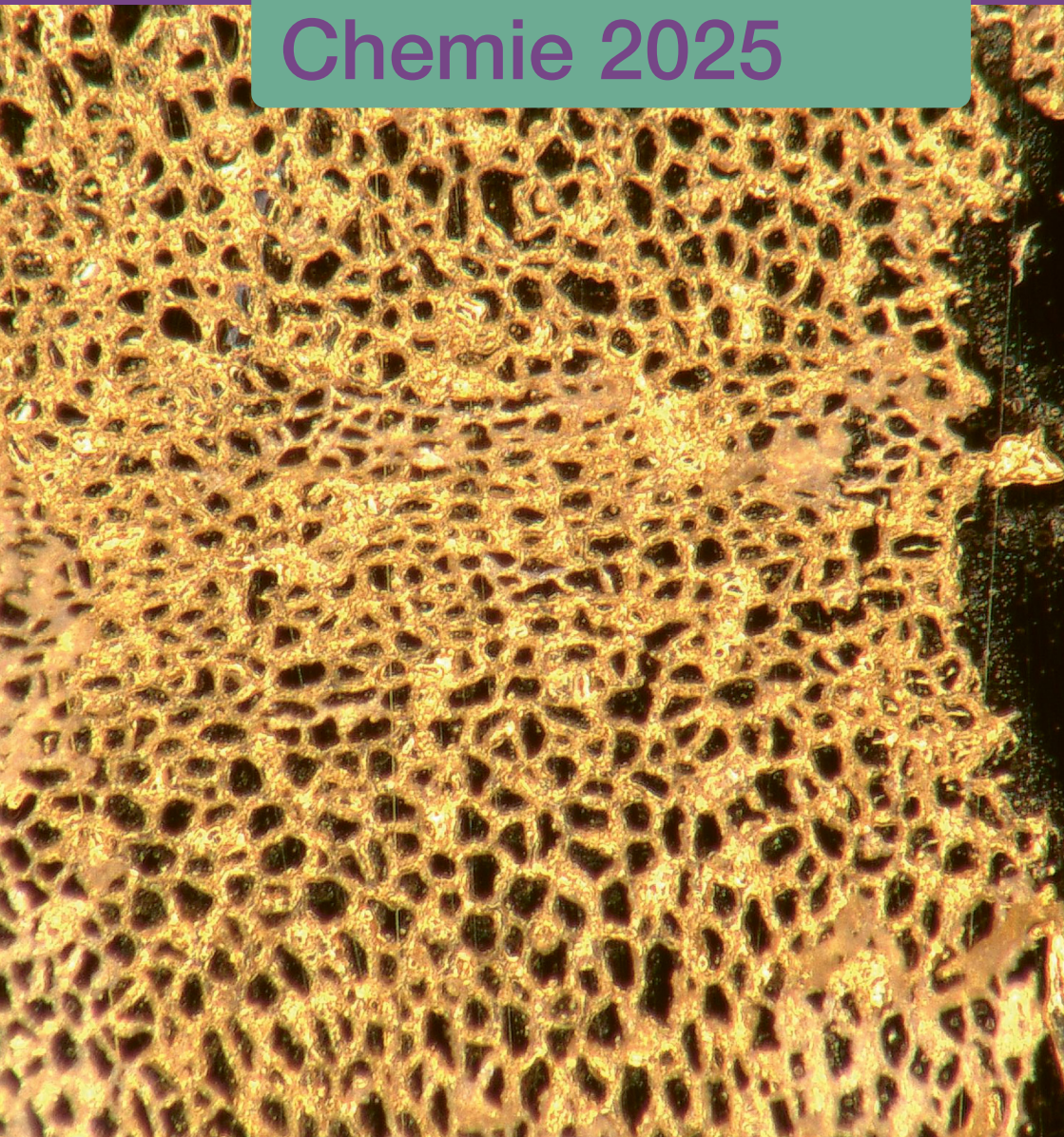


Bachelorarbeiten Chemie 2025



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
----------------	----------

Diplomandinnen und Diplomanden	6
---	----------

Aravinthan Amirthalingam	6
Yathurjan Balendran	7
Timon Balga	8
Lars Bossert	9
Jan Brunner	10
Urban Brunner	11
Julian Bützer	12
Fabian Cathomen	13
Matea Cesar	14
Vanja Dragosavljevic	15
Robin Ehrler	16
Chiara Hasenfratz	17
Oliver Hertach	18
Jonas Holzdörfer	19
Denise Huber	20
Julia Jöhl	21
Michael Kälin	22
Laura Kapceviciute	23
Lukas Kurer	24
Lukas Lagler	25
Eric Lehmann	26
Paul Ludwiger	27
Ton Markaj	28

Jana Marxer	29
David Mettler	30
Alessio Ricchetti	31
Karl Samietz	32
Diego Schärli	33
Tamara Schoenahl	34
Diego Beda Söldi	35
Mara Steiner	36
Philip Strickler	37
Joanna Verardi	38
Paul Werneburg	39
Leslie Jane Widtmann	40

Institut für Chemie und Biotechnologie (ICBT)	42
--	-----------

Bachelor, Master und Weiterbildung	44
---	-----------

ALUMNI ZHAW	47
--------------------	-----------

Titelbild: Nahaufnahme (200×) eines 8–9 µm dicken, goldbeschichteten Schnitts einer grünen Arabica-Kaffeebohne in der Bohnenmitte.
Bild©: Bachelorarbeit von Eric Lehmann, S. 26.

Bachelorjahrgang CH22



Liebe Absolventinnen und Absolventen

Es mir eine besondere Freude im Jubiläumsjahr – die Chemie an der ZHAW feiert dieses Jahr ihr 150-jähriges Bestehen – ein weiteres Bachelor Booklet einzuleiten.

Sie finden auf den nächsten Seiten Zusammenfassungen aller in diesem Jahr angefertigten Abschlussarbeiten im Bachelorstudiengang Chemie. Wie auch die vergangenen Jahre bin ich vom breiten thematischen Spektrum der Arbeiten begeistert. Es ist für mich eine wahre Freude, den Studierenden beim Experimentieren im Labor über die Schulter zu schauen. Naturgemäss ist mir das nur bei einigen Studierenden im eigenen Labor möglich. Eigentlich schade.

Lassen auch Sie sich von den kurzen Zusammenstellungen der Arbeiten begeistern und scheuen Sie sich nicht, sich die Details von den Studierenden oder den Dozierenden erläutern zu lassen.

Ich wünsche Ihnen viel Spass beim Lesen.

Achim Ecker.



Studiengangleiter Chemie
Institut für Chemie und Biotechnologie

Entwicklung von Antibiotika gegen multiresistente Bakterien



Diplomand

Aravinthan Amirthalingam

Korrektoren ZHAW

Prof. Dr. Rainer Riedl, Dr. Stefan Höck

In diesem Bachelorprojekt wurde die Entwicklung neuer Antibiotika zur Bekämpfung multiresistenter Bakterien untersucht. Der Fokus lag auf einem organisch-chemischen Ansatz zur gezielten Synthese und Modifikation potenzieller Wirkstoffmoleküle. Die hergestellten Verbindungen wurden chromatographisch aufgereinigt und mittels NMR- und MS-Spektroskopie charakterisiert. Unter anderem wurde auch Lolamicin hergestellt, welches bereits durch Muñoz et al. publiziert wurde [1]. Ergänzend wurden erste biologisch relevante Tests durchgeführt.

Die Arbeit ermöglichte eine vertiefte Auseinandersetzung mit modernen Methoden der Wirkstoffforschung und bot einen umfassenden Einblick in aktuelle Herausforderungen der antibiotischen Entwicklung.

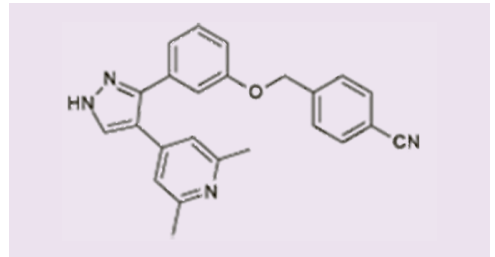


Abb. 1: Struktur des synthetisierten Lolamicins, publiziert von Muñoz et al. [1]

[1] K. A. Muñoz u. a., «A Gram-negative-selective antibiotic that spares the gut microbiome», *Nature*, Bd. 630, Nr. 8016, S. 429–436, Juni **2024**, doi: 10.1038/s41586-024-07502-0.

Quantifizierung von 2-Furfurylthiol in Kaffee mittels SAFE-Extraktion und GC-MS



Diplomand	Yathurjan Balendran
Korrektor ZHAW	Dr. Ed Wieland Sebastian Opitz
Korrektorin extern	Dr. Veronika Zelenay

Kaffee zählt weltweit zu den beliebtesten Getränken, wobei sein charakteristisches Aroma eine zentrale Rolle spielt. Die Herausforderung besteht darin, dass hochpotente Aromamoleküle wie 2-Furfurylthiol (2-FFT), die wesentlich zum charakteristischen Kaffeeduft beitragen, nur in äusserst geringen Konzentrationen vorkommen. Konventionelle Analysemethoden wie Festphasen-Mikroextraktion gekoppelt mit Gaschromatographie und Massenspektrometrie (SPME-GC-MS) stossen dabei an ihre Nachweisgrenze. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde daher eine SAFE-Methode (Solvent Assisted Flavour Evaporation) weiterentwickelt, um 2-FFT und andere flüchtige Aromastoffe aus Kaffeeproben zu extrahieren, wobei eine Vakuum-Destillation bei niedriger Temperatur die flüchtigen Komponenten schonend anreicherte. Ziel der Arbeit war der quantitative Nachweis von 2-Furfurylthiol (2-FFT), der durch die Kombination der SAFE-Extraktion mit Standardaddition und abschliessender GC-MS Analyse erreicht wurde. Trotz hoher Wiederholbarkeit der Messwerte deutete der Konzentrationsrückgang von 2-FFT während der SAFE-Destillation auf einen fortschreitenden Abbau dieser Schwefelverbindung hin, was die exakte Quantifizierung unmöglich machte.

Durch die gezielte Zugabe von Cystein vor der SAFE-Destillation gelang es, diese

Reaktivität von 2-FFT deutlich zu unterdrücken, was sich in einer signifikant verbesserten Wiederfindung von 2-FFT zeigte. Zudem wurden drei Kaffees mit typischen «Green Coffee Defects» im Vergleich zu einer Referenzprobe aus normalen Kaffeebohnen analysiert. Dabei traten nicht nur deutliche Unterschiede im Gehalt an 2-FFT auf, sondern auch individuelle Aromaprofile mit jeweils spezifischen Markerverbindungen, die charakteristisch für den jeweiligen Defekt waren. Damit wurde deutlich, dass die entwickelte Methode nicht nur für die Quantifizierung einzelner Aromastoffe geeignet ist, sondern auch wertvolle Einblicke in die sensorische Qualität von Kaffee ermöglicht.

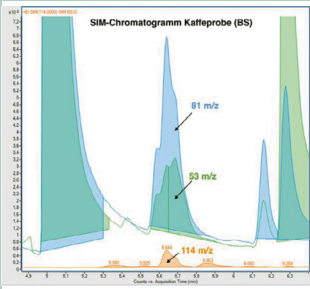


Abb. 1: Selected Ion Monitoring (SIM) von 2-FFT in einer Kaffeeprobe mit den spezifischen Ionen 53, 81 und 114 m/z.

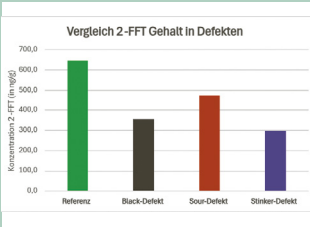


Abb. 2: Vergleich der 2-Furfurylthiol-Konzentration (in ng/g) zwischen Kaffeedefekten und der Referenzprobe aus normalen Kaffeebohnen.

Maschinelles Lernen zur Interpretation chemischer Reaktionen



Diplomand

Timon Balga

Korrektor/-in ZHAW

Dr. Judith Krautwald, Prof. Dr. Achim Ecker

Die Arbeit zeigt, wie maschinelles Lernen in der experimentellen Chemie eingesetzt werden könnte. Als Modellreaktion diente die Aldol-Kondensation von Benzaldehyd mit Aceton und Kaliumhydroxid (KOH) als Katalysator. Zunächst wurde anhand eines faktoriellen 2^3 -Versuchsplans die Reaktion untersucht, um die Einflüsse der ausgewählten Parameter analysieren zu können. Die klassische Auswertung ergab, dass die Verhältnisse «Benzaldehyd : KOH» (r_{13}) und «Benzaldehyd : Aceton» (r_{12}) den grössten Einfluss auf den Umsatz haben.

Die Daten wurden anschliessend in eine automatisierte Machine Learning Umgebung eingespeist. Das beste Modell lieferte eine Umsatzvorhersage, bei der mit einer Abweichung von 13 % zum praktischen Umsatz gerechnet werden muss. Zusätzlich bestätigte das Modell die Rangfolge der Faktoren aus dem Faktorplan. Durch die Kombination von 5000 Parametereinstellungen erstellte das Modell einen Vorschlag für optimale Reaktionsbedingungen bei maximalem Umsatz. Eine Laborverifikation dieser Vorhersage erzielte einen Umsatz von

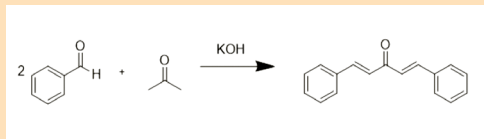


Abb. 1: Aldolkondensations-Reaktion von Benzaldehyd und Aceton unter KOH-Katalyse zu Dibenzylacetone

87.7 %, während das Modell einen Umsatz von 86.3 % vorhersagte. Zusätzlich übertraf die Reaktion mit dieser Parametereinstellung den besten Versuch, der zuvor durchgeführten Experimente aus dem Labor (85.9 %). Damit demonstriert die Arbeit, dass maschinelles Lernen schon bei kleinen Datensätzen eine schnelle und benutzerfreundliche Ergänzung zur statistischen Versuchsplanung ermöglicht. Während die klassische Versuchsplanung klare Einsichten in Haupteffekte und Wechselwirkungen liefern kann, bietet maschinelles Lernen zusätzliche Optimierungspotenziale bei minimalem Rechen- und Bedienaufwand. Die Kombination beider Ansätze ermöglicht es, chemische Prozesse effizienter zu verstehen und dadurch zu optimieren.

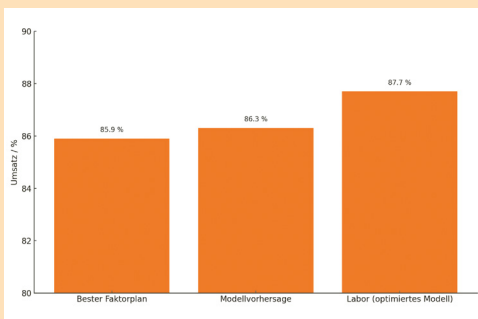


Abb. 2: Vergleich der Umsätze: Umsatz des besten Versuchs aus dem Faktorplan (links), vorhergesagter Umsatz des Modells (Mitte), praktischer Umsatz aus dem Labor mit den vorhergesagten Parametern des Modells (rechts).

Abbau von kapsulären Polysacchariden aus *K. pneumoniae* durch Tailspike-Proteine



Diplomand

Lars Bossert

Korrektor/-in ZHAW

Prof. Dr. Sabina Gerber, Prof. Dr. Lars Fieseler

Bakteriophagen (Phagen) können für Detektion, Identifikation und Bekämpfung von Mikroorganismen eingesetzt werden und weisen meistens eine hohe Spezifität für ihre bakteriellen Wirte auf. Sie werden bereits für die Behandlung von offenen Wunden oder als Zusätze zur Erhöhung der Haltbarkeit von Lebensmitteln eingesetzt. Eine generelle Nutzung von Phagen gegen lebensbedrohliche Infektionskrankheiten wird weltweit aufgrund stark zunehmender Antibiotikaresistenzen von pathogenen Bakterien intensiv erforscht. *Klebsiella pneumoniae* ist ein opportunistisches, meist verkapseltes Humanpathogen, das vermehrt Carba-penem-Resistenzen aufweist. Klebsiellen werden deshalb von der WHO als kritische Pathogene mit Priorität 1 für die Entwicklung neuer Antibiotika gelistet. Die molekularen Mechanismen der Bindung der Phagen an die Zelloberfläche sowie die Depolymerisierung der bakteriellen Polysaccharide wurden bisher jedoch nicht im Detail beschrieben. Bindung und Abbau der Kohlenhydrate wird durch

Tailspike-Proteine (TSP) ermöglicht, die nicht-kovalent an die Basalplatte des Phagen gebunden sind. Diese können Spezifitäten für O-Antigene in Lipopolysacchariden oder für kapsuläre Polysaccharide (K-Antigene) aufweisen. Die K-Antigene der Klebsiellen sind starke Virulenzfaktoren, die das Bakterium vor Antibiotika und vor dem Angriff durch das Immunsystem schützen. In dieser Bachelorarbeit wurden erstmalig K-Antigen-spezifische TSP aus einem *K. pneumoniae*-spezifischen Bakteriophagen rekombinant hergestellt, aufgereinigt und charakterisiert (Abb. 1). Zusätzlich wurden in dieser Arbeit Methoden zur Isolation und zum Nachweis von kapsulären Polysacchariden aus *K. pneumoniae*-Stämmen erfolgreich entwickelt und die *in vitro*-Depolymerisierung derselben durch das TSP qualitativ nachgewiesen. Weiter wurden die K-Antigenabbauprodukte erfolgreich mittels ESI-Q-TOF Massenspektrometrie nachgewiesen (Abb. 2).

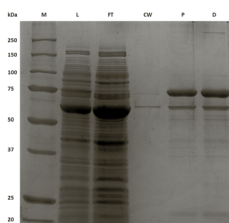


Abb. 1: SDS-PAGE zur Darstellung der Aufreinigung eines *K. pneumoniae*-spezifischen TSP mittels Affinitätschromatographie. Coomassie-Färbung. **M:** Marker, **L:** Load, **FT:** Flow-Through, **CW:** Column Wash, **P:** Pool, **D:** Dialysat.

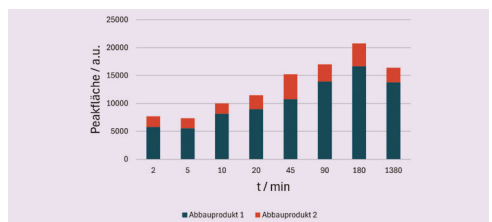


Abb. 2: Kinetik der Abbauprodukte eines *Klebsiella pneumoniae* K-Antigens durch ein rekombinant hergestelltes TSP. Peakflächen der massenspektrometrisch ermittelten Abbauprodukte.

Deuterierung von Dimethylsulfoxid



Diplomand

Jan Brunner

Korrektor/-in ZHAW

Prof. Dr. Achim Ecker, Dr. Mirjam Frick

Chemische Isotopenaustauschreaktionen lassen sich durch geeignete Prozessführung erheblich beschleunigen und in ihrer Selektivität optimieren.

In dieser Arbeit wurde die Deuterierung von Dimethylsulfoxid (DMSO) optimiert. Ziel war es, einen klassischen Batch-Ansatz schrittweise in ein effizienteres und robustes, kontinuierlich betriebenes Verfahren zu überführen. Vom konventionellen Batch Ansatz über Semi Batch Experimente bis hin zu kontinuierlichen Verfahren wurden verschiedene Betriebsmodi systematisch evaluiert. Parallel wurden unterschiedliche Pumpen, Dosier- und Messtechniken sowie Varianten der Raman Inline Spektroskopie ausprobiert und evaluiert. Die Kombination aus Inline-Raman- und Offline- ^1H -NMR-Spektroskopie ermöglichte die Verfolgung des Reaktionsverlaufes und bildete die Grundlage für alle Optimierungsschritte. Der wichtigste Fortschritt: Durch Anpassung von Verfahrensführung, Apparatur und automatisiertes Zudosieren konnte die Reaktionszeit deutlich verkürzt und gleichzeitig der Deuterierungsgrad des Endprodukts erhöht werden. Alle finalen kontinuierlichen Versuche führten dabei zu nahezu identischer Produktqualität, was die Reproduzierbarkeit des neuen Prozesses beweist. Dank der Inline-Überwachung liess sich ausserdem zeigen, dass das Gleichgewicht bereits erreicht ist, bevor

die komplette Menge an Edukt zugegeben wurde, was auf ein Einsparpotenzial an Ressourcen hinweist.

Insgesamt demonstriert das Projekt, wie sich durch gezielte Prozessanalytik, adaptive Dosierstrategien und den Übergang in den kontinuierlichen Betrieb ein bestehender Prozess sowohl ökonomischer als auch ökologischer gemacht werden kann.

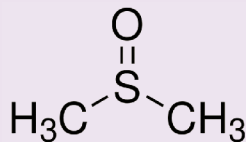


Abb. 1: Molekülstruktur von DMSO

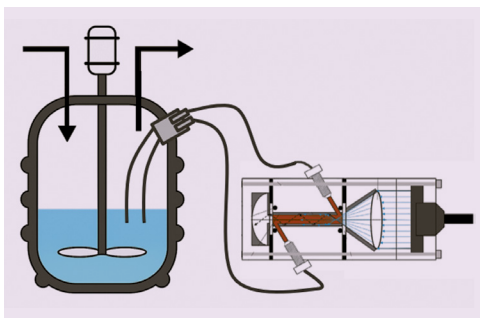


Abb. 2: Schematische Darstellung des kontinuierlichen Verfahrens: Die Reaktionslösung wird in eine Durchflusszelle geleitet und dort mithilfe einer berührungslosen Raman-Optik online überwacht.

Inbetriebnahme und Optimierung einer Rektifikationsanlage zur Auftrennung spezifischer Gemische



Diplomand

Urban Brunner

Korrektor/-in ZHAW Dr. Peter Riedlberger, Dr. Judith Krautwald

Die Rektifikation ist ein thermisches Trennverfahren in der Verfahrenstechnik. Wie bei der Destillation wird ein Gemisch erhitzt und aufgrund der unterschiedlichen Dampfdrücke der Komponenten getrennt. Bei der Rektifikation werden mehrere Destillationsschritte in einer Kolonne wiederholt, um die Trennleistung zu verbessern. Eine solche Rektifikationsanlage im Labormassstab steht im Labor für Chemieingenieurwesen an der ZHAW zur Verfügung. Ziel dieser Arbeit war es, den Katalog an möglichen Gemischen, die an der Anlage getrennt werden können, zu erweitern und eine geplante Konfiguration für leicht flüchtige Komponenten aufzubauen und erstmals zu testen.

Für den ersten Teil wurde ein Gemisch aus Isopropanol und Wasser erfolgreich bis zum azeotropen Punkt, also dem Punkt, an dem die Konzentration in der Dampf- und Flüssigphase identisch sind, getrennt. Um eine weitere Trennung zu ermöglichen, werden in der Industrie zwei mögliche Verfahren eingesetzt. Entweder wird mit einem Zweidruckverfahren gearbeitet, was an dieser Anlage nicht möglich ist, oder es wird ein dritter Stoff als sogenanntes Schleppmittel dem zu trennenden Gemisch zugegeben, um ein neues ternäres Azeotrop zu bilden. Über zwei bis drei Schritte kann nun eine beinahe vollständige Trennung des Ursprungsgemisches stattfinden. Für diesen Prozess im Fall von Isopropanol und Wasser wurde anhand

des Schleppmittels Isooctan ein theoretisches Vorgehen erarbeitet.

Für den zweiten Teil wurde die Anlage umgebaut und erstmals mit Wasser erprobt. Bevor die Anlage mit dem gewünschten Testgemisch aus Wasser, n-Propanol und n-Hexan validiert werden konnte, wurde zuerst eine Risikoanalyse durchgeführt. Dafür müssen die notwendigen Temperaturen und Drücke bekannt sein. Da die Anlage aufgrund eines Glasbruchs nicht vollständig evakuiert werden konnte, war es nicht möglich, die notwendigen Parameter zu bestimmen. Es wurden jedoch theoretische Werte geschätzt, die es in einem weiteren Schritt zu evaluieren gilt.

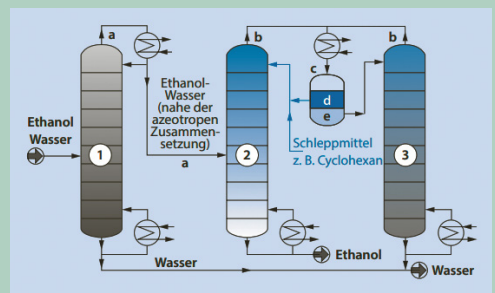


Abb. 1: Schematische Darstellung der Azeotrop-Rektifikation anhand des Gemischs Ethanol/Wasser, das mit Hilfe eines organischen Schleppmittels über den azeotropen Punkt hinaus getrennt wird. Quelle: A. Behr, Thermische Trennverfahren I, Springer, Heidelberg, 2016.

Enzymatische Konstruktion einer DNA-enkodierten Bibliothek



Diplomand

Julian Bützer

Korrektor/-in **ZHAW** Prof. Dr. Rebecca Buller, Dr. Ben Ashley

DNA-kodierte Bibliotheken (engl. DNA-encoded libraries, DELs) haben sich in der pharmazeutischen Industrie und der medizinischen Forschung zu einem wichtigen Instrument für die schnelle Identifikation potenzieller Wirkstoffe entwickelt. Im Gegensatz zur klassischen Hochdurchsatz-Wirkstoffsuche, bei der die Affinitätsselektion nacheinander mit einzelnen Molekülen durchgeführt wird, ermöglichen DELs die parallele Untersuchung von Millionen Verbindungen in einem einzigen Ansatz. Dies wird durch die kovalente Verknüpfung der Moleküle mit DNA-Strängen erreicht, die als molekulare «Barcodes» fungieren und eine einfache Identifikation nach der Selektion ermöglichen.

Die chemische Synthese von komplexen Molekülen, die an einen DNA-Strang gekoppelt sind, ist jedoch anspruchsvoll, da jeder Syntheseschritt unter milden, wässrigen Bedingungen erfolgen muss, um die Integrität der DNA zu gewährleisten. Um das Repertoire der DNA-kompatiblen Synthesemethoden zu erweitern, war das Ziel dieser Bachelorarbeit, Enzyme für die Konstruktion von molekularer Komplexität auf DNA zu identifizieren.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 24 C-C-koppelnde Enzyme für die Synthese von DNA-gebundenen kleinen Molekülen untersucht. Nach Expressionstests in *E. coli* und der molekularbiologischen Optimierung suboptimal produzierter

Enzyme wurde die Aktivität der Biokatalysatoren mit nativen Substraten untersucht und die Produktbildung mittels GC-MS verfolgt. Enzyme, die Aktivität zeigten, wurden anschliessend in Reaktionen mit DNA-verknüpften Substraten eingesetzt, und die Bildung der Reaktionsprodukte wurde mithilfe von LC-MS analysiert. Abschliessend konnten vier Enzyme identifiziert werden, die auch in Anwesenheit eines DNA-Barcodes aktiv waren, und so die Grundvoraussetzung erfüllen, in der Synthese von DELs eingesetzt werden zu können.

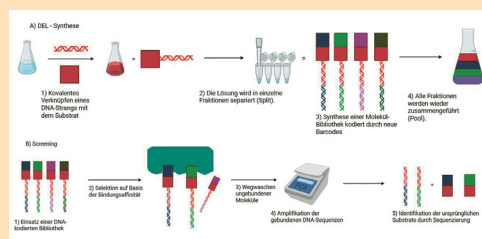


Abb. 1: Schematische Darstellung einer biokatalytischen DEL-Synthese und Screening. **A) DEL-Synthese:** Start mit einem DNA-gebundenen Substrat. Die Substratlösung wird in mehrere Fraktionen aufgeteilt («Split»). In jeder Fraktion wird eine andere Synthese durchgeführt, basierend auf demselben Grundbaustein. Für jede Synthese wird ein eigener DNA-Strang hinzugefügt. Am Ende wird alles zusammengeführt («Pool») und der Vorgang wiederholt. **B) Screening:** DELs-Moleküle werden mit einem immobilisierten Ziel inkubiert und nicht gebundene Substrate durch Waschen entfernt. Mithilfe einer Polymerase-Kettenreaktion werden die DNA-Stränge der gebundenen Substrate amplifiziert und mittels Sequenzierung die dazugehörigen Substrate identifiziert.

Verkapselung extrazellulärer Vesikel aus Dickdarmkrebszellen der Maus in Nanofasern



Diplomand	Fabian Cathomen
Korrektor ZHAW	Dr. Christian Adlhart
Korrektorin extern	Dr. Veronika Zelenay

Extrazelluläre Vesikel (EVs) sind membranumhüllte Partikel mit einem Durchmesser von 30–1000 nm, die mit Proteinen und Nukleinsäuren beladen sind. Zurzeit wird intensiv an EVs geforscht, da sie eine wichtige Rolle in der Zell-Zell-Kommunikation spielen und deshalb interessante Kandidaten für die gezielte Freisetzung von Wirkstoffen sind (Németh et al., 2022). Ebenso werden Wirkstoffe in elektrogesponnenen Nanofasern eingebettet, um sie lokal und kontinuierlich freizusetzen (Greiner et al., 2007).

In dieser Arbeit sollten die Eigenschaften von EVs und Nanofasern kombiniert werden, um eine gezielte und kontrollierte Freisetzung von Wirkstoffen zu erreichen. Darüber hinaus wurden die EVs durch das Einbetten so stabilisiert, dass eine Lagerung bei -80 °C nicht mehr notwendig war. In einem ersten Schritt wurden Dickdarmkrebszellen der Maus vermehrt, um die Vesikel isolieren zu können. Nachdem die EVs isoliert und mittels Grössenausschlusschromatographie von anderen Exosomen getrennt wurden, wiesen sie eine Konzentration von $(1,59 \pm 0,0153) \times 10^{11}$ Partikel/mL sowie einen Durchmesser von $(123,8 \pm 57,9)$ nm auf. Anschliessend wurden sie mit Polymerlösungen verschiedener Polyvinylpyrrolidon-Konzentrationen (PVP) gemischt und durch Elektrosponnen zu dünnen Fasern versponnen. Eine PVP-Lösung mit 18 % (w/w) PVP und einer EV-Konzentration von $1,65 \times 10^9$ Partikel/mL

resultierte in Nanofasern mit einem Durchmesser von (159 ± 42) nm. Mithilfe von Rasterelektronenmikroskopischen (REM) – und konfokal mikroskopischen Aufnahmen konnte gezeigt werden, dass die EVs nach dem Elektrosponnen intakt waren und in die Nanofasern eingebettet wurden.

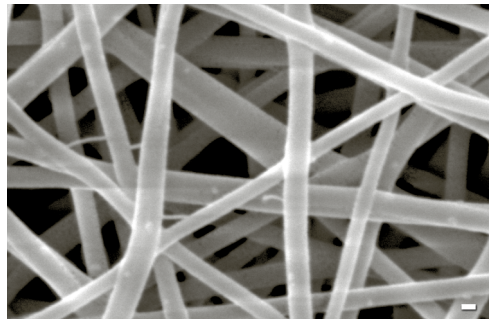


Abb. 1: REM-Aufnahme elektrogesponnener Nanofasern aus PVP/EV-Suspension mit 25 % (w/w) PVP. Skala $\approx 20\text{ }\mu\text{m}$.

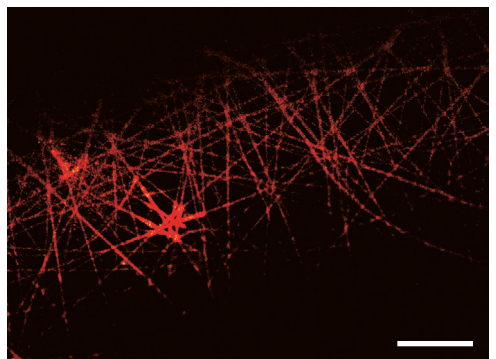


Abb. 2: Konfokale mikroskopische Aufnahme derselben Probe: Mit Cell-tracker Green markierte EVs (grün) und PVP-Nanofasern mittels Rhodamin B Isothiocyanat (rot) angefärbt. Skala $\approx 20\text{ }\mu\text{m}$.

Herstellung von Skelettmuskeln für die Medikamententestung



Diplomandin

Matea Cesar

Korrektoren ZHAW

Dr. Markus Rimann, Prof. Dr. Michael Raghunath

Skelettmuskeln ermöglichen Bewegung, stabilisieren den Körper und sind wichtig für Stoffwechsel und Temperaturregulation. Aufgrund ihrer zentralen Rolle im Körper sind sie bei vielen Krankheiten wie Muskeldystrophien, Altersatrophie und Diabetes betroffen. Daher sind geeignete Skelettmuskelmodelle wichtig, um krankheitsbedingte Veränderungen zu verstehen und gezielte Therapien zu entwickeln.

Auch in der Medikamententestung sind Muskelzellen relevant, da viele Wirkstoffe unerwünschte muskuläre Nebenwirkungen haben können. Dafür braucht es verlässliche *in vitro*-Modelle, die möglichst realistische Bedingungen abbilden. 2D-Kulturen reichen dafür oft nicht aus, weshalb vermehrt 3D-Modelle entwickelt werden. Viele davon sind jedoch technisch aufwendig.

Ziel dieser Arbeit war daher die Entwicklung eines einfachen, reproduzierbaren 3D-Modells. Dazu wurde ein 3D-gedruckter Stempel zur Herstellung standardisierter Agarose-Molds mit integrierten Agarosepfosten genutzt, in die Kollagen I-Gele mit C2C12-Zellen eingebracht wurden. Diese murine Myoblastenzelllinie ist gut handhabbar und eignet sich für methodische Etablierungen. Die 2D-Differenzierung und Myotubenbildung konnten erfolgreich mit Myosin-Heavy-Chain (MHC)-Nachweis,

DAPI- und Phalloidininfärbung gezeigt werden. Auch das Giessen der Gele in die Molds sowie die 3D-Faserausbildung im Kollagen I-Gel verliefen erfolgreich (Abb. 1). Das entwickelte System bietet eine einfache Grundlage für zukünftige Anwendungen in der Muskel- und Wirkstoffforschung.



Abb. 1: MIA-Screening eines Kollagen I-Hydrogels mit eingebetteten C2C12-Zellen im Agarose-Mold mit zwei klar ausgebildeten Strängen entlang der Pfosten. Die Fasern verlaufen parallel und deuten auf eine gerichtete Zellorganisation und erfolgreiche Gewebestruktur hin.

Quantifizierung von ROS nach photodynamischer Aktivierung von Curcumin-PVP



Diplomandin	Vanja Dragosavljevic
Korrektor ZHAW	Prof. Dr. Christian Adlhart
Korrektorin extern	Dr. Veronika Zelenay

Die desinfizierende photodynamische Therapie (PDT) ist ein vielversprechendes Verfahren zur gezielten Inaktivierung von Mikroorganismen, insbesondere in schwer zugänglichen Infektionsherden wie bakteriellen Biofilmen der Mundhöhle. Dabei wird ein Photosensitizer durch Licht einer definierten Wellenlänge aktiviert und erzeugt in Folge reaktive Sauerstoffspezies (ROS), darunter Hydroxylradikale, die mikrobielle Strukturen angreifen und zerstören.

In dieser Arbeit, die in Zusammenarbeit mit der DentalTek Research AG durchgeführt wurde, wurde Curcumin, stabilisiert in Polyvinylpyrrolidon (Curcumin-PVP), als natürlicher Photosensitizer eingesetzt.

Ziel der Arbeit war die Entwicklung eines zuverlässigen Protokolls zur quantitativen Bestimmung der bei der photodynamischen Aktivierung gebildeten Hydroxylradikale. Die Detektion erfolgte mittels

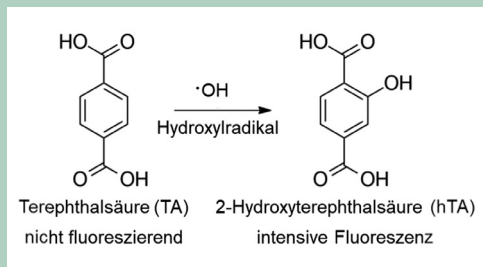


Abb. 1: Nachweis von Hydroxylradikalen mittels fluoreszierender 2-Hydroxyterephthalsäure (hTA)

Fluoreszenzspektroskopie unter Verwendung von Terephthalsäure als spezifische Sonde, die mit Hydroxylradikalen reagiert und ein fluoreszierendes Produkt bildet. Die resultierende Fluoreszenzintensität diene als Mass für die gebildete Radikalmenge.

Ein zentrales methodisches Problem stellte der sogenannte innere Filtereffekt dar, bei dem Anregungs- oder emittiertes Licht innerhalb der Probe absorbiert wird und so die gemessene Fluoreszenzintensität verfälscht. Dieser Effekt wurde durch ein mathematisches Korrekturmodell berücksichtigt und erfolgreich kompensiert.

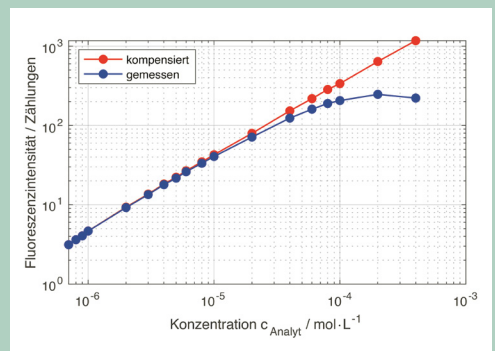


Abb. 2: Kompensation des inneren Filtereffekts mithilfe eines mathematischen Korrekturmodells.

Validierung von Extraktionsverfahren zur Trennung von Stärke und Rinde für die Verwendung der Stärke als Betonzusatzmittel



Diplomand

Robin Ehrler

Korrektoren ZHAW

Prof. Dr. Thomas Pielhop, Matthias Eckl

In dieser Bachelorarbeit wurden verschiedene Extraktionsverfahren zur Trennung von Stärke und Rinde aus Maniok validiert, mit dem Ziel, die gewonnene Stärke als nachhaltiges Betonzusatzmittel zu verwenden. Der Schwerpunkt lag auf Maniokrinden, einem bisher wenig genutzten Nebenprodukt. Es kamen sowohl inerte Verfahren wie Soxhlet, Perkolation als auch reaktive Verfahren zum Einsatz, wie chemische mit Natronlauge oder Schwefelsäure sowie enzymatische mit α -Amylasen. Die Stärkeextrakte wurden mittels HPLC-CAD, UV/VIS-Spektroskopie und Trockenrückstandsanalyse charakterisiert und in Mörtelversuchen auf ihre baustoffliche Eignung geprüft. Zur vergleichenden

Bewertung der Verfahren wurde ein Scoring-System (A–E) eingeführt, das verschiedene Einzelkriterien berücksichtigte. Diese beinhalteten die Effizienz der Stärkeverflüssigung (Score A), die Oligosaccharidverteilung gemäss HPLC (Score B), die Matrixreinheit anhand des Rindenfaktors (Score C), die Betoneignung per Ausbreitmass (Score D) sowie die praktische Anwendbarkeit (Score E). Die zusammenfassende Bewertung dieser Kriterien ist in Tabelle 1 dargestellt. Der Gesamtscore ergab sich aus der Summe der Einzelscores und diente der Beurteilung der Gesamtpformance der jeweiligen Methode.

Tab. 1: Zusammenfassende Methodenbewertung: Score **A**: Effizienz der Stärkeverflüssigung; Score **B**: Oligosaccharidverteilung gemäss HPLC; Score **C**: Matrixreinheit gemäss Rindenfaktor; Score **D**: Ausbreitmass; Score **E**: praktische Anwendbarkeit. Gesamtpformance = Summe der Einzelscores.

Substrat	Methode	A	B	C	D	E	Total
Laugen- & Säurebehandlung							
Knolle, frisch	1 % NaOH, 4 % H ₂ SO ₄	5	3	2	5	5	20
Knolle, trocken		2	1	3	3	3	12
Rinde, frisch		5	2	4	3	3	17
Rinde, trocken		4	1	4	1	1	11
Enzymatische Hydrolyse							
Knolle, frisch	je 1 % v/m Enzymmischung A & B	3	3	4	5	5	20
Knolle, trocken		4	3	4	5	3	19
Rinde, frisch		5	2	5	4	4	20
Rinde, trocken		3	2	5	4	2	16



Abb. 1: Apparatur für die Hydrolyse frischer Maniokknolle.

Die Ergebnisse belegen, dass insbesondere die frische Maniokrinde ein vielversprechender Rohstoff mit hohem stofflichem Potenzial darstellt. Die erfolgreiche Umsetzung mittels enzymatischer Hydrolyse eröffnet Perspektiven für die Entwicklung ressourcenschonender Verfahren für nachhaltige Betonzusatzmittel.

Analyse von Ochratoxin A in grünem Kaffee und defekten Kaffeebohnen



Diplomandin	Chiara Hasenfratz
Korrektor ZHAW	Dr. Ed Wieland Sebastian Opitz
Korrektorin extern	Dr. Veronika Zelenay

Ochratoxin A (OTA) ist ein Mykotoxin, das in verschiedensten Lebensmitteln bei Schimmelpilzbefall gebildet werden kann. Die Analyse von OTA ist unter den Mykotoxinen im Kaffee am weitesten erforscht. Durch die Einstufung von OTA als potenziell krebserregend, sind in der EU folgende Grenzwerte definiert: 3.0 µg/kg bei geröstetem Kaffee und 5.0 µg/kg bei löslichem Kaffee [1]. Aufbauend auf der technischen Empfehlung der Firma R-Biopharm AG wurde eine Methode zur Extraktion und zum Nachweis von OTA in grünen, nicht gerösteten Kaffeebohnen entwickelt. Die Probenaufarbeitung enthielt einen Aufreinigungsschritt über die Immunoaffinitäts-säule (IAS) OCHRARHONE® WIDE, die verwendet wurde, um zum einen OTA anzureichern und zum anderen, um die Matrix der gemahlene grünen Kaffeebohnen zu reduzieren. Ziel der Bachelorarbeit war es, die gewählte HPLC-FLD Analysenmethode von OTA zu validieren und unter Einsatz eines liquid-handling Tools von Gilson zu automatisieren. Die Methode konnte erfolgreich etabliert werden mit einer OTA-Wiederfindungsrate von 65 % und einer Nachweisgrenze von 1.11 µg/kg. Mit dieser Methode wurden anschliessend 17 unterschiedliche Defekte von Kaffeebohnen und 9 weitere grüne Kaffeeproben auf OTA-Kontamination analysiert. Nur in einer Kaffeeprobe konnte OTA mit einer Konzentration von 1.9 µg/kg nachgewiesen werden, was innerhalb des gesetz-

lichen Grenzwertes lag. Das erhaltene Signal ist in Abbildung 1 dargestellt. Bei den defekten Kaffeebohnen konnte kein OTA nachgewiesen werden.

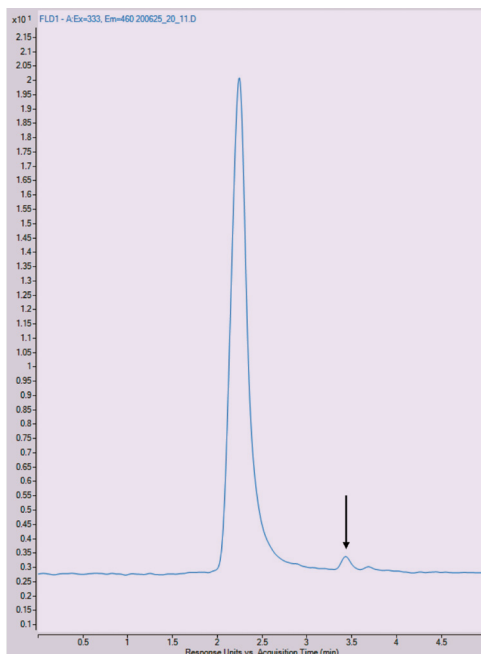


Abb. 1: FLD-Signal von «Basiskaffee» mit markiertem OTA-Peak.

[1] Netto, A. D. P.; da Silva, M. C.; da Silva Junior, A. I. Chapter 67 – The Mycotoxin Ochratoxin A: Levels in Coffee. In *Coffee in Health and Disease Prevention (Second Edition)*; Preedy, V. R., Patel, V. B., Eds.; Academic Press, **2025**; pp 753–763. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13868-3.00010-7>.

Entwicklung von Shortcuts für effizientes Molekülzeichnen in CyBy-Draw mit Idris2



Diplomand

Oliver Hertach

Korrektoren ZHAW

Dr. Stefan Höck, Prof. Dr. Rainer Riedl

Chemische Datenbanken sind im Alltag der Chemie allgegenwärtig und stellen auch ein zentrales Thema der Chemieinformatik dar. Um die Suche nach Molekülen in solchen Datenbanken zu erleichtern, sind häufig chemische Zeichenprogramme integriert. Beliebte Programme wie ChemDraw oder MarvinSketch sind jedoch kostenpflichtig und vergleichsweise teuer.

An der ZHAW wurde deshalb ein eigenes Zeichenprogramm namens CyBy-Draw entwickelt, das eine effiziente Suche in der ebenfalls intern entwickelten Chemikaliendatenbank CyBy ermöglicht. Bislang konnten Moleküle in CyBy-Draw ausschliesslich mit der Maus gezeichnet werden.

Um das Zeichnen von Molekülen deutlich zu beschleunigen, wurden im Rahmen dieser Arbeit Tastatur-Shortcuts implementiert. Mit diesen lassen sich per Tastendruck nicht nur einzelne Atome, sondern auch funktionelle Gruppen sowie Abkürzungen für funktionelle Gruppen direkt einfügen. Darüber hinaus konnten auch die Bindungsordnungen von Bindungen über die Tastatur angepasst werden. Ergänzend wurde eine Navigationsfunktion entwickelt, mit der innerhalb von Molekülen navigiert werden kann. Sie ermöglichte es, die Tastatur-Shortcuts besonders effizient zu nutzen. Dadurch konnten viele Moleküle vollständig über die Tastatur, ohne den Einsatz der Maus, gezeichnet werden.

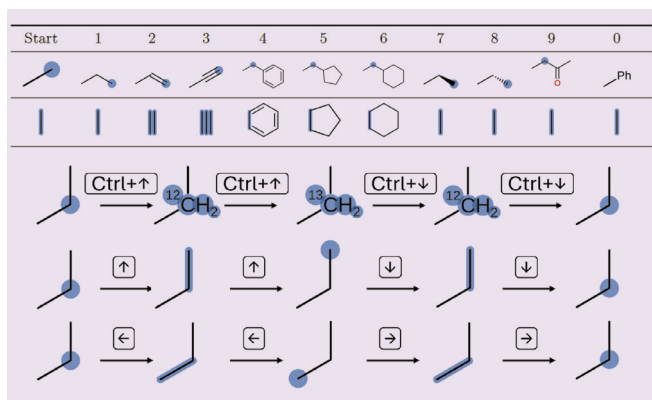


Abb. 1: Übersicht aller im Rahmen dieser Arbeit umgesetzten Tastatur-Shortcuts und Navigationsmöglichkeiten.

Entwicklung neuartiger Hydrierverfahren für Schmelzen im Labormasstab



Diplomand

Jonas Holzdörfer

Korrektor/-in ZHAW

Prof. Dr. Achim Ecker, Dr. Judith Krautwald

Die Hydrierung von Dinitrotoluol zu Toluoldiamin ist eine relevante Reaktion in der Polyurethanchemie, die aufgrund der Sicherheitsrisiken jedoch mit hohen Anforderungen an die Handhabung verbunden ist. Dementsprechend war das Ziel dieser Arbeit, zunächst Toluol als Modellsubstanz in einem Autoklav zu Methylcyclohexan zu hydrieren, um u. a. die Reaktionsgeschwindigkeit und die optimale Toluol-Dosierung zu ermitteln.



Abb. 1: Hydrieranlage für die Hydrierung von Toluol.

Ausserdem sollte eine neue Pumpe in Betrieb genommen und auf Funktionalität geprüft werden, mit der höherviskose Schmelzen wie Dinitrotoluol oder Stearinsäure zuverlässig gefördert werden können. Während der zwei dis- und drei halbkontinuierlichen Hydrierungen von Toluol wurden Produktausbeuten von Methylcyclohexan von über 99.5 % erzielt. Die maximalen Reaktionsraten konnten auf 2.69 L/min Wasserstoffverbrauch (diskontinuierliche Verfahrensführung) und 1.58 L/min Wasserstoffverbrauch (halbkontinuier-

lich) festgelegt werden. Zur Vermeidung einer Akkumulation von Toluol im Reaktor wurde experimentell eine optimale Flussrate von 1–2 mL/min ermittelt. Das charakteristische Anfahrverhalten der Reaktion konnte durch einen initialen Rührschritt unter Reaktionsbedingungen (30–60 min) signifikant verringert werden. Die Inbetriebnahme und Untersuchung der neuen Mikrozahnringpumpe zeigten, dass, entgegen den Herstellerangaben, auch niedrigviskose Medien wie Toluol oder Wasser unter Atmosphärendruck in einem Flussratenbereich von 1–288 mL/min präzise gefördert werden können. Weitere Tests zeigten jedoch, dass eine präzise Dosierung von Toluol bei einem Gegendruck nicht möglich ist. Mit höherviskosen Substanzen wie Levulin-, Stearinsäure und Dinitrotoluol sollte das Fördern gegen den Reaktor- und Druck von 30 bar jedoch ohne Probleme möglich sein, was in weiteren Experimenten zu zeigen ist.

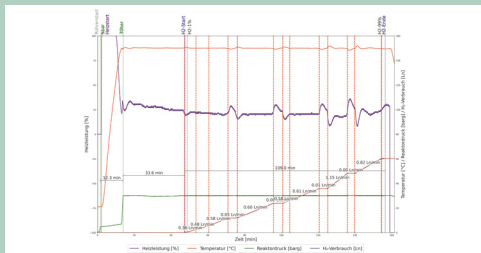


Abb. 2: Reaktionsverlauf der halbkontinuierlichen Hydrierung von Toluol zu Methylcyclohexan. Nach einem initialen Rührschritt wurde untersucht, wie sich drei verschiedene Toluol-Dosierarten auf die Reaktionsgeschwindigkeit auswirken.

Charakterisierung von Helikasen für eine isothermale DNA-Amplifikationsmethode



Diplomandin

Denise Huber

Korrektor/-in ZHAW

Dr. Kerstin Gari, David Frasson

Die Globalisierung trägt dazu bei, dass sich Krankheiten viel stärker verbreiten als früher. Sowohl zur rechtzeitigen Behandlung als auch um eine Ausbreitung von Krankheiten zu verhindern, ist es daher wichtig, schnelle und präzise Tests durchführen zu können. Eine Möglichkeit, Pathogene schnell zu detektieren, ist die Polymerase-Kettenreaktion (PCR) zur Amplifikation von DNA. Sie besitzt jedoch den Nachteil, dass ein Thermocycler verwendet werden muss, der in Entwicklungsländern und strukturschwachen Gegenden häufig nicht zur Verfügung steht. Eine Möglichkeit, dies zu umgehen, ist die isothermale Amplifikation von DNA.

Ziel dieser Arbeit war es, die sogenannte HDA-Methode (Helikase-abhängige Amplifikation) zu optimieren. Anders als bei der PCR wird die DNA durch Helikasen entwunden und so kann die gesamte Reaktion bei gleichbleibender Temperatur durchgeführt werden. Die Herausforderung bestand darin, eine Helikase mit hoher Prozessivität zu identifizieren, um auch lange Nukleinsäuren effizient entwenden zu können. Dazu wurden drei Helikasen des Organismus *Pyrococcus furiosus* in *E. coli* hergestellt, chromatographisch aufgereinigt und hinsichtlich ihrer Fähigkeit, DNA zu binden und zu entwenden, charakterisiert. Zwei der drei Helikasen konnten erfolgreich aufgereinigt und untersucht werden. Eine dieser Heli-

kasen zeigte eine deutliche Entwindungsaktivität, wobei es bisher unklar ist, ob sie auch für die HDA-Methode geeignet ist.

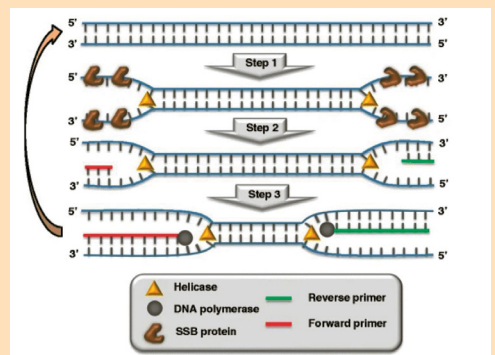


Abb. 1: Schema einer Helikase-abhängigen Amplifikation. Die Helikase entwindet die doppelsträngige DNA. Einzelstrang-DNA-bindende Proteine (SSB) stabilisieren die Einzelstränge, indem sie ein erneutes Zusammenlagern der DNA verhindern. Nach der Primerhybridisierung erfolgt die Verlängerung über die DNA-Polymerase [1].

[1] S. Barreda-García et al., *Anal Bioanal Chem* 410(3), S. 679–693, **2018**. DOI: 10.1007/s00216-017-0620-3.

Optimierung der biotechnologischen Produktion von Melonol



Diplomandin

Julia Jöhl

Korrektor/-in ZHAW

Dr. Thomas Schwander, M.Sc. Lisa Schelbert

Ob in Lebensmitteln, Parfüms oder Kosmetika, Duft- und Aromastoffe sind chemische Verbindungen, die für den charakteristischen Geschmack oder Geruch verantwortlich sind. Die biotechnologische Herstellung von Aroma- und Duftstoffen gewinnt zunehmend an Bedeutung, da sie im Vergleich zur Isolierung aus natürlichen Quellen oft kostengünstiger, ressourcenschonender und nachhaltiger ist. Ein Beispiel dafür ist 2,6-Dimethyl-5-heptenol (Melonol), ein nach Melone riechender Duftstoff, der natürlicherweise in ätherischen Ölen und Melonenfrüchten vorkommt.

In dieser Arbeit wurde ein Ganzzellbiokatalyse-System eingesetzt, um Melonol aus Citral herzustellen. Die Umwandlung erfolgte über eine biokatalytische Kaskadenreaktion, bei der das Ausgangsmolekül Citral schrittweise enzymatisch zu Melonol umgesetzt wurde. Für die biokatalytische Umsetzung wurde ein rekombinanter *E. coli*-Stamm verwendet, der für die Expression der drei benötigten

Enzyme diente. Dabei handelte es sich um eine Glukosedehydrogenase (GDH), eine Baeyer-Villiger-Monooxygenase (BMO) sowie eine Ene-Reduktase Ppo-Er1. Unter Biokatalyse versteht man den Einsatz von Enzymen oder ganzen Zellen zur Beschleunigung chemischer Reaktionen unter milden, meist umweltfreundlichen Bedingungen. Enzyme wirken dabei hochspezifisch, ohne selbst dabei verbraucht zu werden.

Ziel dieser Bachelorarbeit war es, die Produktausbeute von Melonol zu optimieren, die Herstellung mithilfe immobilisierter Zellen zu untersuchen und ein Upscaling im SpinChem-Reaktor durchzuführen. Durch die Zellimmobilisierung konnte die Produktausbeute verdoppelt werden. Für ein Upscaling im SpinChem sollten noch passende Bedingungen gefunden werden,

um eine hohe Produktausbeute zu erzielen.

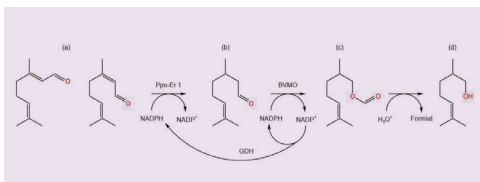


Abb. 1: Reaktionsmechanismus der Umwandlung von Citral (a) zu Melonol (d) über das Zwischenprodukt Citronellal (b).

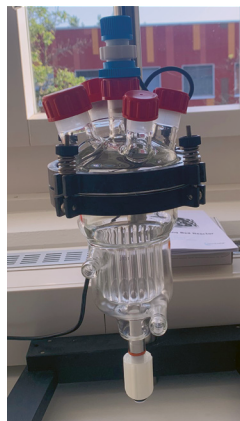


Abb. 2: Verwendeter SpinChem-Reaktor zur Herstellung von Melonol

Transferverhalten von Chlorparaffinen aus Yogamatten während der Nutzungsphase



Diplomand	Michael Kälin
Korrektorin ZHAW	Dr. Susanne Kern
Korrektorin extern	Dr. Veronika Zelenay

Chlorierte Paraffine (CPs) sind weitverbreitete Industriechemikalien, die u. a. als Weichmacher, Flammschutzmittel und Gleitmittel in Kunststoffen eingesetzt werden. Aufgrund ihrer Persistenz, Bioakkumulation und potenziellen Toxizität wurden kurzkettige CPs (SCCPs) bereits als persistente organische Schadstoffe (POPs) unter der Stockholm Konvention gelistet [1].

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, in welchem Umfang CPs aus kommerziellen Yogamatten unter realitätsnahen Bedingungen auf die Haut übertragen werden können. Dafür wurden 14 Matten unterschiedlicher Hersteller auf CP-Gehalte untersucht – darunter eine Referenzmatte (KEMI), die bereits in einer früheren Studie als SCCP positiv identifiziert wurde [2]. Die chemischen Analysen erfolgten mittels Flüssigchromatographie gekoppelt mit hochauflösender Massenspektrometrie (RP-LC-APCI-Orbitrap-MS). Anschliessend wurden sogenannte Transferexperimente durchgeführt: Yogamattenteile wurden mit Mullkompressen unter verschiedenen Bedingungen (trocken, künstlicher Schweiß, künstlicher Talg) über Zeitspannen von bis zu 120 Minuten beschwert. Die Mullproben wurden anschliessend extrahiert und mit einem speziell entwickelten Auswerteverfahren analysiert [3].

Dabei zeigte sich:

- CPs wurden aus mehreren Matten erfolgreich extrahiert, mit teils hohen Konzentrationen an CPs mit grösserer Kettenlänge (ab $C_{14}Cl_6$).
- Der Kontakt mit Feuchtigkeit reduzierte den Transfer im Vergleich zur trockenen Umgebung.
- Die Übertragungsrate war weitgehend unabhängig von der Kettenlänge oder dem Chlorierungsgrad der CPs.
- Die Resultate bestätigen frühere Befunde (EMPA, 2020) bezüglich des SCCP-Transfers bei der KEMI-Matte [2].

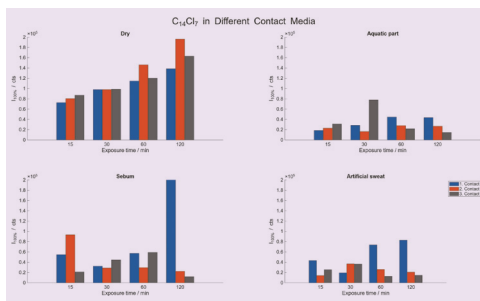


Abb. 1: Intensität transferierter CPs von einer Yogamatte in Abhängigkeit von Kontaktzeit, -art und -medium: Bilder von oben links nach unten rechts: trocken, wässriger Schweißanteil, künstlicher Talg, künstlicher Schweiß.

[1] Mendo Díaz O et al. *Chemosphere*, 338, 139552, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139552>

[2] Mendo Díaz O et al. *Anal. Chem.*, 96(30), 12378–12386, 2024. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.4c01723>

[3] Patiny L et al. *CP-Hunter Tool*, 2024.

Verfügbar unter: <https://cphunter.cheminfo.org>

Inbetriebnahme eines Mikroreaktors und photolytischer Abbau einer Modellsubstanz



Diplomandin	Laura Kapcevičute
Korrektor ZHAW	Dr. Marc Bornand
Korrektor extern	Dr. Dominique Huber

Arzneimittelrückstände, Pestizide und Industriechemikalien werden immer häufiger in bedenklichen Konzentrationen in Gewässern nachgewiesen, da sie besonders persistent sind und von klassischen Kläranlagen nur unzureichend entfernt werden können [1]. Eine vielversprechende Möglichkeit für den Abbau stellt die Photolyse im Durchflussbetrieb dar. In dieser Bachelorarbeit wurde ein Durchflussphotoreaktor mit UV-Lampenmodul der Firma Ehrfeld Mikrotechnik eingesetzt. Mikroreaktoren besitzen Kanäle im Mikroliterbereich, wodurch Reaktionsbedingungen präzise gesteuert und eine gleichmässige UV-Bestrahlung erzielt werden kann. Als Modellsubstanz diente Diclofenac, ein häufig eingesetztes Schmerzmittel und relevanter Grundwasserschadstoff, dessen photolytischer Abbau bei verschiedenen Durchflussraten untersucht wurde. Es wurden zwei Betriebsarten getestet: Single Pass und Semi-Batch mit Rezirkulation. Im Single-Pass-Modus durchlief die Lösung den Reaktor einmal; bei niedrigerer Durchflussrate zeigte sich ein höherer Abbau. Im Semi-Batch-Verfahren führte Rezirkulation bei höherer Flussrate ebenfalls zu verbessertem Abbau. In beiden Fällen war der Abbau bei geringeren Anfangskonzentrationen effizienter. Die Resultate stimmen gut mit Literaturwerten überein. [2] Um den Abbau der Modellsubstanz analytisch zu verfolgen, wurde UV-VIS-Spektrosko-

pie eingesetzt. Für eine quantitative Bestimmung der Konzentrationen nach der Bestrahlung, sowie eine Identifizierung der Abbauprodukte kam Hochleistungsflüssigchromatographie mit Massenspektrometrie (HPLC-MS) zum Einsatz. So konnte die

Wirksamkeit des entwickelten Verfahrens umfassend bewertet werden.

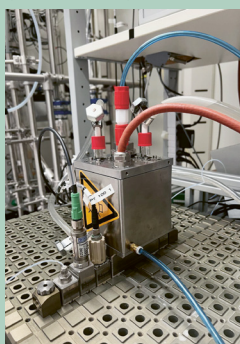


Abb. 1: Modulares Mikroreaktionssystem von Ehrfeld mit UV-Lampenmodul, Stickstoffspülung und Lampenkühlung

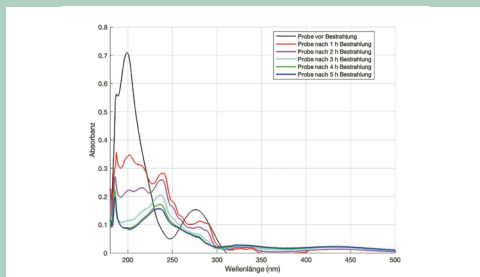


Abb. 2: Prozessverfolgung mittels UV-VIS-Spektroskopie im Semi-Batch-Betrieb bei einer Durchflussrate von 2 mL/min und einer Diclofenac-Anfangskonzentration von 20 mg/L.

[1] O. M. Rodriguez-Narvaez et al., *Chemical Engineering Journal*, vol. 323, pp. 361–380, Sep. **2017**. Doi: 10.1016/j.cej.2017.04.106

[2] M. Kovacic et al., *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 23, pp. 14908–14917, **2016**. Doi: 10.1007/s11356-016-6580-x

Optimierte Synthese von etherhaltigen Duftstoffen



Diplomand

Lukas Kurer

Korrektoren ZHAW

Prof. Dr. Rainer Riedl, Dr. Stefan Höck

Betreuung extern

Dr. Ivana Nemethova

Natürlicher Moschus hat über Jahrhunderte hinweg eine bedeutende Rolle in der Parfümherstellung, der traditionellen Medizin und in religiösen Riten gespielt. Ursprünglich wurde dieser kostbare Inhaltsstoff aus den Drüsen männlicher Moschushirsche gewonnen. Im Laufe der Zeit entdeckte man ähnliche Duftstoffe in anderen Tieren und sogar Pflanzen. Heute kommen fast ausschliesslich synthetische Alternativen zum Einsatz, da natürliche Quellen begrenzt und ethisch problematisch sind. Die künstlichen Moschusverbindungen lassen sich in vier Gruppen einteilen: Nitromoschusverbindungen, polyzyklische Moschusverbindungen, makrozyklische Moschusverbindungen und lineare Moschusverbindungen. [1]

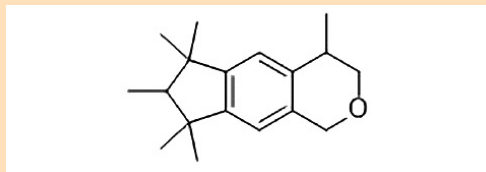


Abb. 1: Galaxolid, ein Vertreter der polyzyklischen Moschusverbindungen

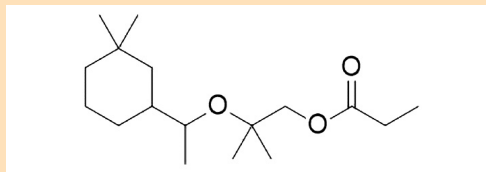


Abb. 2: Helvetolid, ein Vertreter der linearen Moschusverbindungen

Dabei sind die beiden erstgenannten in Verruf geraten, da sie biologisch schlecht abbaubar sind.

Um neue Herstellungsmöglichkeiten für Moschusverbindungen zu entwickeln, wurden in dieser Arbeit vier verschiedene Synthesemethoden zur Herstellung von Hydroxyethern getestet. Diese Hydroxyether stellen dabei eine zentrale Zwischenstufe dar. Der Fokus wurde dabei auf die Entwicklung von kostengünstigen und umweltfreundlichen Herstellungsverfahren gelegt. Die vielversprechendsten Ansätze wurden anschliessend ausgewählt und optimiert, wobei zur Unterstützung die Bayes'sche Optimierung verwendet wurde. Dabei handelt es sich um einen Algorithmus, der aufgrund bereits gesammelter Daten die nächstbesten Reaktionsbedingungen vorschlägt. [2] Aus den Hydroxyethern sollen anschliessend verschiedene lineare Moschusverbindungen synthetisiert werden.

[1] C. Sommer, G. G. Rimkus, in *The Handbook of Environmental Chemistry*, Springer, Berlin, Heidelberg, **2004**, pp. 1–16.

[2] J. Guo, B. Ranković, P. Schwaller, *Chimia* **2023**, 77, 31.

Synthese von Protein-Tyrosin-Phosphatasen-Inhibitoren



Diplomand

Lukas Lagler

Korrektoren ZHAW

Prof. Dr. Rainer Riedl, Dr. Stefan Höck

Protein-Tyrosin-Phosphatasen (PTPs) zählen zu einer als besonders bedeutend eingestuften Enzymklasse, da sie in essenziellen zellulären Prozessen wie der posttranslationalen Proteinmodifikation involviert sind. Ihre Rolle in der Signaltransduktion, insbesondere im Zusammenspiel mit Protein-Tyrosin-Kinasen (PTK), macht sie zu einem vielversprechenden Ziel in der pharmazeutischen Forschung. Ihre Schlüsselrolle in zahlreichen physiologischen und pathologischen Prozessen ist in der Literatur umfassend belegt [1].

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden niedermolekulare Substanzen synthetisiert, die die Aktivität von PTPs inhibieren sollen. Die methodische Umsetzung erfolgte auf Basis konventioneller Syntheseprotokolle. Besonders im Fokus stand die Einführung Phosphonat-basierter Gruppen. Die Analyse der synthetisierten Verbindungen erfolgte mittels spektroskopischer und chromatographischer Methoden.

Der Ablauf der praktischen Arbeit folgte einem stringenten Synthese-Screening mit Fokus auf Wiederholbarkeit und abgesicherter Dokumentation. Die synthetisierten Verbindungen werden anschliessend biologisch getestet, um ihr Potenzial als Inhibitoren von Protein-Tyrosin-Phosphatasen zu prüfen. Je nach Ergebnis können sie als Ausgangspunkt für weiterführende Studien dienen. Ihre strukturelle Konsistenz und chemische Vielfalt bilden hierfür eine solide Grundlage.

[1] L. Tautz et al., *Methods in Molecular Biology*, 1053, 179–221, **2013**. DOI: 10.1007/978-1-62703-562-0 13.

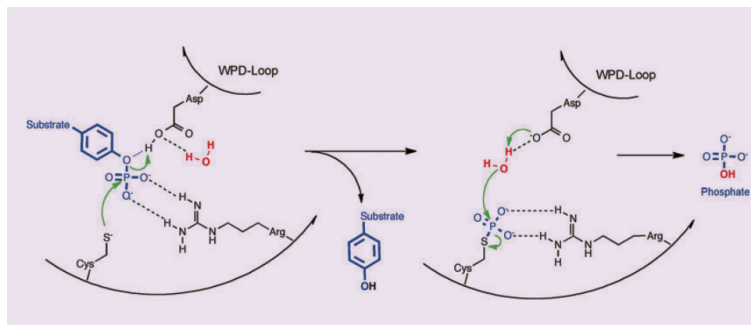


Abb. 1: Katalytischer Mechanismus der PTP [1].

Analyse von grünen Kaffeebohnen mit Raman-Spektroskopie und FTIR-Mikroskopie



Diplomand	Eric Lehmann
Korrektor ZHAW	Dr. Samo Smrke
Korrektorin extern	Dr. Veronika Zelenay

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob es möglich ist, die Inhaltsstoffe in den verschiedenen Schichten einer grünen Kaffeebohne zu detektieren. Hierfür wurde mithilfe der Fourier-Transformations-Infrarot (FTIR)-Mikroskopie und der Raman-Spektroskopie Analysen durchgeführt. Für die Analysen wurden dünne Schnitte der Bohnen mit Rotations- und Kryomikrotomen angefertigt, wobei sich das Kryomikrotom in Kombination mit einem Kryo-Einbettmedium als besonders geeignet erwies. Es konnten stabile, 8 μm dünne Schnitte angefertigt werden, die auf goldbeschichtete Glasträger übertragen und anschliessend vermessen wurden. Die Raman-Messungen zeigten klare Unterschiede in verschiedenen Bereichen der Bohne, insbesondere am Rand und in der Mitte. Charakteristisch war die Fluoreszenz des Silberhäutchens (umhüllende Haut des Endosperms) sowie die Detektion von Chlorogensäuren im Bereich von $1550\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$. Auch Kohlenhydrate wie Sucrose konnten erfolgreich detektiert werden. Dazu zeigten sich repräsentativ charakteristische Raman-Banden bei ca. $1150\text{--}1250\text{ cm}^{-1}$ und $1350\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$. Die Überlagerung mit Lipid-Signalen stellt eine analytische Herausforderung dar, dennoch lässt sich eine Präsenz von Sucrose nachweisen [1].

Die FTIR-Methode bestätigte die Unterschiede zwischen Rand- und Mittelsegmenten der Bohne und erlaubte darüber

hinaus die visuelle und spektrale Identifikation möglicher Zellstrukturen. Aufgrund der Fähigkeit, für jedes Pixel ein eigenes Spektrum zu erzeugen, ermöglicht das FTIR-Mikroskop mit FPA-Detektor eine mögliche Lokalisierungsabschätzung chemischer Bestandteile [2].

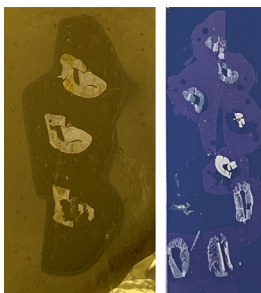


Abb. 1: Kryomikrotom-Schnitte auf Gold-doppelbeschichtetem (links) und einfach beschichtetem Glasträger (rechts), vorbereitet für die FTIR-Messung.

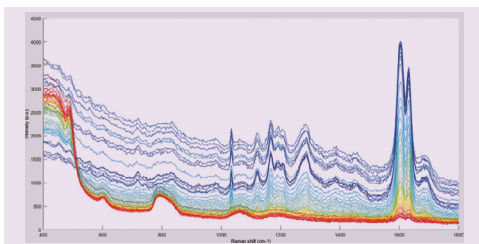


Abb. 2: Raman-Spektren einer längs halbierten grünen Kaffeebohne, aufgenommen mit einem für Hautanalysen entwickelten Spektrometer.

[1] D. F. Barbin et al., *Food Res. Int.*, Bd. 61, S. 23–32, Juli **2014**, doi: 10.1016/j.foodres.2014.01.005.

[2] P. W. Sutherland et al., *Protoplasma*, Bd. 223, Nr. 2, S. 203–211, Juni **2004**, doi: 10.1007/s00709-004-0036-8.

Funktionalisierte mesoporöse Silica-Partikel für die fluoreszenzbasierte pH-Sensorik



Diplomand	Paul Ludwiger
Korrektor ZHAW	PD Dr. Dominik Brühwiler
Korrektor extern	Dr. Nando Gartmann

Mesoporöse Silicapartikel vom Typ MCM-41 zeichnen sich durch eine hohe spezifische Oberfläche, eine definierte Porenstruktur und gute Biokompatibilität aus – Eigenschaften, die sie besonders geeignet für Anwendungen wie Drug Delivery und Bioimaging machen. Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines fluoreszenzbasierten, pH-sensitiven Trägersystems auf Basis von MCM-41, das Änderungen im pH-Wert ratiometrisch detektieren kann.

Hierfür wurden Fluorescein-Derivate synthetisiert, die in Abhängigkeit vom pH-Wert zwischen protonierter und unprotonierter Form wechseln und dabei ein schaltbares Fluoreszenzsignal mit On/Off-Verhalten erzeugen. Diese wurden anschliessend kovalent über eine Amidbindung an aminofunktionalisierte MCM-41-Partikel gebunden. Zusätzlich wurde ein pH-unabhängiger Referenzfarbstoff (Pyren) über eine Sulfonamidbindung gekoppelt, um eine ratiometrische Auswertung über das Verhältnis zweier Emissionssignale zu ermöglichen. Eine abschliessende Passivierung des Trägermaterials mit Trimethylsilylgruppen verbesserte das On/Off-Verhalten der immobilisierten Fluorescein-Derivate deutlich.

Der Sensor zeigte im pH-Bereich von 3 bis 8 ein reproduzierbares, ratiometrisches Fluoreszenzverhalten, das mithilfe der Henderson-Hasselbalch-Gleichung kalibriert wurde. Die Materialcharakterisierung erfolgte mittels UV/VIS-, IR- und Fluoreszenzspektroskopie, Gassorption und REM-Aufnahmen. Die Ergebnisse belegen die erfolgreiche Herstellung eines robusten, mesoporösen Sensorsystems auf Silicabasis.

Das entwickelte Material bietet Potenzial für bioanalytische Anwendungen, insbesondere in zellulären Umgebungen, in denen lokale pH-Wert-Veränderungen von diagnostischer oder therapeutischer Relevanz sind.

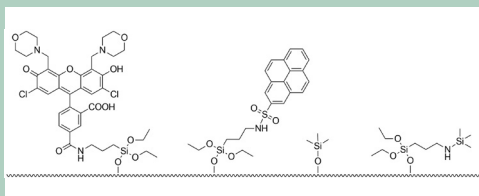


Abb. 1: Schematische Darstellung des Sensorsystems. Die wellenförmige Linie stellt die Oberfläche des Trägermaterials dar. Gezeigt sind die kovalent an die Silica-Oberfläche gebundenen Moleküle, die die Fluoreszenz-Eigenschaften des Materials bestimmen.

Phosphorbasierter Härter für funktionalisierte, vernetzte Epoxidharzsysteme



Diplomand	Ton Markaj
Korrektor ZHAW	Dr. Andri Schütz
Korrektor extern	Dr. Christian Trindler

Duroplaste wie Epoxidharze zeichnen sich durch hohe mechanische Festigkeit, thermische Stabilität und chemische Beständigkeit aus. Aufgrund ihrer irreversiblen Vernetzung gelten sie jedoch als schwer oder gar nicht rezyklierbar, was zunehmend ökologische und technologische Herausforderungen mit sich bringt. In dieser Bachelorarbeit wurde ein multifunktionaler, phosphorhaltiger Härter auf Basis eines Phosphonamidats synthetisiert und auf seine Eignung zur Härtung und Modifikation von Epoxidharzsystemen untersucht. Der entwickelte Baustein erlaubt durch die Präsenz von Phosphor eine Wirkung als Flammschutzmittel. Zusätzlich sorgen die reversiblen P–N- und P–O-Bindungen für eine dynamische Komponente innerhalb des polymeren Netzwerks. Die Verbindung wurde über

einen zweistufigen Syntheseweg mittels einer aktivierten Zwischenstufe hergestellt und durch NMR, UPLC-MS sowie weitere analytische Methoden charakterisiert. Ihre Integration in Epoxidharze führte zu reversiblen Netzwerkanteilen und signifikant verbesserten flammhemmenden Eigenschaften. Ein zentrales Merkmal des Systems ist die Integration dynamischer Estergruppen, welche eine gezielte Umstrukturierung des Netzwerks ermöglichen – ein typisches Verhalten sogenannter Covalent Adaptable Networks (CANs). Diese Netzwerke erlauben unter thermischer oder katalytischer Aktivierung eine Reorganisation der Bindungen, ohne die strukturelle Integrität zu verlieren. In Rezyklierbarkeitsstudien konnte gezeigt werden, dass die modifizierten Epoxidharze durch thermisch aktivierte Bindungsaustauschreaktionen mehrmals umgeformt werden konnten – bei gleichzeitigem Erhalt ihrer flammhemmenden Eigenschaften.

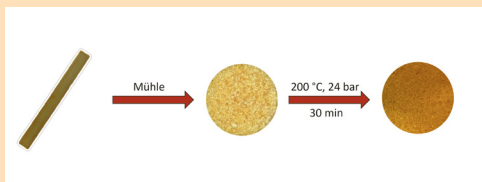


Abb. 1: Der Prozess der Rezyklierung durch Mahlen der Probe mittels Mühle und anschließendem Pressen des Granulates bei erhöhter Temperatur.

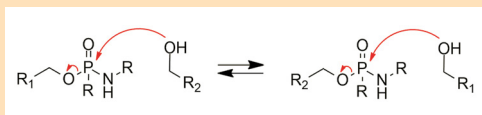


Abb. 2: Grundprinzip der Austauschreaktionen im Material (reversible Bindungen).

- [1] X.-L. Zhao et al., *Green Chemistry*, 24, 4363–4380, **2022**, <https://doi.org/10.1039/d2gc01325h>.
- [2] C. J. Kloxin et al., *Chemical Society Reviews*, 42(17), 7161–7173, **2013**, <https://doi.org/10.1039/c3cs60046g>.
- [3] C. Hervieu et al., *Chemical Engineering Journal*, 503, 158190, **2025**, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.158190>

In Kooperation mit der Empa St. Gallen,
www.empa.ch/web/s402/teamchemistry

Biokatalytische Charakterisierung eines Alkoholdehydrogenase defizienten *E. coli*-Stammes



Diplomandin

Jana Marxer

Korrektor/-in ZHAW

Dr. Thomas Schwander, M.Sc. Lisa Schelbert

Aldehyde sind wichtige Verbindungen in der Duftstoffindustrie. Mit Hilfe von biokatalytischen Prozessen kann eine nachhaltige Produktion von Aldehyden ermöglicht werden. Allerdings führen unerwünschte Nebenreaktionen, insbesondere durch endogene Alkoholdehydrogenasen (ADHs) von *Escherichia coli* zu verringerten Produkterträgen. Zur Lösung dieses Problems wurden bereits *E. coli*-Stämme mit gezielten ADH-Gen-Deletionen entwickelt. Ein Beispiel hierfür ist der MG1655-RARE-Stamm mit Deletionen der Gene *dkgA*, *dkgB*, *yeaE*, *yqhD*, *yahK*, *yjgB* und *yqhC* [1]. Trotz seiner Bedeutung in der rekombinanten Proteinproduktion fehlt bislang aber ein gut charakterisierter ADH-defizienter BL21(DE3)-Stamm.

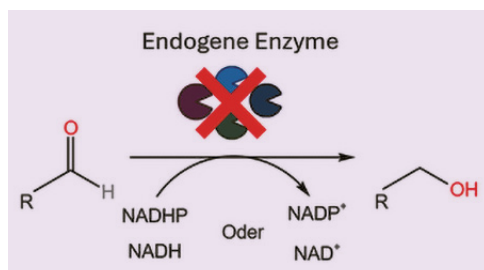


Abb. 1: Reduktion eines Aldehyds zu einem Alkohol, katalysiert durch Alkoholdehydrogenase (ADH). Die untersuchten Knockout-Stämme sollten diese Reaktion aufgrund gezielter Gen-Deletionen, die die ADH-Aktivität ausschalten, nicht mehr durchführen können. Abbildung adaptiert von Kunjapur et al. [1]

Ziel dieser Arbeit war die Charakterisierung sieben verschiedener BL21(DE3)-Stämme mit unterschiedlichen ADH-Gen-Deletionen sowie dem MG1655-RARE-Stamm. Hierfür wurden strukturell unterschiedliche Aldehyde aus der Duftstoffindustrie als Substrate eingesetzt. Darunter kurzkettige, langkettige, aromatische und verzweigte Aldehyde. Zu den untersuchten Substraten gehörten Octanal, Benzaldehyd, Isobutyraldehyd, Citral, Citronellal, Vanillin und Zimtaldehyd. Für die biokatalytische Charakterisierung wurde das Substrat in einer Konzentration von 5 mM eingesetzt. Nach 2, 6 und 24 Stunden wurden die Aldehyd- und Alkoholkonzentrationen mittels Gaschromatographie und Flüssigchromatographie gemessen. Für die Substrate Octanal, Benzaldehyd, Isobutyraldehyd, Vanillin und Zimtaldehyd erwiesen sich Stämme mit kombinierten Gen-Deletionen als geeignet, während für die Substrate Citral und Citronellal keine Gen-Deletionen nötig sind.

[1] A. M. Kunjapur et al., *J. Am. Chem. Soc.*, Bd. 136, Nr. 33, S. 11644–11654, Aug. **2014**, doi: 10.1021/ja506664a

Identifikation von Kettoreduktasen mit breitem Substrat-spektrum mittels Strukturdynamik



Diplomand

David Mettler

Korrektor/-in ZHAW

Prof. Dr. Rebecca Buller, Dr. Peter Stockinger

Chiralität ist eine zentrale Eigenschaft vieler Moleküle in der Pharma- und Feinchemikalienindustrie, da die biologische Aktivität stark von ihrer räumlichen Struktur abhängt. Kettoreduktasen (KREDs) sind daher interessante Enzyme für die industrielle Biokatalyse, da sie Ketone stereoselektiv zu sekundären Alkoholen reduzieren. In der frühen Prozessentwicklung nutzt man häufig KREDs mit breitem Substratspektrum – ein Phänomen, das als enzymatische Promiskuität bezeichnet wird. Die Identifizierung solcher promiskuitiven Enzyme erfordert jedoch aufwendige Screenings zahlreicher Enzym-Substrat-Kombinationen, bis geeignete Kandidaten gefunden werden. Die Bachelorarbeit verfolgte das Ziel, einen möglichen Zusammenhang zwischen der Promiskuität von KREDs und den strukturdynamischen Eigenschaften ihrer Substratbinderegion (SBR) zu untersuchen. Der Fokus lag dabei auf Enzymen der Classical Short-Chain-Dehydrogenase-Familie. Die für diese Analyse verwendeten Daten stammen aus einer KRED-Bibliothek, die im Rahmen einer früheren Arbeit entwickelt wurde. In dieser wurden 51 KREDs hinsichtlich ihrer Aktivität gegenüber sechs unterschiedlichen Keto-Substraten untersucht. Die molekulardynamische Analyse der Enzymstrukturen (Kristallstrukturen und AlphaFold3-Modelle) ergab eine moderate Korrelation zwischen der Promiskuität der Enzyme und dem Anteil

bestimmter Sekundärstrukturelemente in der SBR. Diese Beziehung konnte mithilfe des Pearson-Korrelationskoeffizienten (PCC) quantifiziert werden. Bei einer Simulations-Temperatur von 20 °C wurde ein PCC von 0.49 beobachtet, während bei erhöhter Temperatur (35 °C) eine Steigerung des PCC auf 0.56 festgestellt werden konnte.

Die Ergebnisse legen nahe, dass strukturelle Merkmale der SBR als Indikatoren für die Promiskuität von KREDs herangezogen werden können, um geeignete Enzyme *in silico* vorab auszuwählen.

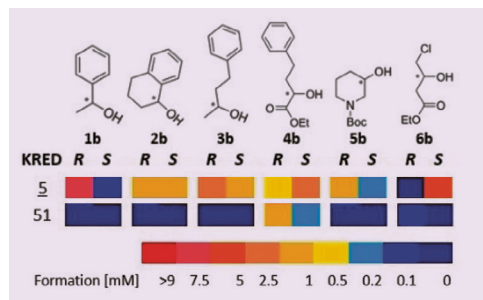


Abb. 1: Substratspektrum von KREDs mit hoher (KRED-05) und tiefer (KRED-51) Promiskuität



Abb. 2: Kristallstruktur der Classical SDR KRED-02 (UniProt: Q84EX5). Die Substratbinderegion ist in orange, das gebundene Substrat in grün und der Kofaktor NADPH in grau dargestellt.

Gold-Nanopartikel als Katalysatoren für Wasserstoffisotopen Austauschreaktionen



Diplomand	Alessio Ricchetti
Korrektor ZHAW	Prof. Dr. Achim Ecker
Korrektorin extern	Prof. Dr. Silke Behrens

Radiomarkierte Moleküle sind essenzielle Werkzeuge in den Life Sciences, da sie gezielte Einblicke in biologische und chemische Prozesse ermöglichen und besonders für Medikamentenentwicklungen und Stoffwechselanalysen relevant sind. Häufig kommen ^{14}C -Markierungen zum Einsatz, was jedoch aufwendig ist, da das Isotop direkt ins Kohlenstoffgerüst integriert werden muss. Neuere Ansätze nutzen Wasserstoffisotope wie Deuterium oder Tritium, da sie eine schnellere, kostengünstigere und einfachere Alternative darstellen [1]. Für den Einbau dieser Isotope haben sich insbesondere Übergangsmetallkatalysatoren als wirkungsvoll erwiesen. Sie ermöglichen den späten Isotopenaustausch, ohne das Zielmolekül neu synthetisieren zu müssen. Neben klassischen Systemen gewinnen auch metallische Nanopartikel an Bedeutung, da sie selektive Reaktionen unter milden Bedingungen erlauben und sowohl Eigenschaften homogener als auch heterogener Katalysatoren vereinen [2]. Im Rahmen der Bachelorarbeit wurden verschiedene Methoden zur Herstellung goldbasierter Nanopartikel untersucht, mit dem Ziel, neue Katalysatorsysteme für den Wasserstoffisotopenaustausch zu entwickeln. Da Gold-Nanopartikel bislang kaum erforscht sind, lag der Fokus auf ihrer gezielten Synthese und Charakterisierung. Zum Einsatz kamen eine etablierte nasschemische Synthese, eine

Sputtering-onto-Liquid-Synthese und eine kontinuierliche Synthese in einem Mikroreaktorsystem. Die Partikel wurden mittels Transmissionselektronenmikroskopie und ICP-OES analysiert. Ergänzend wurde die katalytische Aktivität in Deuterierungsexperimenten unter Überdruck im Autoklaven untersucht.

Die Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner, der über jahrzehntelange Erfahrung im Tritieren von Reagenzien und in der Herstellung radiomarkierter Verbindungen verfügt.

[1] Atzrodt et al., Angew. Chem. Int. Ed., 2018, 57(7), 1758–1784.

[2] Atzrodt et al., Angew. Chem. Int. Ed., 2018, 57(12), 3022–3047.

Funktionalisierung von Silica-Oberflächen zur verbesserten Endothelzelladhäsion



Diplomand	Karl Samietz
Korrektor ZHAW	Prof. Dr. Bastian Brand
Korrektorin extern	Dr. Victoria Custodis

Die Blut-Hirn-Schranke (BBB) schützt das zentrale Nervensystem vor schädlichen Substanzen, erschwert jedoch auch den Transport von Medikamenten ins Gehirn [1], [2]. Um ihre Funktion besser zu verstehen, werden zunehmend realitätsnähere 3D-Modelle anstelle von 2D-Modellen der BBB entwickelt.

In dieser Bachelorarbeit wurde die chemische Funktionalisierung von Silica-Disks untersucht, die künftig als Gerüstmaterial für solche 3D-Modelle dienen sollen. Ziel war es, die Adhäsion von Endothelzellen zu verbessern, die für die Barrierefunktion der BBB entscheidend sind [3]. Die Arbeit umfasste drei aufeinanderfolgende Reaktionsstufen: Zunächst wurden die Silica-Oberflächen mit 3-Aminopropyltriethoxysilan (APTES) funktionalisiert, um freie Aminogruppen einzuführen. Aufgrund der geringen spezifischen Oberfläche der Silica-Disks gestaltete sich die direkte Analytik jedoch schwierig. Ergänzende Experimente mit Silicagel bestätigten die Methode und ermöglichten eine indirekte Analytik. (s. Abb. 1). Im zweiten Schritt erfolgte die Kopplung von 1,4-Phenylendiisothiocyanat (PDITC) an die aminofunktionalisierten Oberflächen. Diese funktionierte grundsätzlich, was ebenfalls durch ergänzende Experimente mit Silicagel bestätigt werden konnte (s. Abb. 2). Schliesslich sollte in der dritten Stufe das RGD-Peptid gebunden werden, um die Zelladhäsion weiter zu steigern. Die analytischen

Ergebnisse wiesen jedoch grosse Schwankungen auf, sodass eine Kopplung des Peptids an die Oberfläche bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte. Für zukünftige Experimente ist daher die Entwicklung einer präziseren Analytik erforderlich.

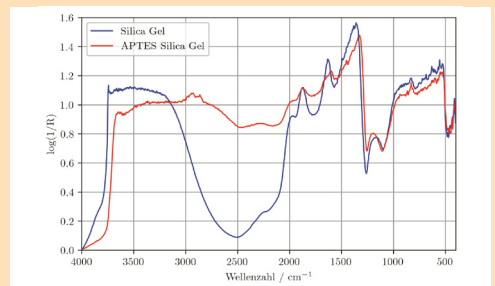


Abb. 1: DRIFTS-Spektrum von APTES-funktionalisiertem Silicagel und unbehandeltem Silicagel als Referenz.

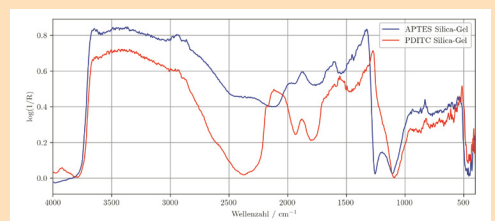


Abb. 2: DRIFTS-Spektrum von PDITC-funktionalisiertem Silicagel und APTES-funktionalisiertem Silicagel als Referenz.

[1] Hagenbuch et al., *Physiology*, **2002**, doi 10.1152/nips.01402.2002.

[2] Cho et al., *Sci. Rep.*, **2015**, doi 10.1038/srep15222.

[3] Porté-Durrieu et al., *J. Biomed. Mater. Res.*, **1999**, 10.1002/(SICI)1097-4636(19990905)46:3<368::AID-JBM9>3.0.CO;2-8.

Synthese und Partikeldesign von SBA-15 und SBA-16 im Submikrometerbereich



Diplomand	Diego Schärli
Korrektor ZHAW	PD Dr. Dominik Brühwiler
Korrektor extern	Dr. Nando Gartmann

Mesoporöse Siliciumdioxid-Partikel besitzen geordnete Porensysteme, die ihnen hohe spezifische Oberflächen und definierte Porengrößen verleihen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden SBA-15- und SBA-16-Partikel synthetisiert und charakterisiert. Ziel war es, Partikel im Submikrometerbereich herzustellen, die sich für potenzielle Anwendungen als Eiskleationspartikel in Zirruswolken eignen. Diese Partikel könnten durch den Pore-Condensation-and-Freezing-(PCF)-Mechanismus zur Bildung von Eiskristallen beitragen, da Wasser in Nanoporen leichter kondensieren und gefrieren kann. Syntheseparameter wie Temperatur, Rührgeschwindigkeit und Template-Konzentration wurden systematisch variiert, um deren Einfluss auf Partikelgrösse, Morphologie und Porenstruktur zu untersuchen. Insbesondere wurde eine pseudomorphe

Transformation angewendet, um SBA-15-Partikel mit bimodaler Porenstruktur zu erzeugen. Dabei blieben die äussere Morphologie und das hexagonale Porensystem erhalten, während zusätzliche kleinere Poren innerhalb der Wandstruktur entstanden. Die hergestellten SBA-15-Partikel wiesen spezifische Oberflächen von über $600\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ sowie Porendurchmesser im Bereich von 3–8 nm auf. Durch gezielte Prozessführung konnte die Partikelgrösse in einen Bereich von etwa 900 nm eingestellt werden.

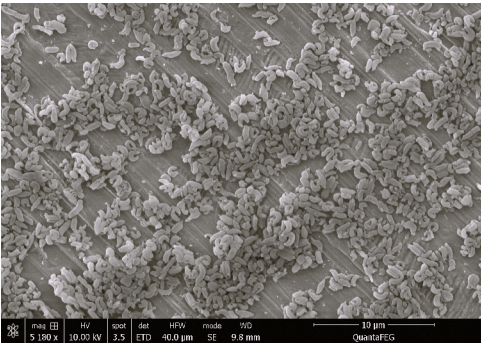


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von SBA-15-Partikeln mit charakteristischer Morphologie und einem Partikeldurchmesser von ca. 900 nm.

Additive zur Hemmung der Ligninrepolymerisation bei Lignocellulose-Vorbehandlung



Diplomandin

Tamara Schoenahl

Korrektoren ZHAW

Prof. Dr. Thomas Pielhop, Matthias Eckl

Lignocellulosehaltige Biomasse wie Holz gilt als vielversprechender, CO₂-neutraler Rohstoff und Alternative zu Erdöl. Ein zentraler Bestandteil ist Lignin, das seit den 1930er-Jahren als Lignosulfonat in der Zementindustrie als Fließmittel genutzt wird. Als biobasierter Rohstoff rückt Lignin somit wieder in den Forschungsfokus.

Ziel war es, Lignin während der Wasserdampfvorbehandlung mithilfe von Scavengern zu funktionalisieren und aus der Biomasse herauszulösen.

Dadurch sollten die enzymatische Hydrolyse der Cellulose sowie die Eignung des Lignins als Betonverflüssiger optimiert werden. Im Screening wurden 8 Scavenger bei 210 °C für 2 h in Konzentrationen von 0.2–1.6 mol/mol Lignin-C₉-Einheiten bei der Wasserdampfvorbehandlung von Fichtenholzspänen untersucht. Die Biomassezusammensetzung wurde nach der NREL-Methode [1] bestimmt. Glucan- und Mannangehalt wurden per HPLC, säurelösliches Lignin per UV/VIS-Spektrometrie und säureunlösliches Lignin gravimetrisch analysiert.

Die Hydrolysierbarkeit wurde über eine enzymatische Verzuckerung mit Accelrase 1500 geprüft und die Glucose-Konzentration mittels HPLC bestimmt.

Auf Basis der Ergebnisse wurden 6 Scavenger mit der stärksten Reduktion der nachweisbaren Lignin-Menge für eine Validierung im grösseren Massstab ausge-

wählt. Diese gewonnenen Ligninfraktionen wurden gefriergetrocknet, pulverisiert und mittels Gelpermeationschromatographie charakterisiert.

Die Ergebnisse zeigen: Bestimmte Scavenger verbessern die Delignifizierung deutlich. Der Lignin-Gehalt sank um bis zu 50 %, während der Glucangehalt und die Hydrolysierbarkeit anstiegen. In Zement-Slurry-Tests zeigten einige der behandelten Lignine eine Dispergierleistung, die mit Lignosulfonaten vergleichbar oder besser waren. Damit wird ein Beitrag zur nachhaltigen Nutzung von Ligninprodukten als Betonverflüssiger geleistet.

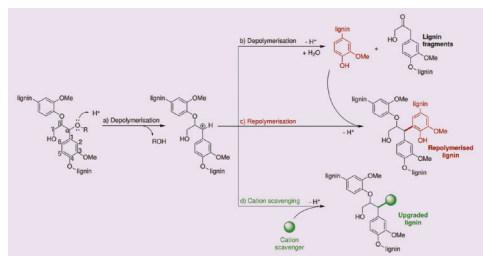


Abb. 1: Reaktionsmechanismus des repräsentativen Lignins während der Vorbehandlung. Idealerweise reagiert das Additiv (Cation Scavenger) mit Lignin und verhindert die Repolymerisation [2].

[1] A. Sluiter, 2012, NREL/TP-510-42618

[2] T. Pielhop, Chimia 2023, 77, 403, DOI: 10.2533/chimia.2023.40

Implementierung eines Gaschromatographen zur Sammlung kleiner chiraler Moleküle



Diplomand	Diego Beda Söldi
Korrektor ZHAW	Prof. Dr. Jürgen Stohner
Korrektor extern	Prof. Dr. Robert Berger

Chirale Moleküle existieren in zwei spiegelbildlichen Formen, die sich wie linke und rechte Hand verhalten und sich nicht durch Drehung ineinander überführen lassen. Diese beiden Formen nennt man Enantiomere. In nicht chiraler Umgebung unterscheiden sich Enantiomere nur durch ihre Wechselwirkung mit polarisiertem Licht, alle anderen physikalischen Eigenschaften sind praktisch identisch. Jedoch ist die Trennung eines Gemisches durch eine chirale Umgebung möglich, was für den Einsatz als Pharmazeutika und für Analysen von enantiomerenreinen Stoffen relevant ist [1].

Zu diesem Zweck sollte in der Bachelorarbeit ein Gaschromatograph umgebaut werden, um Enantiomere getrennt sammeln zu können. Die bisherige Verwendung von vorprogrammierten Sammlungs-

punkten soll durch eine flexible Sammlung bei variablem Sammelstart (Livebestimmung des Sammlungsstartes) ersetzt werden, sodass Schwankungen in der Retentionszeit der beiden Enantiomere durch das Sammelprogramm abgefangen werden können und nicht zu Verunreinigung der gesammelten Fraktionen führen. Dies ist relevant, da Veränderungen in der Umgebungstemperatur oder der Kühlflüssigkeit zu Schwankungen der Retentionszeit führen können. Für die Kühlung der Trennsäule wurden verschiedene Kühlsysteme konzipiert und durch einen Arduino Mikrokontroller angesteuert. Zudem wurde die vorhandene Sammlungssoftware, die in vorherigen studentischen Arbeiten für die kontinuierliche Sammlung programmiert wurde, weiterentwickelt und so angepasst, dass durch die Verwendung eines Vorlagechromatogrammes desselben Enantiomeren-Gemisches eine Livebestimmung des Sammlungsstartes durchgeführt werden konnte. Dieses Ziel wurde in einer Probemessung eines achiralen Dichlormethan-Chloroform-Gemisches erreicht wie in Abbildung 1 zu erkennen ist.

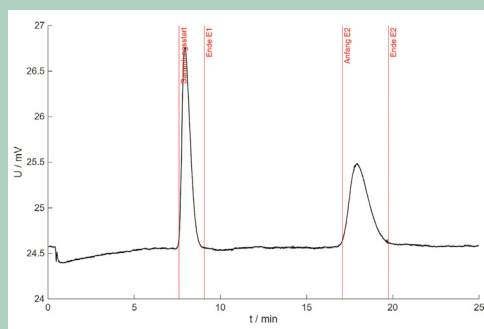


Abb. 1: Gaschromatische Messung eines Gemisches aus Dichlormethan (Peak links) und Chloroform (Peak rechts) mit Livebestimmung des Sammelbeginns und anschließendem Sammlungsprogramm, eingezeichnet als senkrechte rote Linien.

[1] J. Clayden, N. Greeves, und S. G. Warren, *Organic chemistry*, 2nd ed. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2012.

Batchsynthese von neuen stationären Phasen für die Ionenchromatographie



Diplomandin	Mara Steiner
Korrektor ZHAW	Prof. Dr. Bastian Brand
Korrektorin extern	Dr. Victoria Custodis

Die Ionenchromatographie (IC) ist eine weit verbreitete Analysetechnik in der Chemie. Da die zu analysierenden Komponenten immer komplexer werden, steigen die Anforderungen an die IC stetig. Stationäre Phasen müssen hochspezifisch sein, um die Trennung von Ionen mit ähnlichen physikochemischen Eigenschaften zu gewährleisten [1].

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Polystyrol-Divinylbenzol (PSDVB)-Partikel mit Hydroxy-Gruppen auf der Oberfläche im Batch-Verfahren über mehrere Stufen mit Divinylsulfon (DVS), Ethylendiamin und Glycidyltrimethylammoniumchlorid zu funktionalisieren und die Säulen anschließend mit einer im Durchfluss funktionalisierten Säule zu vergleichen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Optimierung des ersten Schritts mit DVS gelegt, da bei diesem auch die Gefahr der Polymerisation bestand [2], [3].

Der Reaktionserfolg wurde mittels IR-Spektroskopie und CHNS-Elementaranalyse verfolgt. Es konnten alle Reaktionsschritte erfolgreich durchgeführt werden. Bei der Reaktion mit DVS wurden verschiedene Parameter getestet, um die besten Bedingungen für eine effektive Funktionalisierung zu ermitteln. Mit den Partikeln wurden vier Säulen gepackt, die mit einem Standard-Analyten mit den Ionen: Chlorid, Nitrit, Bromid, Nitrat, Phosphat und Sulfat unter Verwendung eines Natriumcarbonat-Natriumhydrogencarbonat-Eluenten

getestet wurden. Alle Säulen zeigten zunächst Kapazität, die jedoch im Verlauf abnahm – ein Hinweis auf mangelnde Stabilität.

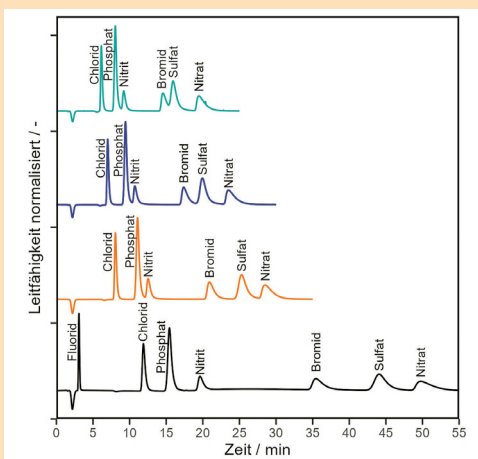


Abb. 1: Ionenchromatogramme einer IC-Säule zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Packen: unmittelbar danach (schwarz), nach drei Wochen (gelb), zwei Monaten (blau) und drei Monaten (türkis). Man erkennt eine deutliche Abnahme der Kapazität, wodurch mit der Zeit nicht mehr alle Ionen sauber getrennt werden können.

[1] J.-M. Liu et al., *RSC Adv.*, 5 (72), 58713–58726, 2015. <https://doi.org/10.1039/C5RA10348G>.

[2] D. Baskaran et al. Anionic Vinyl Polymerization. In *Controlled and Living Polymerizations*; John Wiley & Sons, Ltd, 2009; pp 1–56. <https://doi.org/10.1002/9783527629091.ch1>

[3] K. Ratzenböck et al., *Chem. Sci.*, 13 (23), 6920–6928, 2022. <https://doi.org/10.1039/D2SC02124B>

Aktivitätsanalysen von Neurotoxin-assoziierten Proteinen aus *Clostridium botulinum*



Diplomand	Philip Strickler
Korrektorin ZHAW	Prof. Dr. Sabina Gerber
Korrektor extern	Dr. Andreas Rummel

Die im Toxin-Gencluster von *Clostridium botulinum* kodierten vier Neurotoxin-assoziierten Proteine (NAPs) – OrfX1, OrfX2, OrfX3 und P47 – erhöhen gemeinsam die orale Toxizität des Botulinum-Neurotoxins Serotyp E (BoNT/E) um den Faktor 90 in der Maus. Hierfür bildet sich im Gastrointestinaltrakt nach Pepsinverdau ein ca. 400 kDa grosser Proteinkomplex bestehend aus BoNT/E, dem nichttoxischen Nictitmagglutinin (NTNHA) und dem N-terminal verkürzten OrfX2 (Gao *et al.*, NMSB 2024). OrfX1 und OrfX3 bilden einen nur nach Koexpression löslichen heterotetrameren Komplex mit einer Stöchiometrie von 2:2 (Abb. 1, Gao *et al.*, FEBS Lett. 2023). Auch wenn die Kristallstruktur von P47 bereits 2017 aufgeklärt wurde (Lam *et al.*, Toxicon 2018), ist dessen Interaktion mit den anderen NAPs weiterhin unklar. OrfX1-3 und P47 beinhalten jeweils 1-3 unvollständige β -Fass-Faltungen, die in der Superfamilie der TULIP-artigen Proteine (= tubular lipid-binding) zu finden sind. TULIP-Proteine sind bekannt dafür, an Lipide zu binden. Für P47 konnte eine Bindung an Liposomen bestehend aus Asolektin und Cholesterol nachgewiesen werden (Lam *et al.*, Toxicon 2018). Die Funktionen der vier Proteine p47 und OrfX1-3 wurden bisher nicht aufgeklärt und wurden in dieser Arbeit untersucht.

Dazu wurden die vier Proteine rekombinant in *Escherichia coli* exprimiert, mittels Affinitätschromatographie in hoher Reinheit

isoliert und mit Western Blot und ESI-Q-TOF Massenspektrometrie erfolgreich identifiziert. Die limitierte Proteolyse mit Pepsin zeigte einen Abbau von OrfX1 und OrfX2 (Abb. 2). Die Stöchiometrie der Komplexe wurde mit SEC-MALS und nSEC-Massenspektrometrie untersucht, die Thermostabilität wurde mit unterschiedlichen Methoden der Differential Scanning Fluorimetry ermittelt. Die mutmassliche Lipid-bindende Eigenschaft der Proteine wurde mittels Surface Plasmon Resonance (SPR) analysiert.

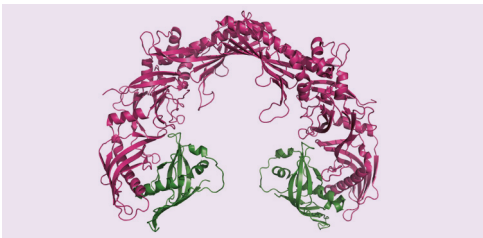


Abb. 1: Struktur des Proteinkomplexes aus OrfX1 (grün) und OrfX3 (pink) als Heterotetramer (2:2); PDB 8fbf.

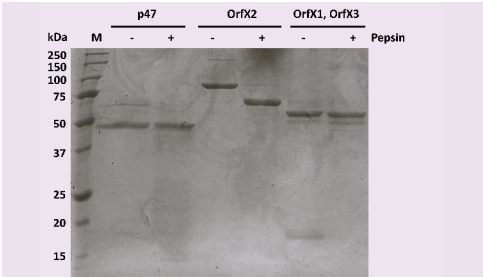


Abb. 2: Proteolyse der Proteine p47, OrfX2 und OrfX1 (als Komplex mit OrfX3) durch Pepsin. SDS-PAGE, Coomassie-Färbung.

Herstellung von Fettgewebe mittels mesenchymalen Stammzellen



Diplomandin

Joanna Verardi

Korrektoren ZHAW

Dr. Markus Rimann, Prof. Dr. Michael Raghunath

Adipositas zählt heute zu den globalen Gesundheitsproblemen, die durch die weltweite Zunahme von Übergewicht und Fettleibigkeit nicht nur eine medizinische, sondern auch eine gesellschaftliche Herausforderung darstellen. Adipositas ist eine Zivilisationskrankheit, die durch einen Body-Mass-Index (BMI) von $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ definiert ist und mit einem erhöhten Risiko für verschiedene Erkrankungen wie Arthrose, Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Typ-2-Diabetes einhergeht. Die weltweite Prävalenz dieser Erkrankung nimmt stetig zu und aktuellen Prognosen zufolge werden bis zum Jahr 2030 etwa 51 % der Weltbevölkerung betroffen sein, was erhebliche Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit und die Gesundheitssysteme haben wird.

Damit an Adipositas geforscht werden kann – auch um neue Medikamente dagegen zu entwickeln – braucht es zellbasierte In-vitro-Testsysteme. Im Fokus

dieser Arbeit stand die Etablierung eines *in vitro* Fettgewebes basierend auf mesenchymalen Stammzellen (MSC). Diese können in Adipozyten differenzieren, die sich durch das Vorhandensein von Lipidtröpfchen als charakteristisches Merkmal auszeichnen.

Dazu wurden MSCs über einen definierten Zeitraum entweder im Monolayer oder als Sphäroid (kugelförmiges Zellaggregat) kultiviert – jeweils unter adipogener Stimulation oder unter unstimulierten Bedingungen und mithilfe verschiedener Analysen auf eine mögliche Differenzierung hin untersucht.

Für die MSCs konnte ein Differenzierungsprotokoll erfolgreich etabliert werden. Eine Lipidakkumulation konnte sowohl im Monolayer unter unstimulierten als auch unter adipogen stimulierten Bedingungen mittels Oil Red O-Färbung nachgewiesen werden, wobei die adipogen stimulierten Zellen mehr Lipidtröpfchen bildeten. Die

Sphäroide wurden zusätzlich auf Zellgrösse und Morphologie analysiert und es konnten runde kompakte und stabile Sphäroide hergestellt werden.

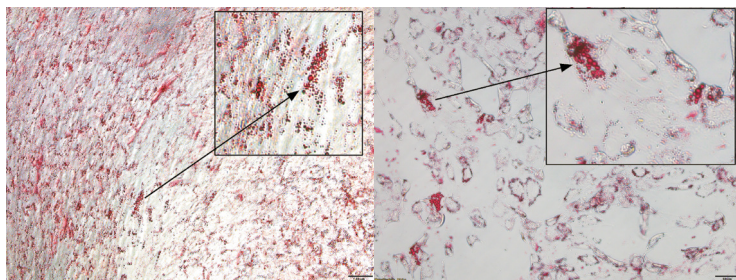


Abb. 1: Mesenchymale Stammzellen (MSCs) im Monolayer nach 7 Tagen Kultivierung unter unstimulierten Bedingungen (links) und adipogener Stimulation (rechts). In beiden Fällen sind in der eingerahmten Vergrösserung Lipidtröpfchen sichtbar.

Synthese von monodeuteriertem Oxiran



Diplomand	Paul Werneburg
Korrektor ZHAW	Prof. Dr. Jürgen Stohner
Korrektor extern	Prof. Dr. Robert Berger

Oxiran, ein achirales Molekül, konnte bereits im Weltall in prästellaren Kernen nachgewiesen werden [1]. Ersetzt man einen Wasserstoff im Molekül durch Deuterium, wird monodeuteriertes Oxiran zu einer chiralen Spezies. Da Deuterium während des Urknalls entstand [2], ist es interessant zu wissen, in welchem Verhältnis die deuterierte Spezies im interstellaren Medium zu finden ist. Ebenfalls ist es möglich, die verschiedenen Enantiomere von monodeuteriertem Oxiran nachzuweisen. Um jedoch die Messungen des interstellaren Mediums verstehen zu können, muss jede Spezies zunächst im Labor hergestellt und gemessen werden. Ziel dieser Arbeit war die Synthese von (*R*)-Oxiran-*d*₁. Da für die Messungen eine grössere Menge jeder Spezies benötigt wird, lag der Fokus dieser Arbeit auf dem Schritt der Decarbonylierung. Dabei sollte eine Vorschrift entwickelt werden, die es ermöglicht, diesen Schritt katalytisch durchzuführen.

Vorangegangene Arbeiten verwendeten für die Decarbonylierung einen Rhodiumkomplex im stöchiometrischen Verhältnis [3]. Da Rhodium sehr teuer ist, sollte es durch einen katalytisch einsetzbaren Rhodiumkomplex ersetzt werden, der die Reaktion mehrfach ermöglicht. In dieser Arbeit wurden mehrere Synthesansätze erprobt, blieben jedoch ohne Erfolg. Daher wurden alternative Synthesvorschriften entwickelt, die künftig getestet werden können, um die Herstellung ökonomischer zu gestalten.

- [1] A. Bacmann et al., *ACS Earth Space Chem.*, Bd. 3, Nr. 6, S. 1000–1013, Juni **2019**, doi: 10.1021/acsearthspacechem.9b00072.
[2] R. I. Epstein et al., *Nature*, Bd. 263, Nr. 5574, S. 198–202, Sep. **1976**, doi: 10.1038/263198a0.
[3] P. Herwig et al., *Science*, Bd. 342, Nr. 6162, S. 1084–1086, Nov. **2013**, doi: 10.1126/science.1246549.

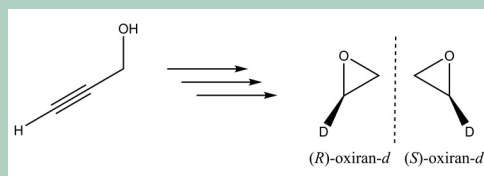


Abb. 1: Reaktionsschema für die Synthese von (*R*)-Oxiran-*d*₁.

Reifenadditive in Bodenproben – Validierung und Anwendung von Analysemethoden basierend auf hochauflösender Massenspektrometrie



Diplomandin Leslie Jane Widtmann

Korrektorin ZHAW Dr. Susanne Kern

Korrektorin extern Dr. Veronika Zelenay

Der weltweite Strassenverkehr trägt zur Freisetzung von Mikroplastik bei, insbesondere durch Reifenabrieb. Die dabei entstehenden «Tyre and Road Wear Particles» enthalten zahlreiche Additive, die toxisch für Fische sein können, wie das Oxidationsprodukt von 6PPD, sogenanntes 6PPD-Q [1]. Ihr Nachweis in Umweltmedien wie Boden, Pflanzen oder Lebensmitteln wirft Fragen hinsichtlich ökologischer und gesundheitlicher Risiken auf.

Die Analyse dieser teilweise bekannten Additive in Umweltproben gestaltet sich herausfordernd, da sie in komplexen Mischungen auftreten und sich in der Umwelt weiter umwandeln können. Ziel dieser Arbeit war es, eine zuverlässige Methode zur Extraktion und quantitativen Analyse ausgewählter Reifenadditive in Bodenproben zu entwickeln und anzuwenden.

Zum Einsatz kam dabei die Soxhlet-Extraktion mit einer optimierten Methode für Additive wie Antioxidantien (TMQ), Antiozonungsmittel (6PPD), Vulkanisationsbeschleuniger (BT, NCBA) und weitere

Reifenadditive (TESPD).

Diese organischen Verbindungen wurden unter Einbezug von internen Standards mittels Gaschromatographie gekoppelt an hochauflösender Massenspektrometrie (GC-QTOF) in Reifen- und Bodenproben quantifiziert. Zudem wurde die Analyse mittels Flüssigchromatographie gekoppelt an hochauflösender Massenspektrometrie (LC-QTOF) angewendet. In beiden Fällen kam eine sensitive und schnelle Analyse von Bodenproben aus verschiedenen Standorten in der Schweiz zum Einsatz.

Diese Arbeit zeigt, dass die analytische Erfassung von Reifenadditiven in Bodenmatrizen methodisch anspruchsvoll ist und durch standortspezifische Umweltbedingungen beeinflusst wird. Verkehrsnahe Böden wiesen eine stärkere Belastung an Reifenadditiven auf.

1] Zhenyu Tian et al., *Science* 371, 185–189, **2021**. DOI:10.1126/science.abd6951

[2] A. I. Osman et al., *Environ Chem Lett* **2023**, 21 (4), 2129–2169. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>.

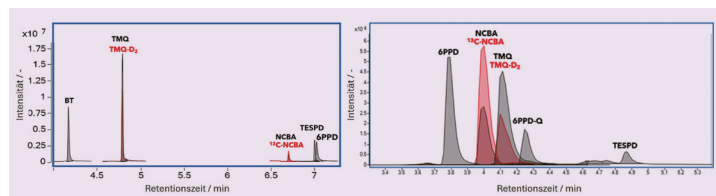


Abb. 1: Chromatogramme von GC-QTOF (links) und LC-QTOF (rechts) mit den Messsignalen bei entsprechenden Massen. Die internen Standards sind in rot markiert.

Institut für Chemie und Biotechnologie (ICBT)

Das ICBT ist eines der naturwissenschaftlichen Institute der ZHAW. Es betreibt angewandte Forschung zu brandaktuellen Themen rund um Gesundheit, Chemie, Biotechnologie und Umwelt – von Antibiotikaresistenzen oder antiviralen Wirkstoffen über Mikroplastik bis hin zu nachhaltigeren chemischen Prozessen. In drei Bachelorstudiengängen und zwei Studienrichtungen im Master bildet das ICBT junge Menschen für den Wachstumsmarkt Life Sciences aus.



Lehre

Das ICBT bietet drei Bachelorstudiengänge an: den Bachelor in Chemie mit Vertiefung «Chemie» oder «Biologische Chemie», den Bachelor in Biotechnologie mit Vertiefung «Bioprozessentwicklung und Bioengineering» oder «Molekular-, Mikro- und Zellbiologie» und den Bachelor in Biomedizinischer Labordiagnostik.

Im forschungsbasierten Masterstudiengang «Master of Science of Life Sciences» werden die Vertiefungen «Chemistry for the Life Sciences» und «Pharmaceutical Biotechnology» und angeboten.

Weiterbildung

Das ICBT bietet massgeschneiderte Weiterbildungsprogramme an. Individuelle Weiterbildungen für Firmen werden an den spezifischen Kundenbedürfnissen ausgerichtet. Internationale Fachtagungen runden das Portfolio ab.

Forschung, Entwicklung und Dienstleistungen

Die naturwissenschaftliche Forschung des ICBT ist am Markt orientiert. Für seine Partner bringt das Institut Produkte und Verfahren voran, die das Potenzial haben, im Markt rasch zu Ergebnissen zu gelangen.

Unsere strategischen Schwerpunkte:

- **Sustainable Solutions:** Wir gestalten und optimieren biotechnologische, biokatalytische und chemische Produktionsprozesse, Anlagen und Verfahren.
- **Pharma Innovation:** Wir erforschen und entwickeln innovative Therapeutika und suchen neue Wege zur Herstellung von Gewebemodellen für Testung, Diagnostik und Therapie.
- **Detection and Diagnostics:** Wir wenden instrumentell-analytische und bioanalytische Methoden und Technologien an für den Nachweis von Stoffen und eine sichere und effiziente Labordiagnostik.
- **Smart Materials:** Wir kreieren nanostrukturierte und funktionelle Materialien mit spezifischen Eigenschaften, die in verschiedenen Bereichen der Life Sciences zur Anwendung kommen.



Mehr über unser Institut
www.zhaw.ch/icbt

Bachelor, Master und Weiterbildung

Praxisorientierte Aus- und Weiterbildung

Die Bachelorprogramme der ZHAW sind berufsbefähigend und vermitteln praxisorientiertes Fachwissen, Allgemeinbildung und Arbeitsmethodik. Dank der Vernetzung mit rund hundert Hochschulen in Europa und Übersee bieten wir den Studierenden attraktive Möglichkeiten für ein internationales Austauschprogramm.

Im forschungsbasierten Masterstudien-gang vertiefen die Studierenden ihre Fachkenntnisse und erweitern ihre Kompetenzen. Die Master Thesis bildet dabei den wissenschaftlichen Kern des Studiums. Projektpartnern bietet sich die Möglichkeit zu einer engen Zusammenarbeit im Bachelor- wie auch im Masterstudium.

Zukunftsorientierte Bildungsprogramme

- Bachelorstudium Chemie mit den Vertiefungen Chemie und Biologische Chemie
- Bachelorstudium Biotechnologie mit den Vertiefungen Bioprozessentwicklung und Bioengineering sowie Molekular-, Mikro- und Zellbiologie
- Bachelorstudium Biomedizinische Labordiagnostik
- Masterstudium Life Sciences mit Vertiefung Chemistry for the Life Sciences
- Masterstudium Life Sciences mit Vertiefung Pharmaceutical Biotechnology
- Masterstudium Life Sciences mit Vertiefung Applied Computational Life Sciences
- Individuelle Weiterbildungen für Firmen
- Fachtagungen

Weiterbildung

Das Institut bietet neben der Lehre massgeschneiderte Weiterbildungsprogramme an: Individuelle Weiterbildungen für Firmen werden an den speziellen Kundenbedürfnissen ausgerichtet. Internationale Fachtagungen runden das Portfolio ab.



Weitere Infos zum
Bachelor und zum Master ICBT:
[www.zhaw.ch/de/lsm/
institute-zentren/icbt/
studium/](http://www.zhaw.ch/de/lsm/institute-zentren/icbt/studium/)



Weitere Infos zur Weiterbildung
[www.zhaw.ch/icbt/
weiterbildung](http://www.zhaw.ch/icbt/weiterbildung)



Chemie

Das Studium mit den
meisten Lösungen,
ob BSc oder MSc!



[zhaw.ch/icbt/
bachelor-chemie](https://zhaw.ch/icbt/bachelor-chemie)



[zhaw.ch/icbt/
master-chemistry](https://zhaw.ch/icbt/master-chemistry)

ALUMNI ZHAW

Damit Sie sich auch nach Ihrem Studium vernetzen können, steht Ihnen der Verein ALUMNI ZHAW mit den Fachbereichen «Life Sciences» und «Facility Management» zur Verfügung. Diese organisieren Events zu unterschiedlichen Anlässen, fachspezifische Vorträge und Besichtigungen und pflegen den Kontakt zu den Berufsverbänden und weiteren Alumni-Organisationen.



Melde dich gleich an:
alumni-zhaw.ch

Geschäftsstelle ALUMNI ZHAW
ALUMNI ZHAW
Gertrudstrasse 15
8400 Winterthur
052 203 47 00
services@alumni-zhaw.ch

ZHAW Zürcher Hochschule für
Angewandte Wissenschaften

**Life Sciences und
Facility Management**
ICBT Institut für
Chemie und Biotechnologie

Studiengang Chemie
Grüntalstrasse 14
Postfach
8820 Wädenswil
Tel. +41 58 934 50 00
info.icbt@zhaw.ch
www.zhaw.ch/icbt

Für weitere Informationen
besuchen Sie unsere Website:
www.zhaw.ch

