

# Kohlenhydrate

Ein Leitprogramm in Chemie

Verfasst von

Ulrich Brandenberger, Walter Caprez

Beate Haaser, Markus Lerchi

Lukas Meier, Margot Mütsch-Eckner

Daniel Nanz, Kadir Ordu

Corinne Stupp-Lysek, Yves Rohner

Nadia Zanetti

Herausgeber: Walter Caprez

## ETH-Leitprogramm „Kohlenhydrate“

3. Version Juni 1995

### Stufe, Schulbereich

Gymnasium alle Typen

### Fachliche Vorkenntnisse

Bindungslehre, zwischenmolekulare Kräfte, Kohlenstoffverbindungen, einfache funktionelle Gruppen.

### Bearbeitungsdauer

10 Lektionen für das Fundamentum (Kapitel 1-3). Das Kapitel 4 bildet das Additum für die schnellen Schülerinnen und Schüler.

Die *ETH-Leitprogramme* sind ein Gemeinschaftsprojekt von Karl Frey und Angela Frey-Eiling (Initiatoren), Walter Caprez (Chemie), Hanspeter Dreyer (Physik), Werner Hartmann (Informatik), Urs Kirchgraber (Mathematik), Hansmartin Ryser (Biologie), Jörg Roth (Geographie), zusammen mit den Autorinnen und Autoren.

Dieses Projekt wurde durch die ETH Zürich finanziell unterstützt.



Zeichnungen von Lil Caprez

# Einführung

Papier, Watte, Brot und Haushaltszucker.

Auf den ersten Blick haben sie wenig gemeinsam. Und doch: Bei allen vieren gehören wesentliche Teile des Inhalts zu einer der wichtigsten Klassen von Naturstoffen, den sogenannten Kohlenhydraten.

Die Kohlenhydrate spielen in der Natur eine zentrale Rolle. Sie lassen sich nämlich nicht nur als problemlos lagerbare Energieträger verwenden, sondern auch als strapazierfähige Baustoffe.

Jedes Lebewesen auf diesem Planeten nutzt diese Vielseitigkeit in irgendeiner Form für seine Zwecke. Die grünen Pflanzen produzieren mit Hilfe des Sonnenlichts gigantische Mengen von diesen Mehrzweckstoffen. Ein gefundenes Fressen für alle, die auch Energie brauchen, sie aber nicht selber herstellen können.

Für uns Menschen sind Kohlenhydrate auch technisch wichtig. Als vielseitiger Rohstoff ist beispielsweise Cellulose von grösster wirtschaftlicher Bedeutung. Man kann daraus nicht nur Papier herstellen, sondern auch Textilfasern, ja sogar Klebstoffe und Lacke.

Aufgebaut sind sie aus nur drei Elementen: Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O). Die Verknüpfung dieser Bauteile entscheidet letztlich, was daraus wird:

Traubenzucker, Haushaltszucker, Stärke, Cellulose usw.

Dieses Leitprogramm vermittelt Ihnen einen Einstieg!

In den folgenden Kapiteln werden Sie die wichtigsten Kohlenhydrate und deren wesentlichsten Eigenschaften kennenlernen.

Nach diesem Programm können Sie diese jemandem, der noch nie etwas davon gehört hat, problemlos beschreiben.

---

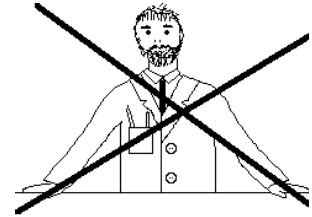
# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>Einführung</b>	<b>3</b>
<b>Inhalt</b>	<b>4</b>
<b>Arbeitsanleitung</b>	<b>5</b>
<b>Kapitel 1</b>	<b>7</b>
<b>Kohlenhydrate - eine Gruppe von süßen Zwergen und faden Riesen</b>	
1.1 Was essen Sie jeden Tag?	
1.2 Wie stellen Pflanzen Kohlenhydrate her?	
1.3 Gärtner-Chemie	
<b>Kapitel 2</b>	<b>15</b>
<b>Den Kohlenhydraten auf der Spur</b>	
<b>Aufbau der Kohlenhydrate</b>	
<b>Mono- und Disaccharide</b>	
2.1 Heizen Sie diesen Stoffenkräftig ein!	
2.2 Die Monosaccharide (Einfachzucker)	
2.3 Die Disaccharide (Zweifachzucker)	
<b>Kapitel 3</b>	<b>31</b>
<b>Salate oder Spaghetti zum Abnehmen?</b>	
<b>Polysaccharide</b>	
3.1 Allgemeine Theorie	
3.2 Die Stärke	
3.3 Die Cellulose	
3.4 Das Glycogen	
<b>Kapitel 4</b>	<b>45</b>
(Fakultatives Additum)	
<b>Der räumliche Bau der Moleküle bestimmt unser Leben</b>	
<b>Organische Stereochemie</b>	

# Arbeitsanleitung

## Chemieunterricht einmal ganz anders!

Unser Chemieunterricht verläuft jetzt während einigen Wochen etwas anders. Sie bearbeiten dieses Leitprogramm selbständig. Sie fragen mich nur, wenn Sie wirklich nicht mehr weiterkommen.



Wenn Sie ein Kapitel durchgearbeitet haben, kommen Sie zu mir zu einer kurzen Prüfung. Haben Sie diese bestanden, fahren Sie mit dem nächsten Kapitel weiter.

## Nur Lesen wäre ja langweilig!

Wenn im Text ein Bildchen erscheint, führen Sie die entsprechenden Anweisungen aus.



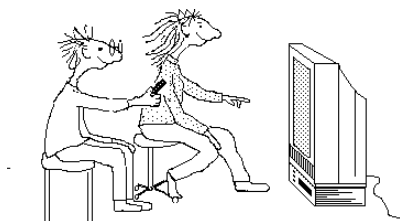
### Sie lösen eine Aufgabe.

Sie kontrollieren **selbst**, ob Sie das soeben Gelernte auch verstanden haben. Die Lösungen zu den Aufgaben finden Sie im Lösungsordner auf dem Tisch im Schulzimmer.



### Manchmal steht das Wichtigste in einem Buch.

Holen Sie das Buch und lesen Sie den entsprechenden Text. Die Bücher finden Sie auf dem Tisch im Schulzimmer.



### Auch moderne Ausbildungsmedien werden eingesetzt!

Sie sehen sich zu zweit ein kurzes **Video** an und beantworten die Fragen zum Film.



### Sie arbeiten zu zweit im Labor.

Finden Sie jemanden, der gleich weit ist wie Sie. Gehen Sie dann ins Labor. Führen Sie das entsprechende Experiment durch.

### Chemikerinnen und Chemiker arbeiten nie ohne Labormantel und Schutzbrille!

Manchmal müssen Sie auch Handschuhe tragen.

Sie sehen, für Abwechslung ist in diesem Leitprogramm gesorgt!

### **Was tun, wenn man nicht mehr weiter weiss?**

Die Autoren dieses Leitprogramms haben sich Mühe gegeben, verständlich zu schreiben. Trotzdem kann es natürlich vorkommen, dass etwas unklar ist.

Wenn Sie eine Stelle auch nach mehrmaligem Durcharbeiten nicht verstehen, dann fragen Sie zuerst einen Ihrer Mitschüler. Falls es Ihnen auch mit vereinten Kräften nicht gelingt, das Problem zu lösen, können Sie den Lehrer beiziehen.

### **58 Seiten! Muss ich das alles durcharbeiten?**

Nein!

Den obligatorischen Grundstock nennen wir das Fundamentum. Es sind dies die Kapitel 1 bis 3. Bearbeiten Sie diese Kapitel jetzt der Reihe nach.

Wenn Sie danach noch genügend Zeit haben, können Sie sich den fakultativen Teil, das Kapitel 4, vornehmen.

Dort wird Ihnen über das Gebiet der Kohlenhydrate hinaus ein Ausblick in die Chemie der Naturstoffe geboten. Sie erfahren, welche Auswirkungen Struktur und Aussehen von Molekülen auf die chemischen Vorgänge in der belebten Natur haben.

**Und nun: Viel Spass!**

**Alles klar?**

**Also, worauf warten Sie noch? Beginnen Sie mit dem Kapitel 1!**

## Kapitel 1

# Kohlenhydrate – eine Gruppe von süssen Zwergen und faden Riesen

### Übersicht

#### Thema

Kohlenhydrate sind unser tägliches "Brot". Jeden Tag ernähren wir uns zu einem bedeutenden Teil von diesen Stoffen.

Diese Gruppe von organischen Verbindungen ist in der belebten Natur weit verbreitet. Zu den Kohlenhydraten gehören zum Beispiel die Zucker, Stärke und Cellulose. Sie sind für Pflanzen, Tiere und den Menschen lebenswichtig.

Das 1. Kapitel handelt von den Kohlenhydraten und ihrer Entstehung. Es ist in drei Abschnitte gegliedert.

Im ersten Teil erfahren Sie, was Kohlenhydrate sind und wo wir sie in unserer Ernährung antreffen. Sie lernen, weshalb wir sie benötigen.

Der zweite Teil zeigt, wie die Pflanzen Kohlenhydrate aufbauen.

Im dritten Teil werden Sie Gerste zum Keimen bringen. Sie brauchen die Gerstenkeimlinge im Kapitel 3.

#### Vorgehen

Zuerst lesen Sie die Theorie.

Im Text sind kleinere Aufgaben plaziert. Sie dienen dem Verständnis des Gelesenen. Sie lösen diese schriftlich. Das Experiment dient als Zückerchen. Es soll Ihnen Energie für den folgenden Theorieteil liefern.

Alle Lösungen finden Sie im Lösungsordner.

Den letzten Teil dieses Kapitels, die Gärtner-Chemie, führen Sie zu Hause durch.

Sobald Sie sich sicher fühlen, melden Sie sich zum Kapitel-Test. Bedingung ist, dass Sie die Aufgaben mit der Überschrift Lernkontrolle richtig gelöst haben.

Bei langen Wartezeiten können Sie mit dem 2. Kapitel weiterfahren. Den Test holen Sie später nach.

### **Lernziele**

1. Sie wissen, was Kohlenhydrate sind und wo sie in unserer Nahrung vorkommen. Es ist Ihnen bekannt, weshalb wir sie benötigen. Sie können mindestens drei Vertreter aufzählen.
2. Sie können Ihren Eltern erklären, wo und wie die Kohlenhydrate in den Pflanzen aufgebaut werden.

## **1.1 Was essen wir jeden Tag?**

### **Kohlenhydrate in unserer Ernährung**

Fachleute empfehlen: Unsere tägliche Nahrung sollte zu etwa zwei Dritteln aus Kohlenhydraten bestehen.

#### **Was sind Kohlenhydrate?**

Kohlenhydrate sind organische Verbindungen. Sie kommen in Pflanzen, Tieren und Menschen vor. In unserer Nahrung finden wir hauptsächlich Stärke. Sie besteht aus riesigen Molekülen. Die verschiedenen Zucker nehmen sich daneben geradezu klein aus. Zusammen mit der Cellulose gehören auch sie zu den Kohlenhydraten.

#### **Wozu brauchen wir Kohlenhydrate?**

Stärke und Zucker liefern uns in erster Linie Energie. Zudem bauen wir damit körpereigene Verbindungen auf.

Die Cellulose ist ein Bestandteil der Ballaststoffe. Sie werden in unserem Körper nicht umgebaut. Dennoch sind wir auf sie angewiesen. Oft werden sie die "Besen der Natur" genannt, denn sie fördern die Darmtätigkeit. Der Nahrungsbrei kann besser weitertransportiert werden.

#### **Wo kommen Kohlenhydrate in unserer Nahrung vor?**

Kohlenhydrate nehmen wir vorwiegend aus pflanzlichen Nahrungsmitteln auf. Dort sind sie meist reichlich enthalten. In den Pflanzen entstehen die Kohlenhydrate über die Photosynthese. Dieser sind Sie schon in der Biologie begegnet. Wir werden sie im zweiten Teil dieses Kapitels besprechen.



Die Pflanzen brauchen die Kohlenhydrate als Reservestoffe. Sie speichern damit Energie. Weiter dienen sie als Gerüstsubstanzen. Die Zellwände der Pflanzen enthalten viel Cellulose.

### Literaturstudium:

### Ernährung der Menschen



Lesen Sie die Kapitel "Brot, Getreideprodukte" und "Süssigkeiten" aus der Broschüre "Bewusst essen" der Schweizerischen Vereinigung für Ernährung. Anschliessend blättern Sie die Nährwert-Tabellen von Souci & Fachmann durch.

### Aufgabe 1.1



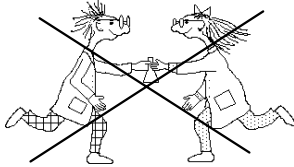
Beantworten Sie nachstehende Fragen. Das Literaturstudium hat Ihnen die dazu notwendigen Kenntnisse vermittelt.

- a) Zählen Sie mindestens drei Lebensmittel auf, welche Kohlenhydrate enthalten.
- b) Sind Vollkornspaghetti gesünder als die "weissen" Spaghetti?  
Begründen Sie Ihre Antwort in einem Satz.
- c) In welchen pflanzlichen Lebensmitteln finden Sie Zucker?  
Nennen Sie zwei bis drei Beispiele.
- d) Welche Nahrungsmittel enthalten besonders viel Stärke?  
Ich erwarte zwei bis drei Beispiele.

In den Nahrungsmitteln kommen neben den Kohlenhydraten noch andere Stoffe vor. Im Moment interessieren sie uns weniger. Wir möchten wissen: Wie schmecken Kohlenhydrate?

**Experiment 1.1**

**Welches ist die süsseste Verbindung?**



**Sicherheit :** Im Labor wird nichts gegessen und getrunken. Die Degustation findet deshalb im Schulzimmer statt.

**Geräte:** Pro Schülerin oder Schüler einen Teelöffel.

**Lebensmittel:** Traubenzucker, Fruchtzucker, Haushaltszucker, Stärkepulver

**Durchführung:** Geben Sie mit dem Schöpflöffel eine kleine Probe auf Ihren persönlichen Löffel. Probieren Sie den Stoff.  
Anschliessend füllen Sie nachfolgende Tabelle aus.

**Auswertung:**

Muster	Geschmack	Rang (süssester Stoff = 1)
Traubenzucker		
Fruchtzucker		
Haushaltzucker		
Stärkepulver		

**Aufgabe 1.2**



- a) Welche Probe schmeckt überhaupt nicht süß?
- b) Welches ist die süsseste Verbindung?

## 1.2 Wie stellen Pflanzen Kohlenhydrate her?

### Die Photosynthese

Die Photosynthese ermöglichte erst das Leben in der heutigen Form. Wir können dabei nicht auf grüne Pflanzen verzichten!

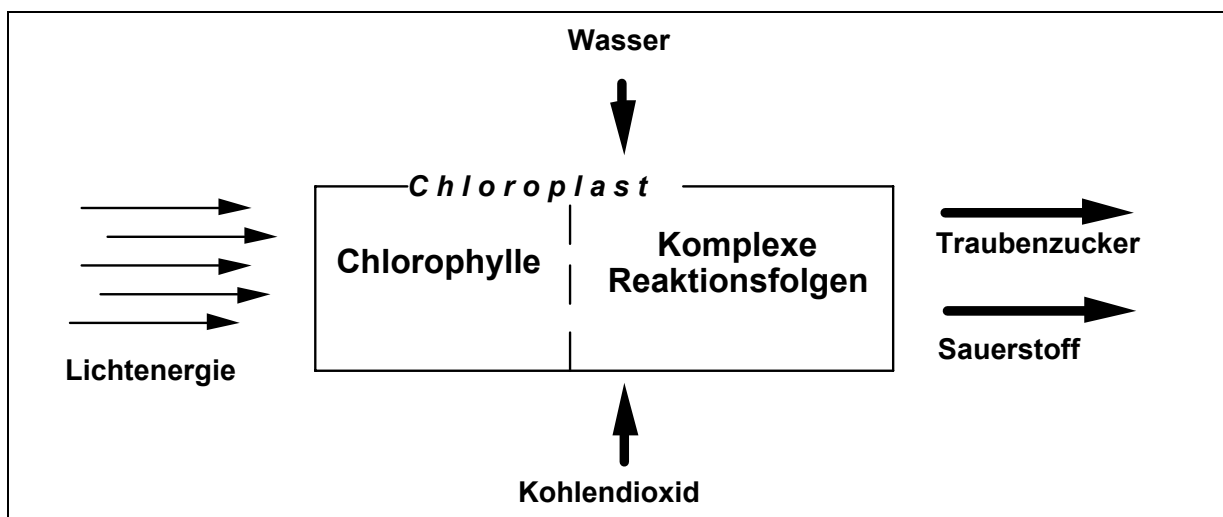
Die jährliche Energiemenge, die bei der Photosynthese gespeichert wird, ist enorm gross. Jährlich werden  $10^{10}$  Tonnen Kohlenstoff in Form von Kohlenhydraten fixiert.

**Bei der Photosynthese werden mit Sonnenenergie aus Kohlendioxid und Wasser Zucker aufgebaut. Dabei wird Sauerstoff frei.**

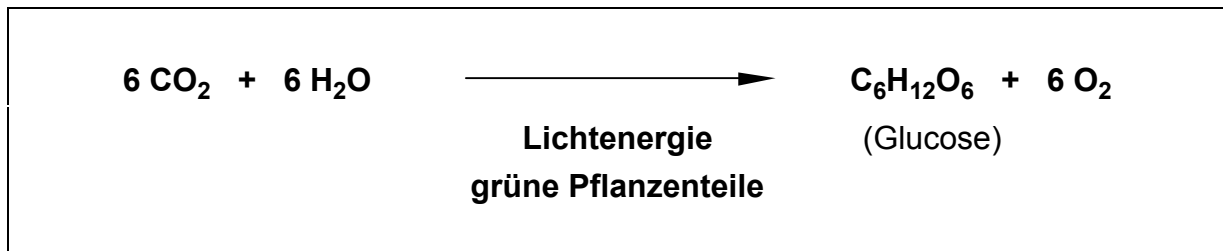
Für die Pflanzenzellen ist dies nicht die einzige Möglichkeit, Zucker herzustellen. Dennoch ist sie sehr attraktiv: Sie nutzt eine beinahe unerschöpfliche Energiequelle aus, die Sonne!

Wir können bei der Photosynthese zwei Teile unterscheiden: Die **Lichtreaktion** und die **Dunkelreaktion**. Bei der Lichtreaktion wird die Sonnenenergie von den grünen Blattfarbstoffen, dem Chlorophyll, aufgenommen. Diese befinden sich in den Chloroplasten der Pflanzenzellen. Sie funktionieren vergleichbar einer chemischen Fabrik. Bei der Dunkelreaktion werden über komplexe Mechanismen die Zucker gebildet.

Sehen wir uns zum Beispiel die Bildung des Traubenzuckers an. Schematisch kann dieser Vorgang wie folgt dargestellt werden:



Die folgende Reaktionsgleichung fasst die Vorgänge der Photosynthese zusammen:



### Aufgabe 1.3



Erklären Sie in zwei Sätzen die Energiespeicherung durch die Photosynthese.

## 1.3 Gärtner-Chemie

Im Kapitel 3 werden Sie getrocknete Gerstenkeimlinge brauchen. Daher müssen Sie schon jetzt Gerste zum Keimen bringen.

Nehmen Sie ein Säcklein Gerste mit nach Hause. Geben Sie diese Körner in einen Suppenteller. Bedecken Sie die Körner mit handwarmem Leitungswasser. Lassen Sie sie etwa eine Stunde im Wasser liegen. Dann giessen Sie das Wasser ab. Bedecken Sie den Teller mit Haushaltfolie. So bleiben die Körner feucht. Stellen Sie den Teller in einen Schrank in Ihrem Zimmer.

Nach drei bis vier Tagen sollten die Körner ca. 1 bis 2 cm lange Wurzeln getrieben haben. Trocknen Sie die Körner nun etwa eine Stunde im Backofen bei 70°C. Bewahren Sie diese Körner an einem trockenen Ort auf.

## Lernkontrolle



Die folgenden Aufgaben dienen der Überprüfung Ihres Wissens. Sie sollen selbständig testen, ob Sie den Stoff dieses Kapitels begriffen haben.

### Aufgabe 1.4

Welche Funktion haben Kohlenhydrate in Pflanzen?  
Und welche haben sie bei Menschen und Tieren?  
Nennen Sie jeweils zwei bis drei Stichworte.

### Aufgabe 1.5

Wie stellen grüne Pflanzen Glucose her?  
Antworten Sie in einem Satz.

### Aufgabe 1.6

Mögen Sie lieber Vollkornbrot oder Schokolade?  
Von welchem Produkt sollten Sie mehr essen?  
Begründen Sie Ihre Antwort in etwa drei Sätzen.

Haben Sie alle Aufgaben richtig gelöst und fühlen Sie sich im Stoff dieses Kapitels sicher?

Dann können Sie sich jetzt beim Lehrer zum Kapiteltest melden.

Wenn Sie eine Aufgabe falsch gelöst haben, so lesen Sie das Kapitel nochmals sorgfältig durch, bis Sie die Grundlagen erarbeitet haben.

**Meine Lösungen des 1. Kapitels:**

## Kapitel 2

# Den Kohlenhydraten auf der Spur

## Aufbau der Kohlenhydrate, Mono- und Disaccharide

### Übersicht

#### Thema

In diesem Kapitel behandeln wir zunächst die Frage: Wie sind Kohlenhydrate aufgebaut?

Dazu erfahren Sie, welche Elemente in Kohlenhydraten enthalten sind. Sie werden eine Untersuchungsmethode kennenlernen.

Anschliessend geht es um diejenigen Kohlenhydrate, die uns das Leben ein wenig versüssen. Ohne sie wäre jeder Kuchen fade und die "Schoggi" nur halb so gut. Die Rede ist von den **Zuckern**.

Der Chemiker unterscheidet bei den Zuckern zwischen Ein- und Zweifachzuckern.

Wie der Name schon sagt, bestehen die **Einfachzucker** aus einem einzelnen Baustein. Die **Zweifachzucker** entstehen durch die Verknüpfung zweier solcher Bausteine.

#### Lektionsablauf

Zuerst lesen Sie die Theorie. Das Gelernte können Sie zwischendurch anhand von Aufgaben und im Labor vertiefen.

Zum Schluss werden Sie sich noch einen Videofilm zum Thema Zuckergewinnung anschauen.

Zuletzt melden Sie sich zum Kapiteltest. Die drei Tabellen mit den Resultaten Ihrer Experimente weisen Sie an der Prüfung vor.

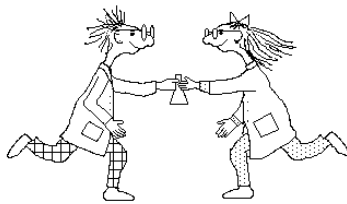
#### Lernziele

1. Sie wissen, aus welchen Elementen Kohlenhydrate bestehen.  
Sie können diese Elemente nachweisen.
2. Sie kennen die Eigenschaften und das Vorkommen der verschiedenen Zucker.
3. Sie können der Frau oder dem Mann von der Strasse erklären, wie Zucker gewonnen wird.

## 2.1 Heizen Sie diesen Stoffen kräftig ein!

Viele organische Stoffe **zersetzen** sich bei starkem **Erhitzen**. Dabei entstehen neue Substanzen. Sie verraten uns, aus welchen Elementen der ursprüngliche Stoff aufgebaut war.

### Experiment 2.1 Zersetzung unter Wärmeeinwirkung



**Sicherheit** : Vorsicht beim Berühren von heißen Reagenzgläsern. Halten Sie diese nur mit dem Reagenzglas-Halter. Stellen Sie die Reagenzgläser nachher immer in das Reagenzglas-Gestell.

Arbeiten Sie im Abzug und mit kleinen Mengen. Es können unangenehme Gerüche und giftige Gase entstehen.

**Tragen Sie Ihre Schutzbrille! In der Manteltasche nützt sie nichts!**

**Geräte** : Schutzbrillen, Gasbrenner, Reagenzgläser, Reagenzglas-Halter, Reagenzglas-Gestell aus Holz, Polystyrollöffel, Spritzflasche mit Wasser.

**Stoffe** : Traubenzucker, Haushaltszucker, Mehl, Kupfersulfat-Hydrat, Watte, Sägemehl.

**Durchführung:** Geben Sie vom ersten Stoff eine kleine Probe in ein Reagenzglas. Erhitzen Sie das Reagenzglas kräftig über der heißen Gasbrennerflamme.

Beobachten Sie besonders folgendes:

- Entsteht beim Erhitzen **Wasser**? Dieses Wasser sollten Sie oben am Reagenzglas sehen. Es kondensiert an den kalten Glasstellen.
- Entsteht beim Erhitzen **Kohlenstoff**? Dieser Kohlenstoff sollte die Probe schwarz färben.

Lassen Sie die Probe abkühlen. Geben Sie einige ml Wasser hinzu.

- Erfolgt dabei die **Rückbildung** des ursprünglichen Stoffes?



**Auswertung**

Prüfen Sie nacheinander alle Stoffe. Tragen Sie die Resultate in die Tabelle ein.

Stoff	Entsteht beim Erhitzen		Erfolgt Rückbildung bei Wasser-Zugabe
	Wasser ? ?	Kohlenstoff	
Traubenzucker			
Haushaltzucker			
Mehl			
Kupfersulfat- Hydrat			
Watte			
Sägemehl			

**Entsorgung**

Geben Sie die Rückstände in die bereitgestellten Abfallbehälter. In der Regel lassen sich die Reagenzgläser nicht mehr reinigen.

**Aufgabe 2.1**

- Aus welchen Elementen bestehen die Kohlenhydrate?
- Welche der untersuchten Substanzen sind keine Kohlenhydrate?
- Was vermuten Sie: Welche Stoffe sind Kohlenhydrate?  
Welche Stoffe bestehen zu einem grossen Teil aus Kohlenhydraten?

## 2.2 Die Monosaccharide (Einfachzucker)

Nehmen wir zunächst einmal die Monosaccharide etwas genauer unter die Lupe. Hier gibt es zwei wichtige Vertreter, die Glucose und die Fructose.

### 2.2.1 Glucose

Ihren Namen hat sie von dem griechischen Wort **glykos = süß**. Die Glucose, auch Traubenzucker genannt, ist Ihnen allen als "Aufputzmittel" bekannt. Sportler und Prüflinge verwenden sie gerne, um schnell zu neuer Energie zu kommen.

Im menschlichen Blut sind stets etwa 1 g Glucose pro Liter Blut gelöst.

Den Glucosegehalt des Blutes nennt man **Blutzuckerspiegel**.

Die Glucose ist nicht nur ein wichtiger Energielieferant, sondern auch der wichtigste **Baustein** der Kohlenhydrate. Daher wollen wir uns nun ihrem chemischen Aufbau zuwenden.

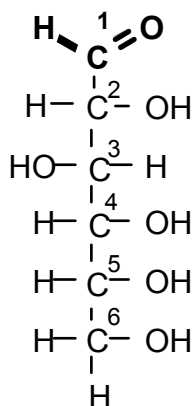
Die Summenformel der Glucose ist  $C_6H_{12}O_6$ .

Das Molekül besteht aus einer Kette von sechs Kohlenstoffatomen. Das erste Kohlenstoffatom ist Teil einer Aldehydgruppe, die fünf anderen tragen eine Hydroxylgruppe.



Darum nennt man die Glucose auch eine **Aldose**. Dies ist die Bezeichnung für alle Kohlenhydrate, die eine Aldehydgruppe tragen.

Glucose hat folgende Struktur:



Diese Form bezeichnet man als die offenkettige Form.

Die Zahlen neben den Kohlenstoffatomen geben deren Nummer und ausnahmsweise nicht ihre Anzahl an.

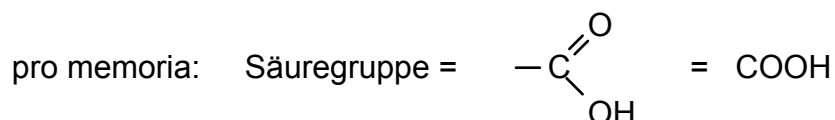
Die Hydroxylgruppen liegen auf der rechten oder der linken Seite der Kohlenstoffatome. Dies ist kein Zufall. Die räumliche Anordnung ist genau bestimmt.

## Experiment 2.2: Glucosenachweis mit Fehling-Test

Aldosen werden auch als reduzierende Zucker bezeichnet. Deshalb kann man Sie mit der Fehling'schen Lösung nachweisen.

### Wie funktioniert der Nachweis?

Die **Aldehydgruppe** ist dafür verantwortlich, dass die Glucose **reduzierende Wirkung** hat. Sie sorgt dafür, dass der tiefblaue Kupfer(II)komplex zu einem roten Niederschlag aus Kupfer(I)oxid reduziert wird. Da jede Reduktion mit einer Oxidation gekoppelt ist, wird die Aldehydgruppe im Verlauf der Reaktion zu einer Säuregruppe oxidiert.



Darauf beruht die Farbänderung beim Fehlingnachweis.

Diesen Nachweis sollen Sie nun durchführen.



### Sicherheit:

Vorsicht beim Umgang mit heißen Reagenzgläsern. Richten Sie deren Öffnung niemals gegen Personen.

Die Fehling'sche Lösung darf nicht mit Ihrer Haut oder Ihren Augen in Kontakt kommen.

Arbeiten Sie im Abzug. **Schutzbrille** nicht vergessen!

**Geräte:** 1 Reagenzglas mit Holzklammer, Gasbrenner, Fehling'sche Lösung, Spatel und Messzylinder

**Chemikalien:** Glucose

**Durchführung:** Lösen Sie im Reagenzglas eine Spatelspitze Glucose in 10 ml Wasser auf. Danach fügen Sie 1 ml Fehling'sche Lösung hinzu. Anschliessend erhitzen Sie das ganze über der Gasbrennerflamme. Nun beobachten Sie, was passiert. Falls ein orangeroter Niederschlag entsteht, handelt es sich, wie Sie oben gelesen haben, um eine Aldose.

**Entsorgung:** Kippen Sie die Lösung in den Abfallbehälter für wässrige Metallsalz-Lösungen.

### Aufgabe 2.2



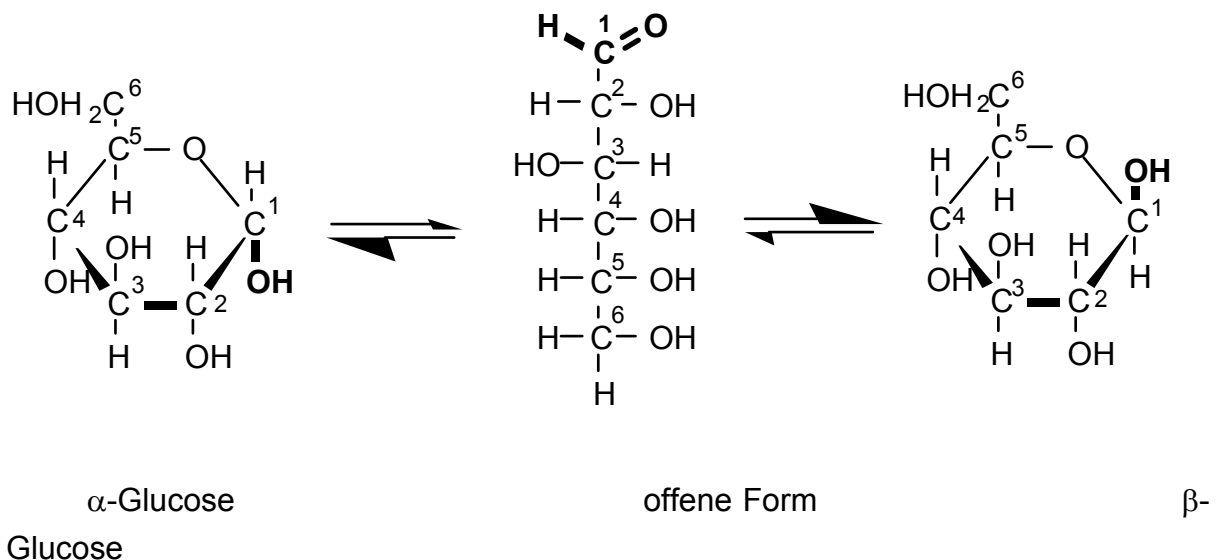
Was ist typisch für eine Aldose?

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_

Die offenkettige Form der Glucose steht im Gleichgewicht mit einer Ringform, bei der das erste und das fünfte Kohlenstoffatom durch ein Sauerstoffatom verbunden sind. Weil der Ringschluss auf zwei verschiedene Arten erfolgen kann, gibt es auch zwei verschiedene Ringformen. Die sogenannte  $\alpha$ -**Glucose** und die  $\beta$ -**Glucose**. Bei der  $\alpha$ -Glucose zeigt die Hydroxylgruppe am ersten Kohlenstoffatom nach unten, bei der  $\beta$ -Glucose nach oben.

Das sieht dann wie folgt aus:



Das Gleichgewicht liegt dabei stark auf der Seite der Ringformen. Dies sollen die dicken Pfeile verdeutlichen. Sie bedeuten, dass die Glucose hauptsächlich in den Ringformen vorkommt. Es wurde versucht, die Ringformen räumlich darzustellen. Die dicken Linien im Ring deuten deshalb an, dass diese Bindungen nach vorne aus der Papierebene herausragen.

## Konstruktionsauftrag



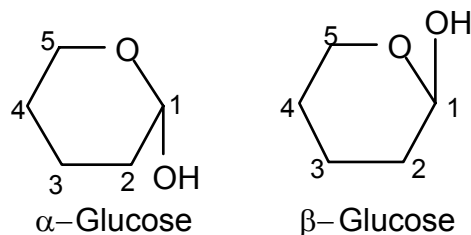
Damit Sie sich das Molekül auch gut vorstellen können, sollen Sie nun zu zweit eine solche Ringform selbst bauen.

Wählen Sie entweder die  $\alpha$ -Glucose oder die  $\beta$ -Glucose aus.

Zum Bauen steht Ihnen ein Molekülbaukasten zur Verfügung.

**Wichtig:** Bewahren Sie das fertige Modell für Kapitel 3 auf!

Zur Vereinfachung verwenden wir ab jetzt folgende Symbole, die nur die wichtigen Elemente des Glucosebausteines zeigen:



Merken Sie sich die Summenformel der Glucose. Sie kennen die Glucose als Beispiel einer Aldose. Diese können Sie nachweisen. Sie kennen die offenkettige Form und die beiden Ringformen. Sie müssen den sechsgliedrigen Ring zeichnen können. Weiter wissen Sie, worin sich  $\alpha$ -Glucose und  $\beta$ -Glucose unterscheiden. Die übrigen chemischen Gruppen müssen Sie nicht korrekt einzeichnen können.

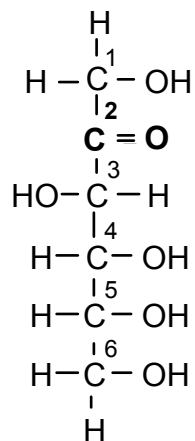
## 2.2.2 Fructose

Fructose, auch Fruchtzucker genannt, kommt vor allem in reifen Früchten vor. Auch sie spielt eine wichtige Rolle in der Ernährung des Menschen. Allerdings verhält sie sich im menschlichen Stoffwechsel anders als die Glucose. Im Gegensatz zur Glucose beeinflusst sie den Blutzuckerspiegel nicht. Die Fructose ist daher zur Ernährung von Diabetikern geeignet. Leider ist sie genauso kalorienreich wie die Glucose und daher zum Abnehmen ungeeignet.

Chemisch gesehen haben Glucose und Fructose einige Gemeinsamkeiten. Auch Fructose hat die Summenformel  $C_6H_{12}O_6$ . Fructose hat ebenfalls fünf Hydroxylgruppen. Sie hat jedoch in der offenen Form keine Aldehydgruppe, sondern eine **Ketogruppe** am zweiten Kohlenstoffatom.



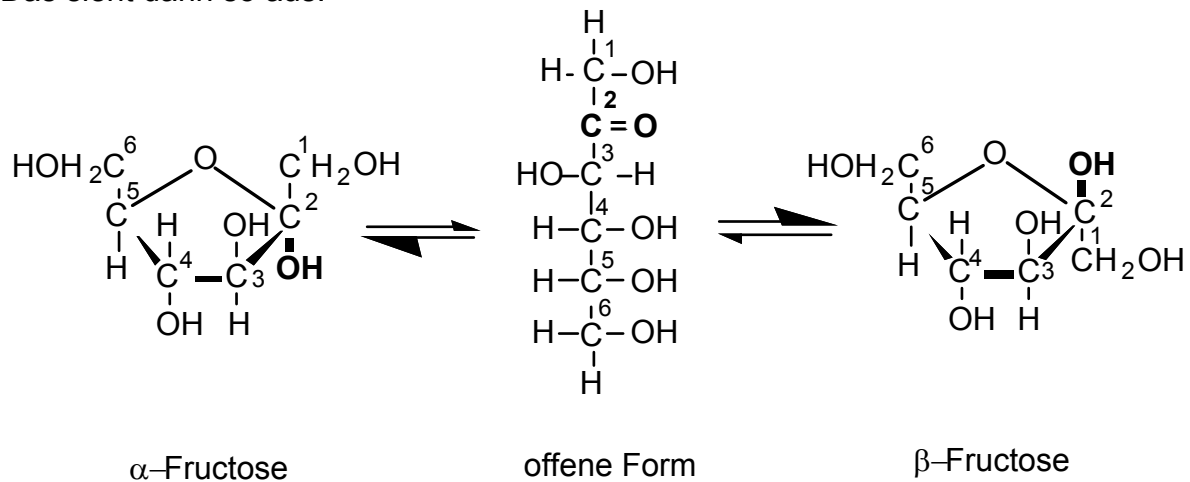
Man nennt sie deshalb auch eine **Ketose**. Die Ketosen sind keine reduzierenden Zucker. Man muss sich die Fructose folgendermassen vorstellen:



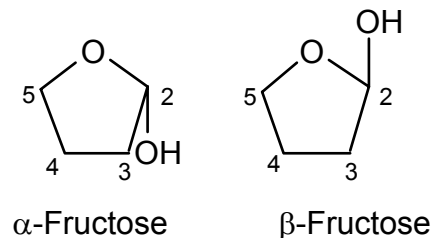
Auch die Fructose kommt in einer offenen und einer Ringform vor.

Diesmal sind das zweite und das fünfte Kohlenstoffatom über ein Sauerstoffatom miteinander verknüpft.

Das sieht dann so aus:



Als Symbol dafür schreibt man :

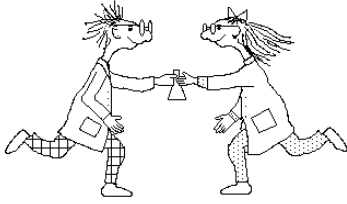


Im folgenden Experiment werden Sie die drei wichtigsten Zucker einmal auf Herz und Nieren untersuchen.

Übrigens:

Die Theorie zum Haushaltszucker (Saccharose) wird im nächsten Abschnitt behandelt.

## Experiment 2.3: Eigenschaften der Zucker



### Sicherheit:

Beim Arbeiten im Labor immer die Schutzbrille tragen, auch wenn der Versuch nicht gefährlich aussieht.

Man weiss ja schliesslich nie, was der Nachbar gerade macht.

Hexan ist leichtentzündlich. Kontrollieren Sie, dass keine offenen Flammen in der Nähe brennen.

**Geräte:** Pro Zweiergruppe 6 Reagenzgläser, entmineralisiertes Wasser, Hexan, Polylöffel.

**Chemikalien:** Glucose, Fructose, Haushaltszucker (Saccharose)

**Durchführung:** Sie geben eine Spatelspitze Glucose in ein Reagenzglas. Nun fügen Sie einige ml Wasser hinzu. Schütteln Sie das Reagenzglas. Wiederholen Sie den Vorgang mit Hexan. Ebenso verfahren Sie mit Fructose und Saccharose. Ihre Beobachtungen und Resultate notieren Sie in der untenstehenden Tabelle.

### Auswertung:

	Glucose	Fructose	Saccharose
Aussehen			
Farbe			
Konsistenz			
Löslichkeit in:			
Wasser			
Hexan			

**Entsorgung:** Die Hexanlösungen gehören in den Abfallbehälter für nicht halogenierte Lösungsmittel.

Die wässrigen Lösungen dürfen in den Ausguss geleert werden.



\* **Aufgabe 2.3:** In welchem Lösungsmittel lösten sich die einzelnen Zucker?

Können Sie sich diesen Befund erklären?

Ich erwarte eine Antwort in zwei bis drei Sätzen.



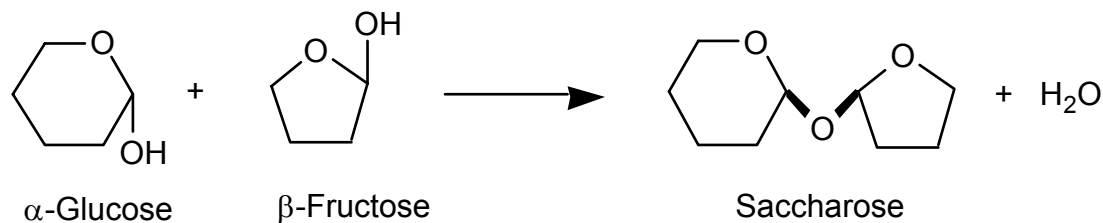
## 2.3 Die Disaccharide (Zweifachzucker)

### 2.3.1 Saccharose

Bis jetzt haben Sie die Glucose und die Fructose kennengelernt. Nun wollen wir uns dem Zucker zuwenden, mit dem wir täglich unseren Tee, Kaffee oder "d'Ovo" versüßen.

In der Sprache des Chemikers verbirgt sich hinter der **Saccharose** nichts anderes als der Haushaltszucker oder der Kristallzucker. Wir kennen ihn aus unserem Alltag (lat. saccharum = Zucker). Die Saccharose ist das Produkt einer Reaktion zwischen den beiden Monosacchariden Glucose und Fructose. Dementsprechend klassiert man die Saccharose zu den Disacchariden (=Zweifachzucker).

Vereinfachtes Reaktionsschema:



Wie Sie sehen, wird bei dieser Reaktion ein Wassermolekül abgespalten. Man nennt sie eine **Kondensationsreaktion**. Dies ist die allgemeine Bezeichnung für Reaktionen, bei denen durch Verknüpfung von Molekülen ein weiteres Molekül (hier Wasser) abgespalten wird.

Die neugebildete Bindung (fettgedruckt) stellt eine Ether-Bindung dar. Man nennt diese Bindung in der Kohlenhydratchemie **glycosidisch**.

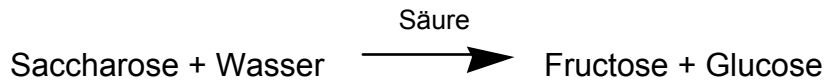
### Chemische Eigenschaften

Im Kapitel 2 haben Sie unter anderem den Haushaltszucker erhitzt. Dabei ist Ihnen sicher aufgefallen, dass er schnell zähflüssig und braun wird.

Dies rührt daher, dass die Bindungsenergien kleiner sind als die zwischenmolekularen Kräfte. Beim Erhitzen werden also die Atombindungen gebrochen und damit das Molekül zerstört. Dadurch kommt die Verfärbung zustande.

Bei Glucose und Fructose haben wir gesehen, dass ein Gleichgewicht besteht zwischen der Ringform und der offenkettigen Form. Die Saccharose hingegen existiert nur in der Ringform. Die glycosidische Bindung kann unter stark sauren Bedingungen gespalten werden. Das Disaccharid zerfällt dann wieder in die beiden Monosaccharide Glucose und Fructose.

Reaktionsschema:



**Aufgabe 2.4:** Bei den Monosacchariden haben Sie im Labor den sogenannten Fehling-Test durchgeführt. Dabei haben Sie festgestellt, dass die Glucose auf die Fehling'sche Lösung reduzierend wirkt.

Dies rührt daher, dass die Glucose in der offenkettigen Form eine Aldehydgruppe trägt. Sie kann oxidiert werden.

- a) Welches Ergebnis erwarten Sie, wenn man die Saccharose einem Fehling-Test unterzieht? Geben Sie eine Begründung an!
- b) Sie erhitzen die Saccharose zusammen mit Säure. Wie fällt der anschließende Fehling-Test aus? Begründen Sie Ihre Aussage in zwei bis drei Sätzen.

Sobald Sie Ihre Lösungsvorschläge aufgeschrieben haben, sollen Sie dies im Labor experimentell überprüfen:

### Experiment 2.4: Fehling-Tests mit Saccharose



#### Zur Erinnerung:

Vorsicht beim Umgang mit heißen Reagenzgläsern. Richten Sie deren Öffnung niemals gegen Personen. Die Fehling'sche Lösung darf nicht mit Ihrer Haut oder Ihren Augen in Kontakt kommen. Arbeiten Sie im Abzug.

**Schutzbrille nicht vergessen !**

**Chemikalien:** Fehling'sche Lösung, Saccharose, entmineralisiertes Wasser, 10%ige Salzsäure, 10%ige Natronlauge, Indikatorpapier

**Geräte:** Reagenzgläser, Reagenzglasgestell, Holzklammer, Spatel, Gasbrenner, Messzylinder

**Durchführung:** a) Zu 6 ml Fehling'scher Lösung gibt man eine Spatelspitze Saccharose und erwärmt langsam.

b) Tragen Sie bei diesem Versuch unbedingt Ihre **Schutzbrille!**

Eine Spatelspitze Saccharose wird in ca. 3 ml entmineralisiertem Wasser gelöst, mit 5 Tropfen Salzsäure versetzt und langsam erhitzt. (Vorsicht: Siedeverzug!)

Nun wird die Lösung mit 1 ml Natronlauge neutralisiert und mit dem Indikatorpapier auf basische Reaktion geprüft.

Anschliessend werden 3 ml Fehling'sche Lösung hinzugefügt und das ganze unter ständigem Schütteln zum Sieden gebracht.

**Auswertung:** Notieren Sie Ihre Beobachtungen in untenstehender Tabelle. Vergleichen Sie Ihre experimentellen Beobachtungen mit den theoretischen Erwartungen. Stimmen sie überein?

**Entsorgung:** Kippen Sie die Lösung in den Behälter für wässrige Metallsalzlösungen.

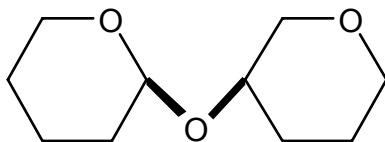
#### Tabelle für die Auswertung der Experimente: Fehling-Tests mit Saccharose

Versuch mit	Fehling-Test positiv	Fehling-Test negativ
a) Saccharose		
b) Saccharose nach Salzsäure-Behandlung		

### 2.3.2 Maltose

Ein weiteres wichtiges Disaccharid ist der Malzzucker (**Maltose**). Er besteht aus zwei  $\alpha$ -Glucosebausteinen, die wieder über eine glycosidische Bindung verknüpft sind.

Vereinfachte Darstellung der Maltose:



Die Maltose ist ein wichtiger Bestandteil der Ovomaltine.

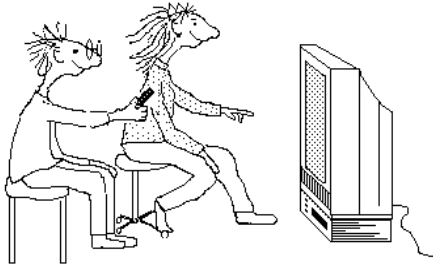
### Von der Rübe zum Zucker

Zuerst



lesen Sie die ersten zwei  
Abschnitte im Buch :  
Chemie heute II, Seite 368.

dann



dürfen Sie sich den Film zum  
Thema Zuckergewinnung  
anschauen.

Lesen Sie aber vorher noch die auf  
der nächsten Seite zum Film  
gestellten Fragen durch.

Es steht Ihnen selbstverständlich frei, gewisse Filmausschnitte auch  
zweimal anzusehen, damit Sie wirklich alle Fragen stichwortartig  
beantworten können.

Falls Unklarheiten mit der Videobedienung auftreten, fragen Sie einen  
Ihrer Mitschüler.

### **Es fehlt etwas!**

Sollte das Buch nicht in der Handbibliothek aufliegen, dürfen Sie gleich  
den Videofilm anschauen. Die erste Frage zur Zuckerherstellung  
müssen Sie dann nicht beantworten.

Falls der Film nicht in Ihrer Mediothek aufliegt, lesen Sie die ganze  
Seite 368 im Buch Chemie heute II.

Viel Spass !

### **Fragen zur Zuckerherstellung**

Notieren Sie Ihre Antworten gleich neben den Fragen auf dieser Seite!

1. Wie kam im Spätmittelalter der Zucker nach Europa?
2. Mit welchem Messgerät wird der Zuckergehalt bestimmt?
3. Wozu braucht man den Kalk?
4. Was passiert in der Extraktionsanlage?
5. Wozu benötigt man die Kalkmilch?
6. Wie erhält man den Dünnsaft?
7. Wie hoch ist der Zuckergehalt im Dünnsaft?
8. Wie erhält man den Dicksaft?
9. Wozu dient die Impfung mit Puderzucker?
10. Woraus bestehen die Rübenabfälle, die als Tiernahrung Verwendung finden?
11. Was ist Melasse?
12. Wer reinigt das von der Zuckerfabrik Frauenfeld benötigte Wasser und woher bezieht sie ihren elektrischen Strom?

## Lernkontrolle



Die folgenden Aufgaben dienen der Überprüfung Ihres Wissens. Sie sollen selbständig testen, ob Sie den Stoff dieses Kapitels begriffen haben.

### Aufgabe 2.5

Beim Erhitzen von Kohlenhydraten entsteht Wasser.  
Wie können Sie dies erklären? Ich erwarte zwei bis drei Sätze.

### Aufgabe 2.6

Was ist eine Kondensationsreaktion? Antworten Sie in einem bis zwei Sätzen.

### Aufgabe 2.7

Worin unterscheiden sich Aldosen und Ketosen? Antworten Sie in zwei bis drei Sätzen.

Haben Sie alle Aufgaben richtig gelöst und fühlen Sie sich im Stoff dieses Kapitels sicher?

Dann können Sie sich jetzt bei der Lehrerin zum Kapiteltest melden.

Wenn Sie eine Aufgabe falsch gelöst haben, so lesen Sie das Kapitel nochmals sorgfältig durch.

## Kapitel 3

# Salate oder Spaghetti zum Abnehmen?

## Polysaccharide

### Übersicht

#### Thema

Dieses Kapitel handelt von *riesigen Molekülen*. Sie sind für das Leben auf der Erde ausserordentlich wichtig. Was sind das für Moleküle?

Im letzten Kapitel haben Sie gesehen, dass **zwei** Zuckermoleküle zu einem **Disaccharid** verknüpft sein können. Werden nun nicht nur zwei, sondern *ein paar tausend Zuckermoleküle* miteinander verknüpft, entstehen lange Kettenmoleküle. Sie heissen **Polysaccharide** "Poly" kommt aus dem Griechischen und heisst "viele".

Die drei wichtigsten Polysaccharide heissen **Cellulose**, **Stärke** und **Glycogen**. Die Cellulose sorgt in den Zellwänden von Pflanzen dafür, dass die Zellen eine stabile Form haben. Stärke und Glycogen dienen als Energiespeicher; die Stärke in Pflanzen, das Glycogen bei Menschen und Tieren.

### Lektionsablauf

Am besten lesen Sie das ganze Kapitel einmal durch. Bearbeiten Sie dabei die Aufgaben. Anschliessend machen Sie die Experimente.

#### Lernziele

1. Sie können den molekularen Aufbau der drei wichtigsten Polysaccharide in Worten beschreiben.
2. Sie wissen, wo diese Stoffe in der Natur vorkommen.
3. Sie können den Weg der Kohlenhydrate in der Verdauung des Menschen mit eigenen Worten beschreiben.

### 3.1 Allgemeine Theorie

Polysaccharide sind lange Kettenmoleküle. Sie entstehen durch Kondensation von vielen Zuckermolekülen. Die biologisch wichtigsten Polysaccharide, die Stärke, die Cellulose und das Glycogen, bestehen ausschliesslich aus **Glucosemolekülen**. Sie haben aber unterschiedliche Eigenschaften, weil die Zuckermoleküle nicht auf gleiche Art miteinander verknüpft sind.

Bei der Photosynthese nutzen die grünen Pflanzen Licht-Energie zur Herstellung von Glucose. Die Pflanze kann die Glucose unterschiedlich einsetzen: Entweder wird sie direkt für die Energiegewinnung in der Zellatmung weiterverwendet. Oder die Glucosemoleküle werden zu langen Ketten verknüpft. Diese dienen dann als Gerüststoffe oder als Energiespeicher. Die meisten Pflanzen **speichern Energie in Form von Stärke**.

### 3.2 Die Stärke

Stärke befindet sich in vielen Nahrungsmitteln, die wir täglich zu uns nehmen. Sie ist zum Beispiel in Kartoffeln, Mehlprodukten, Reis und Bananen enthalten.

#### Wie sieht Stärke chemisch aus?

Stärke setzt sich aus vielen  $\alpha$ -**Glucosemolekülen** zusammen.

#### Aufgabe 3.1



Notieren Sie die Reaktionsgleichung einer Kondensation von zwei Glucosemolekülen zu einem Disaccharid!

(Nur die Summenformel aufschreiben.)

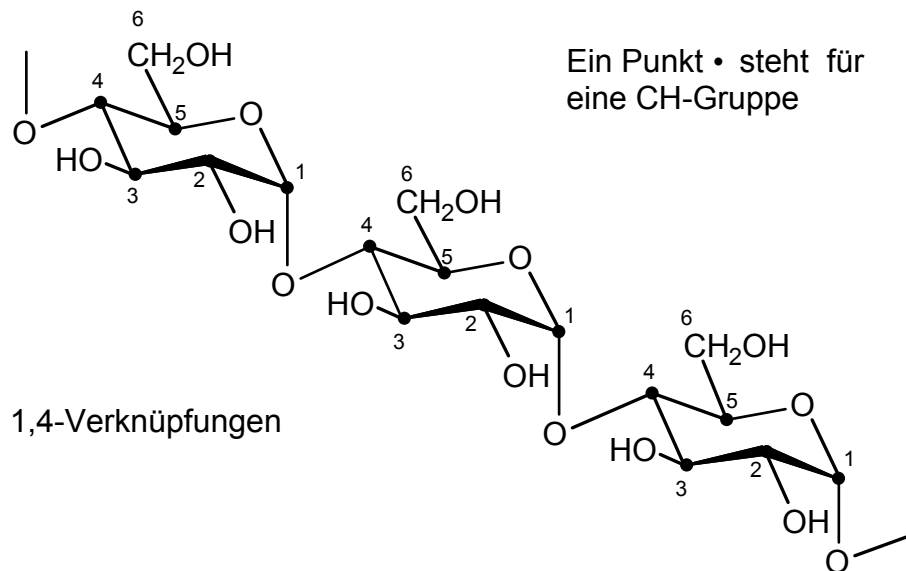
Überlegen Sie sich, welches kleine Molekül dabei abgespalten wird.

Stärke ist keine einheitliche Verbindung. Man unterscheidet zwischen einer wasserlöslichen und einer wasserunlöslichen Form.

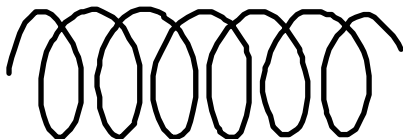


In der **wasserlöslichen Form** sind alle  $\alpha$ -Glucosemoleküle durch eine **1,4-Verknüpfung** miteinander verbunden.

Sie sehen das auf dem folgenden Bild:



Die 1,4-Verknüpfung nennt man so, weil das Kohlenstoff-Atom **1** des einen Glucose-Teilchens mit dem Kohlenstoff-Atom **4** des nächsten Glucose-Teilchens verknüpft ist. In der **wasserlöslichen Form** sind bis zu **10'000 Glucosemoleküle** zu einer langen Kette miteinander verbunden. Die Ketten formen Spiralen:



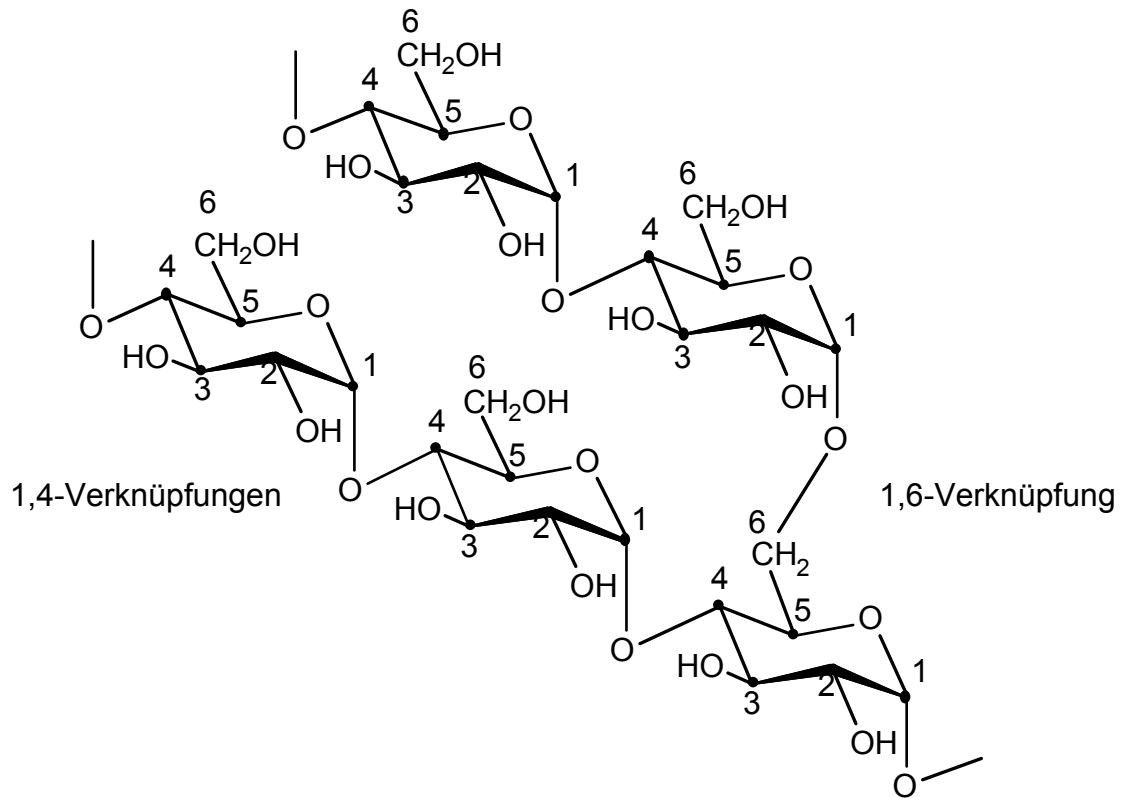
symbolische Darstellung der wasserlöslichen Stärke

Der grösste Teil der natürlichen Stärke ist jedoch **wasserunlöslich**.

In der **wasserunlöslichen Form** sind die  $\alpha$ -Glucosemoleküle auf zwei verschiedene Arten miteinander verknüpft.

Einerseits gibt es **1,4-Verknüpfungen** und andererseits **1,6-Verknüpfungen**. Das ergibt Verzweigungen der Kette.

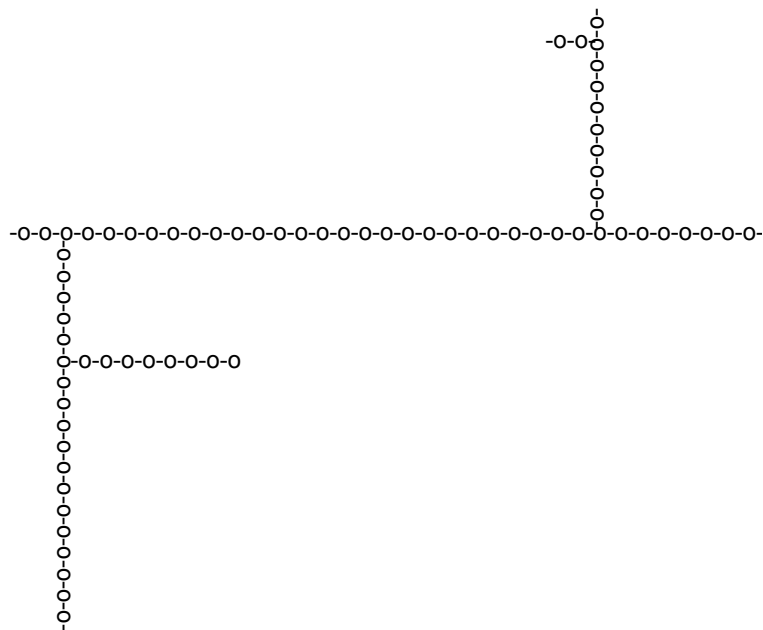
Auch hier gibt Ihnen ein Bild eine Vorstellung davon, was damit gemeint ist:



Ein Punkt • steht für eine CH-Gruppe

Symbolische Darstellung eines Ausschnittes der wasserunlösliche Stärke:

"o-" entspricht einer Glucose



### Aufgabe 3.2



Bauen Sie mit Hilfe des Modellbaukastens ein  $\alpha$ -Glucosemolekül in der Ringform. Ein zweites Molekül haben Sie noch von Kapitel 2. Stecken Sie nun die beiden Moleküle zusammen.

Probieren Sie beide Möglichkeiten: Einmal eine 1,4- und nachher eine 1,6-Verknüpfung.

In der **wasserunlöslichen Form** sind die langen Ketten durch querliegende 1,6-Verknüpfungen miteinander vernetzt. Im Durchschnitt verzweigen sich die Ketten immer nach **25 Glucosemolekülen**. Diese Form der Stärke stellt also ein riesiges Netz von  $\alpha$ -Glucosemolekülen dar. Es können bis zu **10'000 Zuckereinheiten** miteinander vernetzt sein!

### Aufgabe 3.3

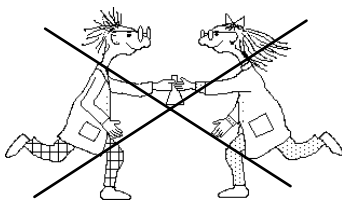


Welche beiden Disaccharide können beim Abbau von Stärke entstehen?

Zeichnen Sie die chemischen Strichformeln!

### Experiment 3.1

#### Gerstenkörner, die nach Ovo schmecken!



Im Kapitel 1 haben Sie Gerstenkörner keimen lassen. Die Keimlinge haben Sie im Ofen getrocknet. Ist Ihnen dabei aufgefallen, dass die getrockneten Keimlinge nach Ovomaltine riechen?

**Durchführung:**

Dieses Experiment ist besonders einfach: Sie sollen die getrockneten Körner essen und auf ihren Geschmack untersuchen. Reiben Sie sie vorher zwischen den Handflächen, um sie von Trieben und Wurzeln zu befreien.

**Auswertung: Warum schmecken die Körner jetzt süß?**

Beim Keimen produzieren die Gerstenkörner ein Enzym. Dieses Enzym ermöglicht den Abbau von Stärke zu Disacchariden. In Aufgabe 3 haben Sie gesehen, dass dabei in einem Fall die zwei  $\alpha$ -Glucosemoleküle 1,4-verknüpft sind. Dieses Disaccharid heisst Maltose oder Malzzucker (vgl. Kapitel 2). Die Maltose schmeckt mässig süß.

**Woher kommt der Ovogeschmack?**

Gekeimte und getrocknete Getreidekörner nennt man "Malz". Malzextrakt ist der wichtigste Ausgangsstoff bei der Herstellung von Ovomaltine.

**Experiment 3.2: Kartoffelstärke**

Arbeiten Sie zu zweit!

Jede Zweiergruppe braucht eine Kartoffel.

**Geräte:** Messer, Becherglas 250 ml, Reagenzglas, Pasteur-Pipette, Jodlösung, Mikroskop oder Binokular

**Stoffe:** Kartoffel

**Durchführung und Auswertung: 1. Teil**

Zuerst wollen wir die Stärke direkt betrachten. Dazu schneiden Sie die Kartoffel in zwei Hälften. Vom Saft am Messer bringen Sie einen Tropfen auf einen Objektträger. Decken Sie den Tropfen mit einem der dafür vorgesehenen Glasplättchen ab. Betrachten Sie nun diesen Tropfen unter einem Binokular oder Mikroskop. Die Stärke liegt in Form von **Körnern** vor, die fast wie Kristalle aussehen.

**Durchführung und Auswertung: 2. Teil**

Die Stärke soll jetzt **chemisch nachgewiesen** werden. Schneiden Sie die eine Hälfte der Kartoffel in kleine Stücke. Diese geben Sie in ein Becherglas. Fügen Sie entmineralisiertes Wasser dazu, bis die Kartoffelstücke gerade bedeckt sind. Rühren Sie mit dem Messer gut um, wobei Sie die Stücke noch weiter zerkleinern!

Füllen Sie nun einige ml dieses Saftes in ein Reagenzglas. Achten Sie darauf, dass alle Schnitz- und grösseren Stücke zurückbleiben. Jetzt geben Sie einige wenige Tropfen der gelben Jodlösung dazu (ca. 5 Tropfen, eventuell mehr, bis sie eine Veränderung sehen).

Prüfen Sie nach jedem Tropfen die Farbe der Lösung, indem Sie das Reagenzglas vor ein weisses Blatt Papier halten. Notieren Sie ihre Beobachtungen!

**Entsorgung:**

Werfen Sie die gebrauchten Kartoffelteile in den Abfallsack für normalen Kehricht. Den Inhalt des Reagenzglases mit der Iodlösung giessen Sie in den dafür bezeichneten Abfallbehälter.

**3.3 Die Cellulose**

Das Polysaccharid Cellulose ist die häufigste organische Verbindung unserer Erde. Pro Jahr produzieren die Pflanzen etwa **10 Milliarden Tonnen** Cellulose!

Im Unterschied zur Stärke ist die Cellulose für die Pflanze nicht ein Energiespeicher, sondern ein **Stütz- und Gerüststoff**. Sie kommt in den pflanzlichen Zellwänden vor und macht die Zellen stabil und fest.

**Wie sieht Cellulose chemisch aus?**

Cellulose setzt sich aus  **$\beta$ -Glucosemolekülen** zusammen! Im Gegensatz zur Stärke, die ja aus  $\alpha$ -Glucosemolekülen besteht. Bei der Cellulose sind die  $\beta$ -Glucosemoleküle ausschliesslich durch **1,4-Verknüpfungen** miteinander verbunden.

**Aufgabe 3.4**

Nehmen Sie das Modell des Disaccharids von Aufgabe 3.2 zur Hand.

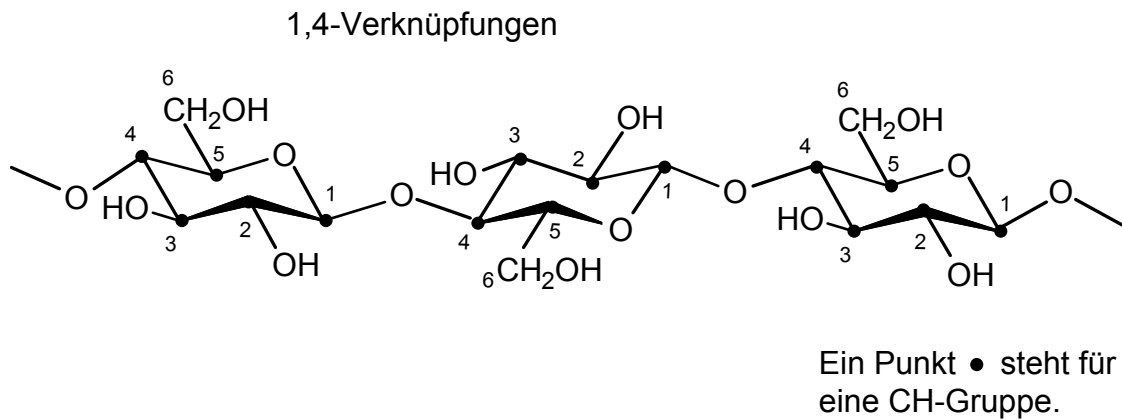


Trennen Sie die beiden Glucoseeinheiten.

Wandeln Sie sie in die  $\beta$ -Form um.

Verknüpfen Sie die beiden  $\beta$ -Zucker durch eine 1,4-Verknüpfung.

Cellulose besteht aus langen, unverzweigten Kettenmolekülen. Diese Ketten können bis zu 10'000 Glucoseeinheiten enthalten. Das folgende Bild zeigt Ihnen, wie das aussieht:



Ebenso wie der grösste Teil der Stärke ist auch die Cellulose **nicht löslich in Wasser**. Der Grund dafür liegt in der Anordnung der Ketten. Die langen, geraden Moleküle sind parallel ausgerichtet. Die einzelnen Ketten werden durch starke zwischenmolekulare Kräfte zu **dickeren Strängen** zusammengehalten. Die Wassermoleküle haben keine Chance, sich dazwischen zu drängen. Diese Anordnung verleiht der Cellulose ihre Festigkeit und erklärt so ihre Funktion als Stütz- und Gerüststoff.



Symbolische Darstellung  
der Cellulose

Wir **Menschen** und die **meisten Tiere** können Cellulose **nicht verdauen**, d. h. nicht abbauen. Sie wird unverändert wieder ausgeschieden! Auf einem Planeten, wo es nur Cellulose gibt und keine Stärke, müssten wir also verhungern! Und das nur wegen des winzigen Unterschieds zwischen  $\alpha$ - und  $\beta$ -Form!

Viele **Bakterien** können Cellulose jedoch abbauen. Diesen Sachverhalt machen sich die **Wiederkäuer** zu Nutze! Im ersten Magen einer Kuh (sie hat vier Mägen!) gibt es regelrechte Bakterienkulturen. Diese verdauen die Cellulose für die Kuh.

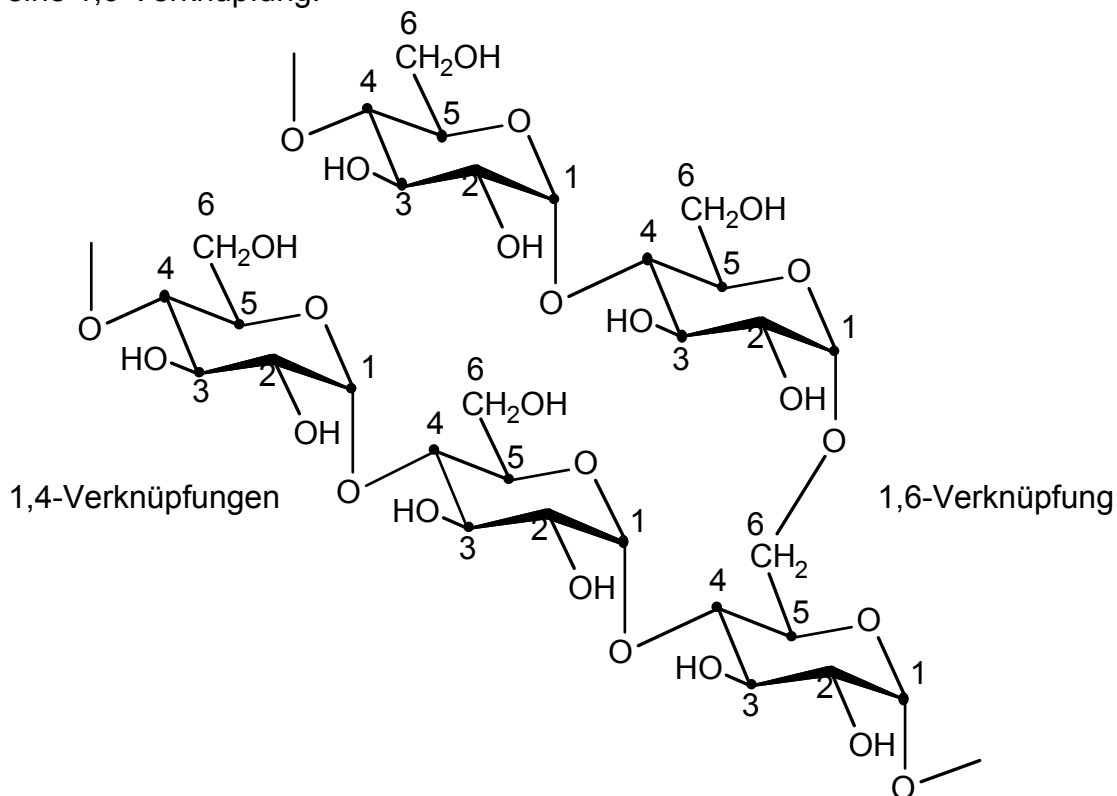
### 3.4 Das Glycogen

Menschen und Tiere sind dauernd unterwegs und in Bewegung. Dabei verbrauchen sie viel mehr Energie als Pflanzen, die sich nicht in gleichem Masse bewegen können. Die mobilen Lebewesen speichern deshalb den grössten Teil ihrer Energie nicht in Form von Stärke sondern in Form von **Fetten**. Aus einem Gramm Fett kann unser Organismus mehr Energie gewinnen als aus einem Gramm Stärke. So müssen wir weniger Gewicht mit uns herumschleppen! Der Fettspeicher hat nur einen Nachteil: Die Energie ist nicht so schnell verfügbar wie bei den Kohlenhydraten.

Wir haben deshalb ein **zweites Speichersystem**: In den Leber- und Muskelzellen stecken Glycogen-Pakete. Die darin enthaltene Energie ist sehr schnell verfügbar - genau wie bei der Stärke. Zudem ist sie teilweise schon am Ort, wo sie gebraucht wird: In den Muskelzellen.

#### Wie sieht Glycogen chemisch aus?

Glycogenmoleküle sind eng verwandt mit den wasserunlöslichen Stärkemolekülen. Sie bestehen ebenfalls aus verknüpften  **$\alpha$ -Glucose-Einheiten**. Auch die Verknüpfungen sind dieselben: **1,4- und 1,6-Verknüpfungen**. Der Unterschied besteht darin, dass mehr Verzweigungen vorkommen. Alle 8 bis 10 Glucosemoleküle gibt es eine 1,6-Verknüpfung.



Ein Punkt • steht für eine CH-Gruppe

## 3.5 Kohlenhydrate auf dem Weg durch unseren Körper

Sie wissen, dass Brot viel Stärke enthält. Im vorhergehenden Experiment haben Sie einen chemischen Nachweis für Stärke kennengelernt. Wie wird Stärke nun abgebaut?

### Experiment 3.3: Abbau von Stärke



Arbeiten Sie zu zweit!

**Sicherheit:** Führen Sie das Experiment im Schulzimmer durch. Beginnen Sie mit dem 1. Teil des Experimentes. Räumen Sie das Material weg, bevor Sie mit dem 2. Teil starten.

**Geräte:** Reagenzglas, entmineralisiertes Wasser, Glasstab, Teelöffel, Glucose-Testpapier

**Stoffe:** Brot, Glucose

#### Durchführung: Teil 1

Geben Sie eine Spatelspitze Glucose ins Reagenzglas. Fügen Sie einige ml entmineralisiertes Wasser hinzu. Schütteln Sie das Reagenzglas bis sich die Glucose aufgelöst hat. Bringen Sie mit dem Glasstab einen Tropfen der Lösung auf einen Streifen Glucose-Testpapier. Warten Sie ein bis zwei Minuten. Verfärbt sich das Testpapier? Stellen Sie das gebrauchte Material weg, bevor Sie mit dem 2. Teil beginnen.

#### Durchführung: Teil 2

Kauen Sie ein grösseres Stück Brot während ein bis zwei Minuten. Versuchen Sie, den Speichel nicht hinunterzuschlucken. Verändert sich der Geschmack des Brotes in Ihrem Mund? Geben Sie nun etwas Speisebrei auf einen Teelöffel. Anschliessend tauchen Sie einen Streifen Glucose-Testpapier in die Probe und warten etwa zwei Minuten. Notieren Sie Ihre Beobachtungen!

#### Entsorgung:

Werfen Sie die gebrauchten Brotteile in den Abfallsack für normalen Kehricht. Die Glucoselösung geben Sie in den Ausguss.



### **Auswertung:**

Nur Glucose reagiert mit den auf das Testpapier aufgetragenen Chemikalien. Ein grüner bis grünschwarzer Farbkomplex zeigt eine positive Reaktion an. Teil 1 entspricht der Vergleichsprobe. Sie zeigt Ihnen, ob das Testpapier noch brauchbar ist.

Schreiben Sie in etwa 2 Sätzen auf, was mit einem Teil der Stärke im Mund geschehen ist.

### **Wie wird Stärke verdaut?**

Dazu wollen wir ein Stärkemolekül auf dem Weg durch unseren Körper beobachten: Genüsslich kauen Sie ein Stück Brot. Bereits im **Mund** beginnt ein Enzym die Stärke in kleinere Teile und etwas Glucose zu zerlegen. Die Bruchstücke gelangen in den Magen, wo sie weiter zerkleinert werden.

Der endgültige Abbau findet aber im **Dünndarm** statt. Dort findet die Aufspaltung in die einzelnen Bausteine statt. In unserem Beispiel entstehen Glucose-Moleküle.

### **Was geschieht mit der Glucose?**

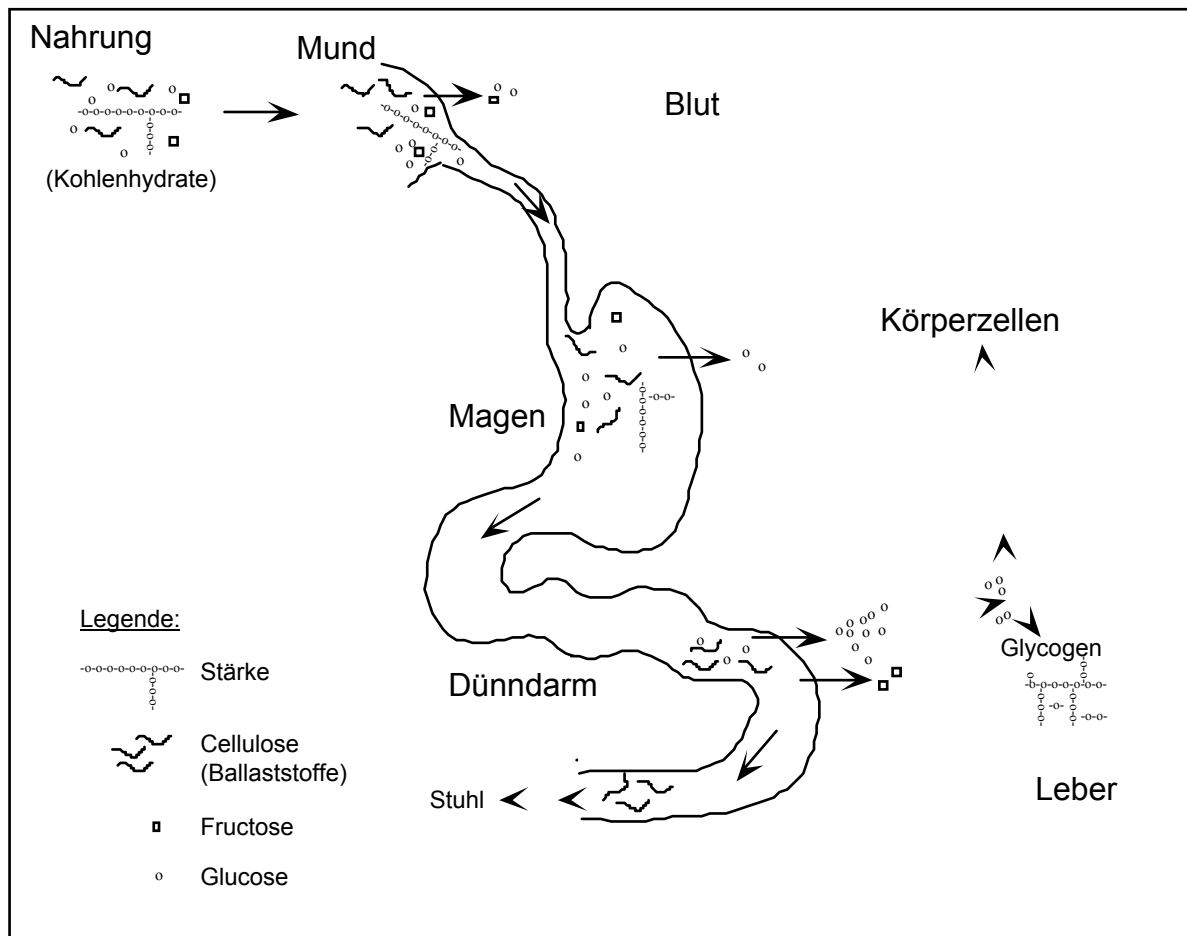
Einerseits kann die Glucose bereits im Mund direkt ins Blut und anschliessend in die Körperzellen aufgenommen werden. So liefert sie rasch Energie.

Andererseits wird die aus der Stärke freigesetzte Glucose durch die Darmwand ins Blut aufgenommen. Beim anschliessenden Transport durch die **Leber** gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Die Leber filtert die Glucosemoleküle heraus und baut damit Glykogen auf. In dieser Form kann die Leber Glucose speichern.
2. Die Glucosemoleküle werden im Blut weitertransportiert. Die einzelnen **Körperzellen** nehmen sie bei Bedarf auf. Die Zellen bauen die Glucose ab und gewinnen damit Energie. Zusammen mit Sauerstoff kann die Glucose zu Kohlendioxid und Wasser verbrannt werden. Sie erinnern sich? Richtig, diese Reaktion entspricht der Umkehr des Photosynthesevorganges!

Ballaststoffe wie zum Beispiel die **Cellulose** können wir nicht abbauen. Sie werden unverändert ausgeschieden. Uns fehlen die notwendigen Enzyme.

## Schematische Übersicht über die Verdauung der Kohlenhydrate:



## Aufgabe 3.5



Schauen Sie sich die Abbildung auf dieser Seite nochmals an. Versuchen Sie, die Verdauung der Saccharose zu beschreiben. Ich erwarte fünf bis sechs Sätze.

## Lernkontrolle



Die folgenden Aufgaben dienen der Überprüfung Ihres Wissens. Sie sollen selbständig testen, ob Sie den Stoff dieses Kapitels begriffen haben.

### Aufgabe 3.6

Welche Substanz dient den Pflanzen als Energiespeicher?  
Ein Stichwort genügt.

### Aufgabe 3.7

Rufen Sie sich die wasserlösliche und die wasserunlösliche Stärke in Erinnerung:  
Worin unterscheiden sie sich?  
Charakterisieren Sie beide Moleküle mit zwei bis drei Stichworten.

### Aufgabe 3.8

Welche der beiden 1,4-Verknüpfungen kann in unserem Verdauungssystem aufgebrochen werden, die Verknüpfung der  $\alpha$ -Glucose oder die der  $\beta$ -Glucose? Ich erwarte einen Satz.

### Aufgabe 3.9

Eignen sich Spaghetti oder Salate besser zum Abnehmen?  
Antworten Sie in vier bis fünf Sätzen.

Haben Sie alle Aufgaben richtig gelöst und fühlen Sie sich im Stoff dieses Kapitels sicher?

Dann können Sie sich jetzt bei der Lehrperson zum Kapiteltest melden.

Wenn Sie eine Aufgabe falsch gelöst haben, so lesen Sie das Kapitel nochmals sorgfältig durch.

**Meine Lösungen des 3. Kapitels:**

## Kapitel 4

# Der räumliche Bau der Moleküle bestimmt unser Leben

### Übersicht

#### Thema

In diesem Kapitel betrachten wir die räumliche Struktur von Molekülen, speziell von Kohlenhydraten.

Das Verständnis dieses Teilgebietes der Chemie (Stereochemie) öffnet das Tor zu einer neuen Welt. Gemeint ist die Welt der chemischen Vorgänge in der lebenden Natur. Dort werden Verbindungen aufgrund der räumlichen Anordnung von Atomen im Molekül sehr streng unterschieden. Die Folge: Moleküle können erkannt werden und dadurch biologische Vorgänge steuern.

Zur Untersuchung der räumlichen Struktur wird eine spezielle Eigenschaft von Molekülen benutzt: die Beeinflussung eines auftreffenden Lichtstrahls.

Wie wird aber der räumliche Bau von Molekülen auf dem Papier dargestellt und in Texten beschrieben? Dazu sind einige Methoden und Begriffe notwendig. Diese Grundlage wird es Ihnen ermöglichen, chemische Vorgänge in der Natur zu verstehen.

"Was bringt's?" Dies werden Sie am Beispiel des Geruchsempfindens bei Menthol sehen.

#### Lektionsablauf

Durch Lektüre eines Buchtextes erarbeiten Sie zuerst die Funktionsweise eines physikalischen Instrumentes. Anschliessend setzen Sie dieses in einem Experiment zur Lichtmessung ein.

Es folgt ein Theorieteil mit Definitionen und Methoden der räumlichen Darstellung von Molekülen auf dem Papier. Zum besseren Verständnis werden Sie einige Strukturen mit dem Molekülbaukasten nachbauen.

Am Schluss gehen wir auf die biologische Bedeutung der räumlichen Struktur von Molekülen ein.

#### Lernziele

1. Sie kennen das Prinzip zur Messung der optischen Drehung.
2. Sie können den räumlichen Bau von Molekülen mit speziellen Begriffen und Darstellungsmethoden beschreiben.
3. Sie kennen das Prinzip und die Bedeutung der biologischen Erkennung von Molekülen.

## Polarimeter und Messung der optischen Drehung

Dass chemische Stoffe optische Eigenschaften besitzen, ist eigentlich selbstverständlich geworden. Denken wir nur an all die popigen Farben, die den grauen Alltag zum Farbenpotpourri verwandelt haben. Je nach Aufbau des Moleküls sind aber die optischen Eigenschaften anders.

Bei den Kohlenhydraten ist eine Eigenschaft besonders interessant: In einer Ebene einfallendes Licht wird gedreht. Nach dem Durchgang des Lichtes durch die Lösung eines **optisch aktiven** Stoffes ist die Ebene des ausfallenden Lichts um einen Winkel  $\alpha$  gedreht. (Literaturstudium und Experiment werden Sie mit diesem Vorgang vertraut machen.)

Mit dem sogenannten **Polarimeter** können wir diesen Winkel messen. Der gemessene Winkel ist aber von verschiedenen experimentellen Bedingungen abhängig. Um eine einheitliche Angabe (zum Beispiel in einem Katalog mit chemischen Substanzen) zu erreichen, muss eine Umrechnung erfolgen. Die normierte Grösse wird **spezifische Drehung** genannt.

### Literaturstudium



Literatur: Elemente Chemie II, S. 262 und 263 bis Titel "Enantiomere".

Bei der experimentellen Messung sollten einige Grundlagen bekannt sein. Nur so müssen Sie nicht vor einer scheinbar "dummen Kiste" kapitulieren und können die Messung richtig durchführen und auswerten.

Studieren Sie die angegebene Literaturstelle so, dass Sie folgende Fragen beantworten können:- Wie ist das Polarimeter aufgebaut? (Skizze mit Beschriftung)

- Wie funktioniert das Messgerät?

- Wie wird die spezifische Drehung berechnet und angegeben? (Formel, Einheiten)

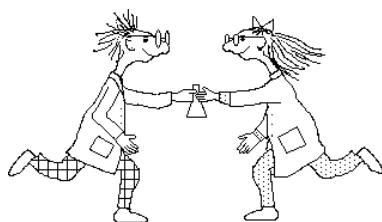
### \* Aufgabe 4.1



10 g D-Glucose (Traubenzucker) werden in 100 ml Wasser gelöst. Ein Teil der Lösung wird in ein Polarimeterrohr von 5 cm Länge gefüllt. Wie gross ist der gemessene Drehwinkel ?

Spezifische Drehung :  $\alpha_D^{20} = + 53 \text{ ml g}^{-1} \text{ dm}^{-1}$

### Experiment 4.1



Nun können Sie selber den Drehwert von Glucose in Wasser messen. Informieren Sie sich aber zuerst beim Lehrer über den Umgang mit dem Gerät. Arbeiten Sie zu zweit nach der folgenden Anleitung:

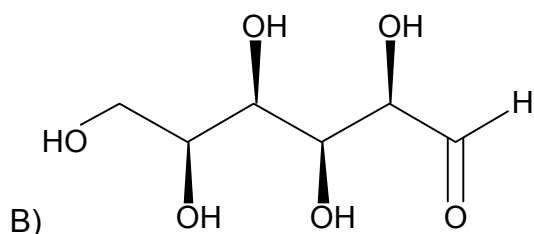
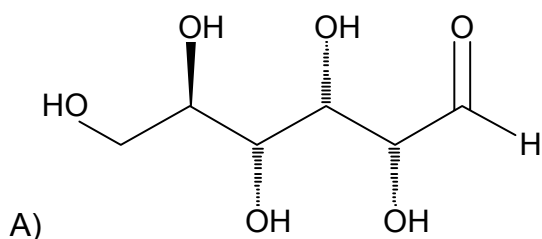
1. In einen 100 ml Messkolben werden genau 10.00 g D(+)-Glucose gegeben. Anschliessend wird der Kolben mit entmineralisiertem Wasser zur Hälfte gefüllt und die Glucose durch leichtes Schwenken gelöst. Nun wird der Kolben bis zu Marke aufgefüllt. Der verschlossene Kolben wird dreimal umgedreht.
2. Stellen Sie den Kolben zur Seite. Beschaffen Sie sich das Polarimeterrohr und bestimmen Sie dessen Länge. Nun können Sie den Drehwinkel analog zur obenstehenden Aufgabe berechnen.
3. Das Rohr wird wie vorgesehen in das Polarimeter gelegt. Nach dem Start der Messung wird sich der Winkel noch etwas verändern. Sobald innerhalb einer Minute keine Veränderung mehr ersichtlich ist, wird der Drehwinkel abgelesen und notiert.
4. Stimmen der berechnete Winkel und das Messresultat überein? Diskutieren Sie diese Frage mit Ihrem Lehrer. Bei der Beurteilung ist zu bedenken, dass die verwendete Glucose nicht rein war.

### Keil-Strich-Schreibweise

Dass Kohlenhydrate - wie auch viele andere Stoffklassen - linear polarisiertes Licht drehen können hat mit der räumlichen Struktur dieser Verbindungen zu tun. Damit wir dem nachgehen können, müssen wir dreidimensionale Moleküle in den zwei Dimensionen eines Blattes abbilden können.

Dazu gibt es verschiedene Schreibweisen. Nachstehend sind zwei Moleküle in der sogenannten **Keil-Strich-Schreibweise** gezeichnet. Für diese Schreibweise gibt es drei Abmachungen:

1. ausgezogene Linien stellen Bindungen dar, die **in** der Papierebene liegen
2. schraffierte, dünner werdende Linien stellen Bindungen dar, die **hinter** der Papierebene liegen
3. keilförmig dicker werdende Linien stellen Bindungen dar, die **vor** der Papierebene liegen.



Es gibt noch eine vierte Abmachung: Wasserstoffatome, die auf einem Kohlenstoffatom sitzen, werden nur beim Aldehyd gezeichnet, sonst werden sie weggelassen.

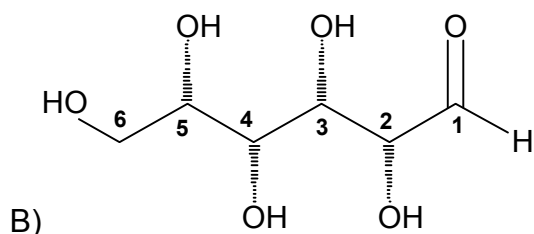
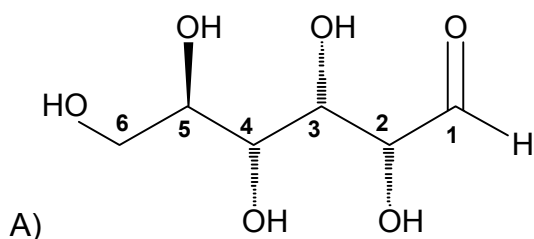


### Konstruktionsauftrag

Bauen Sie nun mit dem Molekülbaukasten beide Moleküle zusammen. Falls es nicht auf Anhieb klappt, fragen Sie einen Mitschüler, der gleich weit ist wie Sie. Zu zweit geht es wahrscheinlich besser. Arbeiten Sie aber anschliessend wieder alleine weiter.

Versuchen Sie jetzt, die Moleküle so zu drehen und/oder zu biegen, dass Sie die beiden Moleküle zur Deckung bringen können. Dies wird Ihnen jedoch auch nach beliebig vielen Versuchen nicht gelingen. Offenbar sind die beiden Verbindungen nicht identisch.

Molekül B) kann auch anders gezeichnet werden (mit kleinen Zahlen wurden die Kohlenstoffatome numeriert):



Jetzt ist leicht erkennbar, dass sich die beiden Verbindungen nur darin unterscheiden, dass die Alkoholgruppe am C<sub>5</sub> bei Verbindung B) nach hinten, bei Verbindung A) jedoch nach vorne schaut.

Betrachten wir dieses Kohlenstoffatom einmal etwas genauer. Es fällt auf, dass es vier verschiedene Substituenten trägt:

eine -OH-Gruppe, eine -CH<sub>2</sub>OH-Gruppe, ein -H sowie eine Kette mit vier Kohlenstoffatomen (C<sub>4</sub> bis C<sub>1</sub>).

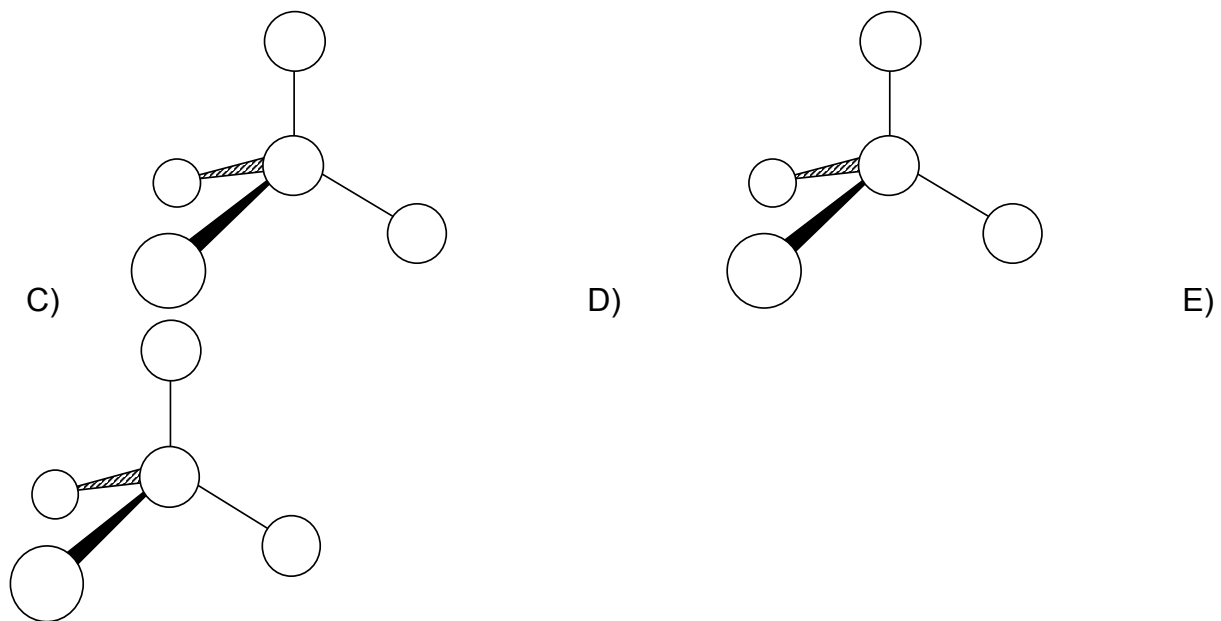
**Ein Kohlenstoffzentrum mit vier verschiedenen Substituenten nennt man Chiralitätszentrum.** Dieser Ausdruck kommt von griechischen Wort "cheir" = Hand.

Beim genauen Betrachten der Verbindungen A) und B) werden Sie entdecken, dass auch C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> und C<sub>4</sub> derartige Chiralitätszentren sind. Wir wollen uns nun aber auf ein einziges Kohlenstoffatom mit vier verschiedenen Substituenten konzentrieren.



\* **Konstruktionsauftrag**

Nehmen Sie wieder den Molekülbaukasten zur Hand. Stecken Sie sich ein Tetraeder mit einem Kohlenstoffatom in der Mitte (schwarz) und vier verschiedenfarbigen Substituenten (rot, blau, gelb, grün) zusammen. Zeichnen Sie dieses Modell in das untenstehende Schema C) ein, indem Sie die fünf Kreise mit den entsprechenden Farben ausmalen.



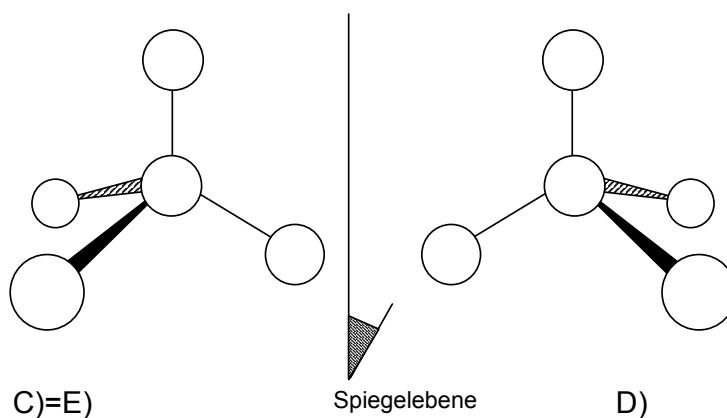
Vertauschen Sie nun zwei Substituenten an Verbindung C). Zeichnen Sie das so erhaltene Molekül D) ab. Nun nehmen Sie nocheinmal zwei beliebige Substituenten und vertauschen diese. Die so erhaltene Verbindung E) zeichnen Sie wieder ab.

**Aufgabe 4.2** Kreuzen Sie an, welche Aussagen richtig sind.


1.  C), D) und E) sind drei völlig verschiedene Moleküle.
2.  Die Moleküle C), D) und E) sind völlig identisch.
3.  Die Moleküle C) und D) sind deckungsgleich, E) ist aber anders.
4.  Die Moleküle C) und E) sind deckungsgleich, D) ist aber anders.
5.  Die Moleküle D) und E) sind deckungsgleich, C) ist aber anders.
6.  Es lässt sich keine allgemeine Aussage machen. Je nachdem welche beiden Substituenten jeweils vertauscht worden sind, ist das Ergebnis anders.

Die Moleküle C) und D) verhalten sich wie Bild und Spiegelbild. Dies kann man gut erkennen, wenn man die beiden Moleküle so nebeneinanderzeichnet wie im folgenden Schema.

Molekül C) können Sie direkt von oben abzeichnen. Molekül D) müssen Sie aber noch richtig drehen. Ein Molekül bloss in Gedanken zu drehen ist schwierig und braucht bei fast allen Leuten viel Übung und lange Erfahrung. Scheuen Sie sich also nicht, das Molekül D) nochmals zu bauen, und dann das Modell zu drehen und abzuzeichnen.



**Zwei Moleküle, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten, nennt man Enantiomere.** So ähnlich wie die linke und rechte Hand von Ihnen sind, so ähnlich sind zwei Enantiomere. Sie können aber nicht zur Deckung gebracht werden, sondern nur durch eine Spiegelung ineinander überführt werden.

Jetzt erkennen Sie, weshalb man ein Kohlenstoffatom mit vier verschiedenen Substituenten Chiralitätszentrum nennt: es gibt zwei verschieden-"händige" Verbindungen davon, eben zwei Enantiomere. Oder wie man auch sagt: ein **Enantiomerenpaar**.



#### \* Aufgabe 4.3

Wo begegnen wir dem Phänomen Enantiomerie in unserem Alltag?  
Nennen Sie zwei Dinge.

### Die Fischer-Projektion

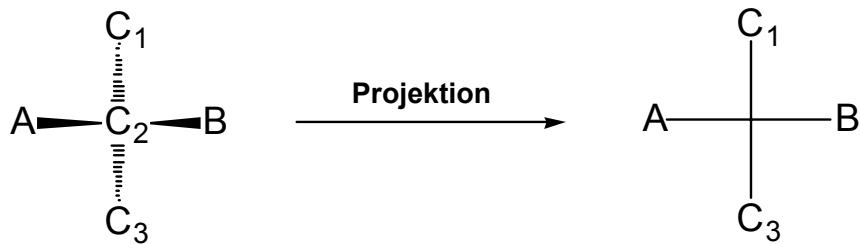
Eine andere Art Moleküle darzustellen schlug Emil Fischer im Jahre 1891 vor. Sie wird heute Fischer-Projektion genannt. Sie haben diese Darstellung schon in früheren Kapiteln kennengelernt.

Die folgende Betrachtung können Sie mit dem Molekülbaukasten nachvollziehen: Betrachten wir zuerst die Grundeinheit des Molekülgerüsts von Kohlenhydraten, das zentrale Kohlenstoffatom mit tetraedrisch angeordneten Substituenten.

Nehmen Sie ein lichtdurchlässiges Papier, in das sie ein Loch schneiden. Nun stecken Sie das tetraedrische Molekül D) von vorn so in das Loch, dass das zentrale Kohlenstoffatom in der Papierebene liegt. Dazu müssen Sie wahrscheinlich das Molekül auseinandernehmen und wieder zusammensetzen.

Auf diese Weise kommen zwei Bindungen über und zwei unter die Papierebene zu liegen. Gegen das Licht gehalten erscheinen Bindungen und Atome als Schatten

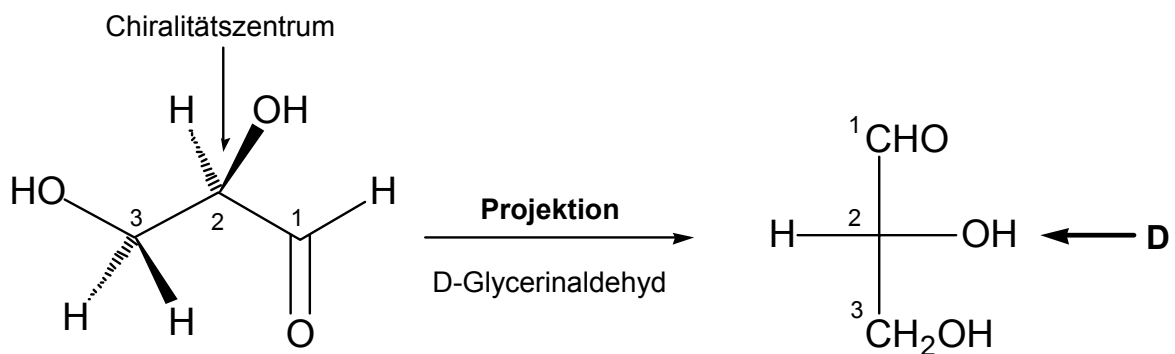
(Abbildung) auf der Papierfläche. Bei geeigneter Ausrichtung ergibt die Abbildung der Bindungen auf die Papierebene (Projektion) ein rechtwinkliges Kreuz mit dem Kohlenstoffatom im Zentrum.



Auch für die Fischer-Projektion gibt es drei Abmachungen:

1. Die Bindungen über der Papierebene zeigen nach links und rechts.
2. Die Bindungen unterhalb der Papierebene bilden die Senkrechte.
3. Das oberste Kohlenstoffatom der Senkrechte weist immer die höchste Oxidationsstufe auf.  
Säuregruppen (-COOH) sind höher oxidiert als Aldehydgruppen (-CHO).  
Aldehydgruppen sind höher oxidiert als Alkoholgruppen (-CH<sub>2</sub>OH).

D-Glycerinaldehyd wird deshalb wie folgt dargestellt:



**Die Art der Verknüpfung der Substituenten mit dem Chiralitätszentrum wird Konfiguration genannt.**

Wir unterscheiden zwischen zwei Konfigurationen, die D- (lat. **D**exter = rechts) und die L-Konfiguration (lat. **L**aevus = links). Die Unterscheidung erfolgt bei den Kohlenhydraten durch die Lage der Hydroxylgruppe (-OH) am zweituntersten Kohlenstoffatom.

Die OH-Gruppe am zweituntersten Kohlenstoffatom liegt in der Fischer-Projektion bei der

- **D-Konfiguration**: rechts
- **L-Konfiguration**: links

\* **Aufgabe 4.4**

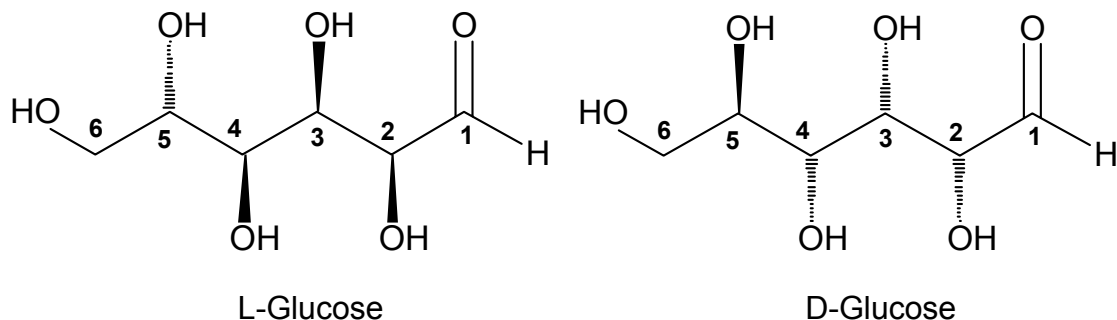
Warum erfolgt die Unterscheidung D-/L- nicht am untersten Kohlenstoffatom?

Das Kohlenstoffzentrum beim Glycerinaldehyd ist ein Chiralitätszentrum. D- und L-Glycerinaldehyd sind Enantiomere. **Enantiomere drehen das Licht um gleiche Winkel aber in entgegengesetzter Richtung (+/-).**

Drehen nun die Moleküle mit D-Konfiguration das Licht **immer** nach rechts (+)? **Nein!** Es besteht kein Zusammenhang zwischen der optischen Drehrichtung (+/-) und der Art der Konfiguration (D/L)!

Die Fischer-Projektion eignet sich sehr gut zur Darstellung von Kohlenhydraten mit mehreren Kohlenstoffzentren. Dabei wird die Kohlenstoffkette in der Senkrechten gezeichnet. Für jedes Kohlenstoffzentrum gelten die obigen Abmachungen.

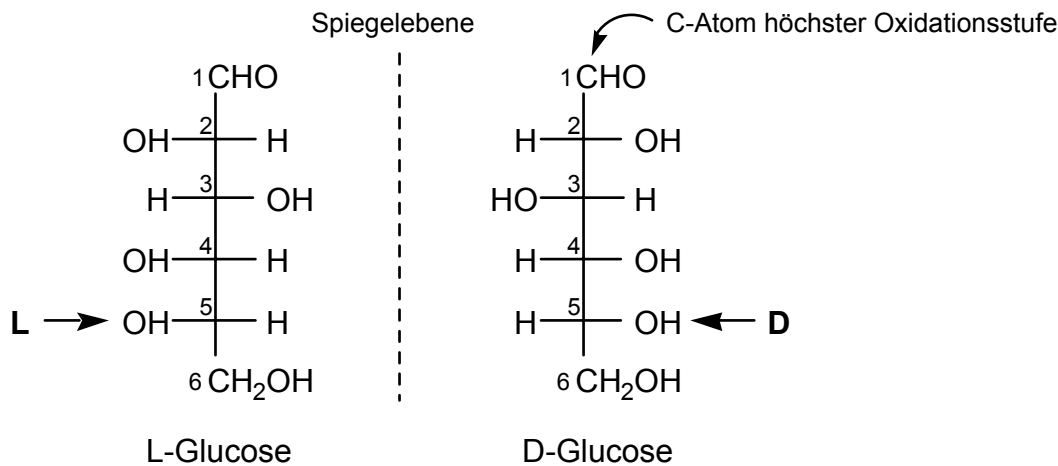
Bauen Sie die beiden Enantiomeren der Glucose mit dem Molekülbaukasten nach. Die Darstellungen in der Keil-Strich-Form sollen Ihnen dabei als Vorlage dienen.



Mit Hilfe des Modells fällt das Zeichnen der Fischer-Projektion leichter. Gehen Sie wie folgt vor:

1. Beginnen Sie beim höchst-oxidierten Kohlenstoffatom mit Nummer 1. Es ist kein Chiralitätszentrum und wird deshalb als Aldehydgruppe CHO geschrieben.
2. Drehen Sie das Modell so, dass die vom zweiten Kohlenstoffzentrum ausgehenden C-C-Gerüstbindungen nach unten (von Ihnen weg) zeigen. Die Projektion kann nun direkt gezeichnet werden .
3. Drehen Sie das Modell um 180 ° und zeichnen Sie die Projektion des nächsten Zentrums.
4. So weiterfahren bis zum letzten Kohlenstoffzentrum (C6). Dies ist wiederum kein Chiralitätszentrum und wird als Alkoholgruppe CH<sub>2</sub>OH geschrieben.

Bei der D- und L-Glucose sieht das wie folgt aus:



### Warum ist die Unterscheidung der D- und L-Konfiguration überhaupt so wichtig?

Wir wissen, dass Kohlenhydrate in lebenden Organismen vorkommen. Glucose zum Beispiel ist ein Bestandteil des menschlichen Blutes. Und die Überraschung ist perfekt! In allen biologischen Systemen (Mensch, Tier und Pflanze) kommt **Glucose nur in der D-Form** vor.

Die Natur hat etwas erreicht, womit die Chemiker ihre liebe Mühe haben. Bei der Synthese im Labor fällt häufig eine Mischung der Moleküle mit D- und L-Konfiguration an. Nur mit grossem Aufwand ist eine Form mehr oder weniger rein zu erhalten. Dies ist zum Beispiel bei der Herstellung von Medikamenten von Bedeutung.

Damit das Medikament richtig wirkt, muss es an einer bestimmten Stelle im Organismus von grossen Molekülen gebunden werden. Dadurch kann das Medikament seine Wirkung entfalten.

Häufig wird aber nur der Wirkstoff mit einer bestimmten Konfiguration erkannt. Die "gleiche" Chemikalie mit der umgekehrten Konfiguration ist wirkungslos. In manchen Fällen sind beide Formen wirksam, aber die eine als Medikament und die andere als Gift.

Fallen bei der chemischen Synthese beide Formen an, so müssen sie sorgfältig getrennt werden. Leider wurde ein Medikament berühmt, bei dem die giftigen Eigenschaften der einen Form nicht erkannt wurden. Es ist ein Schlafmittel, welches auch von schwangeren Frauen benutzt wurde. Die Folge waren schwere Missbildungen bei den neugeborenen Kindern (Contergan®, 1961).

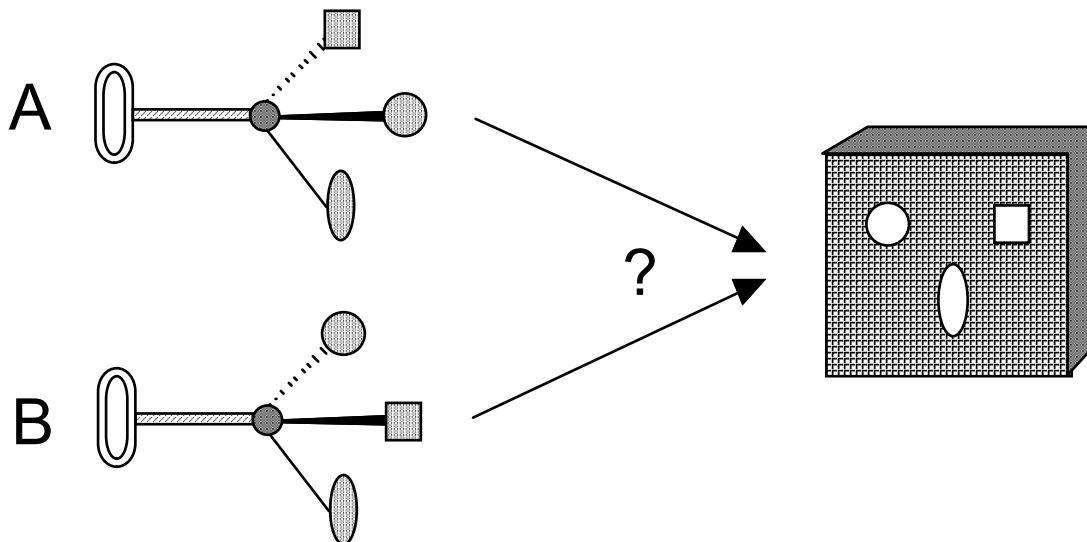
### Wie können in biologischen Systemen Konfigurationen unterschieden werden?

Diese Aufgabe übernehmen sehr grosse Moleküle, die **Enzyme**. An der Oberfläche dieser Riesenmoleküle können kleinere Moleküle gebunden werden. Enzyme sind aber sehr sehr wählerisch und binden nur erwünschte Kandidaten.

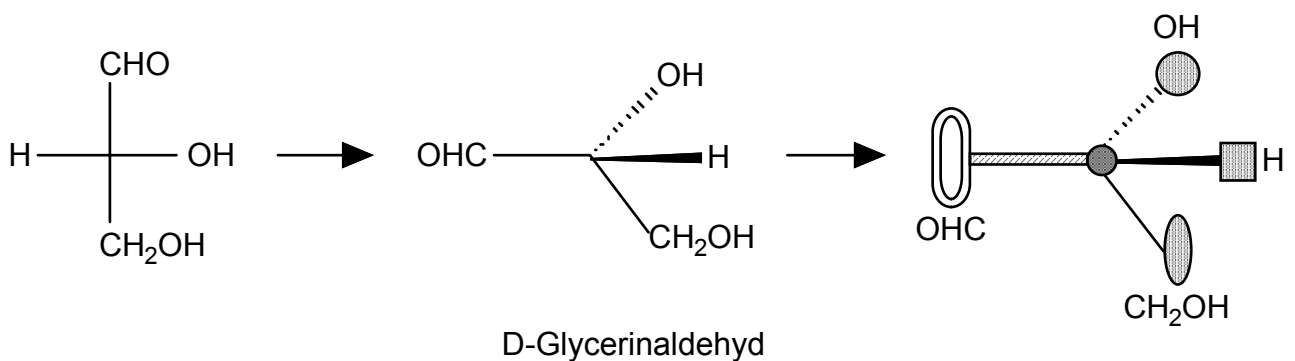
Wie können Moleküle so spezifisch erkannt werden? Emil Fischer fand ein anschauliches Modell für die Erkennung.

Auch schon im Jahre 1890 hielten Türschlösser unerwünschte Gäste vor der Einmischung in innere Angelegenheiten ab. Deshalb kam Emil Fischer auf die Idee des **Schloss-Schlüssel-Prinzips**.

Welcher Schlüssel passt in das Schlüsselloch (Keil-Strich-Form beachten)?



Ein Punkt für den Kandidaten: Schlüssel B. Die dargestellten Schlüssel symbolisieren ein Kohlenstoffzentrum mit vier verschiedenen Substituenten in tetraedrischer Anordnung. A und B sind Enantiomere. Vergleichen wir den einen Schlüssel mit D-Glycerinaldehyd:



Der andere Schlüssel entspricht dem L-Glycerinaldehyd. Eine Bindungsstelle des Enzyms kann also nur die D-Form erkennen, wenn sie dem gezeichneten Schlüsselloch entspricht.

Natürlich sind die Bindungsstellen der Enzyme komplizierter aufgebaut als ein Schlüsselloch. Aber es gilt:

Das Schlüssel-molekül wird nur dann erkannt, wenn alle notwendigen Bindungen zwischen dem Schlüssel-molekül und der Bindungsstelle des Enzyms gebildet werden können.

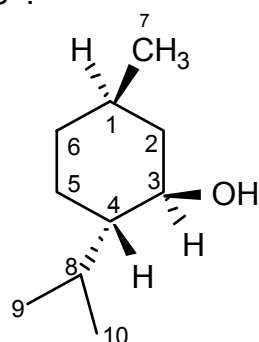
## Als Beispiel: Der Naturstoff Menthol

Zuletzt wollen wir in einem abgeschlossenen Beispiel die Erkenntnisse dieses Kapitels anwenden. Das betrachtete Molekül ist kein Zucker. Dennoch haben Sie die Grundlagen, um dieses Beispiel zu verstehen. Der folgende Text soll eine Illustration sein. Im Kapiteltest werden dazu keine Fragen gestellt.

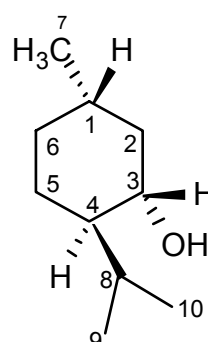
Sympathischer Atem dank Menthol? Der im Pfefferminzöl vorkommende Naturstoff Menthol wird aber nicht nur Bonbons beigefügt. Auch Cigaretten, Körperpflegemittel, Zahnpasten ... enthalten Menthol. Der Weltjahresbedarf liegt bei 3500 Tonnen.

Dabei genügen geringste Mengen um unsern Geruchssinn anzusprechen. Auch kälteempfindliche Nerven werden gereizt. Dies führt zu einem angenehmen Kältegefühl. Die schmerzlindernden und desinfizierenden Eigenschaften wurden schon von unseren Vorfahren geschätzt. Chinesische und japanische Heilpflanzenöle sind weltbekannt.

Der grösste Teil des Menthols wird heute künstlich hergestellt. Dabei entstehen zwei Enantiomere\* :



(-)-Menthol



(+) -Menthol

Die Moleküle unterscheiden sich nur im räumlichen Bau. Beide werden als Menthol bezeichnet. Die linksdrehende Form (negative optische Drehung) wird als (-)-Menthol bezeichnet. Der Vergleich der räumlichen Struktur führt zu folgenden Erkenntnissen (Molekülbaukasten benutzen):

1. Die beiden Moleküle verhalten sich wie Bild- und Spiegelbild, es sind Enantiomere.
2. Drei Kohlenstoffatome sind Chiralitätszentren: C1, C3 und C4. Die beiden Formen unterscheiden sich nur durch die Konfiguration an diesen drei Zentren.

\* Auch hier haben wir der Einfachheit halber die vereinfachte Schreibweise benutzt. Dabei werden nicht alle Wasserstoffatome gezeichnet. Die Kohlenstoffzentren C<sub>2</sub>, C<sub>5</sub> und C<sub>6</sub> haben noch zwei Wasserstoffsubstituenten, sind also CH<sub>2</sub>-Gruppen. Beim C<sub>8</sub> wurde ein H weggelassen und C<sub>9</sub> und C<sub>10</sub> sind CH<sub>3</sub>-Gruppen. Falls Sie sich genauer über diese vereinfachte Molekülschreibweise informieren möchten, können Sie das im folgenden Buch nachlesen: Hans Rudolf Christen, Chemie, Diesterweg/Salle, Sauerländer (12. Auflage 1984) Seite 350.

Bei den Kohlenhydraten wurde ein Kohlenstoffzentrum mit der D/L-Bezeichnung versehen. Die Konfiguration der Zentren C1, C2 und C3 kann auch hier mit einem Buchstaben bezeichnet werden. D und L machen hier aber keinen Sinn, da das Menthol nicht zu den Kohlenhydraten gehört.

Wegen der unterschiedlichen Konfiguration an den genannten Zentren unterscheiden sich auch die Eigenschaften von (+)- und (-)-Menthol. Denn in biologischen Systemen können alle Chiralitätszentren nach dem Schloss-/Schlüssel-Modell durch Enzyme unterschieden werden. Die Auswirkungen sind frappant:

- \* Die Geruchsintensität von (-)-Menthol ist mehr als dreimal so stark wie diejenige von (+)-Menthol.
- \* Das Kälteempfinden ist bei (-)-Menthol zehnmal stärker.
- \* Termiten werden von (-)-Menthol angelockt, der Geruch von (+)-Menthol schreckt sie aber ab. Und dies obwohl (-)-Menthol für einige Arten giftig ist.

Enzyme sollen also für das unterschiedliche Geruchsempfinden verantwortlich sein? Wissenschaftler stellen sich das so vor: Aromastoffe wie Menthol gelangen in gasförmigem Zustand durch das Riechorgan an das Riechzentrum, das sogenannte Riechepithel. In dieser Membran reizen sie die Geruchszellen. Enzyme bauen aber dort die Geruchsmoleküle auch gleich ab, wodurch die Reizwirkung gestoppt wird. Die Enantiomere des Menthol werden als durch Enzyme spezifisch erkannt und unterschiedlich schnell abgebaut. Die Folge ist die unterschiedliche Geruchsintensität.



# Lernkontrolle



## \* Aufgabe 4.5

Die spezifische Drehung von L(-)-Glycerinaldehyd wird als  $\alpha_{D^{20}} = -12 \text{ ml g}^{-1} \text{ dm}^{-1}$  angegeben. Was bedeutet die tiefgestellte Bezeichnung "D"?

## Aufgabe 4.6

Zur Repetition und Vertiefung der verschiedenen Schreibweisen soll die folgende Tabelle ergänzt werden. Sie dürfen dazu den Modellbaukasten benutzen.

Keil-Strich-Form	Fischer-Projektion	D- oder L-Form ?	Name der Verbindung
			Glycerinaldehyd
			Milchsäure
			Milchsäure
			Galactose

## Aufgabe 4.7

Viele natürliche Stoffe werden nicht künstlich hergestellt, sondern direkt aus Bestandteilen von Pflanzen und Tieren gewonnen. 2.5 kg D-Glucose werden von einer Chemikalien-Firma für Fr. 55.- verkauft. Die gleiche Menge L-Glucose würde aber Fr. 262'500.- kosten! Erklären Sie diesen enormen Preisunterschied.

**Aufgabe 4.8**

Was ist ein Enzym? Beschreiben Sie die wichtigsten Merkmale in drei Sätzen.

**Meine Lösungen des 4. Kapitels:**

# Anhang für die Lehrerinnen und Lehrer

Dieser Teil ist nur für die Lehrerinnen und Lehrer bestimmt.

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
Anhang 3: Mediothek für die Schülerinnen und Schüler	A 3
Anhang 4: Experimentier- und anderes Material für die Schülerinnen und Schüler	A 5
Anhang 5: Von den Autorinnen und Autoren benutzte Quellen	A 9
Anhang 6: Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler	A 13
Anhang 7: Verfassernachweis	

---

## Anhang 3

# Mediothek für die Schülerinnen und Schüler

### Kapitel 1

#### Buch 1:

Sempach R., Jacob S., Schär M., Dual-Fleckenstein Ch.  
Bewusst essen. Grundwissen für eine gesunde Ernährung.  
Schweizerische Vereinigung für Ernährung, 2. Auflage 1993.

#### Buch 2:

Souci S.W., Fachmann W.:  
Nährwerttabellen.  
Stuttgart 1989. 4. Auflage 1989/90 (Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft).

### Kapitel 2

#### Buch 3:

Jäckel M., Risch K.T. (Hrsg.):  
Chemie heute. Sekundarbereich II .  
Hannover 1988 (Schroedel Schulbuchverlag GmbH).

#### Video 1:

" Zuckerfabrik Frauenfeld " (VHS-Kassette).

für Fr. 25.- zu beziehen bei:  
Zuckerfabrik Frauenfeld AG  
Öffentlichkeitsarbeit  
Oberwiesenstrasse  
8500 Frauenfeld TG  
Telefon 054 / 21'45'21 Fax 054 / 21'03'20

### Kapitel 3

Keine zusätzlichen Medien erforderlich.

### Kapitel 4

#### Buch 4 :

Christen H. R.:  
Chemie.  
Aarau 1984. 12. Auflage (Diesterweg/Salle, Sauerländer).

#### Buch 5 :

Amann W. et al.:  
Elemente Chemie II . Unterrichtswerk für die Sekundarstufe II .  
Stuttgart 1989 (Ernst Klett Verlag).  
s. auch Anhang 4

---

## Anhang 4

# Experimentier- und anderes Material für die Schülerinnen und Schüler

### Kapitel 1

#### Experiment 1.1

- Pro Zweiergruppe:
- 4 Teelöffel
- Glucose, Fructose, Saccharose  
in Lebensmittelqualität
  
- Keimfähige Gerstenkeimlinge

### Kapitel 2

#### Für alle Experimente

- 1 Molekülbaukasten ( z.B. Molymod) (pro Zweiergruppe)
- 1 Entsorgungsbehälter für
  - Wässrige Metallsalzlösungen
  - Lösungsmittel(für die ganze Klasse)

#### Experiment 2.1

- Pro Zweiergruppe:
- 1 Gasbrenner
- 1 Schachtel Zündhölzer
- 2 Schutzbrillen
- 6 Reagenzgläser
- 1 Reagenzglas-Halter (Holzklammern)
- 1 Reagenzglas-Gestell
- 1 Polystyrollöffel
- Spritzflasche mit Wasser
- Traubenzucker (pulverförmig), Haushaltszucker, Mehl, Kupfersulfat Penta-  
hydrat (ca.100 g), Sägemehl, Watte

#### Experiment 2.2 (pro Zweiergruppe)

- Reagenzglas
- 1 Holzklammer
- 1 Gasbrenner mit Streichhölzern

- 
- Fehling'sche Lösungen  
1:1- Gemisch aus Fehling I und II  
(Fehling I : 3.5 g CuSO<sub>4</sub> in 50 ml entmin. H<sub>2</sub>O;  
Fehling II : 17.5 g Kaliumnatriumtartrat und 5 g Ätznatron in 50 ml entmin. H<sub>2</sub>O)
  - Glucose
  - Spritzflasche mit Wasser

### **Experiment 2.3** (pro Zweiergruppe)

- 6 Reagenzgläser
- Glucose, Fructose, Saccharose in Laborqualität
- Entmineralisiertes Wasser
- Hexan

### **Experiment 2.4** (pro Zweiergruppe)

- 2 Reagenzgläser
- 1 Holzklammer
- 1 Gasbrenner mit Streichhölzern
- 1 Spatel
- 1 Reagenzglasgestell
- Fehling'sche Lösungen
- Saccharose
- Indikatorpapier
- Salzsäure 10%
- Natronlauge 10%

## **Kapitel 3**

- 1 Molekülbaukasten (z.B. Molymod)
- Abfallbehälter für Iodlösungen

### **Experiment 3.1**

- Pro Zweiergruppe
- 1 Kartoffel
- 1 Messer
- 1 Becherglas 250 ml
- 1 Reagenzglas
- 1 Pasteur-Pipette
- 300 ml Jodlösung: 1 g Jod und 2 g Kaliumjodid in 4 ml Wasser auflösen und mit Wasser auf 300 ml auffüllen  
(Kral, Rentzsch, Weissel 1988, 201) (für die ganze Klasse)
- 1 Mikroskop oder Binokular (für die ganze Klasse)

### **Experiment 3.2**

- Pro Zweiergruppe
- Glucose

- 
- Entmineralisiertes Wasser
  - Glasstab
  - Glucose-Testpapier (z.B. Merck oder Boehringer Mannheim)
  - 1 Reagenzglas
  - Brot
  - 1 Teelöffel

## **Kapitel 4**

- 1 Polarimeter (für die ganze Klasse)  
(falls an der Schule kein Polarimeter vorhanden ist, gibt die folgende Literaturstelle eine Anleitung zur Herstellung von Polarisationsfolien sowie weitere Literaturhinweise:  
  
Bukatsch, Krätz, Probeck, Schwankner: So interessant ist Chemie.  
Köln 1987 (Aulis Verlag Deubner & Co. KG) Seiten 166-168 )
- Messkolben (100 ml) und übliche Labormaterialien
- 1 Molekülbaukasten
- 1 zusammengebautes Molekül-Modell D-Xylose für den Kapiteltest zu Kapitel 5 (für die ganze Klasse)
- 10 g D-Glucose (pro Zweiergruppe)

---

## Anhang 5

# Von den Autoren benutzte Quellen

### Anhang 5a Als Grundlage benützte Quellen

#### Einführung Arbeitsanleitung Anhänge sowie Layout

- [0.1] Caprez W. et al.: Leitprogramm Säuren und Basen.  
Winterthur Februar 1991 (ETH Institut für Verhaltenswissenschaft).

#### Kapitel 1

- [1.1] Christen H.R.: Chemie.  
Aarau 1984. 12. Auflage. (Diesterweg/Salle-Sauerländer).
- [1.2] Ebersson/Senning: Organische Chemie II .  
Weinheim 1984 (Verlag Chemie).
- [1.3] Ketz H.-A. (Hrsg.): Grundriss der Ernährungslehre.  
Darmstadt 1990 . 3. Auflage. (Steinkopff).  
[Chemiebibliothek ETH: Gestell 104 G]
- [1.4] Der Organismus.  
Stuttgart 1983 . 2. Auflage. (Ernst Klett Verlag).
- [1.5] Stryer L.: Biochemie.  
Braunschweig 1984. 4. Auflage. (Vieweg).
- [1.6] Zöllner N. /Heuckenkamp P.U.:  
Zucker und Zuckeraustauschstoffe.  
Basel 1975 (Verlag für Medizin und Naturwissenschaften).  
[ETH-Hauptbibliothek: ETH-BIB: 517686]

#### Kapitel 2

- [2.1] Barke H.-D. et al.: Chemie heute. Sekundarbereich I .  
Hannover 1988 (Schroedel Schulbuchverlag).
- [2.2] Caprez W.: Didaktik des Chemieunterrichts WS 90/91.  
Winterthur 1991 (Selbstverlag des Autors).



- 
- [2.3] Christen H. R.: Chemie auf dem Weg in die Zukunft.  
Aarau 1988. 1.Auflage. (Diesterweg, Sauerländer).
- [2.4] Christen H. R.:  
Struktur, Stoff, Reaktion (Organische Chemie, Kurzfassung).  
Aarau 1977. 1.Auflage. (Diesterweg / Sauerländer).
- [2.5] Greb E. et al.: umwelt: chemie.  
Stuttgart 1988. 1.Auflage. (Ernst Klett Verlag).
- [2.6] Kral P. et al.:  
Einfache chemische Experimente für Schule und Ausbildung.  
Stuttgart 1989 (Ernst Klett Verlag).
- [2.7] Christen H.R.: Chemie.  
Frankfurt am Main / Aarau 1984. 12. Auflage.  
(Diesterweg/Sauerländer).
- [2.8] Jäckel M. , Risch K.T. (Hrsg.): Chemie heute. Sekundarbereich I .  
Hannover 1988 (Schroedel Schulbuchverlag).
- [2.9] Jäckel M. , Risch K.T. (Hrsg.): Chemie heute. Sekundarbereich II .  
Hannover 1988 (Schroedel Schulbuchverlag).
- [2.10] Kappeler H., Koch H.: Chemische Experimente zur organischen  
Chemie und zum Umweltschutz.  
Frankfurt am Main 1981 (Diesterweg/Sauerländer).
- [2.11] Meyendorf G.: Einfache chemische Schülerexperimente.  
Thun / Frankfurt am Main 1985 (Verlag Harri Deutsch).

### **Kapitel 3**

- [3.1] Amann W., Eisner W., Gietz P., Maier J., Schierle W., Stein R.:  
Elemente Chemie II. Unterrichtswerk für die Sekundarstufe II .  
Stuttgart 1989 (Ernst Klett Verlag).
- [3.2] Christen H. R.: Chemie.  
Aarau 1984. 11. Auflage. (Diesterweg/Salle, Sauerländer).
- [3.3] Dickerson R. E. , Geis I. :  
Chemie - eine lebendige und anschauliche Einführung.  
Weinheim 1986 (VCH Verlagsgesellschaft).
- [3.4] Jäckel M. , Risch K. T. (Hrsg.): Chemie heute. Sekundarbereich II.  
Hannover 1988 (Schroedel Schulbuchverlag).
- [3.5] Kennedy J.F., White C.A.: Bioactive Carbohydrates.  
Chichester 1983 (Ellis Horwood).

---

[3.6] Kral P., Rentzsch W., Weissel H.:  
Einfache chemische Experimente für Schule und Ausbildung.  
Stuttgart 1989 (Ernst Klett Verlag).

[3.7] Löffler G., Petrides P. E.: Physiologische Chemie.  
Berlin 1988 (Springer).

## **Kapitel 4**

[4.1] Morrison R.T., Boyd R.N.:  
Lehrbuch der organischen Chemie. 2. Auflage.  
Weinheim 1986 p. 1159 (VCH Verlagsgesellschaft).

[4.2] Petrowitz H.J.:  
Zur Wirkung der optischen Antipoden des Menthols auf  
Termitenarten.  
In: Naturwissenschaften. **67** (1980) 43-44.  
Berlin / Heidelberg / New York (Springer Verlag).

[4.3] Unbekannter Autor: Neues vom Riechen.  
In: Chemie in unserer Zeit. 25. Jg. Nr.3 (1991) 125-126.  
Weinheim (VCH Verlagsgesellschaft).

## **Anhang 5b Zitierte Quellen**

### **Kapitel 4**

[4.7] Löffler G., Petrides P. E.: Physiologische Chemie.  
Berlin 1988 (Springer).  
(zitiert p. 688 auf Seite 56)

---

## Anhang 6

# Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler

## Grundlagen Chemie

### Theorie

- Begriffe :  
Element, Verbindung, Molekül, Säure-Base, Indikatoren, Wasserlöslichkeit, chemischer Nachweis.
- Grundkenntnisse der Organischen Chemie, insbesondere Strukturformeln
- Bindungslehre: Kovalente Bindungen und Bindungsenergie
- Strich- und Summenformeln, eventuell Keil/Strich-Formeln

### Praxis

- Arbeiten im Chemie-Labor  
(Minimale Laborpraxis und Kenntnis der wichtigsten Geräte und Hilfsmittel insbesondere Umgang mit dem Gasbrenner).

## Grundlagen Biologie

### Theorie

- Osmotischer Druck
- Photosynthese
- Begriffe:  
(DNA-)Helix, Zelle, Zellatmung, Enzym

---

## Anhang 7

# Verfassernachweis

An der 1. bis 3. Fassung dieses Leitprogramms haben mitgearbeitet:

Ulrich Brandenberger Margot Mütsch-Eckner Walter Caprez	Einführung, Arbeitsanleitung, Anhänge. Textredaktion, Überarbeitung der graphischen Darstellungen sowie Layout der gesamten Arbeit.
Kadir Ordu	Kapitel 1 Kohlenhydrate – eine Gruppe von süssen Zwergen und faden Riesen
Yves Rohner Beate Haaser Corinne Stupp-Lysek	Kapitel 2 Den Kohlenhydraten auf der Spur
Daniel Nanz & Nadia Zanetti	Kapitel 3 Salate oder Spaghetti zum Abnehmen?
Markus Lerchi & Lukas Meier  sowie Lil Caprez	Kapitel 4 Der räumliche Bau der Moleküle bestimmt unser Leben  als Grafikerin der Leitzeichen

... und nicht zuletzt alle hier namentlich nicht Genannten, die uns sonst noch mit Rat, Tat und Kritik angeregt und unterstützt haben.

Es sei Ihnen an dieser Stelle herzlich gedankt!