

Aufgabenstellungen für das Ferienpraktikum Chemie für Schülerinnen und Schüler vom 10. bis 13. Oktober 2005 (3. und 4. Tag)

Wählen Sie bitte sechs für Sie interessante Versuche aus. Wir bemühen uns, bei der Einteilung auf die vier Arbeitsgruppen die persönlichen Interessen weitgehend zu berücksichtigen.

Die Abkürzungen der Versuche beziehen sich auf die anbietenden Einheiten.

Es bedeuten:	TMC	Technische und Makromolekulare Chemie
	PHA	Pharmazie
	GTW	Gewerblich-Technische Wissenschaften
	LC	Lebensmittelchemie
	OC	Organische Chemie
	AC	Anorganische und Angewandte Chemie
	BC	Biochemie
	PC	Physikalische Chemie

Aufgabenstellung TMC 1: Taylorreaktor

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. H.-U. Moritz)

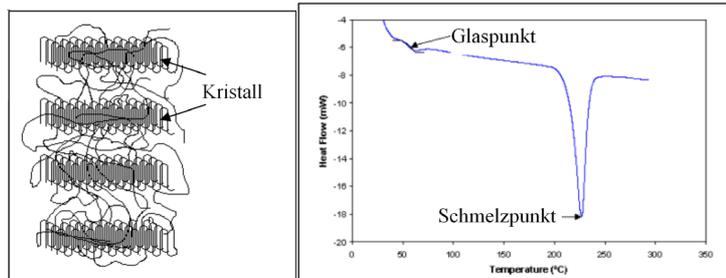
Der Taylor-Reaktor ist ein spezieller chemischer Reaktortyp, der zur Produktion im großindustriellen Maßstab eingesetzt werden kann. Während seines kontinuierlichen Betriebes werden gleichzeitig Edukte zugeführt, sowie Produkte entnommen. In unserem Technikum sollen die Flüssigkeitsströmungen sowie die Stoffvermischung in verschiedenen durchsichtigen Taylor-Reaktoren sichtbar gemacht werden, indem man Markierungssubstanzen in den Reaktor einspritzt. Die Informationen über das Strömungsverhalten eines Reaktors sind nötig, um ein geeignetes Verfahren zur Synthese einer bekannte chemischen Substanz zu entwickeln.



Aufgabenstellung TMC 2: Molekulare Ordnung in biologisch-abbaubaren Polymeren

(für je 2 TeilnehmeInnen, Arbeitskreis Dr. C. Wutz)

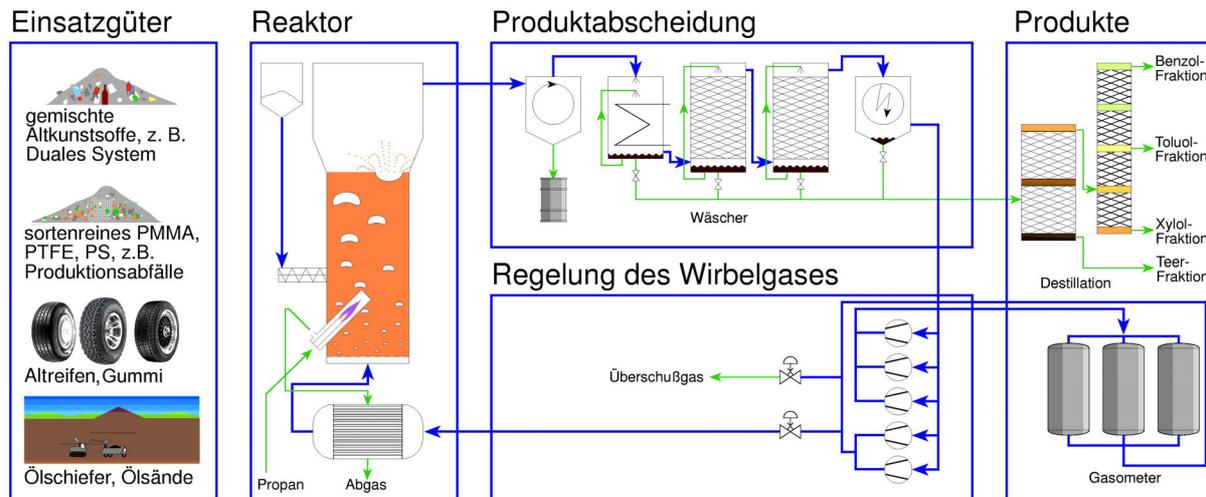
Biologisch abbaubare Polymere auf der Basis von Milchsäure werden als Wundabdeckung und chirurgisches Nahtmaterial, zunehmend aber auch in der Verpackungsindustrie verwendet. Ihre mechanische Festigkeit hängt von der molekularen Ordnung – dem so genannten Kristallisationsgrad – ab. Wie hängt jetzt aber der Kristallisationsgrad vom Milchsäuregehalt ab?



Das soll in diesem Versuch durch Untersuchung des Schmelzverhaltens verschiedener Polymerproben bestimmt werden.

Aufgabenstellung TMC 3: Chemisches Recycling von Kunststoffen durch Wirbelschichtpyrolyse: „Hamburger Verfahren“

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. W. Kaminsky)



Altkunststoffe und andere Abfälle können durch Pyrolyse (Zersetzung unter Sauerstoffausschluss) in einer indirekt beheizten Wirbelschicht wiederverwertet und in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Labor- und Technikumsanlagen mit Durchsätzen bis zu 30 kg/h sind erfolgreich in Betrieb (s. Abbildung).

Aus Polyolefingemischen, z.B. Kunststoffleichtfraktionen aus Sammlungen des DSD (Grüner Punkt), lassen sich Olefine für die Kunststoffproduktion und Feedstock für petrochemische Prozesse zurückgewinnen. Bestimmte sortenreine Kunststoffe werden durch dieses Verfahren in hohen Ausbeuten in ihre Monomere umgewandelt.

In dem Versuch sollen ausgediente Proben des Standardkunststoffes Polypropylen pyrolysiert werden, um wieder wertvolle Produkte zu erhalten. Diese sollen des weiteren mittels Destillation aufgearbeitet und anschließend analysiert werden.

Aufgabenstellung PHA 1: Vom Naturstoff zum Arzneimittel - Über 100 Jahre Aspirin®

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. H. -J. Duchstein)

Zunächst wird die Weidenrinde als Naturstoff und Arzneidroge vorgestellt, aus der im 1. Teil der Inhaltsstoff Salicin isoliert wird. Es folgen Nachweis und Verarbeitung zu Salicylsäure (Zwischenprodukt), die als Ausgangsstoff der Synthese Acetylsalicylsäure (erstmal 1897) dient. Die Patentanmeldung der Fa. Bayer erfolgte im Jahr 1899. Die Synthese und der Nachweis des Produktes (Arzneistoff) wird im 2. Teil gezeigt. Der 3. Teil ist die Herstellung des Arzneimittels aus dem Arzneistoff, d.h. es wird Acetylsalicylsäure zu Tabletten (Zubereitungsform) verpresst. Im 4. Teil wird der Weg des Arzneistoffes durch den Organismus beschrieben (Metabolisierung) und die Veränderung in den Körperflüssigkeiten spektroskopisch bewiesen.

Aufgabenstellung PHA 2: Die Chemie der Kamillenblüten

(für je 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. E. Stahl-Biskup)

Kamillenblüten werden als Tee zur Behandlung von Magen-Darm-Beschwerden getrunken oder in anderen Zubereitungen (Salben, Lotio) äußerlich zur Behandlungen von Hautkrankheiten eingesetzt. Erkältungen kann man günstig durch Inhalieren mit Kamille beeinflussen. Diese Wirkungen sind auf verschiedene Inhaltsstoffe zurückzuführen. Als solche sind sowohl fettlösliche (lipophile) Inhaltsstoffe zu nennen, zu denen die flüchtigen Bestandteile des ätherischen Öls, wie Bisabolol, Bisabololoxide, Bisabolonoxide, die En-In-Dicycloether, das Chamazulen und weitere Mono- und Sesquiterpene zählen. Ebenfalls lipophil, aber nicht flüchtig und deshalb im ätherischen Öl nicht nachweisbar, sind Herniarin und Umbelliferon (Cumarine) und Matricin (Sesquiterpenlacton). An wasserlöslichen (hydrophilen) Inhaltsstoffen sind vor allem die Flavonglykoside (Luteolin- und Apigeninglucosid) von Bedeutung. Außerdem sind Schleimstoffe enthalten.

Im Praktikum werden diese Inhaltsstoffe sowohl durch Wasserdampfdestillation (flüchtige Inhaltsstoffe) als auch durch Extraktion mit Lösungsmitteln (Flavonoide, Cumarine) aus den Kamillenblüten gewonnen. Die Analyse der Inhaltsstoffe erfolgt mittels Dünnschichtchromatographie und Gaschromatographie. Mit diesen Methoden

Aufgabenstellung LC 1: Lebensmittelensorik

(für je 6 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. H. Steinhart)

Die Lebensmittelensorik spielt eine wichtige Rolle im Bereich der Aromastoffforschung, der Produktentwicklung und der Produktionskontrolle im Unternehmen. Um eine gleich bleibende Qualität im Herstellungsprozess zu gewährleisten, werden die produzierten Waren regelmäßig (zumeist täglich) nach Geruch, Geschmack und Textur (z.B. Bissfestigkeit) beurteilt. Im Rahmen einer kleinen Gruppe von 6 Personen sollen einige Einblicke in die Grundlagen der Lebensmittelensorik gegeben werden. Hierzu werden verschiedene Lebensmittel verkostet, um den Geschmack und den Geruch in der Gruppe wissenschaftlich zu beschreiben. Abweichungen von einer festgelegten Qualitätsnorm werden am besten mit einem Triangeltest erfasst.



Hierbei erhalten die Teilnehmer drei Proben, von denen 2 identisch sind und eine abweicht. Durch Riechen und Schmecken muss die abweichende Probe von der Gruppe identifiziert werden und die Art der Abweichung beschrieben werden. Mit Hilfe der Lebensmittelensorik lassen sich viele Qualitätsparameter einfacher beschreiben als es mit instrumentell-analytischen Methoden möglich wäre. Zur Veranschaulichung wird in einem dritten Teil ein Aromastoffgemisch mit Hilfe der Gaschromatographie analysiert. Hierbei sollen die Teilnehmer im Rahmen einer so genannten olfaktometrischen Analyse, die Aromakomponenten selber durch Riechen identifizieren. Zusätzlich erfolgt eine massenspektrometrische Analyse der Aromastoffe.

Aufgabenstellung LC 2: Analytik von Kohlenhydraten

(für je 3 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. H. Steinhart)

Zucker und Kohlenhydrate stellen wichtige Lebensmittelbestandteile dar. Allerdings ist der Anteil an Zucker in der heutigen Ernährung viel zu hoch und verursacht im Übermaß gesundheitliche Probleme. Für die Beurteilung der ernährungsphysiologischen Qualität von Lebensmitteln ist es daher wichtig, die genaue Zusammensetzung der verschiedenen Zucker in Lebensmitteln sowie ihren genauen Gehalt zu ermitteln. Für die Identifizierung von Zuckern in Erfrischungsgetränken (z.B. Cola), Fruchtsäften, Fruchtsaftgetränken und alkoholischen Getränken (sogenannte „Alcopops“) werden die Zucker mittels einer dünn-schichtchromatographischen Analyse identifiziert. Für die quantitative Analyse von Kohlenhydraten wird das Analysenverfahren nach Luff-Schoorl verwendet. Die Zucker reagieren mit einer Kupfersulfat-Lösung in der Siedehitze, wobei die Kupferionen durch Zucker reduziert werden.

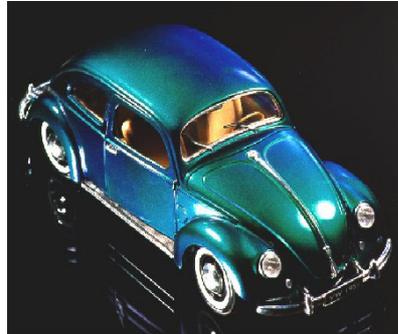


Der Überschuss an Kupferionen wird dann iodometrisch titriert. Die Gehaltsbestimmung von reduzierenden Zuckern (z.B. Glucose und Fruktose) wird ohne vorherige Hydrolyse durchgeführt. Der so nicht erfasste Haushaltszucker (Saccharose) muss zunächst hydrolytisch durch Säuren gespalten werden. Da bei diesem Versuch mit Bunsenbrenner und Rückflusskühler gearbeitet werden muss, können an diesem Versuch maximal 3 Personen teilnehmen.

Aufgabenstellung OC 1: Synthese und Untersuchung eines Flüssigkristalls

(für 2 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. V. Vill)

Im Praktikum soll ein Flüssigkristall (Cholesterylcarbonat) hergestellt werden, welcher zur Temperaturmessung (Farbskala) oder als Effektfarbe in Kosmetika angewendet wird. Es beinhaltet die synthetisch präparative Tätigkeit, Reinigung und Isolation mit Hilfe der Säulenchromatographie bzw. durch Umkristallisation sowie die mikroskopische Untersuchung der Phasenumwandlung des Flüssigkristalls.



Natürlicher Käfer mit seiner natürlichen Farbe, verglichen mit einen künstlichen Käfer eingefärbt mit einer flüssigkristallinen Reflektivfarbe auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Bild: BASF-AG)

Aufgabenstellung OC 2: Untersuchung von Wasser aus Elbe oder Alster auf organische Schadstoffe

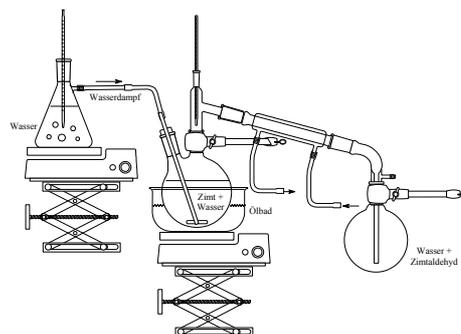
(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. H. Hühnerfuß)

Vorbereitete Wasserproben werden mittels eines modernen Analysegerätes (Gaschromatograph/Massenspektrometer) auf ausgewählte organische Schadstoffe, vornehmlich Pharmazeutika, untersucht. Um spurenanalytische Nachweisempfindlichkeiten (0,00000001 g/L) erzielen zu können, müssen die Proben vor der Messung in Mikroreaktionen chemisch modifiziert werden.

Aufgabenstellung OC 3: Extraktion von Zimtaldehyd aus Zimtpulver

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. W. Francke)

Mittels Wasserdampfdestillation wird aus Zimtpulver das etherische Öl gewonnen. Dieses wird mit einem organischen Lösungsmittel aus der wässrigen Phase extrahiert. Das Lösungsmittel wird am Rotationsverdampfer abdestilliert. Der ölige Rückstand wird gaschromatographisch auf seine Reinheit überprüft.



Aufgabenstellung OC 4: Spektroskopische Strukturaufklärung organischer Moleküle

(für 2 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. C. Meier)

Die Strukturaufklärung ist ein wesentlicher Teil der Tätigkeit eines organisch präparativ arbeitenden Chemikers. Im Projekt werden von ausgewählten organischen Verbindungen Spektren aufgenommen und interpretiert. Es werden somit die modernen Methoden der Infrarotspektroskopie (IR), der Kernresonanzspektroskopie (NMR) und der Massenspektrometrie (MS) kennen gelernt.

Aufgabenstellung OC 5: Die Anwendung der NMR-Spektroskopie und Molecular Modelling am Beispiel des Schmerzmittels Voltaren® (Computerchemie)

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. B. Meyer)

NMR-Spektroskopie ist eines der wesentlichen Verfahren, mit denen man die Strukturen von unbekanntem Molekülen aufklären kann. Es können sehr kleine, aber auch sehr große Moleküle wie z.B. Proteine bis zu einem Molekulargewicht von etwa 200.000 g/mol sein. Grundlage ist, dass viele Atome über Isotope verfügen, die ein magnetisches Moment haben. In ein sehr starkes, supraleitendes Magnetfeld gebracht, erhält man Informationen über die chemische Umgebung eines Atoms und seine räumliche Nachbarschaft zu anderen Atomen im Molekül. Es ist hiermit möglich, sowohl die Struktur – also die chemische Strukturformel – zu etablieren, als auch die dreidimensionale Struktur von Molekülen zu bestimmen. Gezeigt werden Grundlagen und einfache Versuche, sowie die Interpretation von NMR-Spektren am Beispiel Voltaren®.

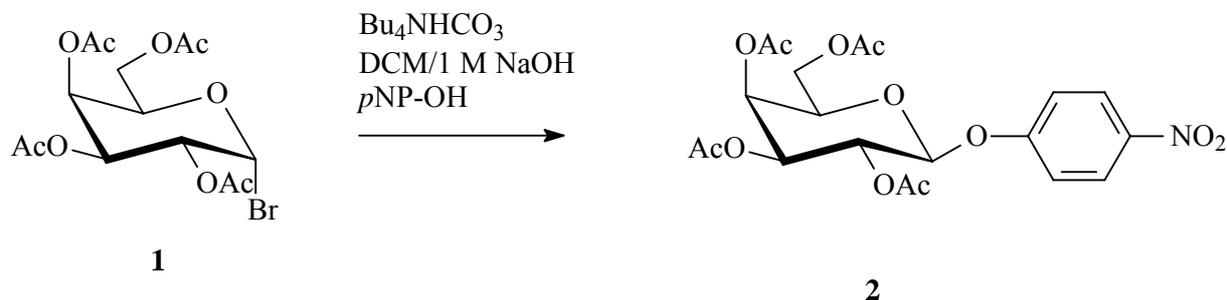
Die Berechnung der Eigenschaften von Molekülen stellt einen wesentlichen Teil der theoretischen Chemie dar. Hiermit ist es möglich sowohl die dreidimensionale Gestalt von Molekülen vorherzusagen, als auch die Lage und Position an einem Rezeptor zu berechnen. Mit Hilfe dieser Information können Optimierungen an Arzneistoffkandidaten vorgenommen werden. Auch dieses Verfahren soll am Beispiel Voltaren® und seinem Wirkort, dem Protein COX-2, erläutert werden.

Ein Teil der Arbeiten findet am NMR-Gerät statt, ein Teil an UNIX Workstations.

Aufgabenstellung OC 6: Phasentransfer-katalysierte Glycosylierung und säulenchromatographische Reinigung

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. J. Thiem)

2,3,4,6-Tetra-O-acetyl- α -D-galactopyranosylbromid (1, α -Acetobromgalactose) wird mit *p*-Nitrophenol und Tetrabutylammoniumbromid in Dichlormethan mit Natronlauge zum *p*-Nitrophenyl-2,3,4,6-tetra-O-acetyl- β -D-galactopyranosid (2) umgesetzt. Nach Aufarbeitung erfolgt die Reinigung durch Säulenchromatographie an Kieselgel.



Aufgabenstellung OC 7: Qualitative organische Analyse

(4 Teilnehmer, Ausbildungslabor Fr. Lingenober & Fr. Dockweiler)

Bei einer qualitativen Untersuchung prüft man eine unbekannte Substanz auf bestimmte Elemente z.B. Stickstoff, Chlor oder Schwefel. Nicht nur Elemente können nachgewiesen werden, sondern auch funktionelle Gruppen, die zur Aufklärung von Strukturen eines Stoffes beitragen können.



Die Nachweisreaktionen sind einfach und schnell mit Hilfe von Farbreaktionen, Fällungsreaktionen und mit einem spektakulären Natriumaufschluss durchzuführen.

Jeder Teilnehmer erhält eine Probe, die auf die einzelnen Elemente und Gruppen geprüft werden soll.

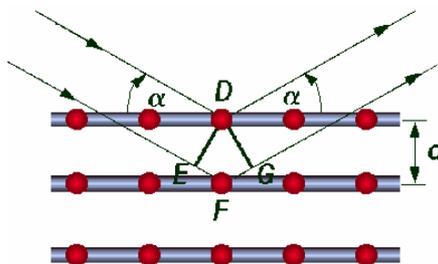
Die Nachweisverfahren werden vorher kurz erläutert.



Aufgabenstellung AC 1: Kristalle züchten und analysieren

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreise Prof. B. Albert, Prof. H. –D. Amberger, Prof. J. Kopf)

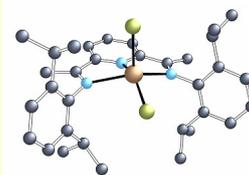
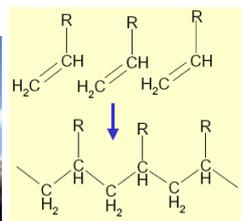
Die charakteristische Form und Farbe von Kristallen ist früher genutzt worden, um chemische Verbindungen zu identifizieren. Heute verwendet man zu diesem Zweck modernere Methoden. Im Rahmen des Schülerferienpraktikums sollen Kristalle mit besonderem Habitus gezüchtet und mikroskopiert werden. Anschließend wird eine Einkristallröntgenstrukturanalyse durchgeführt und ein Ramanspektrum aufgenommen, um die Substanz zu charakterisieren und ihren Aufbau zu verstehen.



Aufgabenstellung AC 2: Übergangsmetallkomplexe und Polymerisation

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreise Prof. P. Burger, Prof. M. Prosenec)

Übergangsmetallkomplexe spielen eine große Rolle in der modernen industriellen Katalyse. Ein wichtiges Teilgebiet stellt hierbei die Polymerisationskatalyse dar. Im Rahmen des Projektes werden Übergangsmetallkatalysatoren synthetisiert und einfache Polymerisationsreaktionen durchgeführt und einen Einblick in die computerunterstützte Forschung (Molecular Modelling) gegeben. Vor den experimentellen Arbeiten werden die Studenten in wichtige Grundbegriffe eingeführt. Ein Überblick über die Entwicklung neuer Katalysatoren und aktuelle chemische Arbeitsweise und -technik ist das Ziel des Projekts.



Aufgabenstellung AC 3: Bestimmung von Calcium in Trinkwasser und Milch

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreise Prof. J.A.C. Broekaert, Dr. N. Bings)

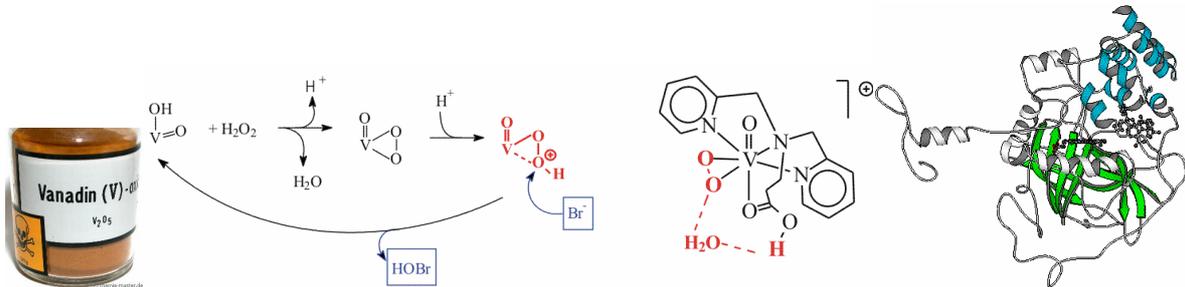
Ziel des Versuches soll es sein, die Calciumgehalte in Trink- und Mineralwasser sowie in Milch zu bestimmen. Dies soll mit Hilfe der Flammenatomabsorptionsspektrometrie (FAAS) geschehen, wobei den Schülern die notwendigen theoretischen Grundlagen vermittelt werden, bevor die Kalibrier- und Probenlösungen angesetzt und analysiert werden. Die Notwendigkeit der Verwendung verschiedener Kalibriertechniken wird durch den Vergleich der ermittelten und wahren Konzentration ersichtlich werden.



Aufgabenstellung AC 4: Vanadiumkomplexe als Redoxkatalysatoren

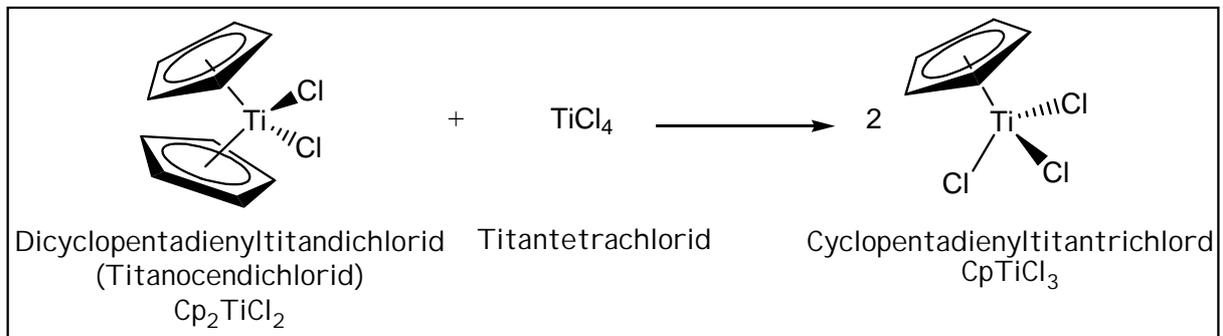
(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. D. Rehder)

Vanadiumverbindungen spielen nicht nur in der industriellen sondern auch in der Biochemie eine wichtige Rolle als Oxidationskatalysatoren. Im Rahmen des Ferienpraktikums soll ein Einblick in diese (auch sehr farbreiche) Chemie gewonnen werden. Es werden hierzu Vanadiumkomplexe hergestellt und ihre Reaktionen mit Sauerstoff, Umsetzungen zu Peroxokomplexen und deren Reaktivität gegenüber Catalase (einem Enzym) untersucht.



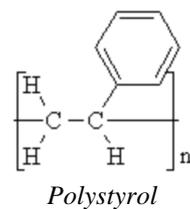
Aufgabenstellung AC 5: Darstellung von Cyclopentadienyltitantrichlorid (CpTiCl₃)

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. J. Heck)



CpTiCl_3 wird als Katalysator für die Darstellung von Polystyrol (PS) eingesetzt. Polystyrol ist ein Kunststoff, der seit 1930 durch Polymerisation von Styrol hergestellt wird. Gegenüber Säuren, Laugen und Alkohol ist Polystyrol beständig. Auffällig ist der brillante Oberflächenglanz. Polystyrol ist ein klarsichtiger Werkstoff mit einer hohen Steifigkeit und Härte. Es ...

- besitzt eine geringe Zähigkeit,
- ist bruchempfindlich bei Schlagbeanspruchung
- und hat eine wasserhelle Transparenz



Anwendungen von Polystyrol:



Glänzend in Form ...



... bleibt cool ...



... packt Lebensmittel ein

Aufgabenstellung BC 1: Proteinreinigung und Proteinanalytik

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. U. Hahn)

Versuchsziel ist die Isolierung eines Enzyms sowie dessen enzymatischer Nachweis und Überprüfung der Reinheit. Der Versuch verdeutlicht das generelle Prinzip der Proteinreinigung aus komplexen Gemischen.

Proteine steuern komplexe Abläufe in der Zelle und werden teilweise auch als Therapeutika in der Medizin eingesetzt. Um ein Protein funktionell und strukturell zu charakterisieren, muss es aus der Zelle isoliert und gereinigt werden.

In dem vorliegenden Versuch soll die Dihydrofolatreduktase (DHFR) aus einem Zellextrakt gereinigt und analysiert werden. Dazu werden die Proteine des Zellextraktes mit einer Ionenaustauschchromatographie an einer FPLC-Anlage (Fast Protein Liquid Chromatography) getrennt. Die einzelnen Proteinfractionen werden nachfolgend mit einem photometrischen Test auf die biologische Aktivität der DHFR überprüft. Anschließend werden die Proteine in einem Gel elektrophoretisch getrennt, mit einem Farbstoff angefärbt und so auf ihre Reinheit untersucht.

Aufgabenstellung BC 2: Isolierung von DNA aus Tomaten

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. U. Hahn)

Versuchsziel ist die Isolierung und Betrachtung von DNA aus Tomaten mit herkömmlichen Haushaltsmitteln. Der Versuch verdeutlicht das generelle Prinzip der DNA-Gewinnung aus Geweben.

Desoxyribonucleinsäure (DNA) ist ein natürlicher Bestandteil unseres täglichen Speiseplans. Pro Tag nehmen wir etwa 1-2 g dieser Trägersubstanz von Erbinformation auf -komplette Genome von Gemüse-, Obst- und Getreidesorten sowie verschiedener tierischer Herkunft. Doch wie sieht DNA aus?

Im vorliegenden Versuch wird DNA aus Tomaten isoliert und sichtbar gemacht. Dazu wird zunächst das Pflanzengewebe mechanisch zerkleinert.



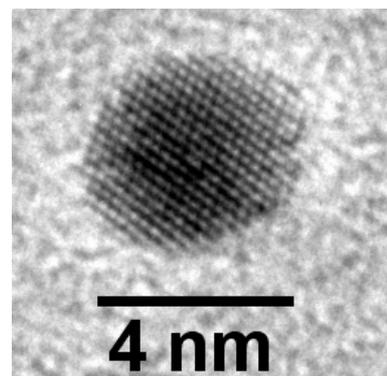
Die nachfolgende Zugabe von Spülmittel und Kochsalz bewirkt eine Zerstörung der Zell- und Kernmembranen. Die Zellfragmente werden anschließend durch Filtration abgetrennt - zurück bleiben die gelösten Proteine und DNA. Durch Behandlung mit einem speziellen Proteaseenzym werden die isolierten Proteine abgebaut. Nach Zugabe von Ethanol fällt die DNA aus und kann um eine Impföse gewickelt, aus der Lösung gezogen und betrachtet werden. Das auf diese Weise isolierte Material ist jedoch noch mit Proteinen und RNA (Kopien der DNA) verschmutzt. In einem Reinigungsschritt wird die isolierte DNA elektrophoretisch getrennt und die Konzentration photometrisch bestimmen.

Aufgabenstellung PC 1: Nanogold aus dem Reagenzglas

(für 4 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. H. Weller)

Im Größenbereich von einigen Nanometern (ein Nanometer = ein millionstel Millimeter) ändern sich die Materialeigenschaften von Festkörpern sehr drastisch gegenüber herkömmlichen Stoffen. Nanopartikel erobern deshalb auch gegenwärtig zahlreiche Anwendungsgebiete in Elektronik, Optik, Katalyse, Materialforschung sowie in biochemisch-medizinischer Diagnostik und Therapie.

Im Rahmen des angebotenen Versuchs werden im Labor nanometergroße Goldpartikel in Lösung präpariert. Die Farbe solcher Lösungen ist tiefrot und unterscheidet sich damit sehr deutlich von großen Goldpartikeln. Die Teilchen werden mithilfe von Absorptionsspektroskopie, Röntgenbeugung und hochauflösender Elektronenmikroskopie untersucht. Durch die atomare Ortsauflösung letzteren Verfahrens kann die Kristallstruktur der Partikel direkt abgebildet werden.



Aufgabenstellung PC 2: Farbige Mikrokapseln

(für 3 TeilnehmerInnen, Arbeitskreis Prof. S. Förster)

Vesikel stellen interessante Systeme für kosmetische und pharmazeutische Anwendungen dar.

Durch ihre hohlkugelartige Struktur eignen sie sich zum Wirkstofftransport und als Wirkstoffdepot. In der molekularen Medizin eröffnen sie die Möglichkeit, schwerlösliche und empfindliche Arzneistoffe in die Zielorgane zu transportieren. Durch ihre Depotfunktion können Arzneien über einen gewissen Zeitraum kontinuierlich zugeführt werden.

In diesem Versuch sollen Liposomen auf verschiedene Arten hergestellt werden und die Einkapselung verschiedener Stoffe modellhaft an Farbstoffen untersucht werden

