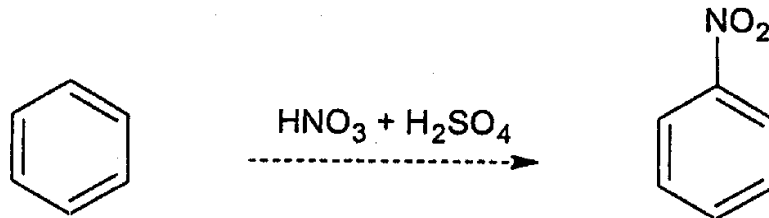


## Aromatische Kohlenwasserstoffe

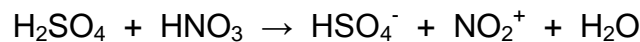
---

- 1 Sowohl Ethen als auch Benzol sollen bei Raumtemperatur mit Brom zur Reaktion gebracht werden.
  - 1.1 Stellen Sie den Unterschied in den Reaktionsbedingungen heraus und benennen Sie den jeweiligen Reaktionstyp!
  - 1.2 Vergleichen Sie die Mechanismen der Bromierung von Ethen und der Bromierung von Benzol und stellen Sie dabei Übereinstimmungen und Unterschiede heraus! Strukturformeln bzw. Grenzstrukturformeln sind mit zu verwenden.
  - 1.3 Benzol reagiert auch mit Iodchlorid (ICl). Geben Sie an, ob diese Reaktion zu Iodbenzol oder Chlorbenzol führt, und begründen Sie Ihre Aussage!
  
- 2 Ein Mol Benzol bzw. drei Mol Cyclohexen werden jeweils durch drei Mol Wasserstoff zu Cyclohexan hydriert. Dabei werden folgende Energiebeträge freigesetzt: 209 kJ bzw. 360 kJ. Erstellen Sie die Strukturformelgleichungen für beide Reaktionen und ordnen Sie jedem der beiden Vorgänge den Betrag der Reaktionsenthalpie zu! Begründen Sie Ihre Entscheidung!
  
- 3 August Kekulé schlug 1865 die noch heute gebräuchliche Strukturformel für das Benzolmolekül vor.
  - 3.1 Erläutern Sie mit Hilfe eines experimentellen Belegs den Begriff „Mesomerieenergie“ am Beispiel des Benzols!
  - 3.2 Nennen Sie die Versuchsbedingung, bei der Brom in der Dunkelheit und bei Zimmertemperatur mit Benzol reagiert! Beschreiben Sie unter Mitverwendung von Strukturformeln den Mechanismus dieser Reaktion!
  
- 4 Sir Joseph Lister setzte 1865 Phenol (Hydroxybenzol) als Antiseptikum bei der Wunddesinfektion ein. Da Phenol Verätzungen hervorruft und als Nerven- und Zellgift wirkt, wird es heute nur noch selten als Desinfektionsmittel eingesetzt. Phenol und Benzol reagieren mit Chlor nach dem gleichen Reaktionsmechanismus. Die Reaktion mit Phenol findet auch ohne Zusatz eines Katalysators statt. Es entsteht u. a. 4-Chlorphenol. Zeichnen Sie unter Mitverwendung mesomerer Grenzstrukturformeln den Reaktionsmechanismus für die Bildung von 4-Chlorphenol aus Phenol und Chlor!

- 5 Bereits 1826 gelang dem Kaufmann und Apotheker Otto Unverdorben die Darstellung von Anilin aus Indigo. Seit 1873 wird Anilin großtechnisch aus Benzol hergestellt. Hierbei wird Benzol zunächst mit einem Gemisch aus Schwefelsäure und Salpetersäure nitriert:

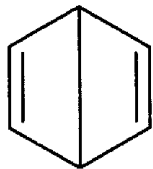


In einem ersten Reaktionsschritt entstehen dabei Nitronium-Ionen ( $\text{NO}_2^+$ ):



Formulieren Sie den Reaktionsmechanismus für die Bildung von Nitrobenzol aus Benzol und Nitronium-Ionen ( $\text{NO}_2^+$ ) unter Mitverwendung mesomerer Grenzstrukturformeln! Der Einfluss eines Katalysators muss nicht berücksichtigt werden.

- 6 Die Grundlage für die Erforschung der Chemie der Aromaten legte Michael Faraday mit der Entdeckung von Benzol im Steinkohlenteer im Jahr 1825. Nach Aufklärung der Summenformel  $\text{C}_6\text{H}_6$  wurde unter anderem folgende Strukturformel vorgeschlagen:



Strukturformelvorschlag nach James Dewar

Zur Aufklärung der Struktur des Benzols wurden verschiedene Experimente durchgeführt. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Experimente dargestellt:

- I. Es gibt genau ein Monobrombenzol.
- II. Es gibt genau ein 1,2-Dibrombenzol.
- III. Es gibt genau drei Dibrombenzole.
- IV. Benzol reagiert bei Raumtemperatur im Dunkeln nicht mit Brom.

Stellen Sie ausgehend vom Strukturformelvorschlag nach Dewar unter Mitverwendung von Strukturformeln dar, dass die unter I bis IV angegebenen Beobachtungen mit diesem Strukturformelvorschlag nicht übereinstimmen!

- 7 Aus Benzol können zahlreiche weitere aromatische Verbindungen hergestellt werden wie zum Beispiel Methylbenzol, das als Weichmacher in der Kunststoffindustrie Verwendung findet. Es kann durch Umsetzung von Chlormethan mit Benzol synthetisiert werden. Wie bei der Halogenierung von Benzol muss hierbei Aluminiumchlorid oder Eisen(III)-chlorid als Katalysator eingesetzt werden. Formulieren Sie den Mechanismus dieser elektrophilen aromatischen Substitution unter Mitverwendung mesomerer Grenzstrukturformeln!
- 8 Im Jahr 1834 isolierte Friedlieb Ferdinand Runge aus dem bei der Verkokung von Steinkohle anfallenden kohlenwasserstoffreichen Steinkohlenteer das von ihm „Carbolsäure“ genannte Phenol (Hydroxybenzol). Kurz darauf wurde ein großtechnisches Verfahren zur Phenolgewinnung entwickelt. Bei diesem Verfahren wird das bei der fraktionierten Destillation des Steinkohlenteers anfallende phenolhaltige „Mittelöl“ mit Natronlauge verrührt. Nach Beendigung der Reaktion trennt sich das Gemisch in zwei Phasen, von denen eine Phenolat-Ionen enthält. In diese Phase leitet man Kohlenstoffdioxid ein und erhält ein Gemisch aus Phenol, Natriumhydrogencarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) und Wasser, aus dem das Phenol abdestilliert werden kann.
- 8.1 Erklären Sie unter Mitverwendung mesomerer Grenzstrukturformeln, warum die von Runge für das Phenol verwendete Bezeichnung „Säure“ diesen Stoff chemisch zutreffend charakterisiert. Begründen Sie, weshalb sich beim Versetzen von "Mittelöl" mit Natronlauge zwei Phasen bilden und in welcher der beiden Phasen sich die Phenolat-Ionen befinden!
- 8.2 Formulieren Sie die Gleichung für die Reaktion, die nach dem Einleiten von Kohlenstoffdioxid zur Bildung von Phenol führt!

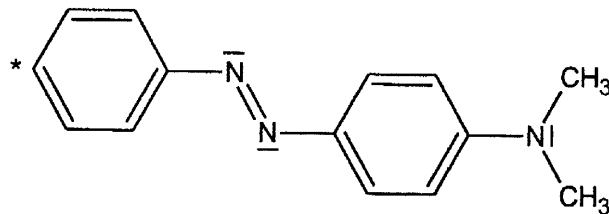
Hinweis: Aus Kohlenstoffdioxid und Wasser bildet sich zunächst Kohlensäure.

# Farbstoffe

---

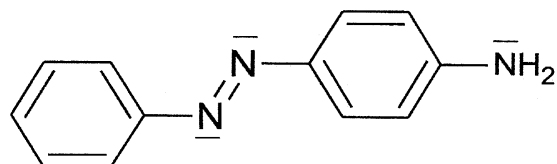
- 1 Die Verfügbarkeit von Anilin (Aminobenzol) ist die Grundlage für die Entwicklung vieler „Anilinfarben“.
  - 1.1 Erläutern Sie unter Mitverwendung von Strukturformeln die Hauptschritte einer Farbstoffsynthese, bei der Anilin einen Ausgangsstoff bildet!
  - 1.2 Gleichkonzentrierte Lösungen von 2,4-Dinitroanilin zeigen in alkalischem bzw. stark saurem Milieu unterschiedliche Farbe. Begründen Sie den Unterschied unter Mitverwendung von Strukturformeln und Fachbegriffen!

- 2 Bis 1934 wurde Dimethylgelb (= „Buttergelb“) zum Anfärben von Margarine verwendet. Der Farbstoff besitzt folgende Struktur:



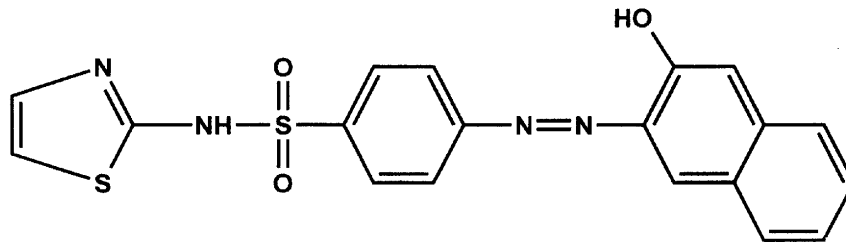
- 2.1 Formulieren und benennen Sie die Reaktionsschritte, die zur Synthese dieses Farbstoffes führen! Verwenden Sie dabei für die organischen Edukte und die Zwischenprodukte Strukturformeln!
- 2.2 Legen Sie am Beispiel des Dimethylgelbs unter Verwendung von Fachbegriffen den Zusammenhang zwischen Molekülstruktur und Farbigkeit dar!
- 2.3 Im Labor wird in das Molekül an der mit \* gekennzeichneten Position eine anti-auxochrome Gruppe eingeführt. Erklären Sie unter Zuhilfenahme geeigneter Strukturformeln den Einfluss der von Ihnen gewählten Gruppe auf die Farbigkeit des Stoffes!

- 3 Das früher zum Färben von Butter verwendete Anilingelb (4-Aminoazobenzol) hat folgende Molekülstruktur:



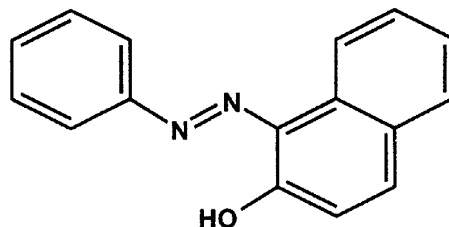
- 3.1 Erläutern Sie die Schritte der Synthese dieses Farbstoffs aus Anilin und den erforderlichen anorganischen Chemikalien unter Mitverwendung von Reaktionsgleichungen!
- 3.2 Erklären Sie die Bedeutung der verschiedenen Molekülteile für die Farbigkeit dieser Verbindung!

- 4 Antibiotika können zur medikamentösen Bekämpfung bakterieller Erkrankungen beim Menschen eingesetzt werden. So erkannte der deutsche Chemiker G. Domagk beim Experimentieren mit Farbstoffen im Jahr 1932 zufällig die antibakterielle Wirkung von Sulfonamiden. Sulfonamide können mithilfe einer Farbreaktion nachgewiesen werden. Führt man diesen Nachweis mit dem Sulfonamid Sulfathiazol (STZ) durch, so bildet sich der nachfolgend dargestellte Farbstoff:



Benennen Sie die Farbstoffklasse, der dieser Farbstoff angehört! Geben Sie die Strukturformeln der organischen Edukte an, aus denen dieser Farbstoff synthetisiert wurde, formulieren Sie davon ausgehend die Strukturformelgleichungen der wesentlichen Syntheseschritte und benennen Sie die Schritte!

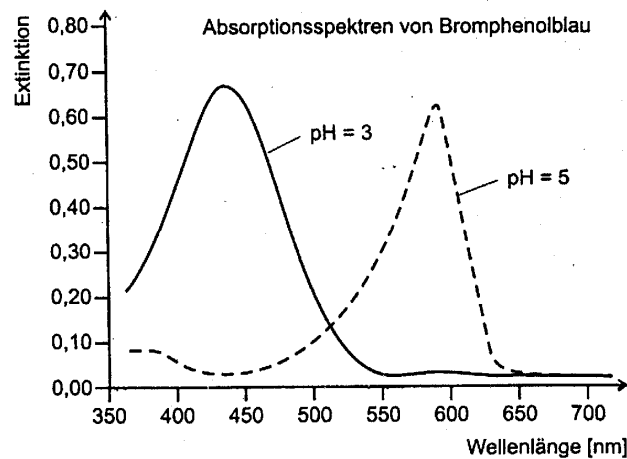
- 5 Zur Herstellung von Bierkästen werden Kunststoffe mit Zusatzstoffen (u. a. Farbstoffe, Weichmacher) als Granulat im beheizten Zylinder eines Extruders bis zum plastischen Fließen erhitzt und in ein der Schnecke nachgeschaltetes, formgebendes Werkzeug geleitet. Durch sofortige Kühlung bleibt der Kunststoff in der Form eines Bierkastens. Die meisten Polymere sind in reiner Form farblos. Zur Herstellung farbiger Bierkästen werden dem Kunststoffgranulat deshalb Farbstoffe zugesetzt, die sich im Polymer lösen oder an der Oberfläche adsorbieren. Ein Vertreter der Azofarbstoffe hat folgende Molekülstruktur:



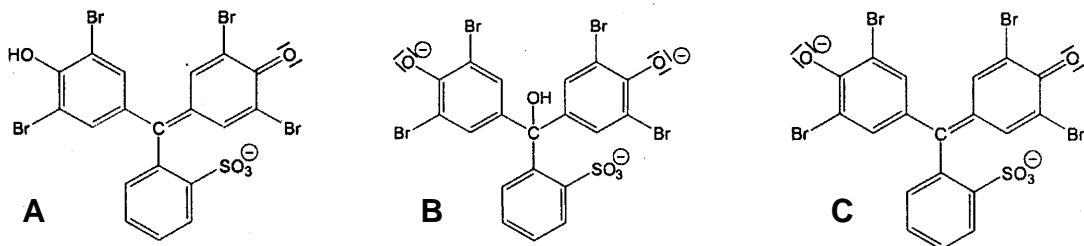
Erläutern Sie am Beispiel dieses Farbstoffes den Zusammenhang zwischen der Molekülstruktur und dem Phänomen der Farbigkeit!

- 6 Bromphenolblau ist ein Triphenylmethanfarbstoff, der bei unterschiedlichen pH-Werten unterschiedliche Absorptionsmaxima besitzt und daher als pH-Indikator verwendet werden kann.

Die folgende Abbildung zeigt die Absorptionsspektren bei unterschiedlichen pH-Werten. Im stark basischen Milieu (pH = 13) tritt eine Entfärbung der Lösung aufgrund der irreversiblen Bildung eines farblosen sog. Carbinols ein.

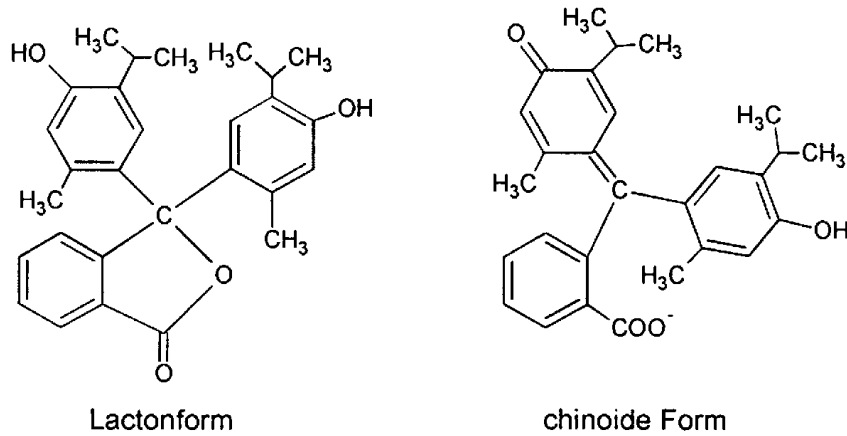


- 6.1 Leiten Sie den zu beobachtenden Farbumschlag des Indikators beim Übergang von pH = 3 nach pH = 5 ab!
- 6.2 Der beschriebene Farbumschlag und die Entfärbung beruhen auf Änderungen der Molekülstrukturen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die auftretenden Strukturen:

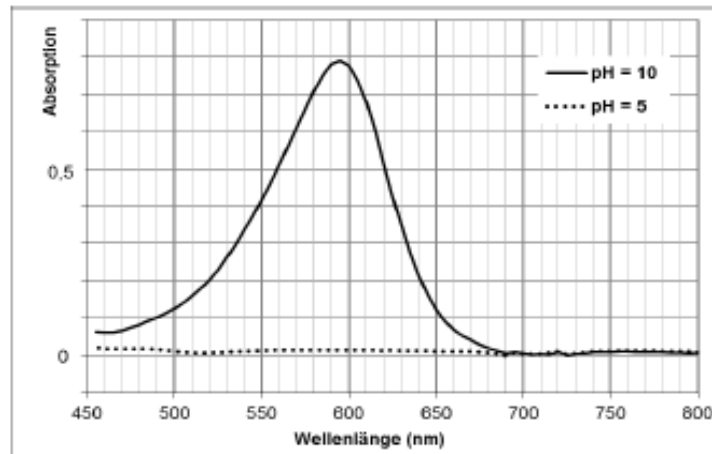


Ordnen Sie die Strukturen A bis C den drei unter Nr. 6 genannten pH-Werten zu und begründen Sie Ihre Entscheidung! Erläutern Sie das unterschiedliche Absorptionsverhalten!

- 7 Der Farbstoff Thymolphthalein liegt je nach pH-Wert entweder in der Lactonform oder in der chinoiden Form vor.



Absorptionsspektrum einer Thymolphthaleinlösung bei zwei pH-Werten:



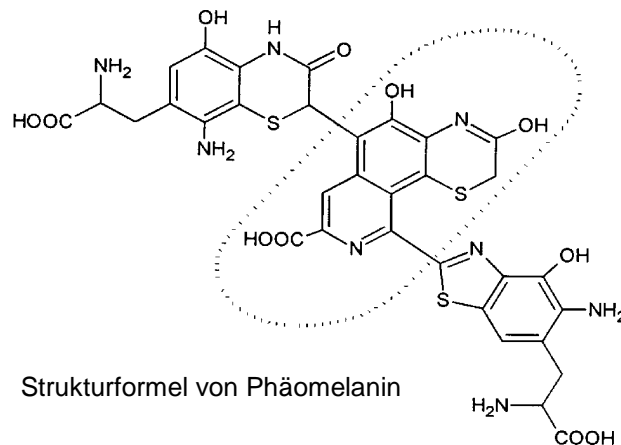
Ordnen Sie den beiden Kurven die jeweilige Thymolphthalein-Struktur (Lactonform bzw. chinoiden Form) zu, begründen Sie Ihre Aussage auf Basis der jeweiligen Molekülstruktur und leiten Sie die Farbe der beiden Thymolphthalein-Formen ab!

- 8 Entscheidend für die Farbe eines Farbstoffes ist die Struktur seiner Moleküle. Aus dem farblosen Phenol kann man durch Einführen dreier jeweils gleicher Substituenten am C<sup>2</sup>, C<sup>4</sup> und C<sup>6</sup>-Atom einen Farbstoff erhalten. Folgende Substituenten stehen zur Auswahl:

- Nitrogruppe,
- Aminogruppe,
- Hydroxygruppe.

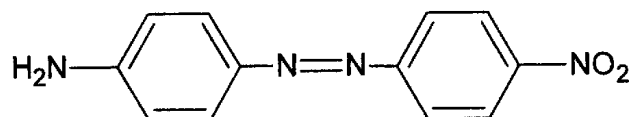
Erläutern Sie unter Mitverwendung von Grenzstrukturformeln, welcher der drei Substituenten die oben beschriebene Änderung der Farbe ermöglicht!

- 9 Die Haarfarbe eines Menschen wird durch eine Mischung von Pigmenten, den Melaninen, bestimmt. Das Phäomelanin ist dabei als Rotpigment für blonde und rote Haare verantwortlich.



Erläutern Sie unter Mitverwendung einer weiteren Grenzstrukturformel des markierten Bereichs die Bedeutung verschiedener Molekülbestandteile für die Farbigkeit von Phäomelanin!

- 10 Aromatische Stickstoffverbindungen dienen als Ausgangssubstanzen für die Synthese von Azofarbstoffen. Der Farbstoff Dispersionsorange 3 wurde lange zur Färbung von Textilfasern eingesetzt, bis sein Allergie auslösendes Potenzial entdeckt wurde.



Strukturformel von Dispersionsorange 3

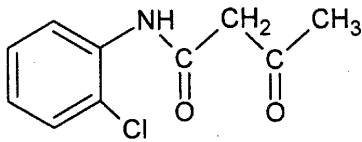
Für die Herstellung von Dispersionsorange 3 ist nur eines der folgenden Eduktpaare geeignet:

	Edukt A	Edukt B
I	1,4-Diaminobenzol	Nitrobenzol
II	1-Amino-4-nitrobenzol	Anilin (Aminobenzol)
II	Nitrobenzol	Anilin (Aminobenzol)

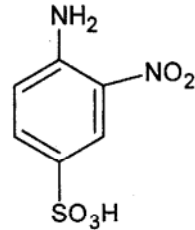
Zeichnen Sie die Strukturformeln der angegebenen Edukte, geben Sie an, welches Eduktpaar zur Herstellung von Dispersionsorange 3 geeignet ist, und erläutern Sie Ihre Aussage!



- 11 Zum Einfärben von Polyurethan-Fasern kann ein Azofarbstoff verwendet werden, der aus den unten angegebenen Komponenten hergestellt wird:

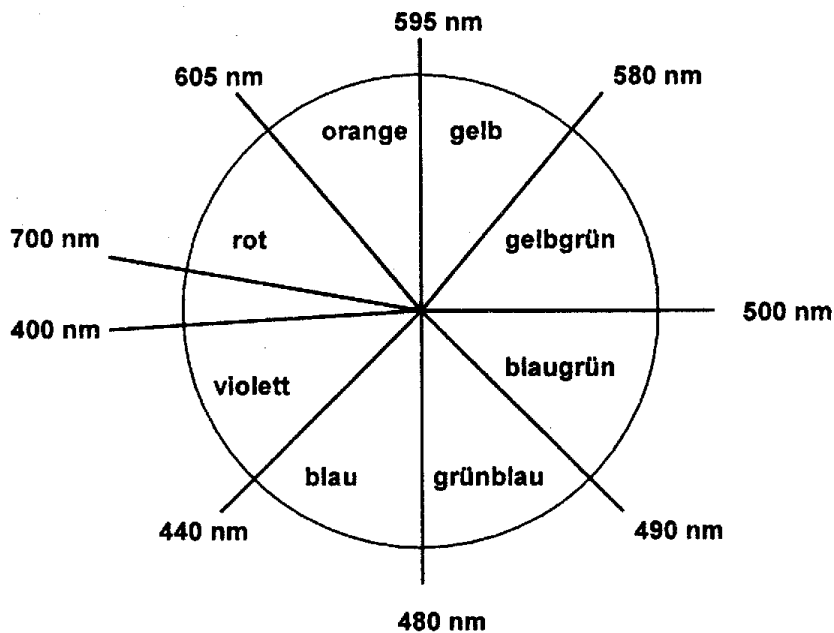


Komponente A



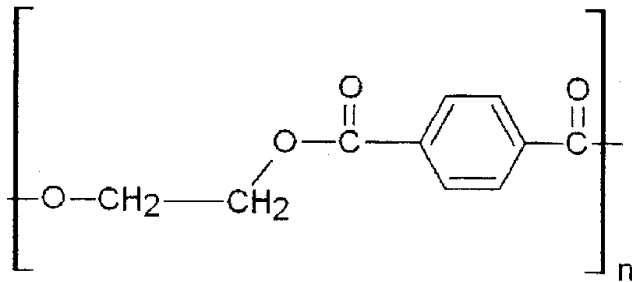
Komponente B

- 11.1 Formulieren Sie die Strukturformelgleichungen der Synthese eines Azofarbstoffes aus den Komponenten A und B! Benennen Sie die Reaktionsschritte!
- 11.2 Ermitteln Sie mithilfe des Farbkreises, in welchem Wellenlängenbereich ein gelber Azofarbstoff das Licht absorbiert, und skizzieren Sie ein entsprechendes Absorptionsspektrum!





3 PET (Polyethylenterephthalat) ist ein häufig verwendeter Kunststoff:

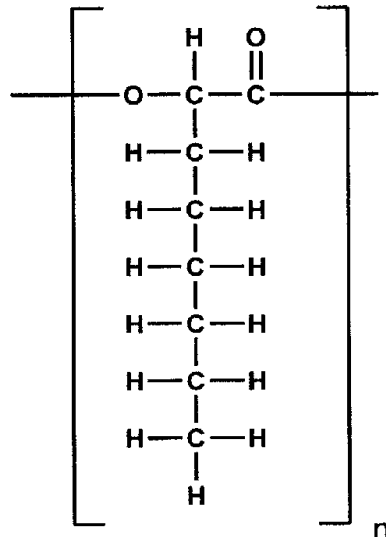


Repetiereinheit von Polyethylenterephthalat

3.1 Durch Kochen mit Natronlauge lässt sich der Kunststoff PET in seine Monomere zerlegen. Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für diese Reaktion!

3.2 Aus PET werden Getränkeflaschen hergestellt. Dazu wird ein Granulat des Kunststoffs erhitzt und in die gewünschte Form gebracht. Erklären Sie ausgehend von der Molekülstruktur, weshalb PET für dieses Verfahren geeignet ist!

4 Die meisten aus Erdöl hergestellten Kunststoffe sind biologisch nicht abbaubar. Deshalb versucht man u. a. bakterielle Stoffwechselprozesse zur Synthese von biologisch abbaubaren Kunststoffen zu nutzen. Ein auf diese Weise hergestellter Kunststoff hat folgende Repetiereinheit:

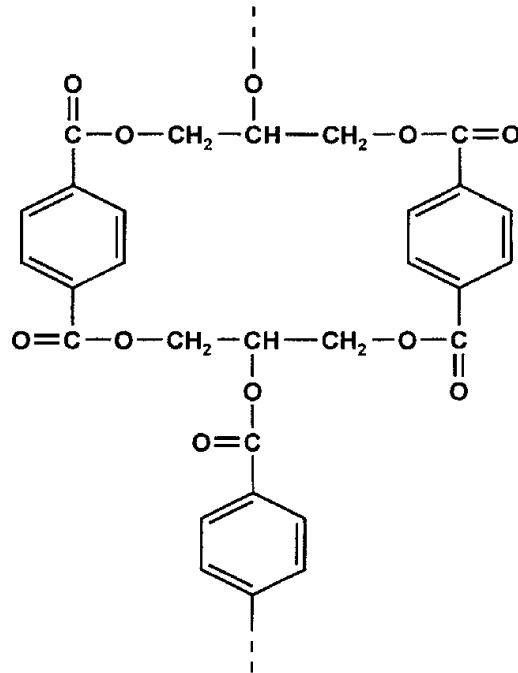


4.1 Erläutern Sie das Verhalten dieses Kunststoffes beim langsamen Erhitzen!

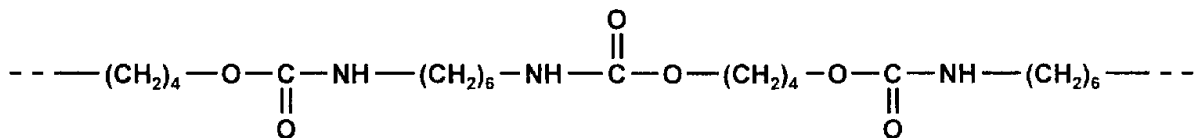
4.2 Der gegebene Kunststoff ist instabil gegenüber basischen Lösungen. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion der Kunststoffmoleküle mit Natronlauge und erläutern Sie, ob bei der Reaktion eine grenzflächenaktive Substanz entsteht!

- 5 Zur Herstellung von Bierkästen werden Kunststoffe mit Zusatzstoffen (u. a. Farbstoffe, Weichmacher) als Granulat im beheizten Zylinder eines Extruders bis zum plastischen Fließen erhitzt und in ein der Schnecke nachgeschaltetes, formgebendes Werkzeug geleitet. Durch sofortige Kühlung bleibt der Kunststoff in der Form eines Bierkastens. In einem kunststoffverarbeitenden Betrieb stehen zur Bierkastenherstellung folgende Kunststoffe A und B zur Verfügung:

Kunststoff A

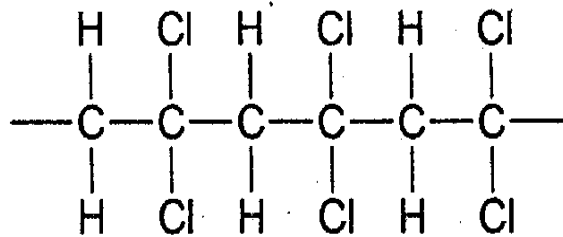


Kunststoff B



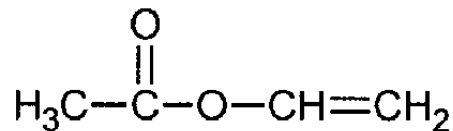
- 5.1 Geben Sie die Strukturformeln der Monomerbausteine von Kunststoff A an und benennen Sie die Art der Polyreaktion nach der dieser Kunststoff hergestellt wurde!
- 5.2 Entscheiden Sie, ob die gegebenen Kunststoffe A und B zur Herstellung von Bierkästen nach dem beschriebenen Verfahren geeignet sind, und begründen Sie Ihre Entscheidung!

- 6 Tabletten sind häufig in Blisterpackungen („Durchdrückpackungen“) erhältlich. Die Tabletten werden in einzelne Vertiefungen eingelegt und die Packung in der Regel durch Aluminiumfolie versiegelt. Ein für Blisterpackungen häufig verwendeter Kunststoff ist das glasklare, chemisch beständige Polyvinylidenchlorid (PVdC).



- 6.1 Zeichnen Sie die Strukturformel der Monomere, aus denen PVdC hergestellt werden kann, und benennen Sie den Reaktionstyp, der zur Bildung des Kunststoffs führt!
- 6.2 Die Verarbeitung von reinem Polyvinylidenchlorid ist problematisch, da der Kunststoff erst bei ca. 200 °C schmilzt und sich bereits bei wenig höheren Temperaturen zu zersetzen beginnt. Beschreiben Sie die beiden Vorgänge auf molekularer Ebene und stellen Sie eine Hypothese auf, die den hohen Schmelzbereich des Kunststoffes erklärt!
- 7 Während die Kaumasse von Kaugummis früher überwiegend aus Kautschuk bestand, verwendet man derzeit in der Regel Polyisobuten (PIB), das durch radikalische Polymerisation von Methylpropen synthetisiert wird.
- 7.1 Geben Sie die Strukturformel von Methylpropen an, zeichnen Sie die Repeitereinheit von Polyisobuten und formulieren Sie, ausgehend von einem organischen Peroxid (R-O-O-R) als Starter, den Mechanismus der radikalischen Polymerisation von Methylpropen!
- 7.2 Der Polymerisationsgrad eines Kunststoffes gibt die mittlere Anzahl der Monomereinheiten in seinen Makromolekülen an. Durch Veränderung des Polymerisationsgrads können Polyisobutene mit verschiedenen Schmelzbereichen hergestellt werden. Darunter gibt es beispielsweise zähflüssige Öle und auch feste Kunststoffe. Erläutern Sie diesen Sachverhalt!
- 7.3 Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, welchen Einfluss die Konzentration des zugesetzten Starters auf den Polymerisationsgrad des entstehenden Kunststoffs hat!

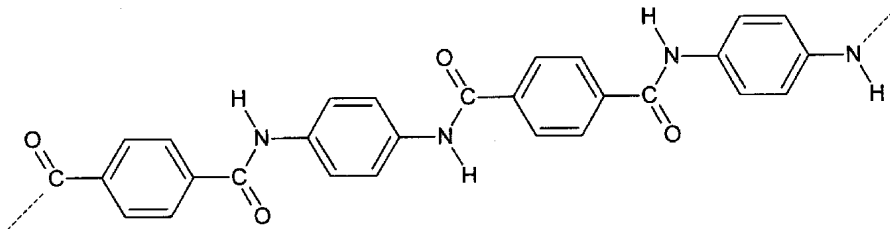
- 8 Neben Pigmenten enthalten Lacke als weitere Hauptkomponente Bindemittel, deren Aufgabe darin besteht, nach dem Trocknen des Lacks einen zusammenhängenden, gut haftenden Film auf dem Untergrund zu erzeugen. Als Bindemittel kommen häufig Alkydharze zum Einsatz, da sie u. a. hervorragende Filmbildner darstellen. Iso-Phthalsäure (Benzol-1,3-dicarbonsäure), Glycerin (Propan-1,2,3-triol) und Linolsäure ((Z,Z)Octadeca-9,12-diensäure) finden sich im gleichen Mengenverhältnis als Grundbausteine in einem zunächst linearen Alkydharz.
- 8.1 Zeichnen Sie einen Strukturformelausschnitt dieses linearen Alkydharzes, der die drei genannten Grundbausteine enthält, und ordnen Sie es aufgrund der Verknüpfungen einer Kunststoffklasse zu!
- 8.2 Unter dem Einfluss von Radikalen reagieren beim Aushärten des zähflüssigen Alkydharzes Molekülbereiche verschiedener Alkydharzmoleküle miteinander. Erläutern Sie diesen Vorgang auf der Teilchenebene und vergleichen Sie das thermische Verhalten des Alkydharzes vor und nach dem Aushärten!
- 9 Im Jahre 1955 wurde Haarspray erfunden und erstmals vermarktet. Einer der Inhaltsstoffe, der als Filmbildner für die Haarform dient, ist Polyvinylacetat, das aus Vinylacetat hergestellt wird.



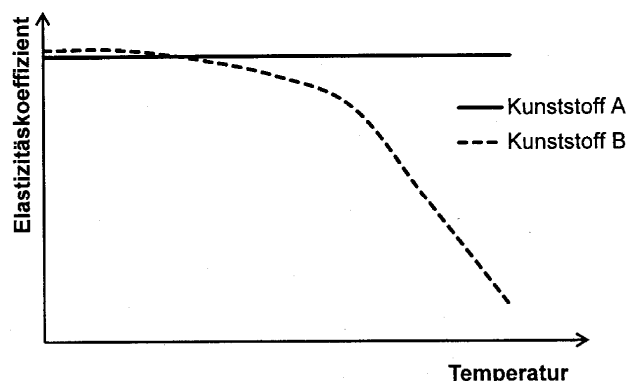
Strukturformel von Vinylacetat

- 9.1 Zeichnen Sie eine Repetiereinheit von Polyvinylacetat und formulieren Sie, ausgehend von einem Starter (R-R), den Mechanismus der Synthese dieses Kunststoffs!
- 9.2 Vinylacetat ist in basischer Lösung nicht stabil. Erklären Sie diese Beobachtung unter Mitverwendung einer Strukturformelgleichung!

- 10 Aus aromatischen Monomerbausteinen können synthetische Polymere, die Aramide, hergestellt werden, die zum Beispiel zur Herstellung von schusssicheren Westen oder als Verstärkungsmaterial für Glasfaserkabel eingesetzt werden. Die folgende Abbildung zeigt einen Strukturformelausschnitt aus einem Aramid-Molekül:



- 10.1 Formulieren Sie eine Strukturformelgleichung der Polyreaktion, die der Synthese dieses Aramids zugrunde liegt, und benennen Sie den Polyreaktionstyp!
- 10.2 Bei der Herstellung von Funktionskleidung werden Aramidgewebe mit anderen Kunststoffen wie zum Beispiel Polypropen beschichtet. Bei diesen beschichteten Aramid-Geweben ist eine der beiden Komponenten für die Reißfestigkeit und die andere für die Säurebeständigkeit des Materials verantwortlich. Erläutern Sie diesen Sachverhalt auf Basis der unterschiedlichen Struktur der Kunststoffe-Moleküle!
- 11 Toluol-2,4-diisocyanat wird mit Ethan-1,2-diol zu einem Polyurethan umgesetzt. Die Temperaturabhängigkeit des Elastizitätskoeffizienten dieses Polyurethans wird mit derjenigen eines Elastomers, wie z. B. Gummi, verglichen. Der Elastizitätskoeffizient kennzeichnet die Kraft pro Fläche, die aufzuwenden ist, um eine Materialprobe um einen bestimmten Prozentsatz der Ausgangslänge zu dehnen.



- 11.1 Zeichnen Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt des Polyurethans!
- 11.2 Geben Sie an, bei welchem der Kunststoffe A und B es sich um das Polyurethan und bei welchem es sich um den Gummi handelt, und erläutern Sie die beiden Kurvenverläufe!

# Fette und Tenside

---

1 Der Chemiker Mège-Mouriés entwickelte 1869 erstmals ein Verfahren zur Herstellung eines streichfähigen Butterersatzes. Heute ist vor allem die Härtung pflanzlicher Öle die Grundlage der Herstellung von Margarine.

1.1 Erstellen Sie die Strukturformel eines charakteristischen Bestandteils eines flüssigen Fetts und formulieren Sie, von diesem Edukt ausgehend, den Vorgang der Fetthärtung!

1.2 Begründen Sie, warum sich der Ausgangsstoff und das Produkt dieser Fetthärtung bei Raumtemperatur in der Konsistenz unterscheiden!

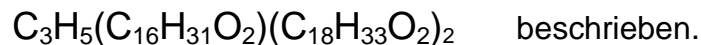
1.3 Erhitzt man das unter Nr. 1.1 erhaltene Produkt längere Zeit mit Natronlauge, dann erhält man ein Tensid.

1.3.1 Erstellen Sie die Strukturformelgleichung für diesen Vorgang!

1.3.2 Erklären Sie unter Mitverwendung beschrifteter Skizzen die Waschwirkung des Tensids!

2 Fette und fette Öle sind wichtige biologische Energiespeicher.

2.1 Das Molekül eines Reinstoffes, der aus einem natürlichen Fett gewonnen wurde, wird mit der Formel



2.1.1 Erstellen Sie eine Strukturformel des Fett-Moleküls!

2.1.2 Begründen Sie den bei Raumtemperatur flüssigen Aggregatzustand dieses Fettes!

2.2 An eine Portion dieses Fettes wird in Anwesenheit eines geeigneten Katalysators die doppelte Stoffmenge Wasserstoff addiert. Erläutern Sie die sich abspielende chemische Reaktion, ihre Folge und ihre wirtschaftliche Bedeutung!

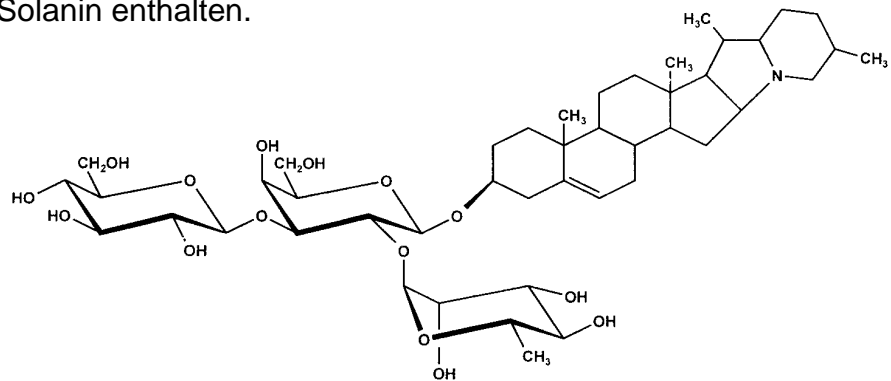
3 Fette sind wichtige nachwachsende Rohstoffe zur Herstellung von Tensiden.

3.1 Formulieren Sie, ausgehend von einem Fettmolekül eigener Wahl, die Strukturformelgleichung für die Reaktion bei der Seifenherstellung!

3.2 Erklären Sie unter Mitverwendung je einer Reaktionsgleichung, wie Säuren bzw. hartes Wasser die Waschwirkung einer Seife beeinflussen!



- 4 Rohe Kartoffeln sind für den menschlichen Genuss ungeeignet, da sie das giftige Alkaloid Solanin enthalten.



Solanin zerfällt bei der Zubereitung der Kartoffeln nicht, sondern löst sich beim Kochen im Wasser; beim Frittieren geht das Solanin in das Frittierfett über.

- 4.1 Erklären Sie, weshalb sich Solanin sowohl in Wasser als auch in Fett löst!
- 4.2 Überhitzt man beim Frittieren das Fett, so werden Fettmoleküle gespalten. Das gebildete Glycerin (Propan-1,2,3-triol) reagiert unter Wasserabspaltung zu einem stechend riechenden Alkenal. Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für die Bildung des Alkenals aus Glycerin und benennen Sie das Alkenal!

- 5 Lebensmittelzusatzstoffe werden Nahrungsmitteln zugesetzt, um deren Eigenschaften den Wünschen von Herstellern und Konsumenten anzupassen. So finden bei der Herstellung von Margarine u. a. Emulgatoren Verwendung.

- 5.1 Margarine, ist eine Emulsion aus Pflanzenfetten und ca. 15 % Wasser. Um eine Entmischung der Phasen zu verhindern, können Tenside als Emulgatoren zugesetzt werden. Zeichnen Sie die Strukturformel eines Tensidmoleküls Ihrer Wahl und erläutern Sie die beschriebene Emulgatorwirkung!

- 5.2 Zur Herstellung von Margarine werden gehärtete Fette verwendet.

Fettsäuren, die in zur Margarineherstellung verwendeten Fetten vorkommen:

Palmitinsäure	Hexadecansäure
Stearinsäure	Octadecansäure
Ölsäure	(Z)-Octadeca-9-ensäure
Linolsäure	(Z,Z)-Octadeca-9,12-diensäure
Linolensäure	(Z,Z,Z)-Octadeca-9,12,15-triensäure

Formulieren Sie mithilfe der oben angegebenen Fettsäuren eine Strukturformelgleichung für die Härtung eines Fettes und erklären Sie die Konsistenzänderung!

6 Butter und Margarine sind fettreiche Lebensmittel, die sich in ihrer Zusammensetzung deutlich unterscheiden.

6.1 Aus Butter können unter anderem folgende Fettsäuren gewonnen werden:

Trivialname	IUPAC-Name
Elaidinsäure	(E)-Octadeca-9-ensäure
Linolensäure	(Z,Z,Z)-Octadeca-9,12,15-triensäure
Linolsäure	(Z,Z)-Octadeca-9,12-diensäure
Ölsäure	(Z)-Octadeca-9-ensäure
Stearinsäure	Octadecansäure
Vaccensäure	(E)-Octadec-11-ensäure

Bei der Ermittlung der Schmelztemperaturen der in der Tabelle genannten ungesättigten Fettsäuren erhält man folgende Werte: -11 °C, -5 °C, +17 °C, +44 °C. Die Schmelztemperaturen zweier Fettsäuren sind gleich.

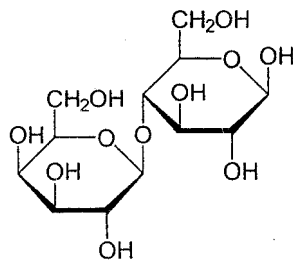
Ordnen Sie den Fettsäuren die Schmelztemperaturen zu und erläutern Sie Ihre Zuordnung!

6.2 Zur Herstellung von Margarine werden Pflanzenöle chemisch weiter verarbeitet. Formulieren Sie ausgehend von einem Triacylglycerinmolekül, das ausschließlich Linolensäurebausteine enthält, eine Strukturformelgleichung für die zugrunde liegende Reaktion und benennen Sie den beschriebenen Vorgang!

# Kohlenhydrate

---

- 1 Milchzucker (Lactose) kommt in der Kuhmilch mit einem Masseanteil von ca. 4,5 % vor. Personen, die an einer Lactose-Unverträglichkeit leiden, fehlt das Enzym Lactase. Bei der Herstellung von lactosefreier Milch wird dieses Enzym zugesetzt, um das Disaccharid Milchzucker in zwei Monosaccharide aufzuspalten. Bei einem dieser Monosaccharide handelt es sich um D-Galactose, die im Tierreich im Vergleich zu L-Galactose häufig vorkommt. L-Galactose tritt nur vereinzelt im Pflanzenreich, z. B. bei den Schaumkressen (*Arabidopsis sp.*) auf.



Haworth-Projektionsformel  
von Lactose

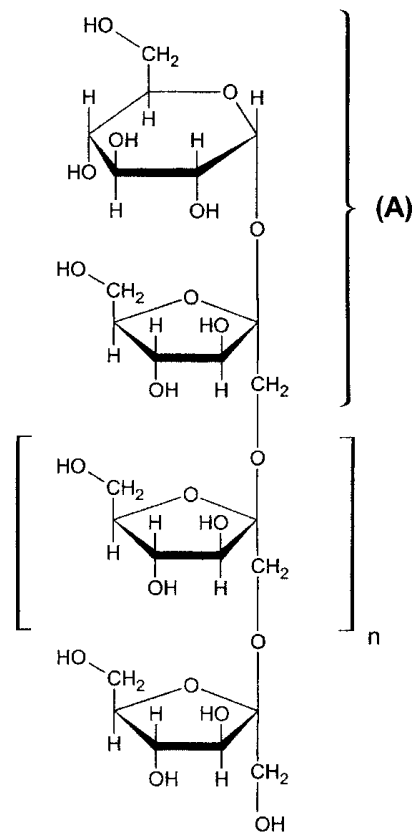
- 1.1 Stellen Sie die beiden Produkte der beschriebenen enzymatischen Spaltung sowie die L-Galactose jeweils in der Fischerprojektion dar und beschreiben Sie die stereochemischen Beziehungen dieser drei Moleküle zueinander!
- 1.2 Beschreiben Sie das Phänomen der Mutarotation und leiten Sie unter Mitverwendung von Strukturformelgleichungen ab, ob Lactose Mutarotation zeigt!
- 2 Die gentechnische Veränderung von Nutzpflanzen dient u. a. der gezielten Veränderung der Pflanzeninhaltsstoffe.  
Am Max-Planck-Institut in Golm wurde die "Fruktankartoffel" entwickelt. Sie enthält in ihren Knollen nicht nur Stärke, sondern auch Polysaccharide, bei denen an ein Saccharosemolekül ca. 20 bis 40 Fructoseeinheiten gebunden sind.
- 2.1 In einem Trisaccharidmolekül A ist an den Fructosebaustein eines Saccharosemoleküls ein weiteres Fructofuranosemolekül 1,2-glykosidisch gebunden. Geben Sie eine Haworthprojektionsformel des Trisaccharids A an!
- 2.2 Die wässrige Lösung eines Trisaccharids wird über einen längeren Zeitraum in einem Polarimeter untersucht. Der anfangs zu beobachtende Drehwinkel verändert sich im Lauf der Untersuchung und nimmt dann einen konstanten Wert an.  
Interpretieren Sie diese Befunde und beurteilen Sie, ob es sich bei dem gelösten Stoff um das Trisaccharid A handeln kann!

- 3 Die enzymatische Spaltung von Amylose führt zum Disaccharid Maltose. In Pilzen kommt das Disaccharid Trehalose vor, das aus zwei  $\alpha$ -Glucose-Bausteinen aufgebaut ist. Nur eines der beiden Disaccharide zeigt Mutarotation.
- 3.1 Beschreiben Sie die Durchführung eines Experiments, mit dem das Phänomen der Mutarotation nachgewiesen werden kann, und die dabei zu erwartenden Beobachtungen!
- 3.2 Zeichnen Sie von Trehalose und Maltose je eine Haworth-Projektionsformel und erklären Sie das unterschiedliche Verhalten dieser beiden Zucker bei dem von Ihnen in Nr. 3.1 beschriebenen Experiment!
- 3.3 Amylose und Cellulose sind biologisch bedeutsame Kohlenhydrate.
- 3.3.1 Beschreiben Sie den räumlichen Bau beider Moleküle, geben Sie jeweils die Verknüpfungsart der Monomere an und zeichnen Sie einen charakteristischen Strukturformelausschnitt für Cellulose!
- 3.3.2 Vergleichen Sie die Eignung von Amylose und Cellulose als Gerüstsubstanz für Pflanzen und begründen Sie Ihre Aussagen!

- 4 Inulin erlangte binnen kurzer Zeit als Fettaus-tausch- und Ballaststoff in Lebensmitteln große Bedeutung. Es wird industriell aus den Wurzeln bestimmter Pflanzen, z. B. der Wegwarte, gewonnen.

- 4.1 Ausgangsstoff der Inulin-Biosynthese ist der in der Abbildung mit (A) gekennzeichnete Disaccharid-Baustein, an den weitere Monosaccharid-Bausteine angeknüpft werden. Benennen Sie das Disaccharid und die beteiligten Monosaccharid-Bausteine. Beschreiben Sie mit Fachbegriffen die chemische Verknüpfung der Monomer-Bausteine im Inulin-Molekül!

- 4.2 Mit dem Disaccharid (A) aus Nummer 4.1 und Fructose wird in getrennten Versuchen die Fehling-Probe durchgeführt. Beschreiben Sie die Durchführung der Fehling-Probe und die jeweilige Beobachtung! Erläutern Sie die Befunde!



- 5 Milch und Milchprodukte gehören zu unseren wichtigsten Nahrungsmitteln. Die Hauptbestandteile der Kuhmilch sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Bestandteil	Massenanteil
Wasser	87,3 %
Kohlenhydrate	4,6 %
Fette	3,9 %
Proteine	3,2 %

Das häufigste Kohlenhydrat in der Milch ist Lactose (Milchzucker), ein Disaccharid.

In  $\beta$ -Lactose sind  $\beta$ -D-Galactose und  $\beta$ -D-Glucose 1,4-glykosidisch verknüpft. Das D-Ga-lactosemolekül unterscheidet sich vom D-Glucosemolekül lediglich durch die Position der Hydroxygruppe am C<sup>4</sup>-Atom.

- 5.1 Zeichnen Sie die Strukturformel eines Lactosemoleküls in der Haworthprojektion!
- 5.2 Entscheiden Sie, ob es sich bei Lactose um einen reduzierenden Zucker handelt, und begründen Sie Ihre Aussage!
- 5.3 Frisch bereitete wässrige  $\beta$ -D-Galactoselösung wird längere Zeit im Polarimeter untersucht. Beschreiben Sie die Beobachtungen und erläutern Sie diese unter Mitverwendung von Strukturformeln!

- 6 Die Verwendung von Honig als Nahrungsmittel reicht in prähistorische Zeiten zurück. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über wesentliche Inhaltsstoffe des Honigs:

Bestandteil	Massenanteil
Fructose	38,2 %
Glucose	31,3 %
Wasser	17,2 %
Maltose	7,3 %
Sonstige	6,0 %

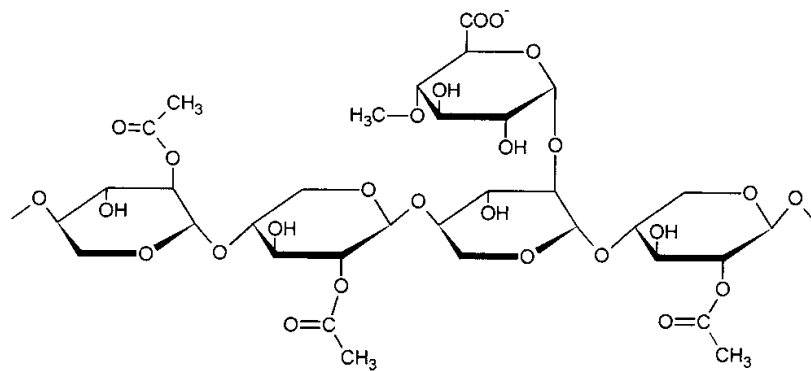
- 6.1 Honig wird im Honigmagen der Bienen durch enzymatische Hydrolyse der im Blütennektar vorhandenen Saccharose gebildet. Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für die Hydrolyse von Saccharose und benennen Sie die Produkte!

- 6.2 Mit Saccharose und Fructose wird in getrennten Versuchen die Fehlingprobe durchgeführt.  
Beschreiben Sie die Versuchsdurchführung und die jeweilige Beobachtung! Geben Sie unter Mitverwendung von Strukturformeln eine ausführliche Begründung für das Verhalten der beiden Stoffe bei der Fehlingprobe!
- 6.3 Formulieren Sie die Teilgleichung für die Oxidation des Honigbestandteils Glucose in der Fehlingprobe!
- 7 Mit der Totalsynthese der Saccharose gelang vor 50 Jahren der endgültige Beweis für die Struktur ihres Moleküls. Bestimmte Mikroorganismen können durch 1,6-glykosidische Verknüpfung je eines  $\alpha$ -D-Glucose-Bausteins mit einem D-Fructose-Baustein das isomere Disaccharid Palatinose synthetisieren.
- 7.1 Zeichnen Sie die Haworth-Projektionsformeln des Saccharose- und eines Palatinose-Moleküls!
- 7.2 Eines der beiden isomeren Disaccharide aus Nr. 1 zeigt Mutarotation. Nennen Sie das Disaccharid, beschreiben Sie das Experiment zum Nachweis der Mutarotation und erläutern Sie die Beobachtungen unter Verwendung von Strukturformelausschnitten!
- 8 Die Hydrolyse eines Trisaccharids liefert D-Glucose, D-Galactose und D-Fructose; die Fehling-Probe mit diesem Trisaccharid führt zu keinem Farbwechsel. Das Molekül der Galactose unterscheidet sich vom Glucose-Molekül nur durch die Stellung der Hydroxy-Gruppe am C<sup>4</sup>-Atom.
- 8.1 Schlagen Sie eine Struktur für dieses Trisaccharid-Molekül vor und zeichnen Sie die entsprechende Haworth-Projektionsformel!
- 8.2 Auch mit dem Hydrolysat wird die Fehling-Probe durchgeführt. Benennen Sie die dafür verwendeten Stoffe! Beschreiben Sie die Durchführung und erläutern Sie das Ergebnis dieses Versuchs!
- 9 D(+)-Galactose- und D(+)-Glucose-Moleküle unterscheiden sich nur durch die Stellung der Hydroxygruppe am C<sup>4</sup>-Atom.
- 9.1 Zeichnen Sie die Fischer-Projektionsformel der offenkettigen Form des D(+)-Galactose-Moleküls und legen Sie dar, welche Informationen die Symbole "D" und "(+)" enthalten!

9.2 Entscheiden Sie, ob mit Galactose das Phänomen "Mutarotation" gezeigt werden kann! Begründen Sie Ihre Entscheidung unter Mitverwendung geeigneter Strukturformeln!

9.3 In einem Disaccharid ist ein  $\beta$ -Glucose-Baustein mit einem Galactose-Baustein 1,4-glycosidisch verknüpft. Zeichnen Sie die Haworth-Projektionsformel des Disaccharidmoleküls! Beschreiben Sie die Durchführung der Fehling-Probe mit dem Disaccharid und begründen Sie das Ergebnis!

10 Hemicellulose ist ein in pflanzlicher Biomasse vorkommendes Gemisch von Polysacchariden, zu denen neben anderen die Xylane gehören. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt eines Xylans. Die Hauptkette besteht aus D-Xylose-Einheiten, die an einigen Stellen mit Essigsäure verestert sind.

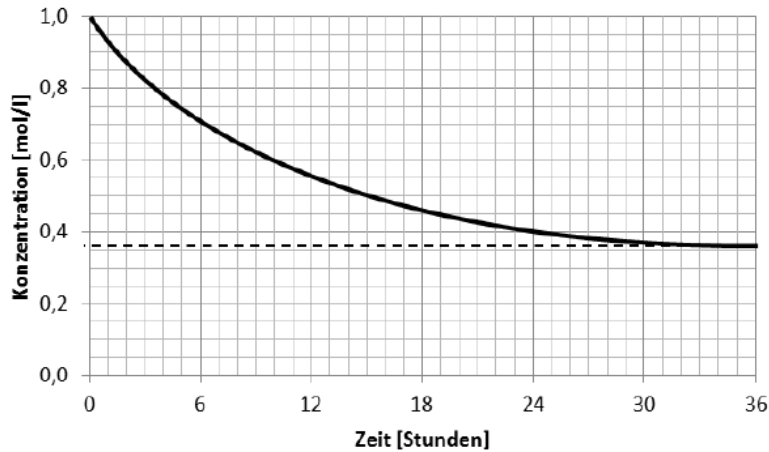


Leiten Sie aus der Abbildung die Art der glycosidischen Bindung in der Hauptkette ab und zeichnen Sie die D-Xylose in der Fischer-Projektion!

11 In Hemicellulosen findet man als Monosaccharid-Baustein u. a. D-Galactose, deren Molekülbau von dem des D-Glucose-Moleküls nur in der Konfiguration am C<sup>4</sup>-Atom abweicht. Zur experimentellen Unterscheidung von D-Galactose und D-Glucose stehen ein Polarimeter und verdünnte Salpetersäure zur Verfügung. Verdünnte Salpetersäure oxidiert bei 60 °C selektiv jeweils nur Aldehydgruppen und endständige Hydroxygruppen zu Carboxygruppen.

Zeichnen Sie die Fischer-Projektionen der beiden Monosaccharide und erläutern Sie, wie die beiden Zucker experimentell unterschieden werden können, ohne auf Tabellenwerte zurückzugreifen!

- 12 Löst man  $\alpha$ -D-Glucose in Wasser, stellt sich nach einiger Zeit ein Gleichgewicht zwischen den beiden Anomeren der Glucose ein. Die Einstellung des Gleichgewichts kann mithilfe eines Polarimeters verfolgt werden.

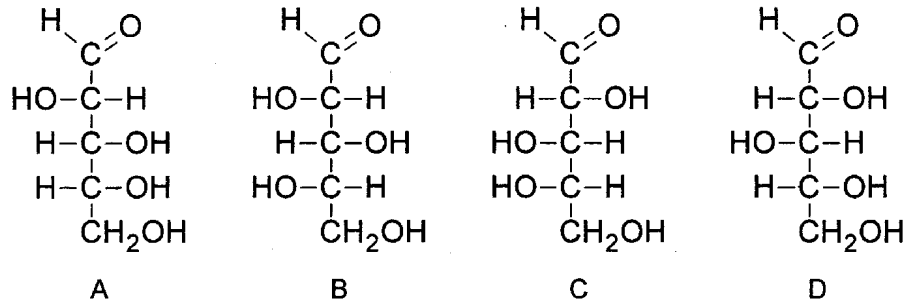


Benennen Sie das mit dem Polarimeter beobachtbare Phänomen und beschreiben Sie die Vorgänge auf der Teilchenebene, die zu diesem Phänomen führen!

- 13 Die Hydrolyse eines Trisaccharids liefert D-Glucose, D-Galactose und D-Fructose; die Fehling-Probe mit diesem Trisaccharid führt zu keinem Farbwechsel. Das Molekül der Galactose unterscheidet sich vom Glucose-Molekül durch die Stellung der Hydroxy-Gruppe am C<sup>4</sup>-Atom und liegt wie Glucose in der Sechsring-Form (Pyranose-Form) vor.
- 13.1 Schlagen Sie eine Struktur für dieses Trisaccharid-Molekül vor und zeichnen Sie die entsprechende Haworth-Projektionsformel!
- 13.2 Auch mit dem Hydrolysat wird die Fehling-Probe durchgeführt. Benennen Sie die dafür verwendeten Stoffe! Beschreiben Sie die Durchführung und erläutern Sie das Ergebnis dieses Versuchs!
- 13.3 Vergleichen und erklären Sie unter Mitverwendung von Strukturformeln die Ergebnisse der Fehling-Proben mit Propanal, Propanon (Aceton) und Hydroxypropanon!



- 14 Traubenmost enthält neben Glucose die Pentosen Xylose und Arabinose. In der Abbildung sind Stereoisomere dieser Zucker in Fischer-Projektion dargestellt. Bei A handelt es sich um eine Arabinose.



- 14.1 Beschreiben Sie die stereochemischen Beziehungen der einzelnen Zuckeri-somere zu A unter Verwendung von Fachbegriffen und benennen Sie die Zucker!
- 14.2 D-Arabinose liegt in wässriger Lösung fast ausschließlich in der Furanose-Form vor. Zwei dieser Ringe lassen sich über eine  $\beta$ -1,5-glycosidische Bindung zu einem Disaccharid verknüpfen. Zeichnen Sie eine Strukturformel dieses Disaccharids in der Haworth-Projektion!
- 14.3 Mit D-Arabinose und dem Disaccharid wird in getrennten Versuchen jeweils die Fehling-Probe durchgeführt. Beschreiben Sie die Durchführung der Fehling-Probe mit D-Arabinose und erklären Sie, ob die D-Arabinose mit dieser Probe von dem Disaccharid unterschieden werden kann!

# Aminosäuren und Proteine

---

- 1 Aminocarbonsäuren und Proteine sind wichtige Bau- und Betriebsstoffe der lebenden Zelle.
  - 1.1 Im Gegensatz zu Monocarbonsäuren sind Aminocarbonsäuren vergleichbarer Molekülmasse nichtflüchtige, kristalline Stoffe mit relativ hoher Schmelztemperatur.  
Erklären Sie diese Feststellung am Beispiel des Alanins (2-Aminopropan-säure) unter Mitverwendung der Strukturformel!
  - 1.2 Eine wässrige Lösung mit dem pH-Wert 7 enthält die Aminosäuren Lysin (2,6-Diaminohexansäure) und Asparaginsäure (2-Aminobutandisäure).  
Erläutern Sie das Verhalten der beiden Aminosäuren bei der Elektrophorese!
  - 1.3 In dem Gemisch von Lysin und Asparaginsäure können sich unterschiedliche Dipeptide bilden. Geben Sie deren Strukturformeln an!
  - 1.4 Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem die Proteinnatur eines Enzyms nachgewiesen werden kann!
  
- 2 Im Polarimeter wird eine wässrige Lösung von L-Alanin (L-2-Aminopropan-säure) untersucht. Als Drehwinkel wird  $+8,5^\circ$  ermittelt.
  - 2.1 Geben Sie an, was man unter 'optischer Aktivität' versteht, und begründen Sie unter Mitverwendung einer Strukturformel die optische Aktivität der Lösung von L-Alanin!
  - 2.2 Geben Sie den Drehwinkel einer gleich konzentrierten Lösung von D-Alanin an, die unter gleichen Bedingungen untersucht wird, und begründen Sie Ihre Aussage!
  - 2.3 Im Polarimeter wird die L-Alanin-Lösung durch eine Lösung von Glycin (Aminoethansäure) ersetzt und die optische Aktivität untersucht. Erklären Sie den Befund!
  
- 3 Aminosäuren existieren auf der Erde seit mindestens drei Milliarden Jahren. Auch in Meteoriten wurden sie nachgewiesen.
  - 3.1 Von der Aminosäure Lysin (2,6-Diaminohexansäure) existieren optische Isomere, von der Aminosäure Glycin (Aminoethansäure) dagegen nicht. Begründen Sie diesen Befund unter Mitverwendung von Fischer-Projektionsformeln der genannten Aminosäuren!

3.2 Ein Gemisch der Aminosäuren Glycin und Lysin wird bei pH = 7 durch Elektrophorese getrennt.

3.2.1 Erläutern Sie unter Mitverwendung einer beschrifteten Skizze das Prinzip der Elektrophorese!

3.2.2 Geben Sie unter Mitverwendung von Strukturformeln das Ergebnis der Elektrophorese des genannten Gemisches an und begründen Sie Ihre Aussagen!

Isoelektrische Punkte: IEP(Glycin) = 5,97; IEP(Lysin) = 9,82

4 Die Aminosäuresequenz bestimmt maßgeblich die Eigenschaften eines Proteins.

4.1 Serin (Ser) und Tyrosin (Tyr) sind Aminocarbonsäuren, die sich nur in ihrem Rest R unterscheiden:

Ser:  $-\text{CH}_2\text{OH}$

Tyr:  $-\text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$  (1,4-Stellung der Ringsubstituenten).

Formulieren Sie die Strukturformelgleichung für die Bildung eines Tripeptids aus den Aminosäuren Serin und Tyrosin!

4.2 Im Vergleich zu anderen organischen Stoffen weisen Aminosäuren ungewöhnlich hohe Schmelztemperaturen auf. Erklären Sie diesen Befund unter Verwendung einer Strukturformel!

4.3 Aminosäuren sind Ampholyte. Das Tyrosin kann in wässriger Lösung zwei Protonen abgeben, Serin jedoch nur eines. Jede der beiden Aminosäuren kann nur ein Proton aufnehmen. Begründen Sie diesen Sachverhalt unter Verwendung mesomerer Grenzstrukturformeln!

5 Casein ist das häufigste Milchprotein.

5.1 Nennen Sie eine Nachweisreaktion für die in der Milch enthaltenen Proteine und beschreiben Sie deren Durchführung und die dabei zu erwartende Beobachtung!

5.2 Im Caseinmolekül findet man folgende Aminosäuresequenz:

... - Alanin (2-Aminopropansäure) - Lysin (2,6-Diaminohexansäure) - Glutaminsäure (2-Aminopentandisäure) -... .

5.2.1 Zeichnen Sie diesen Strukturformelausschnitt des Caseinmoleküls!

5.2.2 Die isoelektrischen Punkte der drei genannten Aminosäuren sind:

a) 9,8, b) 6,0 und c) 3,2.

Ordnen Sie diese Werte den einzelnen Aminosäuren zu und begründen Sie Ihre Entscheidung!

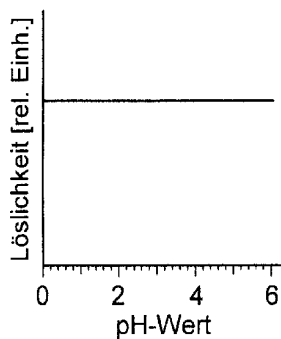
5.3 Ein Gemisch aus den drei Aminosäuren wird bei pH 6 einer Elektrophorese unterzogen.

Beschreiben Sie das Ergebnis und erläutern Sie es unter Mitverwendung von Strukturformeln!

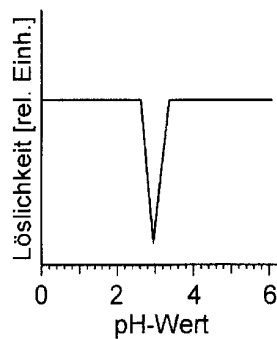
5.4 Bei Zugabe von Säure zu Milch flockt Casein aus. Erklären Sie dieses Phänomen!

6 Die gentechnisch veränderte "Cyanophycinkartoffel" liefert ein Protein, welches als Biokunststoff zukünftig synthetische Kunststoffe ersetzen könnte. Grundbausteine für das Protein Cyanophycin sind die Aminocarbonsäuren Asparaginsäure (2-Amino-butandisäure; IEP = 2,9) und Arginin (IEP = 10,8).

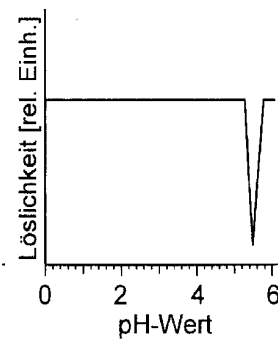
6.1 Gegeben sind die folgenden idealisierten Diagramme:



A



B



C

Entscheiden Sie, welches Diagramm die Abhängigkeit der Löslichkeit der Asparaginsäure vom pH-Wert darstellt! Begründen Sie Ihre Entscheidung unter Mitverwendung einer Strukturformel der Asparaginsäure!

6.2 Ein Gemisch aus Asparaginsäure und Arginin soll getrennt werden.

Erläutern Sie unter Mitverwendung einer beschrifteten Skizze der verwendeten Apparatur die elektrophoretische Trennung dieser Aminocarbonsäuren bei pH = 6!

- 7 Insulin ist ein Peptidhormon, das bei der Regulation des Blutzuckerspiegels eine wesentliche Rolle spielt. Folgender Ausschnitt ist in der Aminosäuresequenz des Insulinmoleküls zu finden:

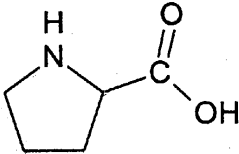
- Glu - Ala - Leu -

Glu: 2-Aminopentandisäure  
Leu: 2-Amino-4-methylpentansäure  
Ala: 2-Aminopropansäure

Zeichnen Sie die Strukturformel des angegebenen Molekülausschnitts und beschreiben Sie einen Versuch zum Nachweis der Proteinnatur des Insulins!

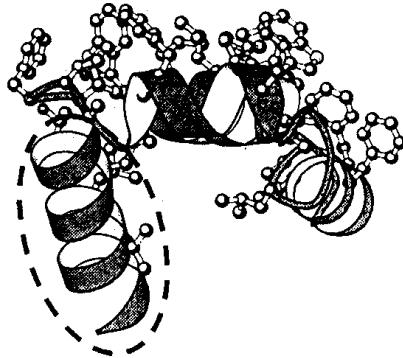
- 8 Eine ausreichende Zufuhr von Vitamin C ist z. B. für die Stabilität des Kollagens, eines wichtigen Proteins in Knochen und Bindegewebe, unerlässlich. Zur Analyse seiner Zusammensetzung wird Kollagen hydrolysiert und das Hydrolysat bei pH = 6,5 elektrophoretisch getrennt. Die folgende Tabelle gibt die isoelektrischen Punkte einiger im Hydrolysat enthaltener Aminosäuren wieder:

Aminosäure	IEP
L-Lysin (2,6-Diaminohexansäure)	9,8
L-Prolin (Pyrrolidin-2-carbonsäure)	6,5



Fertigen Sie eine beschriftete Skizze einer Elektrophoreseapparatur an, leiten Sie das unterschiedliche Wanderungsverhalten der angegebenen Aminosäuren unter Verwendung von Strukturformeln ab und zeichnen Sie das zu erwartende Ergebnis in Ihre Skizze ein!

- 9 Das Enzym A besteht aus zwei identischen Untereinheiten. Eine Untereinheit ist aus über 500 Aminosäurebausteinen aufgebaut. Für die Enzymfunktion spielt die räumliche Struktur des Enzyms eine entscheidende Rolle. Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Proteinstruktur des Enzyms A:

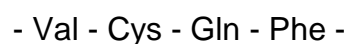


Benennen Sie die in der Abbildung durch eine gestrichelte Linie markierte Proteinstruktur, ordnen Sie diese einer Strukturebene zu und beschreiben Sie, wie diese stabilisiert wird!

- 10 Das menschliche Haar besteht hauptsächlich aus  $\alpha$ -Keratin. Die Moleküle dieses Proteins bilden eine  $\alpha$ -Helix, in der vor allem hydrophobe Aminosäurereste vorkommen. Durch Verdrillung zweier dieser Helices entsteht eine Superhelix, die durch kovalente Quervernetzung besondere Festigkeit erhält. Im  $\alpha$ -Keratin treten unter anderem folgende Aminosäuren auf:

Cystein (Cys)	$\begin{array}{c} \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 - \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{C} - \text{SH} \end{array}$
Glutamin (Gln)	$\begin{array}{c} \text{COOH} \\   \\ \text{NH}_2 - \text{C} - \text{H} \\   \\ (\text{CH}_2)_2 \\   \\ \text{C} = \text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$
Phenylalanin (Phe)	2-Amino-3-phenylpropansäure
Valin (Val)	2-Amino-3-methylbutansäure

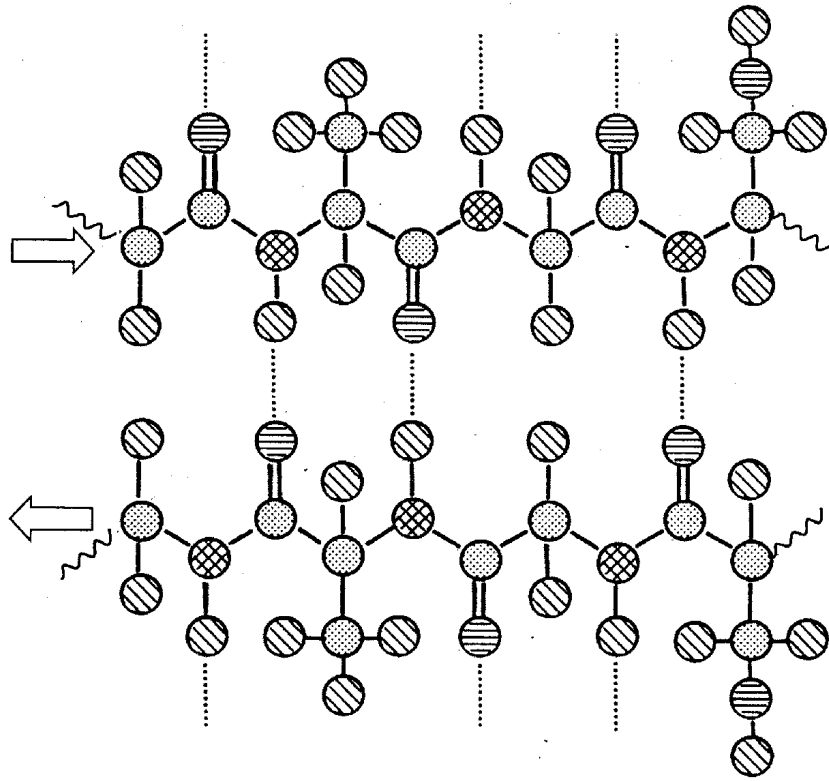
Zeichnen Sie den Strukturformelausschnitt eines Proteins mit der Sequenz



und beschreiben Sie anhand dieser Sequenz die Möglichkeit der kovalenten Quervernetzung zweier Proteinmoleküle!

- 11 Aus den Kokons der Seidenspinner-Raupe wird Seide gewonnen, die als Textilfaser vielseitig eingesetzt werden kann.

Der Kokon besteht zu etwa 70 % aus reiner Seidenfaser (Fibroin).  
Bei Fibroin handelt es sich um ein Protein, in dessen Sequenz drei Aminosäurebausteine sehr häufig auftreten:

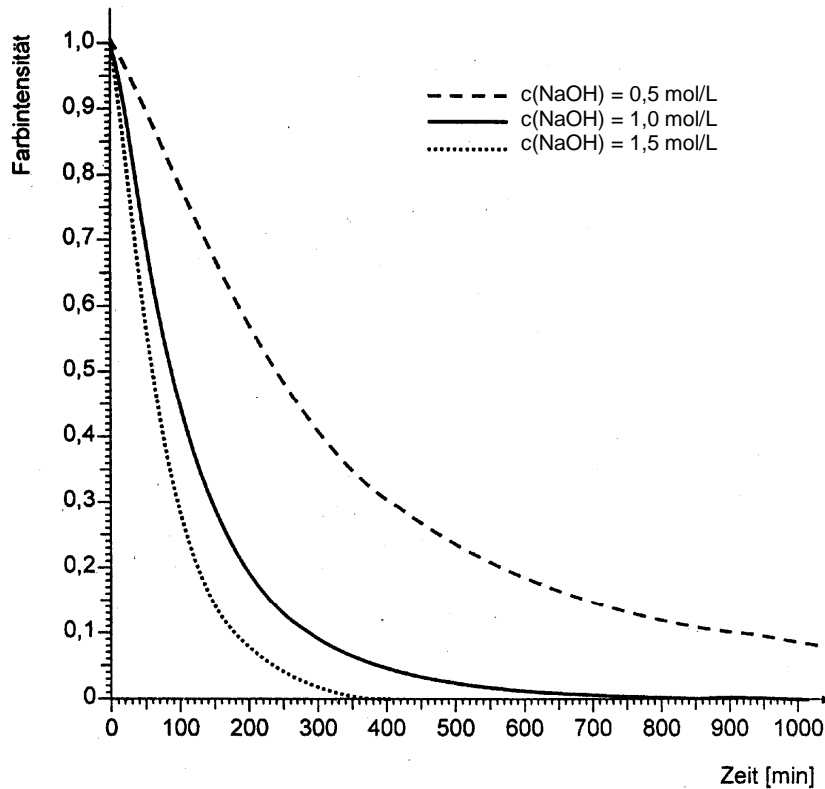


- 11.1 Geben Sie die Fischer-Projektionsformeln der drei Aminosäuren an, die Fibroin hauptsächlich aufbauen, und benennen Sie diese nach den IUPAC-Regeln!

- 11.2 In der Abbildung ist ein Ausschnitt der typischen Sekundärstruktur des Fibroins dargestellt. Benennen Sie diese und beschreiben Sie deren Stabilisierung!

# Reaktionsgeschwindigkeit und Enzymkatalyse

- 1 In einem Experiment zur Entfärbung von Patentblau V wurden jeweils 1,5 mL Patentblau-V-Lösung der Konzentration  $2 \times 10^{-5}$  mol/L mit 1,5 mL Natronlauge unterschiedlicher Konzentrationen versetzt. Die folgende Abbildung zeigt die Änderung der Farbintensität der Patentblau-V-Lösungen in Abhängigkeit von der Zeit:



Leiten Sie aus den Diagrammen die mittleren Reaktionsgeschwindigkeiten für den Zeitraum von 0 bis 100 Minuten ab und erläutern Sie die Unterschiede in der mittleren Reaktionsgeschwindigkeit!

- 2 Manchen Waschmitteln setzt man Enzyme zu, um eiweißhaltige Verunreinigungen aus Textilien zu entfernen.
- 2.1 Erläutern Sie die Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur und vom pH-Wert!
- 2.2 Erklären Sie anhand je eines Beispiels die Begriffe Substratspezifität und Wirkungsspezifität von Enzymen!



3 Harnstoff wird unter dem katalytischen Einfluss von Urease hydrolytisch in Kohlenstoffdioxid und Ammoniak gespalten.

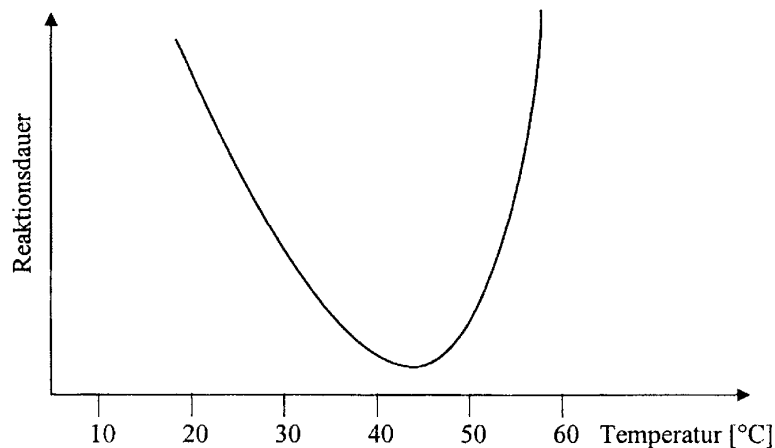
3.1 Zu je 10 mL der folgenden, jeweils gleich konzentrierten Harnstofflösungen wird jeweils 1 mL einer Ureaselösung hinzugefügt:

- a) Harnstofflösung von 20 °C
- b) Harnstofflösung von 30 °C
- c) Harnstofflösung von 95 °C
- d) Harnstofflösung von 20 °C mit einem Zusatz eines wasserlöslichen Quecksilbersalzes.

In allen Ansätzen wird die Harnstoffkonzentration bei den angegebenen Temperaturen 30 Minuten lang kontinuierlich bestimmt. Zeichnen Sie für jeden der Ansätze a bis d den erwarteten Kurvenverlauf in ein Zeit-Konzentrations-Diagramm und begründen Sie Ihre Zuordnung!

3.2 Thioharnstoff ( $\text{S}=\text{C}(\text{NH}_2)_2$ ) wird trotz großer struktureller Ähnlichkeit mit Harnstoff ( $\text{O}=\text{C}(\text{NH}_2)_2$ ) unter dem Einfluss von Urease nicht umgesetzt. Begründen Sie diesen Befund unter Verwendung einer Modellvorstellung zur Enzymwirkung!

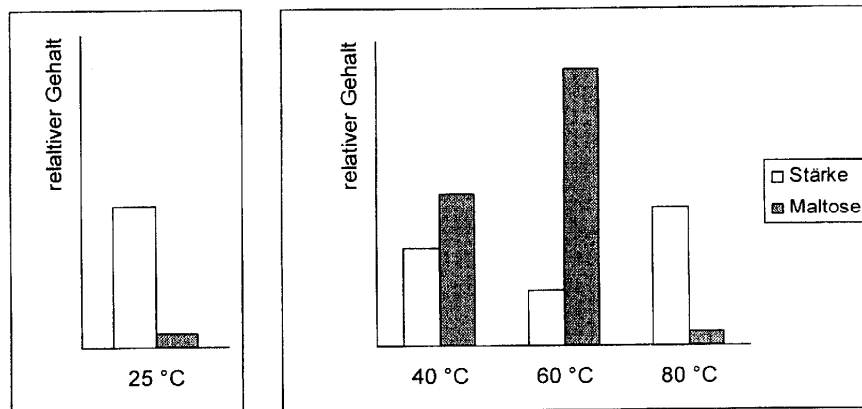
4 In einer Versuchsreihe wurde Amylose unter Mitwirkung des Enzyms Amylase vollständig gespalten. Die folgende Abbildung stellt die Temperaturabhängigkeit der Reaktionsdauer dar:



4.1 Erklären Sie den Kurvenverlauf!

4.2 Der Zusatz von Hemmstoffen verlangsamt enzymkatalysierte Reaktionen. Wählen Sie einen Hemmungstyp und zeichnen Sie ein beschriftetes Diagramm, das die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Substratkonzentration bei konstanter Enzymkonzentration für die ungehemmte und die gehemmte Reaktion zeigt! Legen Sie unter Mitverwendung von Skizzen eine Modellvorstellung von der Wirkungsweise des eingesetzten Hemmstoffs dar!

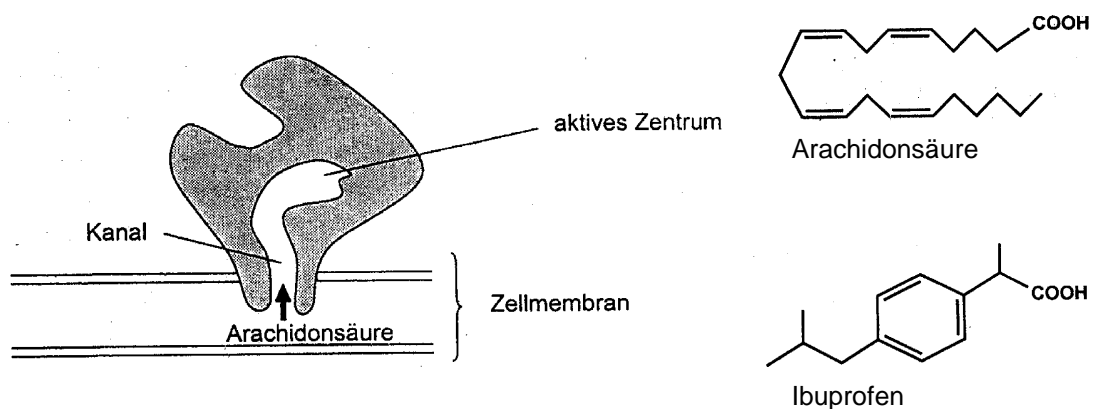
- 5 Zur Herstellung von Malz wird hauptsächlich Gerste als Getreide verwendet. Beim Maischen, einem Teilprozess der Bierherstellung, wird die in den Getreidekörnern enthaltene Stärke mithilfe des Enzyms Amylase hydrolytisch zu Maltose gespalten. Führt man das Maischen in drei verschiedenen Versuchen bei unterschiedlichen Temperaturen unter sonst gleichen Bedingungen durch, so lassen sich nach jeweils der gleichen Zeit unterschiedliche Mengen an Stärke und Maltose (Malzzucker) in der Maische nachweisen.



Relativer Gehalt an Stärke bzw. Maltose vor dem Maischen (links) und 30 Minuten nach Beginn des Maischens (rechts)

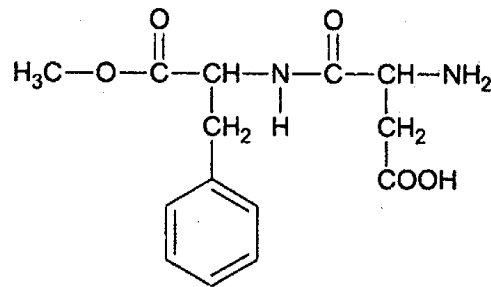
Erläutern Sie den im Diagramm dargestellten Zusammenhang zwischen der Temperatur beim Maischen und dem relativen Gehalt an Stärke und Maltose in der Maische!

- 6 Der Wirkstoff Ibuprofen hemmt ein membrangebundenes Enzym A, das die Umwandlung von Arachidonsäure zu einer Verbindung katalysiert, deren Folgeprodukte für Entzündungsreaktionen verantwortlich sind. Arachidonsäure ist Bestandteil aller Zellmembranen und wird direkt von der Zellmembran über einen Kanal zum Reaktionszentrum des Enzyms A geleitet. Die Wirkung von Ibuprofen beruht darauf, dass es den Kanal des Enzyms reversibel blockiert.



In einer Versuchsreihe wird die Anfangsgeschwindigkeit der Umsetzung von Arachidonsäure durch das Enzym A in Abhängigkeit von ihrer Konzentration bestimmt. In einer weiteren Versuchsreihe wird bei sonst gleichen Bedingungen dem Versuchsansatz Ibuprofen zugesetzt. Stellen Sie die zu erwartenden Messergebnisse beider Versuche in einem Diagramm grafisch dar!

- 7 Der Süßstoff Aspartam ersetzt in manchen Lebensmitteln den Haushaltszucker (Saccharose) als Süßungsmittel.

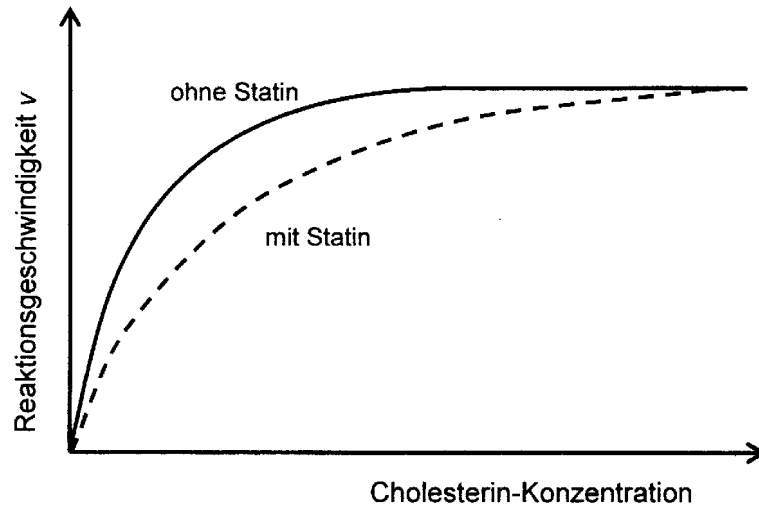


Strukturformel von Aspartam

- 7.1 Aspartam wird im Magen unter dem Einfluss der Magensäure hydrolytisch in drei Verbindungen gespalten. Geben Sie die Strukturformelgleichung für die vollständige Hydrolyse von Aspartam an und benennen Sie die Hydrolyseprodukte!
- 7.2 Bei Lebensmitteln, die mit Aspartam gesüßt sind, ist der Warnhinweis „Enthält eine Phenylalaninquelle.“ aufgedruckt. Dieser Hinweis betrifft Personen, die unter der Erbkrankheit Phenylketonurie leiden, da ihnen das Enzym Phenylalaninhydroxylase fehlt. Dieses Enzym baut beim gesunden Menschen Phenylalanin zu Tyrosin ab. Beschreiben und skizzieren Sie die Wirkung der Phenylalaninhydroxylase mithilfe einer Modellvorstellung und erklären Sie das Phänomen der Substratspezifität eines Enzyms!

- 8 Eine unregulierte Cholesterinsynthese in der Leber kann zusammen mit einer übermäßigen Aufnahme von Cholesterin über die Nahrung das Risiko für Arteriosklerose erhöhen.

Die Synthese von Cholesterin kann medikamentös beeinflusst werden. Hierzu werden häufig Medikamente aus der pharmakologischen Klasse der Statine eingesetzt, die auf das Enzym HMG-CoA-Reduktase wirken. Das folgende Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Aktivität der HMG-CoA-Reduktase von der Substratkonzentration mit und ohne Zusatz eines Statins.



- 8.1 Leiten Sie aus dem Diagramm die Wirkungsweise von Statin ab und begründen Sie Ihre Aussage mithilfe einer Modellvorstellung!
- 8.2 Das Enzym HMG-CoA-Reduktase arbeitet in Leberzellen bei 41 °C. Begründen Sie, wie sich die Aktivität dieses Enzyms in einem Experiment bei einer Temperaturverringerung auf 31 °C bzw. einer Temperaturerhöhung auf 81 °C verändert!