Arbeitsort, sondern auch mein Projekt änderte sich. Kurzfristig wurden die Kapazitäten der internen Beratung unter anderem dazu gebraucht, ein datenbasiertes Simulationsmodell für die Versorgung der Fahrzeuginstandhaltung mit Ersatzteilen in Zeiten der COVID-19-Pandemie zu erstellen. So durfte ich mich acht Wochen lang als Data Scientist versuchen, auch wenn ich bisher noch nichts mit Data Science am Hut hatte. So brachte ich mir selbstständig Grundlagen in der Datenbereinigung, -analyse und -visualisierung mit PowerBI und Tableau bei und erstellte ein Dashboard, in dem die prognostizierte Reichweite von Ersatzteilen und deren Auswirkung auf die Verfügbarkeit von Schienenfahrzeugen dargestellt wurde.

Hier fühlte sich das Praktikum etwas wie freie Forschung im Labor an. Ich hatte die Möglichkeit, mich in etwas für mich völlig Neues einzuarbeiten und verschiedene „Daten-Experimente“ durchzuführen, was mir sehr viel Spaß gemacht hat.

Nach acht Wochen endete dieses Zwischenprojekt und ich war wieder Teil meines ursprünglichen Projekts in der Fahrzeuginstandhaltung. Gegen Ende des Praktikums konnte ich mir dann noch einen Wunsch erfüllen. Zu Beginn des Praktikums hatte ich darum gebeten, ein Werk der Fahrzeuginstandhaltung von innen sehen zu können. Passenderweise war für die letzten Wochen meines Praktikums eine Pilotierung des neuen Kennzahlensystem in einem ersten Werk geplant. So konnte ich für eine Woche an den Standort Dessau reisen, mich zusammen mit meinem Projektleiter den kritischen Fragen der Mitarbeiter:innen vor Ort stellen und natürlich einen Blick in die Werkstätten und Hallen des Werkes werfen.

Was nehme ich aus dem Praktikum mit?

Nach fast genau sechs Monaten endete mein Praktikum Anfang Juni mit der Abgabe des Dienstrechners und -handys. Ich blicke auf eine interessante und lehrreiche Zeit bei der Deutschen Bahn zurück. So konnte ich mir hautnah einen Eindruck davon verschaffen, wie es ist, beruflich viel zu reisen, in schicken Hotels zu übernachten und auch das ein oder andere Mal an die Grenzen der Leistungsfähigkeit zu gehen.

Für mich bietet die Unternehmensberatung viel Abwechslung und die Möglichkeit, sich mit vielen verschiedenen Themen und Methoden zu beschäftigen und in kurzer Zeit viel zu lernen. Es herrscht aber auch häufig Termindruck und es gibt immer etwas, das fertiggestellt werden muss.

Doch auch für meine Promotion nehme ich den ein oder anderen Trick für Excel, einen ganz neuen Blick auf das Erstellen von PowerPoint-Folien und einige wirklich hilfreiche Tools aus dem Projekt- und Zeitmanagement mit. Gerade für mich als Chemiker war es eine erfrischende Abwechslung, in einer anderen Branche zu arbeiten, Industrieerfahrung in einem Großkonzern zu sammeln und in einem Job zu arbeiten, bei dem es vor allem auf Kommunikation ankommt. Doch auch Unternehmensberatungen können von Chemiker:innen profitieren, die im Studium und im Labor eine gewisse Frustrationstoleranz sowie die Fähigkeiten zum analytischen Denken und kreativer Lösungsfindung erworben haben.

Fachartikel

Von Versen und Farben

Text: Truc Lam Pham

Der berühmte deutsche „Dichterfürst“ hat sich während seines 82 Jahre langen Lebens bei Weiten nicht nur mit den schönen Künsten befasst. Sein Interesse für die Naturwissenschaften zeigte Goethe nicht nur in seinem literarischen Schaffen oder seinen politischen Ämtern, sondern er versuchte auch, selbst einen Beitrag als Forscher zu leisten.

Die wohl bekannteste Reaktionsgleichung über Quecksilberverbindungen (Quecksilberchlorid wurde mit eher minderem Erfolg in der Alchemie als Heilmittel gegen Syphilis eingesetzt) aus dem Deutschunterricht lautet:

$$HgO + 2\,HCl \rightarrow HgCl_2 + H_2O$$

Sie wird in etwas kryptischer Sprache im Drama *Faust I* erwähnt.[1] Der Autor Johann Wolfgang von Goethe erwähnte diese Reaktion nicht nur als zusätzlichen „Fun-Fact“, den er irgendwo aufgeschnappt hat. Im Gegensatz zu den Erwartungen mancher hat sich Goethe sogar sehr intensiv mit den Naturwissenschaften, insbesondere als leidenschaftlicher Experimentator, befasst. Warum dies nicht mehr in den meisten unserer Köpfe präsent ist, ist wahrscheinlich darin begründet, dass seine Leistungen im literarischen Bereich viele andere Aspekte seines Lebens überstrahlen. Dennoch lohnt sich auch ein chemischer Blick auf ihn, denn während seines Lebens durfte er viele Neuerungen der Chemie, die heute Lehrbuchwissen sind, hautnah miterleben und trug durch seine wissenschaftspolitischen Entscheidungen zur Förderung der Chemie bei.

In einer wohlhabenden Frankfurter Familie geboren (biografische Informationen entnommen aus Lit. [1, 6-9]), erhielt Goethe eine umfassende Allgemeinbildung, bevor er mit 16 Jahren sein Jurastudium in Leipzig auf Wunsch seines Vaters, der selbst Jurist war, aufnahm. Er erkrankte 1768 schwer und musste deshalb in sein Elternhaus zurückkehren. Dort befasste er sich auf Anraten seiner Heilkundigen mit alchemistischen Schriften, die eine große Begeisterung in ihm weckten. Kaum wieder gesund, richtete er sich ein kleines Heimlabor ein (wie seine Eltern dazu standen, ist nicht überliefert) und führte dort einige, auch nicht ganz ungefährliche Versuche, wie die Darstellung von Natriumsilikat durch das Auflösen von Kieselsteinen (SiO_2) in geschmolzenem Natriumhydroxid (T_m = 323 °C), erfolgreich durch, womit er erstmals sein experimentelles Geschick unter Beweis stellte. 1770 ging er dann nach Straßburg und schloss ein Jahr später sein Studium ab, kehrte nach Frankfurt zurück und arbeitete dort als Anwalt. Seinem Vater reichte das nicht aus, wollte er seinen Sohn doch im höheren Staatsdienst sehen. Dieser Wunsch sollte ihm tatsächlich erfüllt werden, wenn auch ganz anders als von ihm erwartet, denn Goethe widmete sich mehr der Literatur und fand seinen eigentlichen Job langweilig. 1773 wurde das Drama *Götz von Berlichingen* veröffentlicht und Goethe erlangte deutschlandweit Bekanntheit,[2] dessen Erfolg er ein Jahr später mit *Die Leiden des jungen Werther* noch überflügelte.[3] Manch einem, der diesen Roman im Unterricht lesen musste, wird es schwer vorstellbar erscheinen, dass ausgerechnet das junge Publikum damals begeistert darauf reagierte, während die Kirche und andere Moralapostel zur Zensur aufriefen, wodurch Goethe natürlich noch bekannter wurde. 1775 lud der gerade erst volljährig gewordene Herzog Carl August von Sachsen-Weimar-Eisenach den berühmten Dichter zu sich an den Weimarer Hof ein. Im folgenden Jahr trat Goethe dann den Staatsdienst an. Zwischen Carl August und Goethe entwickelte sich eine enge Freundschaft, die über 50 Jahre bis zum Tod des Herzogs bestand und so einige politische Umwälzungen überdauerte.

„Goethe erwähnte diese Reaktion nicht nur als zusätzlichen „Fun-Fact“

Goethe übernahm im Staatsdienst diverse Aufgaben, von denen hier die mit der Chemie in Verbindung stehenden herausgegriffen werden sollen. Durch seine amtliche Beschäftigung mit dem Bergbau wurde Goethe die Bedeutung der anorganischen Analytik (damals: nasschemische Nachweise und Lötrohrprobe) bewusst, mit welcher die Zusammensetzung der Metallerze bestimmt wurde. Auch war Goethe an der Organisation der Universität in Jena beteiligt, die heute nach seinem Freund Friedrich Schiller benannt ist. Zu Goethes erstem chemischen Berater wurde für über 20 Jahre der Hofarzt des Herzogs Wilhelm H. S. Buchholz, der sich wie Goethe neben seinen amtlichen Tätigkeiten mit Chemie beschäftigte. 1789 setzte sich Goethe erfolgreich für eine Professur ausschließlich für Chemie ein, auf die Johann F. A. Göttling berufen wurde. Zur damaligen Zeit waren die Universitäten in

die vier Fakultäten Theologie, Rechtswissenschaften, Medizin und Philosophie unterteilt. Die Chemie war eine Hilfswissenschaft und wurde in der Regel von den Medizinern nebenher betrieben. Die neugeschaffene Chemieprofessur, die dazu noch in der philosophischen Fakultät angesiedelt wurde, stellte daher ein Novum dar. Göttling erneuerte die Chemieausbildung, führte Experimentalvorlesungen ein und konnte sich dabei der Unterstützung Goethes sicher sein. Dieser musste anfangs insbesondere die Mediziner überzeugen, da diese nicht zum Herausrücken der Chemie bereit waren. Erwähnenswert ist noch, dass Göttling einer der ersten war, der Experimentierkästen sowohl für professionelle Naturforscher als eine Art Feldlabor als auch für den Schulunterricht sowie für Laien zu Hause entwarf. Das Besondere hierbei war, dass ein Experimentierheft beigefügt wurde, das sowohl zum Versuch anleitete als auch Erklärungen der Beobachtungen auf dem damaligen neusten Stand erhielten und dem Laien somit fundierte, wissenschaftliche Informationen für etwas gaben, was im ersten Moment wie Zauberei erschien. Auch Goethe hatte seine Freude mit diesem „Probir-Cabinet". Nach Göttlings Tod wurde 1810 der bis heute berühmte Johann W. Döbereiner (Platinkatalyse, Triadenlehre) zum Chemieprofessor berufen. Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit führte Döbereiner das chemische Praktikum ein. Die notwendigen Geldmittel für einen neuen Praktikumssaal mit Ausstattung wurden dabei von Goethe beschafft. Mit den Jenaer Forschern stand Goethe nicht nur im regen Austausch, er besuchte alle regelmäßig im Labor, ließ sich die neusten Erkenntnisse praktisch vorführen und fand ab und zu auch Gelegenheit, selbst Hand anzulegen. Goethe besaß eine ganze Reihe von Chemielehrbüchern und war über die Widerlegung der Phlogistontheorie durch Lavoisier (1790) genauso informiert wie über Daltons Atomtheorie (1808) oder den Beginn der organischen Chemie, die nur kurz vor seinem eigenen Tod 1832 von Liebig und Wöhler begründet wurde. Darüber hinaus stand Goethe mit vielen zu seinen Lebzeiten bedeutenden Naturforschern wie Lichtenberg, Humboldt und Berzelius in Kontakt.

Bis hierhin haben wir Goethe nun vor allem als begeisterten, wissensdurstigen Hobbychemiker, Wissenschaftspolitiker und -förderer kennengelernt. Schon das allein sind große Verdienste. Aber hat Goethe selbst auch Fachliches zur Chemie beigetragen? Goethe verstand sich selbst nie nur als bloßen Konsumenten, der sich an den neuen Entdeckungen erfreute und seinen Beitrag auf finanzielle Unterstützung beschränkte.

Einerseits hat er der Chemie in vielen seiner Werke Denkmäler gesetzt. Alle Lesenden, die seine Werke verstehen möchten, und das sind in der Regel Geisteswissenschaftler, werden dazu ermutigt, sich mit Chemie zu befassen. Das Drama Faust wurde zu Beginn schon erwähnt, noch „chemischer" aber ist der Roman *Die Wahlverwandtschaften*.[4] Hier überträgt Goethe das Konzept chemischer Affinitäten auf eine Liebesbeziehung. Das reiche Ehepaar Eduard und Charlotte verbringt ein ruhiges Leben auf ihrem Landsitz, bis Eduards alter Freund, der Hauptmann, sowie Charlottes Nichte Ottilien in ihr Leben eintreten. Das Ehepaar spürt, wie die Bindung zueinander immer schwächer wird, während sich Eduard zu Ottilien und Charlotte zum Hauptmann hingezogen fühlen. Gesellschaftliche Konventionen und moralische Ansichten zu Goethes Lebzeiten verhindern aber den „natürlichen" Partnertausch, sodass als theoretische Lösung nur die Entsagung in Betracht kommt. Jedoch sind die Triebkräfte stärker und so tritt die Katastrophe ein. Innerhalb des Romans sprechen die Protagonisten tatsächlich miteinander über Chemie (inklusive Witze über das ursprüngliche Wort „Scheidekunst"), vergleichen ihre Situation scherzhaft mit einer Säure-Base-Reaktion und bestellen das bereits erwähnte „Probir-Cabinet", um chemische Wahlverwandtschaften besser begreifen zu können.

„Selbst von der Naturforschung begeistert, förderte er als Staatsmann begabte Chemiker"

Goethe war, nicht nur aus der amtlichen Verbindung zum Bergbau, fasziniert von Steinen. Seine Sammlung (die natürlich aus mehr als nur Steinen besteht) erweiterte er bei jeder Reise und schickte Proben zu den Jenaer Chemikern, wodurch er auch auf ihre Forschungsarbeit direkten Einfluss nahm. Die umfangreiche Sammlung ist immer noch erhalten und zum Teil auch digitalisiert.[13]

Schlussendlich war Goethe auch Experimentalchemiker, insbesondere im Bereich der farbigen Verbindungen. Sein Interesse hierzu wurde während seiner zweijährigen Italienreise (1786 – 1788) geweckt, bei der er sich zwar hauptsächlich mit kulturellen Aspekten der Antike beschäftigte, aber auch einige naturwissenschaftliche Gelegenheiten, wie etwa die Besteigung der Vulkane Vesuv und Ätna (inklusive des Sammelns von Steinen), ließ er sich nicht entgehen.

Eigentlich hatte bereits Newton mit der Zerlegung des weiß erscheinenden Sonnenlichts durch das Prisma die Farben korrekt gedeutet. Dieser erkannte auch, dass Stoffe farbig sind, weil sie nur einen Teil des Lichtspektrums absorbie-

ren und die übriggebliebenen Lichtstrahlen ins Auge gelangen und dort den Farbeindruck verursachen. 1810 legte Goethe in *Zur Farbenlehre* seine eigenen Theorien dar.[5] Diesem Werk maß er sogar mehr Bedeutung

„Goethe war […] fasziniert von Steinen."

bei als seinem poetischen Schaffen und glaubte, als einziger die Wahrheit über Farben zu kennen. Licht (weiß) sollte unteilbar sein und Farben zwischen Licht und Finsternis (schwarz) liegen, wobei Gelb am nächsten zum Licht und Blau am nächsten zur Finsternis liegen würden. Hier muss die Frage aufgeworfen werden, wie der sonst so gut informierte Goethe sich irren konnte. Hat er sich einfach nicht genau genug mit Newtons Schriften befasst? Das ist klar zu verneinen. Goethe hat nicht nur Newtons Werk, sondern auch viele weitere bis zurück zur Antike studiert, die sich mit Farben befassen und sie in *Zur Farbenlehre* korrekt zusammengefasst. Ist seine Farbenlehre ein reines Gedankenkonstrukt oder hat er empirische Befunde? Letzteres ist der Fall: Goethe begann 1790 mit systematischen Versuchen, von denen sich auch zahlreiche mit Farbstoffchemie befassten. Beispielsweise extrahierte er farbige Verbindungen aus 39 verschiedenen Pflanzen und beobachtete Farbveränderungen bei Zugabe von Säuren und Laugen. Kann es vielleicht sein, dass seine Versuche nicht korrekt durchgeführt wurden und die Ergebnisse nicht reproduzierbar sind? Hier ist zuerst anzumerken, dass schon seine Zeitgenossen nicht an Goethes Beobachtungen zweifelten, vielmehr versuchten sie ihm immer wieder zu erklären, dass die Ergebnisse seiner Versuche durch die Annahmen Newtons erklärbar sind. Außerdem wurden einige seiner Versuche wiederholt und lassen klar den Schluss zu, dass sowohl die Beschreibung der Versuchsdurchführung als auch die Wiedergabe der Beobachtungen vollkommen korrekt erfolgte.[10,11] Das größte Problem Goethes war, dass ein ganzes Kapitel („polemischer Teil") aus teilweise persönlichen Angriffen gegenüber Newton bestand (der fast ein Jahrhundert zuvor verstorben war), die emotionale Gründe aufzeigen und bei seinen befreundeten Naturwissenschaftlern überhaupt nicht gut ankamen. Dies führte dazu, dass er in Bezug auf Farben (außer in der bildenden Kunst) einfach ignoriert wurde. Das ist schade, denn neben der Polemik und seinem Versuch, die Farbentstehung physikalisch zu deuten, umfasst das Werk den bereits erwähnten Teil zur Farbstoffchemie, einen Überblick über bisherige Theorien über Farben, sowie einen Teil zu Farbwahrnehmung, inklusive optischer Täuschungen, die durchaus fundiert sind.[12]
Goethes Wirken in der Chemie ist damit sehr vielfältig. Selbst von der Naturforschung begeistert, förderte er als Staatsmann begabte Chemiker, verwob als Dichter die Chemie in seine literarischen Werke und machte sie dadurch einem breiten Publikum bekannt. Nicht zuletzt war er selbst als begnadeter Experimentator und scharfer Beobachter mit allem ausgestattet, um selbst ein erfolgreicher Chemiker zu sein, hätte er nur seinen Fokus hierauf gelegt.

Literaturverzeichnis:
Verwendete Ausgaben der erwähnte Werke Goethes:
[1] J. W. Goethe: Faust – Der Tragödie erster Teil, Erarbeitet und mit Anmerkungen versehen von F. Waldherr, Hrsg.: J. Diekhans, Schöningh Verlag, Paderborn, **2013**.
[2] J. W. Goethe: Götz von Berlichingen, Anmerkungen von V. Neuhaus, Reclam, Stuttgart, **2014**.
[3] J. W. Goethe: Die Leiden des jungen Werther, Nachwort von E. Beutler, Reclam, Stuttgart, **2014**.
[4] J. W. Goethe: Die Wahlverwandtschaften, Nachwort von B. Jeßling, Reclam, Stuttgart, **2015**.
[5] J. W. Goethe: Zur Farbenlehre, Hrsg.: K. M. Guth, Contumax – Hofenberg, Berlin, **2016**.

Goethe-Biografien mit chemischem Bezug:
[6] G. Schwedt: Goethe als Chemiker, Springer-Verlag, Heidelberg, **1998**.
[7] P. Walden: Goethe und die Chemie (Teil 1), *Angew. Chem.*, **1930**, *43(36)*, 792–797.
[8] P. Walden: Goethe und die Chemie (Teil 2), *Angew. Chem.*, **1930**, *43(38)*, 847–850.
[9] P. Walden: Goethe und die Chemie (Teil 3), *Angew. Chem.*, **1930**, *43(39)*, 864–868.

Publikationen, die sich auf Goethes Experimentalchemie beziehen:
[10] G. Schwedt: Goethes Experimente mit „chemischen Farben", *Chem. Unserer Zeit*, **1999**, *33(4)*, 206–211.
[11] G. Schwedt, H. Schmidkunz: Goethes chemische Experimente, Aulis Verlag, Köln, **1999**.
[12] V. Schüller: Goethe versus Newton, *Phys. Bl.*, **1999**, *55(12)*, 62–66.

Digitales Angebot der Klassik Stiftung Weimar zu Goethes naturwissenschaftlicher Sammlung:
[13] https://www.klassik-stiftung.de/ihr-besuch/ausstellungen/abenteuer-der-vernunft/

„Chemie – die stimmt!“ in Zeiten von Corona

Text: Daniel Weidig und Nils Rendel

Auch der Mittelstufenwettberwerb „Chemie - die Stimmt!“ musste sich den neuen Umständen anpassen. Wo eigentlich für die Schüler:innen Präsenzsrunden geplant waren, mussten innerhalb kürzester Zeit neue Formate gefunden werden. Ein Rückblick auf ein interessantes Wettbewerbsjahr.

Bis Ende November des Jahres 2019 konnten die Schüler:innen die Lösungen der ersten Runde von „Chemie – die stimmt!“ einreichen. Die besten 30 der jeweiligen Stufe in jedem Bundesland qualifizieren sich für die zweite Runde, die in zwölf Bundesländern zeitgleich stattfindet. Diese wird als eine eintägige Veranstaltung durchgeführt. Auf die Schüler wartet neben einer theoretischen Klausur noch eine Experimentalvorlesung mit anschließender Siegerehrung. Die zweite Runde sollte am 18.03.2020 stattfinden. Als Anfang März die ersten Universitäten derartige Veranstaltungen absagten, haben

„Anfang März waren wir noch zuversichtlich, dass die zweite Runde bis auf einige Ausnahmen problemlos durchgeführt werden könnte“

wir für einzelne Bundesländer nach Sonderlösungen gesucht. Anfang März waren wir noch zuversichtlich, dass die zweite Runde bis auf einige Ausnahmen problemlos durchgeführt werden könnte. So wurde beispielsweise überlegt, die zweite Runde in NRW an den Schulen zu schreiben. Insgesamt war die Zeit zwischen den ersten Absagen und der flächendeckenden Schließungen ziemlich chaotisch. Jedes Land hatte eigene Regeln und teilweise hatten die Austragungsstätten wiederum andere Regeln. So war es ein großer Aufwand, festzustellen, ob die zweite Runde noch stattfinden konnte oder nicht. Letztendlich mussten wir Mitte März die geplante zweite Runde und auch bisher geplante Alternativen an Schulen aufgrund der Schließung von Austragungsorten wie Universitäten und Schulen über den Haufen werfen. Wir wollten aber unbedingt „Chemie – die stimmt!“ als Wettbewerb weiter durchführen. In unzähligen Skype-Konferenzen haben wir diskutiert, ob und wie wir eine zweite Runde konzipieren können. Letztendlich haben wir uns dafür entschieden, eine zweite Hausaufgabenrunde bereitzustellen. Das Problem war, dass die Aufgaben für die Klausur in Präsenz nicht für eine Hausaufgabenrunde geeignet waren. Dank vieler Engagierter rund um den FChO konnten innerhalb kürzester Zeit 15 Aufgaben ausgearbeitet werden. Die Erstellung von geeigneten Aufgaben war relativ komplex, da die Schüler aufgrund der Hausaufgabenrunde das Internet zu Verfügung hatten.
Anschließend konnten die Schüler:innen die Hausaufgabenrunde über Ostern lösen. Als sehr positive Resonanz wurde aufgenommen, wie viele Schüler:innen trotz Corona und dem neuen Format teilgenommen haben. Insgesamt haben 505 Schüler:innen die Aufgaben bearbeitet und eingereicht. Dank der tatkräftigen Unterstützung der Landesbeauftragten und der Mitglieder des FChO war die Korrektur der vielen Lösungen kein Problem. Insgesamt kann man zusammenfassen, dass trotz der sehr schnell wechselnden Rahmenbedingungen die Durchführung der zweiten Runde positiv verlaufen ist.

„Trotz etwas komplizierteren Voraussetzungen konnten die Schüler nach einer ausführlichen Einweisung ihr Können in der Chemie unter Beweis stellen.“

Wie die zweite Runde des Wettbewerbs „Chemie - die stimmt!“ waren auch die dritte und vierte Runde des Wettbewerbs deutlich von der Corona-Pandemie betroffen.
Erstmalig konnte die dritte Runde nicht in Präsenz in Merseburg, Münster und Rostock ausgetragen werden, stattdessen musste eine Online-Lösung erarbeitet werden. Das Ergebnis war eine Klausur, die zu Hause unter Aufsicht per Videokonferenz geschrieben wurde. Trotz der etwas komplizierteren Voraussetzungen konnten die Schüler nach einer ausführlichen Einweisung ihr Können in der Chemie unter Beweis stellen.

„Chemie – die stimmt!“

Die Videokonferenzsoftware Zoom bot uns für die Beaufsichtigung von rund 100 Schüler:innen, aufgeteilt in drei Meetings, eine stabile und gut funktionierende Lösung. Auch der Upload der Lösungen auf die Nextcloud erfolgte mit nur kleinen Schwierigkeiten. Aufgrund der zentralen Auswertung der Lösungen konnte die Einführung der vierten Regionalrunde „Süd“ bereits im letzten Wettberbsjahr erfolgen. Die Auszeichnung der Gewinner:innen erfolgte ebenfalls online über einen von der GDCh zur Verfügung gestellten Stream. Da wir leider keine Möglichkeit hatten, mit den Schüler:innen vor Ort über die Aufgaben zu sprechen und klarzustellen, dass die Aufgaben bewusst schwer gestellt sind, wurden zu Beginn der Siegerehrung die Aufgabenstatistik und einige häufige Fehler vorgestellt. Anschließend wurden die Sieger:innen ausgezeichnet, aus Veranstaltersicht konnten wir trotz der fehlenden Präsenz ein würdevolles Ambiente für die Auszeichnung der besten Nachwuchschemiker:innen der Regionen Deutschlands schaffen. Bei der Online-Siegerehrung waren nicht nur die Teilnehmenden eingeladen, viele haben auch ihre Eltern oder sogar die Lehrer:innen zugeschaltet. Nach der Siegerehrung standen schließlich die Teilnehmer:innen für das Bundesfinale in Leipzig fest. Ungewiss war nur, ob die vierte Runde in Leipzig in Präsenz stattfinden konnte oder ob erneut eine Alternative gesucht werden musste.

Ende September war es dann so weit, die qualifizierten Schüler:innen reisten nach Leipzig, um erneut ihr chemisches Können zu beweisen. Das Kennenlernen am Montagabend musste aufgrund der Beschränkungen mit viel Abstand und mit den bereitgestellten „Chemie – die stimmt!“-Masken efolgen . Auch die Einteilung der Zimmer erfolgte nach Regionen sortiert. Am Dienstag stand die theoretische Klausur auf dem Plan, bei der die Schüler:innen vier Stunden Zeit hatten, um mehrere Aufgaben aus unterschiedlichen Bereichen der Chemie zu lösen. Nach der Klausur gab es Mittagessen beim Griechen und einen Besuch im Zoo, während die Betreuer die Aufgaben korrigierten und das Labor für den Mittwoch vorbereiteten. Der Dienstagabend klang in der Unterkunft gemütlich unter freiem Himmel in Gesprächen in kleinen Runden aus. Am Mittwoch mussten die Schüler:innen zum ersten Mal in diesem Wettbewerbsjahr ihr praktisches Können unter Beweis stellen, da die sonstigen praktischen Wettbewerbsteile leider dem Corona virus zum Opfer gefallen sind.

Beide Klassenstufen mussten Titrationen durchführen. Dabei wurde in diesem Jahr nicht nur die praktische Ausbildung in der Schule getestet, vielmehr mussten sich einige Schüler:innen das praktische Arbeiten vor Ort selbst erschließen. Der Arbeitsschutz wurde insbesondere im Hinblick auf die Bekämpfung von Feuer in einer ausführlichen Übung zum Löschen von kleinen Bränden mit CO_2-Löschern geübt. Nachdem die Aufgaben von den Schüler:innen erfolgreich bearbeitet wurden, ging es auf den Weg zum Freizeitprogramm.

Während ein Teil der Betreuer:innen die Labore wieder auf Vordermann brachte, erkundeten die Teilnehmer:innen die Stadt Leipzig auf dem Fahrrad. Die Schüler:innen konnten den Mittwochabend ganz ohne Anspannung ausklingen lassen und sich in den Kleingruppen weiter austauschen, für die Betreuer:innen hingegen stand noch einiges an Arbeit an. Die Praxisklausuren mussten noch ausgewertet und auch ein Gesamtergebnis ermittelt werden.

Am Donnerstagmorgen war etwas mehr Zeit für das Frühstück und alle konnten in Ruhe ihre Sachen packen und anschließend zur Siegerehrung aufbrechen. Vor der Siegerehrung wurden die in der theoretischen Klausur gestellten Aufgaben traditionsgemäß erklärt und Hinweise für zukünftige Wettbewerbe gegeben. Die Siegerehrung erfolgte, wie der gesamte Wettbewerb, unter Einhaltung des Sicherheitsabstandes. Für einige der Schüler:innen stand hierbei eine große Überraschung auf dem Plan.

Nach der Siegerehrung wurden noch Bilder auf dem Hinterhof der Fakultät für Chemie und Mineralogie der Universität Leipzig aufgenommen. Danach ging es für alle Teilnehmenden, Betreuer:innen wie Schüler:innen, auf den Heimweg.

Abb. 1: Teilnehmer:innen der 4. Runden von „Chemie – die Stimmt!“.

Methodiken und Abläufe der Naturstoffsynthese

Text: Anna Yaroslava Bodnar

Bei Professor Christmann in Berlin konnte ich am Beispiel von Naturstoffsynthesen viele grundlegende Arbeitstechniken der organischen Chemie kennenlernen. Ich habe viele Aufreinigungsmethoden wie Flüssig-Flüssig-Extraktion, Umkristallisation und Destillation durchgeführt. Im Bereich der Trennmethoden habe ich selbst gesäult, aber auch Dünnschichtchromatographie und maschinell durchgeführte Säulenchromatographie kennengelernt. Nicht zuletzt ging es auch um die Analytik der synthetisierten Produkte.

In der organischen Chemie spielen im Bereich der Pharmazie oder Medizin komplexe Naturstoffe eine Rolle, welche aus oft exotischen Pflanzen von Biologen umständlich extrahiert wurden. Die Wissenschaftler, die an der Extraktion beteiligt sind, haben das Ziel, einen Wirkstoff zu finden, welcher als Medikament anwendbar ist (wie zum Beispiel Immunsupressoren oder Antikarzinogene). Jedoch können sie die Wirkung des Naturstoffes nicht näher bestimmen, denn problematischerweise ist das Extrakt in sehr geringer Menge vorhanden, sodass eine Analyse der physiologischen Wirkungen sowie physikalischen Eigenschaften nur erschwert möglich ist. In diesem Punkt ist die Chemie der Naturstoffsynthese hilfreich. Bei der Naturstoffsynthese handelt es sich um die Entwicklung eines künstlichen Synthesewegs außerhalb der Pflanze, sodass der Naturstoff in größeren Mengen gewonnen werden kann und dadurch auf seine Eigenschaften hin untersucht werden kann. Das Ziel einer Naturstoffsynthese ist Reduzierung der Syntheseschritte und der Nebenprodukte. Zusätzlich sollten für die Synthese einfach zugängliche und kostengünstige Edukte verwendet werden. Im Allgemeinen kann die Synthese eine Totalsynthese, d.h. eine komplette chemische Synthese des Naturstoffes aus einfachen kleineren Molekülen, oder eine Partialsynthese, welche eine biochemische Komponente besitzt, sein. Zusätzlich gehört zur Naturstoffsynthese die Optimierung der Methodik für den industriellen Gebrauch, da es häufig vorkommt, dass bestimmte Reaktionen nur in kleinem Maßstab funktionieren. Die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Christmann in Berlin beschäftigt sich mit der Entwicklung von Totalsynthesen für neu gefundene Naturstoffe und deren Optimierung. In den zwei Wochen, in denen ich an der Freien Universität in Berlin

„die Optimierung der Methodik für den industriellen Gebrauch“

mitarbeiten durfte, bin ich insgesamt in vier Laboren gewesen und konnte in viele Projekte reinschnuppern. Aufgrund der Schweigepflicht darf ich nicht jedes Projekt im Folgenden beleuchten, aber ich kann einen kleinen Überblick über meine Tätigkeiten und neu gewonnene Erkenntnisse in der Forschung geben.

Methodik: Nach jeder stattgefundenen Reaktion muss das Produkt gründlich gereinigt werden, abhängig von der Reaktion kann zunächst eine Extraktion erfolgen. In diesem Reinigunsschritt wird die Löslichkeit der unterschiedlichen Produkte in verschiedenen Lösungsmitteln ausgenutzt. Durch das Ausschütteln werden die Produkte von den Edukten getrennt. Nun wird die organische Phase mit gesättigten Lösungen von Salzen wie Ammoniumchlorid, Natriumchlorid oder Natriumhydrogencarbonat ausgewaschen. Anschließend wird die orga-

„welche aus oft exotischen Pflanzen von Biologen umständlich extrahiert wurden“

nische Phase gesammelt und hygroskopisches Natriumsulfat hinzugegeben, welches das restliche Wasser entfernt und einen weißen, flockigen Niederschlag bildet. Dieser wird durch eine Vakuumfiltration entfernt. Oft sind die Ansätze nicht größer als 20 mg. Aus dem Grund wurde mir der Trick beigebracht, in einer Pipette zu filtrieren, sowie die Extraktion in kleinen Kolben durchzuführen und die wässrige Phase durch eine Pipette zu entfernen, um die Verluste möglichst gering zu halten. Nach der Extraktion wird das Hauptprodukt von den Nebenprodukten chromatographisch getrennt. In den zwei Wochen habe ich verschiedene Arten von Chromatographien erlernt. Oft wurde händisch eine Säulenchromatographie durchgeführt, die ich auch zweimal selbst ausprobieren konnte. Die Chromatographie funktioniert dadurch, dass verschiedene or-

ganische Moleküle eine unterschiedliche Polarität aufweisen und dadurch unterschiedlich stark durch eine polare Kieselgelschicht zurückgehalten werden. Je unpolarer ein Molekül ist, desto schneller durchquert es die Schicht, da polare Moleküle durch Interaktion mit dem Kieselgel in ihrer Bewegung abgebremst werden. Es wird ein Lösungsmittel als mobile Phase benötigt, um die Moleküle von der Kieselgelschicht abzuspülen. Je nach erwarteten Stoffeigenschaften kann die mobile Phasen aus unterschiedlichen Anteilen von polaren und unpolaren Lösungsmittel angemischt werden. Verschiedene mobile Phase können vorher mittels Dünnschichtchromatographie (DC) getestet werden. Je näher die verschiedenen Moleküle auf der DC sind, desto unpolarer sollte das Lösungsmittelgemisch gewählt werden. Eine maschinelle Säulenchromatographie ist auch eine gern benutzte Möglichkeit der Trennung. Die MPLC (Mitteldruckflüssigskeitschromatographie) ist nach dem Prinzip einer normalen Säule aufgebaut. Die Analytmoleküle werden von einem Lösungsmittelgemisch mit Druck durch ein Kieselgel, auf das die Probe trocken oder feucht aufgetragen werden kann, gepresst. Der Vorteil gegenüber einer händisch durchgeführten Säule liegt nicht nur in der Handhabbarkeit, sondern sowohl im unterschiedlich einstellbaren Druck, als auch der variierbaren Polarität des eingesetzten Lösungsmittelgemisches während des Prozesses, wodurch gezielter das gewünschte Produkt abgetrennt werden kann. Ist das Produkt UV-aktiv, so kann der Sensor dieses früh erkennen und ein neues Reagenzglas füllen, sodass nicht unbedingt jedes Reagenzglas per DC überprüft werden muss. Für sehr kleine Mengen ist eine präparative Dünnschichtchromatographie besser geeignet, welche ich durchführen durfte. Hier wird das Produkt am richtigen Fleck von einer größeren DC-Platte abgekratzt und anschließend aufgereinigt. Obwohl eine Säulenchromatographie häufig benutzt wird, benötigt diese Methode eine große Menge Lösungsmittel und wird deshalb nicht in der Industrie angewendet. Aus diesem Grund wird häufig eine Destillation verwendet, die auf unterschiedlichen Siedetemperaturen der Produkte basiert. Das Problem einer Destillation ist, dass diese nicht immer durchführbar ist, wenn die Siedepunkte des Produkts und des Edukts oder der Nebenprodukte nahe beieinander liegen. Aus diesem Grund hat die Destillation, die ich durchgeführt habe, nicht funktioniert. Als alternative Methode kann eine Umkristallisation durchgeführt werden. Diese Methode ist auch eine industriell angewendete Alternative zur Säulenchromatographie, allerdings auch eine handwerklich anspruchsvolle Tätigkeit. Jedoch habe ich sehr viele hilfreiche Tipps bekommen, wie die Züchtung von Impfkristallen in kleinen Kanülen oder das Kratzen an der Wand des Kolbens. Die Umkristallisation funktioniert aufgrund der unterschiedlichen Löslichkeit einer Substanz in Abhängigkeit von der Temperatur. Je höher die Temperatur ist, desto besser lösen sich die Moleküle. Das Löslichkeitsprodukt der Verunreinigung sollte bei keiner der erreichten Temperaturen überschritten werden, um ein sehr reines Produkt zu bekommen. Nachdem die Proben gründlich gereinigt wurden, werden diese analysiert, um sicherzustellen, dass das richtige Produkt entstanden ist, bevor es weiterverwendet werden kann. Zur Identifikation des gereinigten Produktes werden verschiedene Arten von NMR-Spektren aufgenommen und ausgewertet. Verschiedene Arten von Massenspektrometrie, IR-Spektroskopie und eine Elementaranalyse können zusätzlich noch durchgeführt werden. Jede der Methoden wurde in meiner Anwesenheit durchgeführt und ich konnte die Ergebnisse allein analysieren, nachdem man mir die Theorien dahinter erklärt hat. Während meines Praktikums war ich an verschiedenen Reaktionen beteiligt, wie zum Beispiel an einer Ozonolyse, mehreren Acetylierungen, einer Ringschlussmetathese mit Gruppe II als Katalysator, einer Wittig-Reaktion und einer Aldol-Kurz-Kondensation, sowie an der Synthese des Katalysators Decatungstate.

„sodass ich mir selber den Mechanismus herleiten oder erraten konnte“

Bei jeder angesetzten Reaktion habe ich den theoretischen Hintergrund erfragt. Manchmal hat man mich nach Funktion der Reagenzien gefragt, sodass ich mir selber den Mechanismus herleiten konnte. Dadurch wurde mir viel Theorie zusätzlich zu den praktischen Fähigkeiten beigebracht. Ich konnte sehr viel Laborerfahrung sammeln sowie nützliche Tricks mitnehmen, die ich in der Schule niemals erlernt hätte. In dieser Forschungsgruppe wurde ich in verschiedenen Laboren von Promovierenden betreut. Diese betreuten vorher schon viele Studenten in Praktika oder Klausuren, sodass sie mir alles hervorragend erklären und Tipps geben konnten. Es war mir möglich, sie über das Studium und über die Zukunft nach einem Doktor in Chemie auszufragen. Aus diesem Grund hat es mir sehr gefallen, mein Praktikum in dieser Gruppe durchzuführen.

Aromatische C-H Funktionalisierung an Aromaten: Es geht auch selektiv

Text: Florian Berger

Unter Verwendung von Thianthren-S-oxid lassen sich Aromaten mit hoher Selektivität in der *para*-Position funktionalisieren. Die entstehenden Thianthrenium-Salze können durch Palladium-katalysierte Kreuzkupplungen oder Photoredox-Katalyse in eine Vielzahl von Derivaten umgewandelt werden.

Welche Bedeutung hat C-H Funktionalisierung?
C-H Funktionalisierung ist der Austausch von Wasserstoffatomen in einem organischen Molekül gegen funktionelle Gruppen. C-H Bindungen sind das häufigste Strukturmotiv in den meisten organischen Molekülen, weshalb eine Reaktion, die an C-H Bindungen stattfindet, besonders interessant für die Synthese komplexer Moleküle ist. Die große Häufigkeit von C-H Bindungen bringt auch eine Herausforderung mit sich: die Selektivität. Eine Reaktion, die eine Mischung aus mehreren Produkten liefert, ergibt eine geringere Ausbeute für das gewünschte Produkt. Außerdem erzeugen Produktgemische zusätzlichen Aufwand in der Reinigung des Produktes. Gerade die Trennung von Substanzen, die sich nur in der Position einer einzigen funktionellen Gruppe unterscheiden, ist oft schwierig und kann Methoden wie präparative High Performance Liquid Chromatography (HPLC) erfordern.

Welche Methoden gibt es bereits?
Zur Derivatisierung komplexer Moleküle sind insbesondere solche C-H Funktionalisierungs-Methoden interessant, die einen Substituenten einfügen, der anschließend in eine Vielzahl anderer funktioneller Gruppen umgewandelt werden kann. Ein altbekanntes Beispiel ist die Bromierung von Aromaten, die Arylbromide liefert, die sich durch Kreuzkupplung in diverse Reste umwandeln lassen. Elektronenschiebende Substituenten aktivieren dabei den Aromaten und erhöhen die Reaktionsgeschwindigkeit, sodass solche Substrate für elektrophile Reaktionen besonders geeignet sind. Elektronenschiebende Substituenten aktivieren dabei in der Regel sowohl die *ortho*- als auch die *para*-Position eines Aromaten, sodass häufig Mischungen aus *ortho*- und *para*-Bromaromaten erhalten werden. Methoden, die selektiv nur eine Position angreifen, sind auch bekannt, benötigen in den meisten Fällen aber spezielle Substituenten am Aromaten, die die Reaktion in eine bestimmte Position dirigieren. Es kann eine Metall koordinierende Gruppe genutzt werden, welche die Reaktion in der benachbarten C-H Bindung ermöglicht.

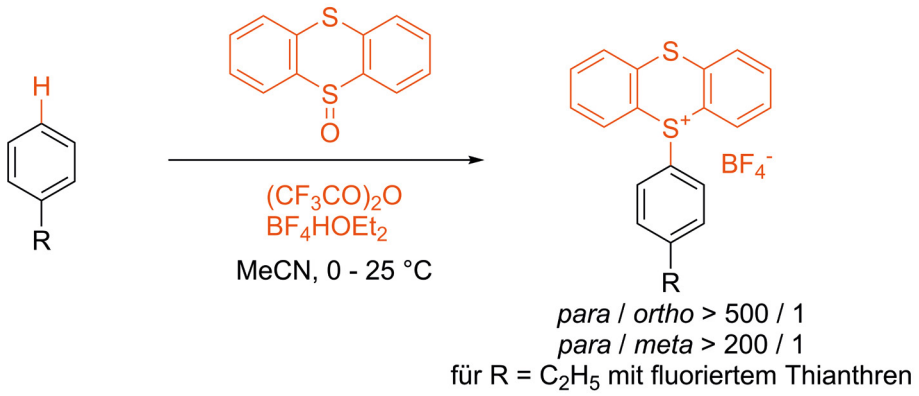


Abb. 1: Synthese von Aryl-Thianthrenium-Salzen aus Aromat und Thianthren-S-oxid.

Wie funktioniert die selektive C-H Funktionalisierung via Sulfonium-Salz?
Wir haben eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, Aromaten selektiv in der *para*-Position zu funktionalisieren, ohne dabei auf einen bestimmten Substituenten angewiesen zu sein. Die Reaktion von Aromaten mit Thianthren-S-oxid liefert Arylthianthrenium-Salze, wobei wir bei Ethylbenzol eine *para/ortho*-Selektivität von mehr als 500:1 beobachtet haben (Abbildung 1). Die Reaktion verläuft durch die Aktivierung des eingesetzten Thianthren-S-oxids mit Trifluoressigsäureanhydrid unter sauren Bedingungen. Dabei wird ein Schwefel-Elektrophil generiert, welches im Sinne einer elektrophilen aromatischen Substitution am Aromaten angreift. Im Prinzip lassen sich auch andere Sulfoxide auf diese Art zur Reaktion bringen, um Arylsulfonium-Salze zu erzeugen. Für die Wahl von Thianthren gibt es aber zwei Gründe: Einerseits bietet die Reaktion

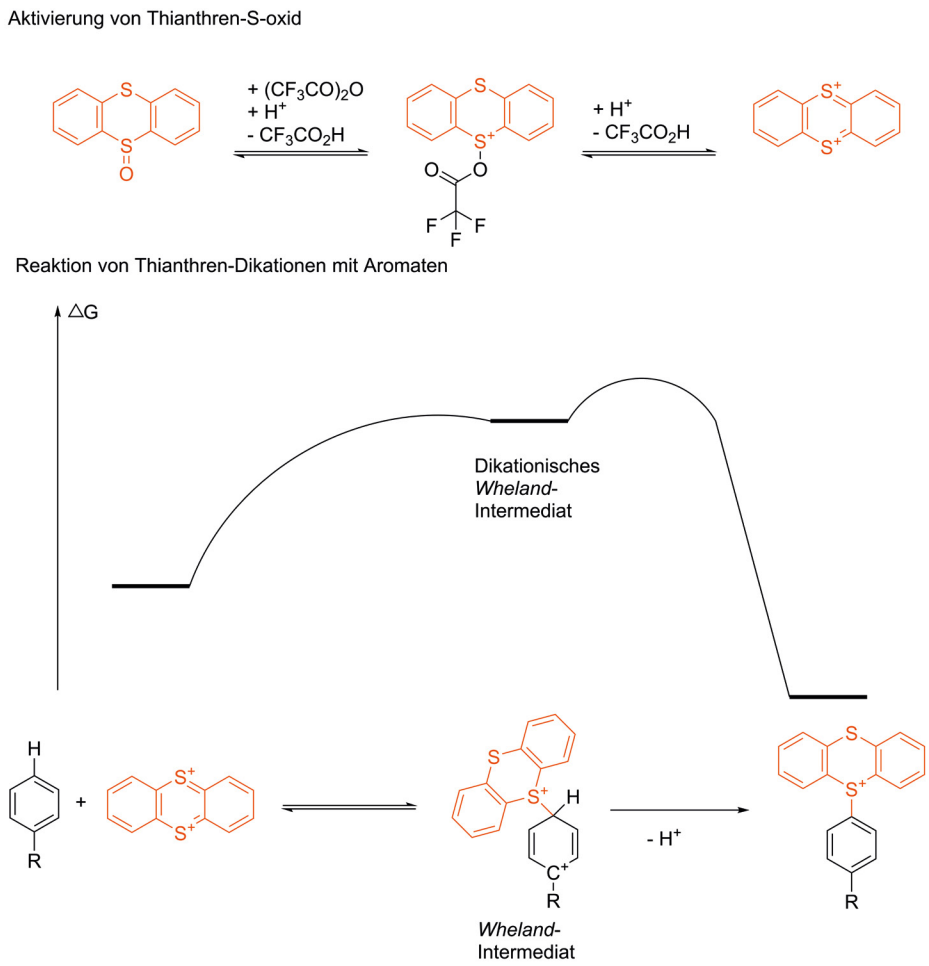


Abb. 2: Vermuteter Mechanismus und hypothetisches Energie-Diagramm der Bildung von Thianthrenium-Salzen.

mit Thianthren-S-oxid im C-H Funktionalisierungsschritt eine höhere Selektivität als viele andere Sulfoxide. Andererseits kann in Folgereaktionen selektiv die exocyclische C-S-Bindung gespalten werden.

Warum ist die Reaktion mit Thianthren so selektiv?

Eine ungewöhnliche Eigenschaft des Thianthrens ist die Bildung von persistenten Radikal-Kationen, die auch für die intensive violett-blaue Farbe der Reaktionsmischungen verantwortlich sind. Die Reaktion von Thianthren-Radikalkationen mit Aromaten ist möglich, wir vermuten aber, dass unter unseren Reaktionsbedingungen Thianthren-Dikationen auftreten, die zu der außergewöhnlich hohen Selektivität beitragen. Genau wie in anderen elektrophilen Substitutionen verläuft die Thianthrenierung vermutlich über ein *Wheland*-Intermediat (Abbildung 2). Allerdings ist bei der Thianthrenierung nicht die Bildung des *Wheland*-Intermediates, sondern die anschließende Deprotonierung geschwindigkeitsbestimmend. Die Folge ist, dass die Selektivität durch die thermodynamische Stabilität des *Wheland*-Intermediates entschieden wird. Die Barriere des Deprotoierungs-Schrittes sollte sich kaum von Isomer zu Isomer unterscheiden. Für die thermodynamische Stabilität des *Wheland*-Intermediates werden sterische Abstoßung, Stabilisierung der positiven Ladung durch die Substituenten des Aromaten und Coulomb-Abstoßung der beiden positiven Ladungen eine wichtige Rolle spielen, die das *para*-substituierte Isomer gegenüber *ortho*- und *meta*-Isomeren begünstigen. Da nicht davon auszugehen ist, dass die Deprotonierung des *Wheland*-Intermediates für Thianthren-Reste viel schwieriger ist als für ähnliche Sulfonium-Gruppen, muss die Ursache für diese ungewöhnliche Eigenschaft in der geringen Barriere für den Zerfall des *Wheland*-Intermediates liegen, wodurch eine reversible Bildung ermöglicht wird. Im Gegensatz zu den meisten anderen Thioethern ist bei Thianthren durch die Konjugation mit dem zweiten Schwefel-Atom die Bildung eines Dikations möglich, das eine derartige monomolekulare Dissoziation ermöglichen würde.

Wie kann man Thianthrenium-Salze in der organischen Synthese nutzen?

Die Sulfonium-Salze sind hervorragend geeignet, um in einem zweiten Schritt in verschiedene andere funktionelle Gruppe umgewandelt zu werden. Sulfonium-Salze zeichnen sich durch die schwache C-S Bindung aus. Zudem sind Thioether gute Austrittsgruppen, sodass eine Vielzahl an Reaktionen mit Sulfonium-Salzen möglich ist. Wie Arylbromide und -iodide sind Arylsulfonium-Salze gut als Elektrophile in Palladium-katalysierten Kreuzkupplungen (Abbildung 3) geeignet. In Suzuki-Kupplungen ist die Reaktivität der Sulfonium-Salze sogar deutlich höher als die Reaktivität von Arylbromiden oder Aryltriflaten, zwei häufig verwendeten Typen von Elektrophilen. Auch komplexe Moleküle, wie zum Beispiel der Naturstoff Strychnin, können so derivatisiert werden.

Des Weiteren lassen sich Sulfonium-Salze durch Ein-Elektronen-Transfer (single electron tranfer, SET) zu Radikalen reduzieren, die schnell in Thianthren und Aryl-Radikale zerfallen (Abbildung 4). Dieser Zerfall ist thermodynamisch kontrolliert, wobei die Spaltung der exocyclischen C-S Bindung entropisch gegenüber der endocyclischen Spaltung begünstigt ist. Durch

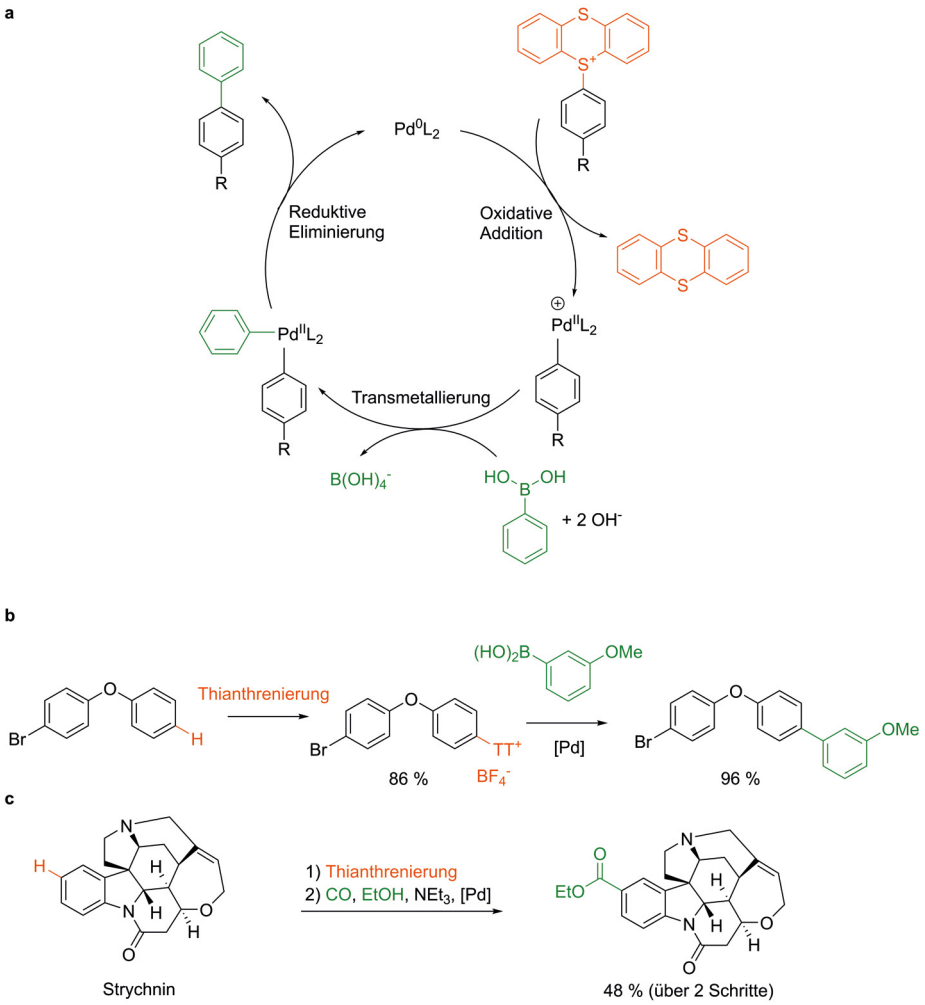


Abb. 3: Thianthrenium-Salze nehmen an Palladium-katalysierten Reaktionen teil, analog zu Arylbromiden. a) Mechanismus der Suzuki-Kupplung mit Thianthrenium-Salzen, b) Vergleich der Reaktivität von Arylthianthrenium-Salz und Arylbromid, c) Derivatisierung des Naturstoffs Strychnin.

Photoredox-Katalyse können Arylsulfonium-Salze reduziert werden, wobei Aryl-Radikale erzeugt werden.

Die am häufigsten genutzten Precursoren für Arylradikale sind Diazonium-Salze, die sich durch die Sandmeyer-Reaktion in diverse funktionelle Gruppen umwandeln lassen. Im Unterschied zu den Diazonium-Salzen sind die Sulfonium-Salze stabile Verbindungen, die bei Raumtemperatur und an der Luft teilweise jahrelang haltbar sind, und können in einem Schritt aus unfunktionalisierten Aromaten erzeugt werden. Analog zur Sandmeyer-Reaktion können Thianthrenium-Salze in Anwesenheit von Kupferionen mit diversen Nukleophilen gekuppelt werden (Abbildung 5) oder die erzeugten Arylradikale können direkt an ein π-System addieren (Abbildung 5, oberste Reaktionsgleichung). Gegenüber Palladium besitzt Kupfer den Vorteil, dass die reduktive Eliminierung begünstigt ist, sodass auch Bindungen wie C-N, C-O und C-F durch Eliminierung von Kupfer geknüpft werden können, die mit Palladium schwieriger zu erzeugen sind.

Der wesentliche Nachteil von Kupfer ist, dass auch oxidative Addition an Kupfer erschwert ist, weswegen für die meisten Kreuzkupplungen in der Regel Palladium bevorzugt wird. Das Problem der oxidativen Addition lässt sich aber durch die Erzeugung von hochreaktiven Aryl-Radikalen umgehen, die an Kupfer addieren. Durch die Kombination von Kupfer(I)-Salzen mit Photoredox-Katalysatoren lassen sich auf diese Art Arylthianthrenium-Salze mit verschiedenen Nucleophilen kuppeln. Beispiele für eine C-N Kreuzkupplung und eine Fluorierung sind in Abbildung 5 gezeigt.

Literaturverzeichnis

[1] F. Berger, M. B. Plutschack, J. Riegger, W. Yu, S. Speicher, M. Ho, N. Frank, T. Ritter: Site-selective and versatile aromatic C–H functionalization by thianthrenation, *Nature*, **2020**, *567*, 223–228.

[2] F. Berger, T. Ritter: Abkürzung zu komplexen Molekülen, *Spektrum der Wissenschaft*, **2019**, *8.19*, 23–25.

[3] P. S. Engl, A. P. Häring, F. Berger, G. Berger, A. Perez-Bitrian, T. Ritter: C-N Cross-couplings for Site-selective Late-stage Diversification via Aryl Sulfonium Salts, *J. Am. Chem. Soc.*, **2019**, 10.1021/jacs.9b07323.

[4] F. Ye, F. Berger, H. Jia, J. Ford, A. Wortman, J. Börgel, T. Ritter: Aryl Sulfonium salts for Site-Selective Late-Stage Trifluoromethylation, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2019**, 10.1002/anie.201906672.

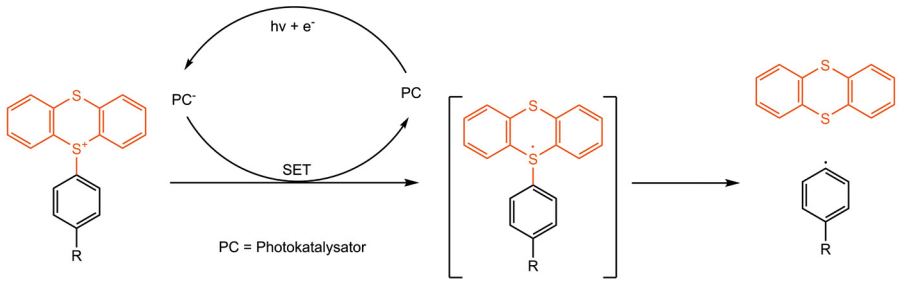


Abb. 4: Reduktion von Sulfonium-Salzen durch einen Photokatalysator liefert Arylradikale.

Aromatische C-H Funktionalisierung

[5] R. Sang, S. E. Korkis, W. Su, F. Ye, P. S. Engl, F. Berger, T. Ritter: Site-selective C–H Oxygenation via Aryl Sulfonium Salts, *Angew. Chem.*, **2019**, 10.1002/ange.201908718.

[6] J. Li, J. Chen, R. Sang, W.-S. Ham, M. B. Plutschack, F. Berger, S. Chabbra, A. Schnegg, C. Genicot, T. Ritter: Photoredox catalysis with aryl sulfonium salts enables site-selective late-stage fluorination, *Nat. Chem.*, **2020**, *12*, 56–62.

[7] E. M. Alvarez, M. B. Plutschack, F. Berger, T. Ritter: Site-Selective C–H Functionalization–Sulfination Sequence to Access Aryl Sulfonamides, *Org. Lett.*, **2020**, *22*, 4593–4596.

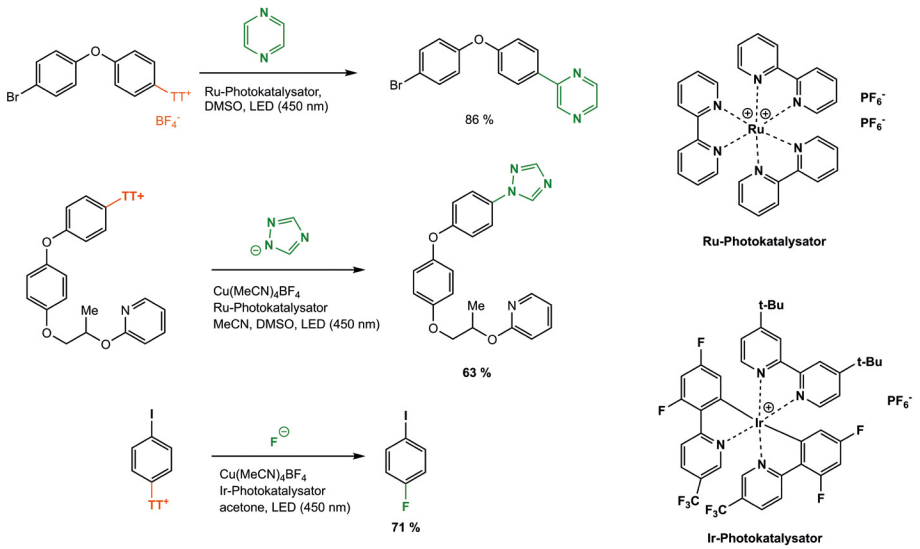
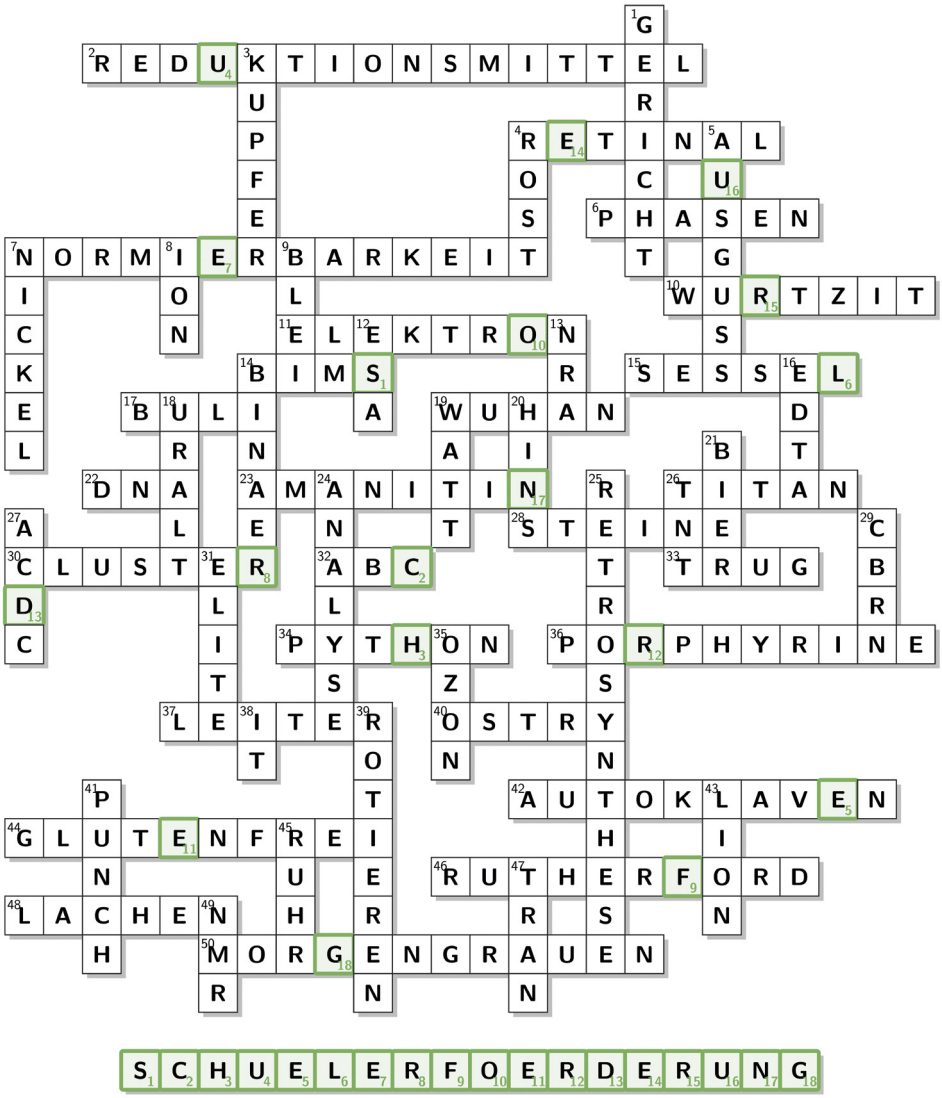


Abb. 5: Beispiele für Reaktionen von Thianthrenium-Salzen unter Photoredox-Bedingungen.



Hättest du es gewusst? Hier ist die Lösung des auf Seite 11 gestellten Kreuzworträtsels.

Unsere Partner

Unternehmen, Verbände, Stiftungen und Ministerien:

- Arbeitgeberverband Chemie Rheinland
- BASF Coatings GmbH (Münster)
- BASF SE, Ludwigshafen
- Bayer CropScience (Monheim)
- Bayer HealthCare Pharmaceuticals (Bergkamen)
- Bayer Science and Education Foundation (Leverkusen)
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Berlin)
- ChemCologne e.V. (Köln)
- Chemiepark Marl
- Cornelsen-Verlag (Berlin)
- De Gruyter (Berlin)
- DECHEMA e.V.
- Domo Caproleuna GmbH (Merseburg)
- Dow Olefinverbund GmbH (Leuna)
- Ernst-Klett-Verlag (Stuttgart)
- TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH (Leuna)
- Evonik Inustries (Trostberg)
- Fonds der Chemischen Industrie
- Forschungszentrum Jülich
- Georg-Thieme-Verlag (Stuttgart)
- Gesellschaft Deutscher Chemiker e.V. (Frankfurt a. M.)
- Heidehof-Stiftung GmbH (Stuttgart)
- Honeywell Speciality Chemicals GmbH (Seelze)
- InfraLeuna GmbH (Leuna)
- InraServ Gendorf (Burgkirchen)
- Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (Kiel)
- Landesinstitut für Schulentwicklung (Stuttgart)
- Ministerium für Erziehung und Unterricht (Stuttgart)
- Kultusministerien der Länder
- Mitteldeutscher Lehrmittelvertrieb (Thale)
- PSS Polymer Standards Services GmbH (Mainz)
- Solvay Deutschland GmbH (Hannover)
- Staatsinstitut für Schulpädagogik und Bildungsforschung (München)
- Stiftung für Bildung und Behindertenförderung (Stuttgart)
- TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland (Leuna)
- Wacker Chemie GmbH (Burghausen)
- Wiley-VCH (Weinheim)

Verbände der chemischen Industrie

- Chemieverbände Baden-Württemberg
- Landesverband Bayern (München)
- Landesverband Nord (Hannover)
- Landesverband Nordrhein-Westfalen (Düsseldorf)
- Landesverband Hessen (Frankfurt a. M.)
- Landesverband Rheinland-Pfalz (Ludwigshafen)
- Landesverband Nordost (Berlin)

Universitäten und Forschungseinrichtungen:

- Bergische Universität Wuppertal
- Fachhochschule Bingen
- Fachhochschule Merseburg
- Freie Universität Berlin
- Friedrich-Schiller-Universität Jena
- GeoForschungsZentrum Potsdam
- Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Universität Hannover
- Humboldt-Universität zu Berlin
- Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- Ludwig-Maximilians-Universität München
- Max-Planck-Institut für Chemie Mainz
- Max-Planck-Institut für Polymerforschung Mainz
- Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
- Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
- Technische Universität Berlin
- Technische Universität Darmstadt
- Technische Universität Dortmund
- Technische Universität Dresden
- Technische Universität Kaiserslautern
- Technische Universität München
- Universität Bielefeld
- Universität Duisburg-Essen
- Universität Leipzig
- Universität Rostock
- Universität Ulm
- Universität zu Köln
- Westfälische Wilhelms-Universität
- Münster

Förderverein Chemie-Olympiade e.V.

Förderverein Chemie-Olympiade e.V.
z. Hd. Teresa Karl
Jockenstr. 60
D-47445 Moers

Aufnahmeantrag

Mitgliedsnummer (wird vom Verein ausgefüllt):

☐ Herr ☐ Frau

Name* _____ Vorname* _____

Titel _____ Geburtsdatum* _____

☐ Schüler*in (Abi 20__) ☐ Lehrer*in ☐ Student*in ☐ Doktorand*in

☐ Hochschule/Institut ☐ Industrie ☐ Ruhestand ☐ Sonstiges

Alle Mitteilungen an meine (bitte ankreuzen)

☐ Privatanschrift: ☐ Studien- bzw. Dienstanschrift:

Straße / Postfach* _____

PLZ / Ort* _____

Tel.* _____

E-Mail* _____

Skype _____ Homepage _____

IChO-Teilnahmen (Runde / Jahr, z.B. 3/2013): _____

Hochschule / Institut / Firma: _____

Arbeits- / Studienort (falls verschieden von Postadressen): _____

Meine Kontaktdaten dürfen im für Mitglieder zugänglichen Mitgliederverzeichnis erscheinen. ☐ Ja ☐ Nein

Ich möchte in den Stellenverteiler aufgenommen werden. ☐ Ja ☐ Nein

Ich zahle

☐ den altersgestaffelten regulären Mitgliedsbeitrag in Höhe von 10 € (**bis** vollendetes 20. Lebensjahr), 20 € (21. **bis** vollendetes 30. Lebensjahr) bzw. 30 € (**ab** vollendetem 30. Lebensjahr)

☐ einen erhöhten Mitgliedsbeitrag von _____ €

Für Schüler*innen, die das Lastschriftmandat nutzen, ist das erste Mitgliedsjahr beitragsfrei.

Bankverbindung: Bank für Sozialwirtschaft, IBAN: DE82 1002 0500 0003 2993 00, BIC: BFSWDE33BER

www.fcho.de

Der Verein ist als ausschließlich und unmittelbar gemeinnützig im Sinne der §§ 51 ff. AO anerkannt. Vereinssitz ist Kiel (Amtsgericht Kiel, VR 3549).

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass der Förderverein Chemie-Olympiade e.V. (VR-Nr. 3549 im Vereinsregister des Amtsgerichts Kiel) die angegebenen personenbezogenen Daten satzungsgemäß in einer automatisierten Datenbank verarbeitet. Die mit * markierten Daten werden auf Grundlage der Satzung zur Mitgliederverwaltung erhoben. Weitere Datenangaben sind freiwillig und dienen der Verfolgung des Vereinszwecks. Verantwortlich im Sinne Art. 13 DS-GVO ist Schriftführerin Teresa Karl, als Datenschutzbeauftragter fungiert Nils Wittenbrink (Fuhrmannsgasse 23, D-33330 Gütersloh). Der Zeitraum der Datenspeicherung beläuft sich auf die Mitgliedsdauer und erlischt mit der Beendigung der Vereinsmitgliedschaft. Mir ist bekannt, dass ich bezüglich der gespeicherten Daten gegenüber dem Vorstand Auskunft, Einschränkung und Löschung beantragen kann. Hiermit stimme ich den o.g. Datenschutzrichtlinien zu.

Ort/Datum _____ Unterschrift _____

SEPA-Lastschriftmandat

Ich ermächtige den Förderverein Chemie-Olympiade e.V., Zahlungen von meinem Konto mittels Lastschrift einzuziehen. Zugleich weise ich mein Kreditinstitut an, die vom Förderverein Chemie-Olympiade e.V. auf mein Konto gezogenen Lastschriften einzulösen.

Hinweis: Ich kann innerhalb von acht Wochen, beginnend mit dem Belastungsdatum, die Erstattung des belasteten Betrages verlangen. Es gelten dabei die mit meinem Kreditinstitut vereinbarten Bedingungen.

Gläubiger-Identifikationsnummer DE74ZZZ00000026282

Die Mandatsreferenz wird später mitgeteilt.

Bank _____ BIC _____

IBAN

Ort/Datum _____ Unterschrift _____

Durch mind. eine **erziehungsberechtigte Person** im Falle der **Minderjährigkeit des Antragsstellers** auszufüllen:

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass mein Kind Mitglied im Förderverein Chemie-Olympiade e.V. werden darf und alle mit der Mitgliedschaft einhergehenden Rechte selbstständig ausüben darf.

Ort/Datum _____ Unterschrift _____

FChO e.V.

Stand: 08.03.2020

Vorstand *vorstand@fcho.de*

Vorsitzender
Felix Strieth-Kalthoff
striethkalthoff@fcho.de
IChO, CDS, Exp.-Wettbewerbe
IT, Faszination Chemie

Stellv. Vorsitzender
Maximilian Fellert
fellert@fcho.de
Vereinsorganisation und -präsentation
Netzwerkarbeit, Landesförderung

Stellv. Vorsitzender
Philipp Gremler
gremler@fcho.de
Tagungen, Öffentlichkeitsarbeit,
Viertrundenseminar

Schriftführerin
Teresa Karl
karl@fcho.de
Mitgliederverwaltung, Auslands-
praktika, Schnupperpraktika

Schatzmeister
Alexander Bonkowski
bonkowski@fcho.de
Finanzen, Sponsoren

Referenten

Landesseminare
Fabian Grinschek
grinschek@fcho.de

Finanzen CDS
Lukas Siedenberg
siedenberg@fcho.de

Faszination Chemie
Truc Lam Pham
tl.pham@gmx.de

Informationstechnik
Simon Scheeren
scheeren@fcho.de

Öffentlichkeitsarbeit
Christopher Margraf
socialmedia@fcho.de

Schnupperpraktika
Conrad Szczuka
szczuka@fcho.de

Projekte *beirat@fcho.de*

Vereinsorganisation

Faszination Chemie
Truc Lam Pham
faszination@fcho.de

Organigramm
organigramm@fcho.de

Beiratstreffen 2020
Jule Kristin Philipp
philipp@fcho.de

Neumitglieder
Carola Krevert
ckrevert@students.uni-mainz.de

Workshop 2021
workshop2021@fcho.de

Öffentlichkeitsarbeit

Presse
Janin Uedemann
uedemann@fcho.de

Homepage
Simon Scheeren
scheeren@fcho.de

Experimentierheft
Truc Lam Pham
pham@fcho.de

Lehrerverteiler
Jan Bandemer
jan.bandemer@gmx.de

FChO-Lager Leipzig
Sebastian Witte,
Max Milewski
lager@fcho.de
Bitte Formular im Mitglieder-bereich verwenden

Präsentationsmittel
Philipp Gremler
gremler@fcho.de

IChO

Auslandspraktika
Yeong-Chul Yun
yun.yeongchul@outlook.com

Viertrundenseminar
Julius Domack
julius.domack@gmx.de
Sebastian Witte
witte@fcho.de

Landesseminare
Fabian Grinschek
grinschek@fcho.de

VLW	Sebastian Witte	*witte@fcho.de*
BW	Fabian Grinschek	*grinschek@fcho.de*
NRW	Fr. Birgit Vieler	*bvieler@gmx.de*
RP/SL	Winald Kitzmann	*kitzmann@fcho.de*
HE/TH	Hr. Marco Dörsam,	*doersam@icho-hessen.de*
	Fr. Uta Purgahn	*uta.purgahn@web.de*
Nord	Hr. Panagiotis Chatzianastassiou	*pano.chatzi@icloud.com*
BY	Fr. Marion Waldvogel-Kochert,	*marion.waldvogel@gmx.de*
	Lukas Gschwind	*lukas.gschwind@uni-konstanz.de*
ST	Niklas Geue	*geue@fcho.de*
SN	Roman Behrends	*robehma@yahoo.de*
BE/MV	Lina-Marie Wagner	*wagner@fcho.de*
BB	Fr. Angelika Boesche	*boesche@steenbeck-gymnasium.de*

VLW=Vierländerwettbewerb,BW=Baden-Württemberg,BY=Bayern,BE=Berlin,BB=Brandenburg,HB=Bremen,HH=Hamburg,HE=Hessen,MV=Mecklenburg-Vorpommern,NI=Niedersachsen,NW=Nordrhein-Westfalen,RP=Rheinland-Pfalz
SL=Saarland,SN=Sachsen,ST=Sachsen-Anhalt,SH=Schleswig-Holstein,TH=Thüringen

Chemie - die stimmt (CDS)

Näheres: Siehe eigenes CDS-Organigramm

2. Runde
Nils Rendel
rendel@fcho.de

Presse
Jan Bandemer
jan.bandemer@gmx.de

3. Runde Nord
Jule Kristin Philipp
philipp@fcho.de

3. Runde Süd
Niklas Geue
geue@fcho.de

3. Runde West
Niklas Hölter
hoelter@fcho.de

4. Runde
Roman Behrends
behrends@fcho.de

Experimentalseminar

Mainz
Tarik Begic
tarik-1999@web.de

Kuratorium *kuratorium@fcho.de*

Prof. Dr. Jan-Dierk Grunwaldt, Karlsruhe • Dr. Kai Exner, Ludwigshafen • Dr. Johannes Zipfel, Amsterdam (NL) • Prof. Dr. Frank Sobott, Leeds (UK) • Dr. Christoph Kiener, München•
Dr. Maximilian Hofmann, Ludwigshafen • Prof. Dr. Christoph Jacob, Braunschweig • Prof. Dr. Jana Zaumseil, Heidelberg • Dr. Markus Schwind, Antwerpen (NL) •
Dr. Timo Gehring, Homburg • Sascha Jähnigen, Halle (Saale) • Dr. Tim Bleith, Darmstadt • Dr. Karin Kiewisch, Bonn

Förderverein
Chemie-Olympiade e.V. (FChO)

www.fcho.de

Gegründet 1992 als gemeinnütziger Verein durch ehemalige Teilnehmer der Internationalen Chemie-Olympiade. „Begeisterung wecken – Begabung fördern!", dieses Motto leben die über 500 Mitglieder, vom Schüler bis zum Professor. Hauptziele sind die Förderung des Schülerwettbewerbs „Internationale Chemie-Olympiade" und die Breitenförderung naturwissenschaftlich interessierter Schüler. Seminare gemeinsam mit Industrieunternehmen und Schulbehörden, individuelle Schüler-Forschungspraktika im In- und Ausland an Max-Planck-Instituten, Universitäten und Industrielaboren, sowie Tagungs- und Reisestipendien sind feste Bestandteile der vielfältigen Aktivitäten des ehrenamtlich geführten Vereins. Der FChO unterstützt Schüler-Experimentalwettbewerbe (bundesweit über 20 000 Teilnehmer). Jährliche Workshops mit Gästen aus Wirtschaft, Politik und Forschung stärken und erweitern das Netzwerk auch über nationale Grenzen hinaus.

Begeisterung wecken
Begabung fördern!