

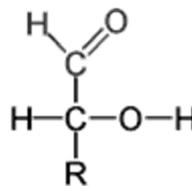
## 19. Kohlenhydrate

### 19.1. Monosaccharide

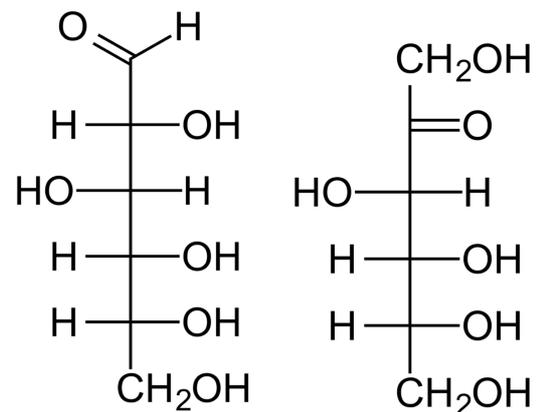
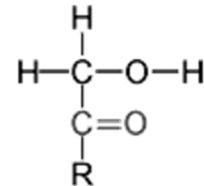
Es gibt zwei Grundtypen von Monosacchariden: die **Aldosen** und die **Ketosen**. Die ersteren besitzen am ersten C-Atom eine Aldehydgruppe, die anderen eine Keto-Gruppe am zweiten C.

Ein Beispiel für eine Aldose ist die Glucose (Traubenzucker), für eine Ketose die Fructose (Fruchtzucker).

#### Aldosen



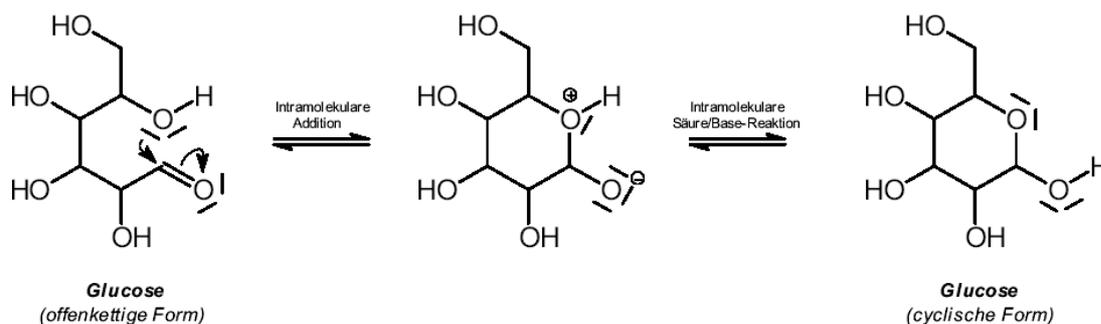
#### Ketosen



D-Glucose

D-Fructose

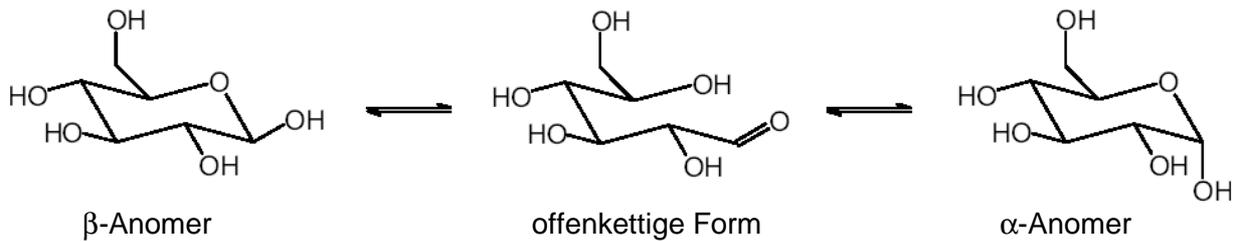
#### 19.1.1. Die offenkettige und die cyclische Form von Glucose



#### Aufgabe mit dem Modellbaukasten:

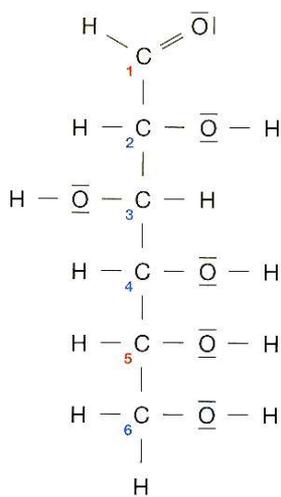
1. Bauen Sie ein offenkettiges Glucose-Molekül.
2. Überführen Sie es in ein cyclisches Glucose-Molekül und bestimmen Sie, um welches Anomer (siehe nächste Seite) es sich handelt. Zeichnen Sie es hier:
3. Wandeln Sie das gebaute Molekül nun in das andere Anomere um. Vergleichen Sie es nun mit denen ihrer Nachbarn.

### 19.1.2. $\alpha$ - und $\beta$ -Anomere der Glucose

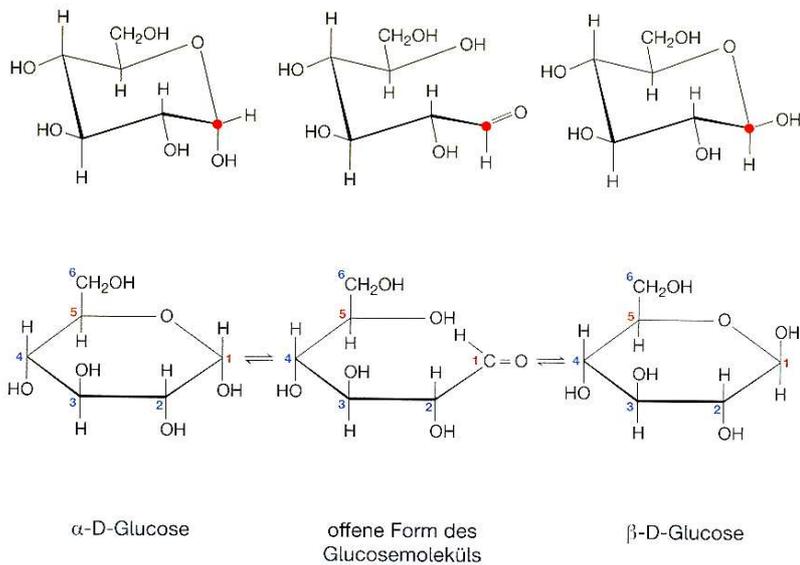


**Merkregel: Beim  $\alpha$  beginnt der Strich beim Schreiben nach unten, beim  $\beta$  nach oben.**

### 19.1.3. Glucose: verschiedene Darstellungsarten



Fischerprojektion



Sesselform (oben), Haworth-Projektion (unten)

**Aufgabe:** Betrachten und vergleichen Sie die drei verschiedenen Darstellungsarten. Beachten Sie, dass sich die Fischerprojektion auf die offenkettige Form bezieht. Versuchen Sie nun, daraus die Regeln für die Fischerprojektion abzuleiten.

**Regeln für die Fischerprojektion:**

- 1.
- 2.
- 3.

**Aufgabe:** Betrachten Sie den Stammbaum der Aldosen. Alle aufgeführten Zucker haben ein vorgestelltes „D“, z.B. D-Glucose. Das ist kein Zufall, denn in der Natur kommen (fast) nur D-Zucker vor. Selbstverständlich kann man die L-Zucker jedoch synthetisch herstellen.

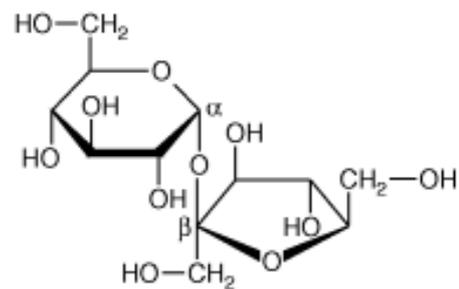
a.) Was bezeichnet „D“?

b.) Zeichnen Sie die Fischerprojektion von L-Glucose:

## 19.2. Disaccharide

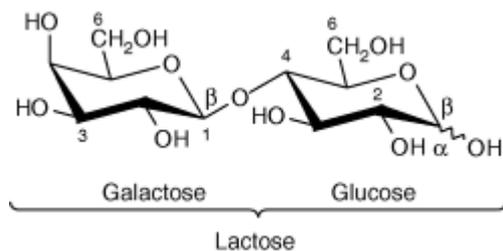
Entstehung:

### 19.2.1. Saccharose



**Aufgabe:** Saccharose wird aus den Monosacchariden Fructose und Glucose gebildet. Identifizieren Sie die beiden in der obigen Darstellung. Wenn nötig nutzen Sie Wikipedia.

### 19.2.2. Lactose (Milchzucker)



Lactase-Insuffizienz: ein häufiger Grund von Darmstörungen und Blähungen

Grund:

### 19.2.3. Übungsaufgaben zu den Kohlenhydraten

Lactose wird durch Kondensation von je einem Galactose- und einem Glucose-Molekül gebildet und bei der Verdauung auch wieder in diese Monosaccharide gespalten.

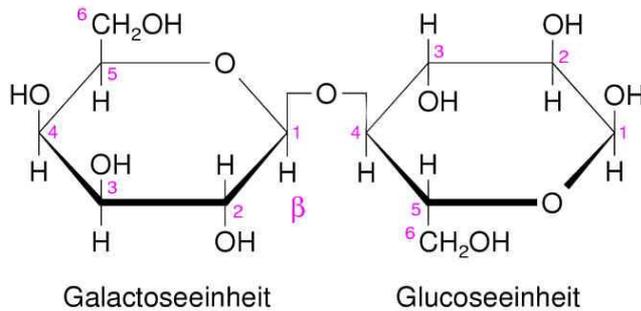


Abb.: Lactose (Milchzucker) in der Haworth-Projektion

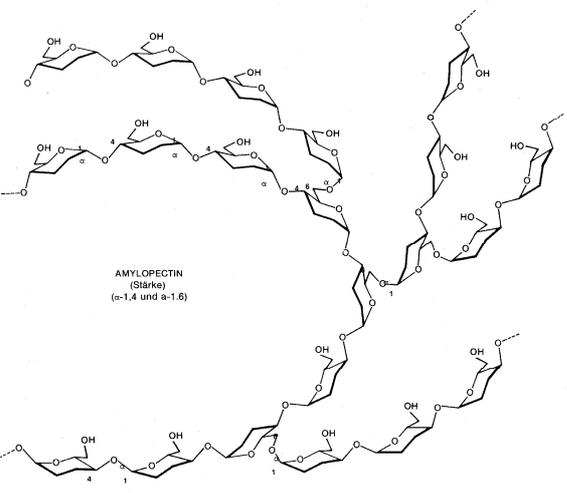
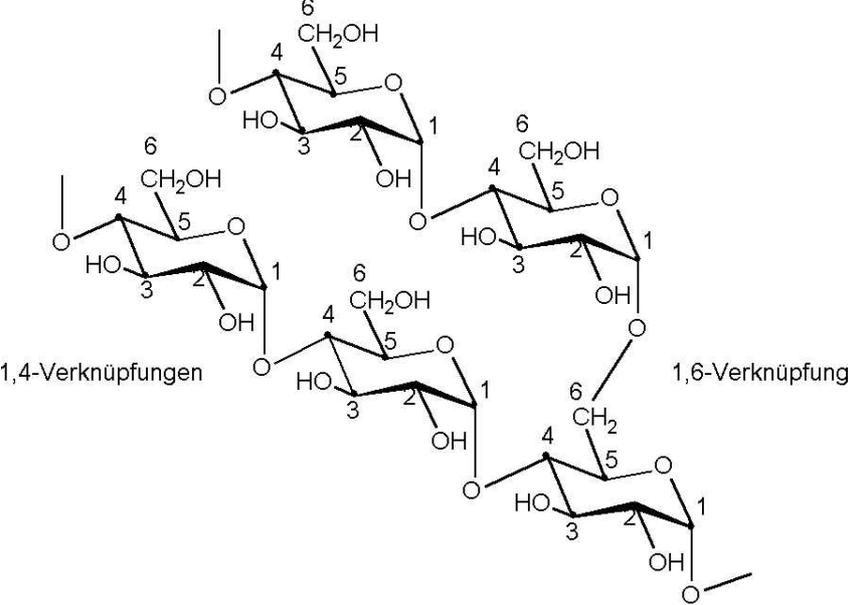
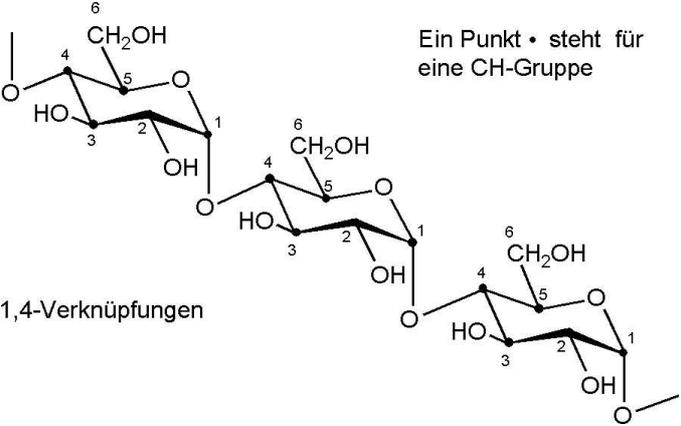
1. Zeichnen Sie ein einzelnes, offenkettiges Galactose-Molekül, aber ebenfalls in der Haworth-Projektion, wie oben dargestellt. Dazu müssen Sie das bei der Kondensation abgespaltene Wasser wieder hinzufügen.

Zeichnen Sie es hier:

2. Notieren Sie nun die Fischerprojektion der offenkettigen Galactose. Nummerieren Sie alle C-Atome wie oben in der Zeichnung!

# 19.3. Polysaccharide

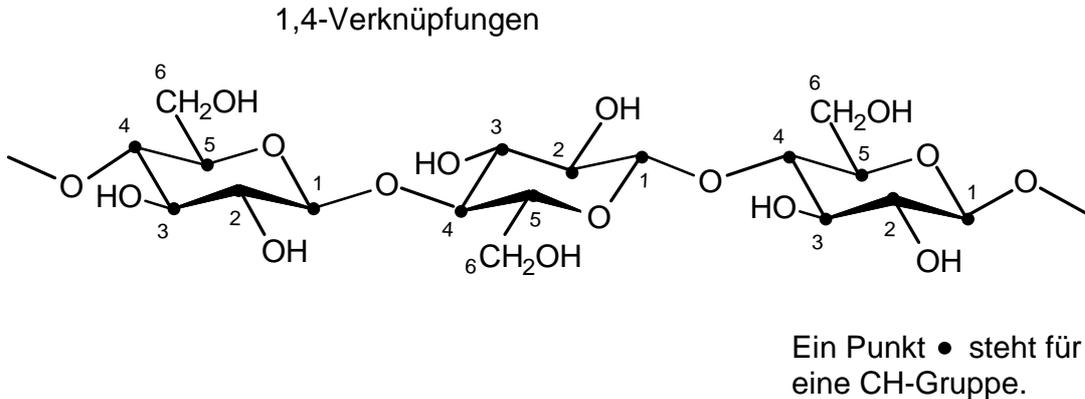
## 19.3.1. Stärke



### 19.3.2. Cellulose

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.

Cellulose besteht aus langen, unverzweigten Kettenmolekülen. Diese Ketten können bis zu 10'000 Glucose-Einheiten 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.

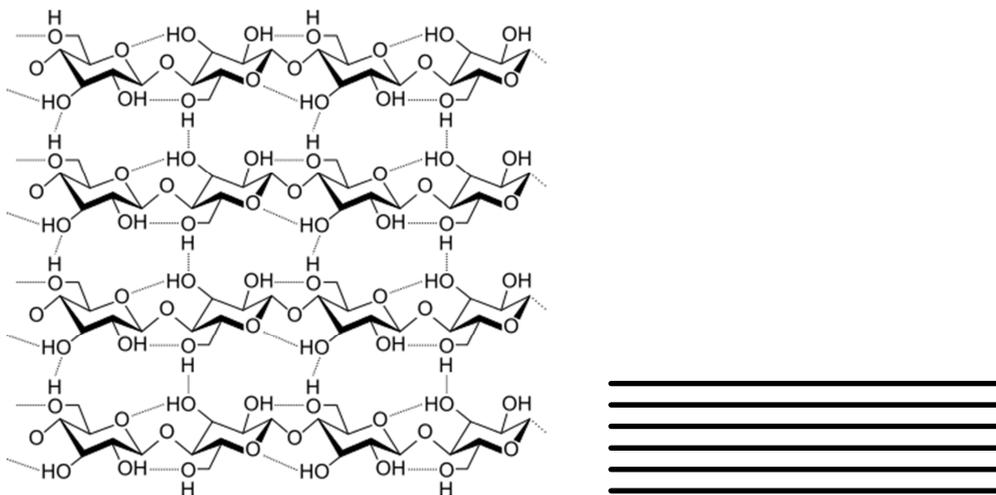


Abb. Cellulose: Strukturausschnitt (links), schematische Darstellung (rechts).

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!

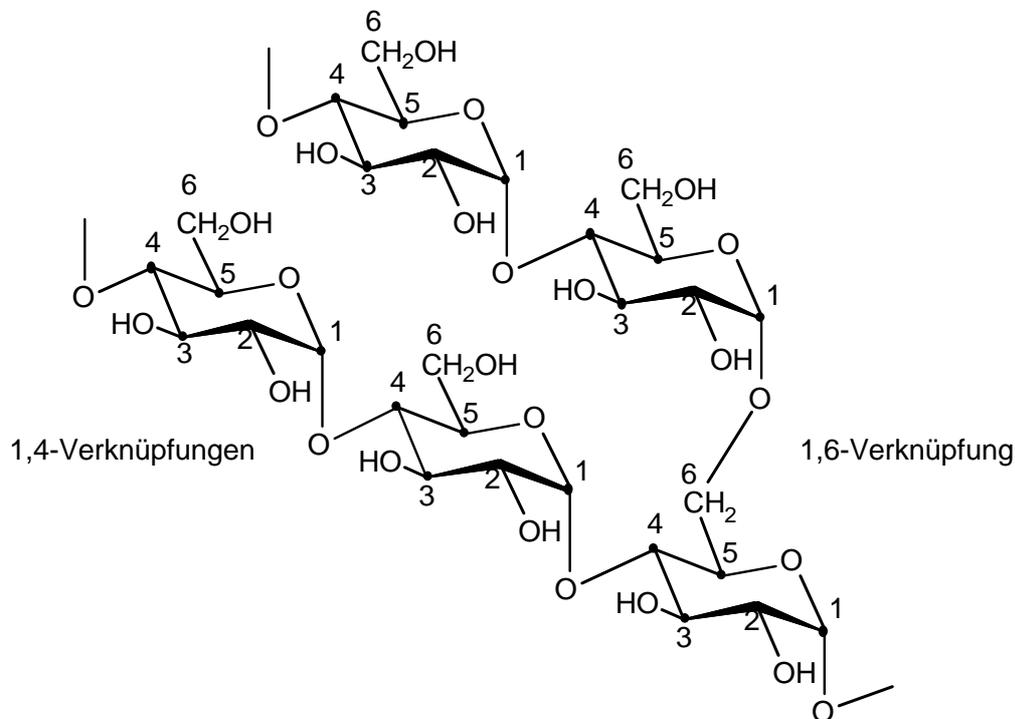
Viele Bakterien können Cellulose jedoch abbauen. Diesen Sachverhalt machen sich die Wiederkäuer zu Nutze! Im ersten Magen einer Kuh (sie hat vier Mägen!) gibt es regelrechte Bakterienkulturen. Diese verdauen die Cellulose für die Kuh.

### 19.3.3. Glycogen – Der Stärke-Speicher des Menschen

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.

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

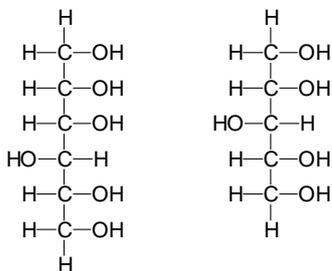
## 19.4. Süßungsmittel

Natürliche Zucker wie Saccharose und Glucose haben einige Nachteile, die man durch deren Ersatz in Lebensmitteln zu umgehen versucht. Dabei stehen zwei Klassen von chemischen Verbindungen zur Verfügung: „Zuckeraustauschstoffe“ und „Süsstoffe“.

### 19.4.1. Was sind Zuckeraustauschstoffe?

Zuckeraustauschstoffe sind ebenfalls Kohlenhydrate. Sie gelten aber nicht als Zucker, da sie keine Keto-Gruppe besitzen. Man bezeichnet sie deshalb als Zuckeralkohole (Polyole).

Bei zahnschonenden Produkten kommen heutzutage vor allem Zuckeraustauschstoffe, oft in Kombination mit Süsstoffen, zum Einsatz.



Sorbit

Xylit

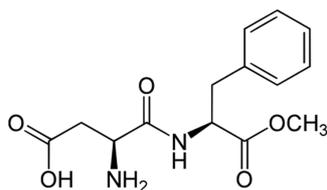
In der Schweiz kennen wir hauptsächlich die Zuckeraustauschstoffe Sorbit, Mannit, Xylit, Maltit, Isomalt und Lactit. Der Kaloriengehalt ist meist etwas geringer als der von Zucker. Der Verzehr grösserer Mengen kann allerdings zu Blähungen und Durchfall führen.



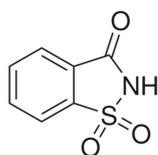
### 19.4.2. Was sind Süsstoffe?

Süsstoffe sind **chemische Verbindungen ausserhalb der Gruppe der Kohlenhydrate**, die eine wesentlich höhere Süßkraft als Zucker aufweisen, jedoch keinen oder nur einen sehr geringen Nährwert (Kalorien) besitzen, da sie vom Körper ohne Veränderung oder Verwertung wieder ausgeschieden werden. Derzeit sind in der Schweiz folgende Süsstoffe zugelassen, von denen aber nur Aspartam, Acesulfam-K, Saccharin und Cyclamat als Tafelsüsstoffe verwendet werden:

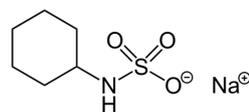
Acesulfam-K	(E 950)
Aspartam	(E 951)
Cyclamat	(E 952)
Saccharin	(E 954)
Neohesperidin DC	(E 959)
Thaumatococin	(E 957)
Sucralose	(E 995)



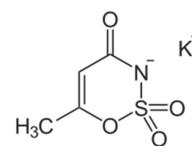
Aspartam



Saccharin



Cyclamat



Acesulfam-K

**Aspartam** besteht aus der Kombination der beiden natürlichen Aminosäuren L-Asparaginsäure und L-Phenylalanin und wird als Protein vom Körper aufgenommen und abgebaut. Ein Gramm Aspartam enthält 4 Kalorien. Da Aspartam aber etwa 200mal süßer ist als die entsprechende Menge Zucker, fallen diese Kalorien nicht ins Gewicht. Aspartam ist somit praktisch kalorienfrei.

#### 19.4.3. Welche Stoffe sind wo enthalten?

Assugrin Gold:	Aspartam
Assugrin Classic:	Cyclamat/Saccharin
Coca Cola Zero:	Cyclamat/Aspartam/Acesulfam-K
sehr häufige Kombination:	Aspartam/Acesulfam-K

#### Aufgaben:

1. Es gibt im Wesentlichen 3 Gründe Süß- oder Zuckeraustauschstoffe zu verwenden. Nennen Sie diese.
2. Wie unterscheiden sich Süß- von Zuckeraustauschstoffen? Zählen Sie jeweilige Vor- u. Nachteile auf.
3. Eine häufige erbliche Stoffwechselkrankheit ist die Phenylketonurie. Betroffene dürfen nur geringe Mengen an Phenylalanin aufnehmen. Warum ist das hier relevant?
4. Gibt es gesundheitliche Bedenken betreffend Süß- und Zuckeraustauschstoffen?
5. Markieren Sie in der nachfolgenden Tabelle in welche der drei Kategorien A, B oder C (siehe dort) das Süßungsmittel fällt.

#### 19.4.4. Einige Daten ausgewählter Süßungsmittel

<b>Süßungsmittel:</b>	<b>Relative Süßkraft</b>	<b>Brennwert pro 100 g</b>	<b>Empfohlene Tages-Höchstdosis</b>
<i>Saccharose</i>	1	1'700 kJ	25 g <sup>1)</sup>
<i>Glucose</i>	0.5	1'700 kJ	60 g
<i>Maltose</i>	0.4	1'700 kJ	60 g
<i>Lactose</i>	0.3	1'700 kJ	20 g
<i>Fructose</i>	0.8 - 1.2	1'700 kJ	30 - 60 g
<i>Sorbit</i>	0.5	1'700 kJ	30 - 60 g
<i>Xylit</i>	1.1	1'700 kJ	30 - 50 g
<i>Mannit</i>	0.6	1'700 kJ	unbekannt
<i>Maltit</i>	0.8	1'000 kJ	unbekannt
<i>Isomalt</i>	0.5	850 kJ	unbekannt
<i>Saccharin</i>	450	0 kJ	0.18 g
<i>Cyclamat</i>	35	0 kJ	0.77 g
<i>Aspartam</i>	140	1'700 kJ	2.8 g
<i>Acesulfam-K</i>	200	0 kJ	0.6 g

Kategorie A: natürlicher Zucker

Kategorie B: Zuckeraustauschstoff

Kategorie C: Süßstoff

<sup>1)</sup> Bis 2015 galt nach WHO noch der Wert 60g pro Tag