

Deze nota's zijn ook beschikbaar in lettertype Minion Pro. Lettertype Verdana zou leesbaarheid verbeteren.

De leerling kiest vrij welke opmaak hij of zij verkiest.

Hoofdstuk2: stof en energiewisseling .....	2
1. Celmetabolisme .....	2
2. Anorganische stoffen .....	2
2.1. Water .....	2
2.2. Mineralen .....	3
3. Organische moleculen .....	4
3.1. Sachariden .....	4
3.1.1. Monosachariden .....	4
3.1.2. Disachariden .....	6
3.1.3. Polysachariden .....	7
3.2. Lipiden .....	9
3.2.1. Complexe of hydrolyseerbare lipiden .....	9
3.2.2. Eenvoudige of niet-hydrolyseerbare lipiden .....	10
3.3. Eiwitten – enzymen .....	11
3.3.1. Amino-zuren .....	11
3.3.2. Primaire, secundaire, tertiaire en quaternaire structuur van eiwitten .....	12
4. Energie-omzettingen in de cel .....	17
5. Celmetabolisme .....	20
5.1. Productie van energierijke verbindingen .....	20
5.1.1. Fotosynthese .....	20
5.2. Vrijmaken van energie uit energierijke verbindingen .....	22
5.2.1. Aërobe ademhaling .....	23
5.2.2. Anaërobe ademhaling .....	24

LEERPLANDOELSTELLINGEN LEERPLAN 2014-006		LEERINHOUDEN
De leerlingen kunnen		
B2	5 de biochemische structuur van belangrijke biologische moleculen herkennen en beschrijven en enkele voorbeelden van biomoleculen geven.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biomoleculen als C-H verbindingen, in ketens, ringen, macromoleculen, polymeren,</li> <li>Sachariden (mono-, di- en polysacchariden), lipiden (triglyceriden en fosfolipiden, verzadigde en onverzadigde), proteïnen (aminozuren, polypeptiden, van primaire tot quaternaire structuur).</li> <li>Voorbeelden van sachariden, lipiden, proteïnen</li> </ul>
B2	6 aantonen wat het belang is van water, mineralen, sachariden, lipiden en proteïnen voor het metabolisme van de cel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Begrippen celmetabolisme, katabolisme(dissimilatie), anabolisme(assimilatie) en hun onderlinge samenhang</li> <li>Voorbeelden geven van anabole en katabole celprocessen</li> <li>Belang van eiwitten als enzym en bij transportprocessen in het celmembraan</li> </ul>
B2 W 1-5	7 experimenteel vaststellen dat de werking van een enzym afhankelijk is van fysische en chemische factoren.	Leerlingenpracticum
B1,2	8 schematisch uitleggen hoe cellen van autotrofe organismen zelf glucose (energierijke organische moleculen) kunnen opbouwen uitgaande van een externe energiebron en energiearme moleculen.	Fotosynthese in de chloroplast, licht- en donkerreactie, correcte chemische reactie ATP
B1,2	9 schematisch uitleggen hoe in elke cel energie bekomen wordt door stapsgewijze oxidatie van glucose.	Respiratie (celademhaling) in de mitochondriën Fermentatie ATP

## Hoofdstuk2: stof en energiewisseling

---

### 1. Celmetabolisme

Elke levende cel heeft energie nodig, om welbepaalde levensprocessen uit te voeren (bewegen, transport organellen, transport van sommige moleculen, warmte te genereren, etc...). De energie wordt meestal bekomen door bepaalde energierijke moleculen af te breken. Het geheel van dergelijke afbraakreacties wordt het **katabolisme** genoemd. Anderzijds moeten cellen groeien, defecte onderdelen vervangen, etc... Hiervoor moeten grotere moleculen worden opgebouwd. Het geheel van alle opbouwreacties noemen we het **anabolisme**. Anabolisme en katabolisme samen worden het **metabolisme** genoemd. We komen later terug op enkele voorbeelden van anabole en katabole reacties.

De stoffen aanwezig in een cel, kunnen ingedeeld worden in anorganisch en organische stoffen. De belangrijkste anorganische stoffen zijn **water** en **mineralen**. **Sachariden, lipiden, proteïnen** en **nucleïnezuren** zijn de belangrijkste organische bestanddelen van een cel.

### 2. Anorganische stoffen

#### 2.1. Water

Water vervult een zeer belangrijke rol binnen een organisme:

- het is een oplosmiddel van talrijke stoffen (ionen, moleculen, etc...)
- het is een transportmiddel van veel stoffen (zoals CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>)
- het is een reagens bij talrijke reacties (hydrolyse, fotosynthese)
- het is belangrijk voor temperatuurregeling
- het zorgt voor stevigheid bij planten
- het is een milieu waar zeer veel reacties in plaatsgrijpen

Het watergehalte wordt bepaald door het verschil te nemen tussen versgewicht en drooggewicht (na drogen in droogstoof bij 105°C). De hoeveelheid aan water varieert met de soort, leeftijd, leefomgeving, orgaan, het gehalte aan lipiden. Gemiddeld gezien bevatten planten meer water dan dieren (75% <-> 65%). Water in een organisme kan ingedeeld worden in intercellulair water (ca. 25%) en intracellulair water (ca.75%), respectievelijk het water dat zich tussen de cellen en binnen de cellen bevindt...

## 2.2. Mineralen

Mineralen zijn **elementen** die een levensbelangrijke functie in de stofwisseling uitvoeren.

De elementen C, H, O, N, S, P, K, Ca, Fe, Mn, Zn, Mo, Cu vormen samen 99,9% van de massa van een organisme. C, H, O en N worden niet als mineraal aanschouwd, mits ze vooral voorkomen in organische verbindingen. Afhankelijk van de bron wordt S niet als mineraal beschouwd of als macro-element. Mineralen worden meestal opgenomen onder de vorm van anorganische ionen (die in zouten voorkomen) zoals nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfaat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), fosfaat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ),  $\text{Ca}^{2+}$ , NaCl. Op basis van de hoeveelheid die we dagelijks moeten innemen, onderscheiden we **micro-** (<100mg/dag) en **macro-** (>100mg/dag).

Macro-elementen:

Ca / P / Mg / Na / Cl / K :

Micro-elementen (of spoorelementen):

Fe / Zn / Cu / Se / I / Mn / Mo / Cr / F / Co / Si:

### 3. Organische moleculen

Organische verbindingen bevatten altijd de elementen C, H en O. Het gehalte aan organische stof kan bepaald worden door de droge massa te verhitten. Organische verbindingen verbranden dan tot gasvormige bestanddelen zoals CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>. Het verschil tussen het drooggewicht en het asgewicht levert dus de hoeveelheid organische bestanddelen op.

#### 3.1. Sachariden

Sachariden zijn opgebouwd uit de elementen C, H en O. Het is moeilijk een sluitende definitie van sachariden te geven. Het zijn echter alle *organische polyhydroxyverbindingen die 1 of meerdere aldehyde (C-H=O) of keto(=CO)functies bevatten of leveren bij hydrolyse*. We onderscheiden monosachariden, disachariden en polysachariden.

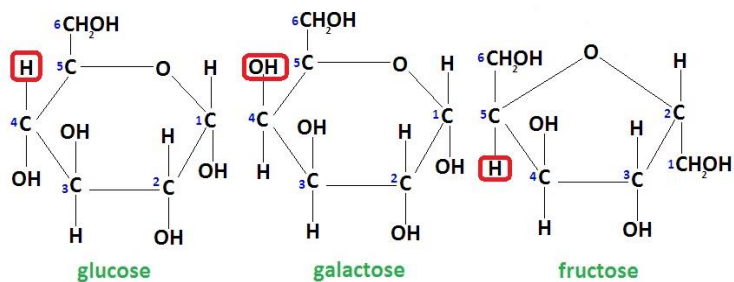
Het zijn vooral planten die monosachariden aanmaken met behulp van licht (fotosynthese!).

##### 3.1.1. Monosachariden

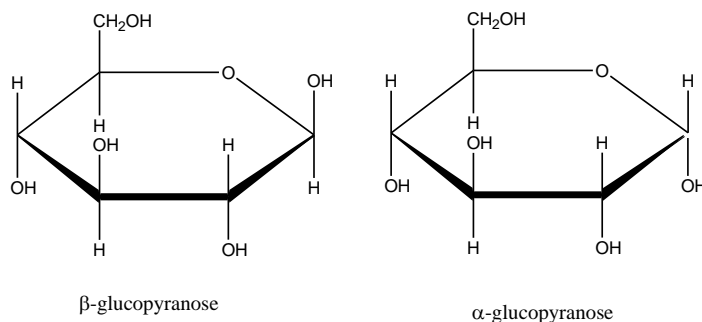
Monosachariden zijn de enkelvoudige suikers en hebben een formule C<sub>m</sub>H<sub>2n</sub>O<sub>n</sub>. Meestal zijn het **pentosen** (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>) of **hexosen** (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), **tetrosen** en **heptosen** zijn zeldzaam.

Ribose en desoxyribose zijn pentosen en belangrijke bouwstenen van DNA en RNA.

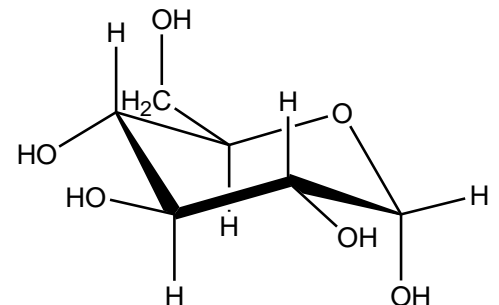
Glucose, fructose en galactose zijn bekende hexosen. Al deze moleculen komen meestal (99%) voor als een gesloten ringstructuur. Glucose en galactose vormen vooral zesringen (glucopyranose, galactopyranose), fructose komt vooral voor onder de vorm van een vijfkring (fructofuranose).



De stand van de groepen (boven of onder) is bepalend voor het soort suiker. Alleen de positie van de H op C1 bij zesringen of C2 bij de vijftringen kan wisselen. Staat deze boven dan hebben we de  $\alpha$ -vorm, onder dan de  $\beta$ -vorm.

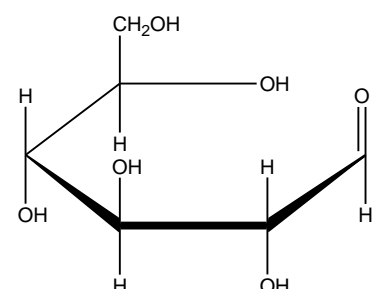


In werkelijkheid is de ring nog wat gevouwen (door  $sp^3$  hybridisatie, met hoeken van ca.  $120^\circ$ )



Deze ring kan zich terug openen tot een 'lineaire' structuur met een aldehydefunctie op het eerste koolstofatoom. De pyranose-vorm overheerst echter: 99% van de moleculen bevindt zich in deze vorm

Hoewel alle OH-groepen er eender uitzien, zijn ze chemisch verschillend. De OH groep op de  $C_1$  die na



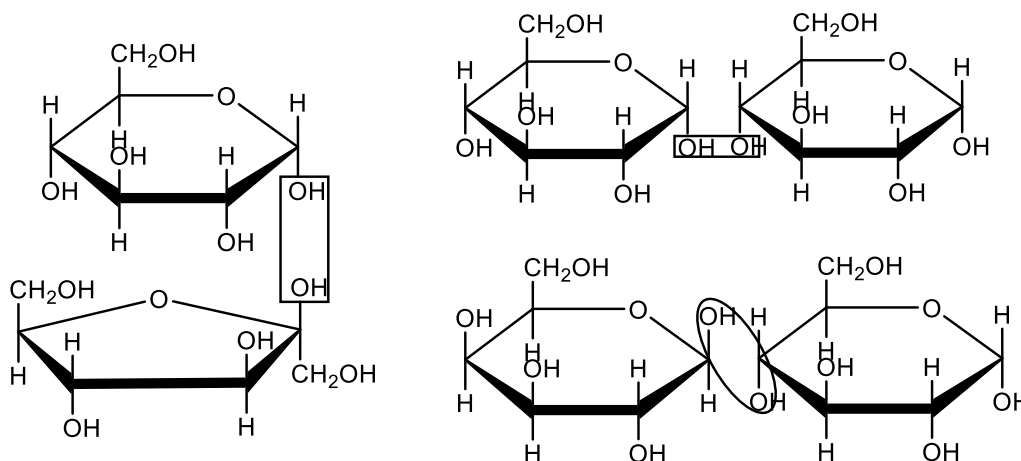
ringsluiting ontstaat, heeft een reducerende werking<sup>1</sup>, men spreekt van een glucosidische OH-groep. De andere OH-groepen zijn alcoholische OH groepen.

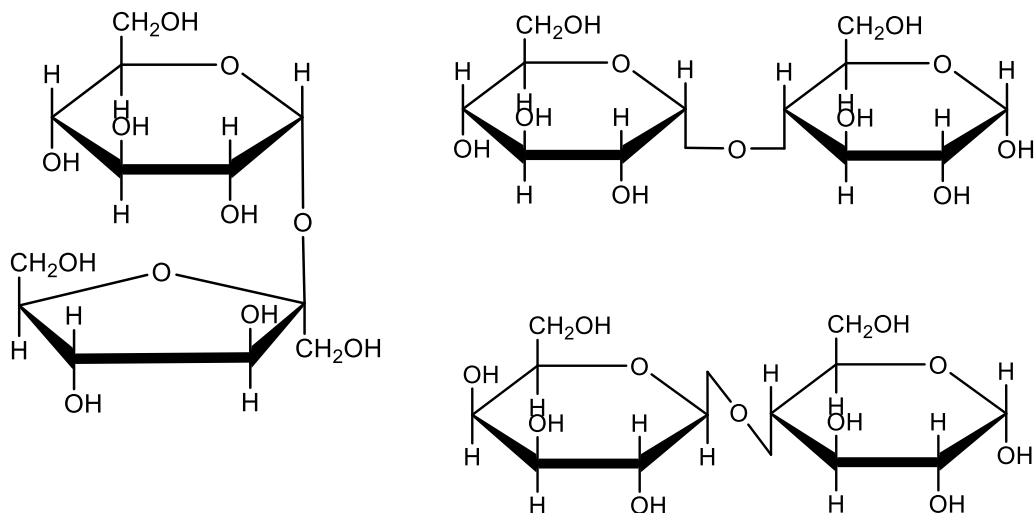
### 3.1.2. Disachariden

Disachariden ontstaan door condensatie van 2 monosachariden met afsplitsing van een watermolecule:  $-OH + HO- \rightarrow H_2O + -O-$ . Bij toevoeging van water ontstaan er opnieuw twee monosachariden.

De in de natuur voorkomende disachariden zijn:

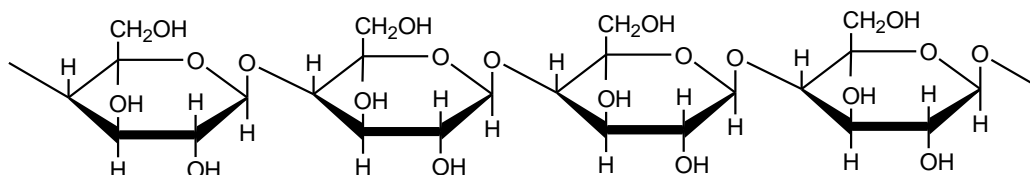
- sacharose: opgebouwd uit een zesring ( $\alpha$ -glucopyranose) en een vijfring ( $\beta$ -fructofuranose)
- maltose: opgebouwd uit twee glucosemoleculen (2x  $\alpha$ -glucopyranose)
- lactose: opgebouwd uit een molecule  $\beta$ -galactopyranose en  $\alpha$ -glucopyranose





### 3.1.3. Polysacchariden

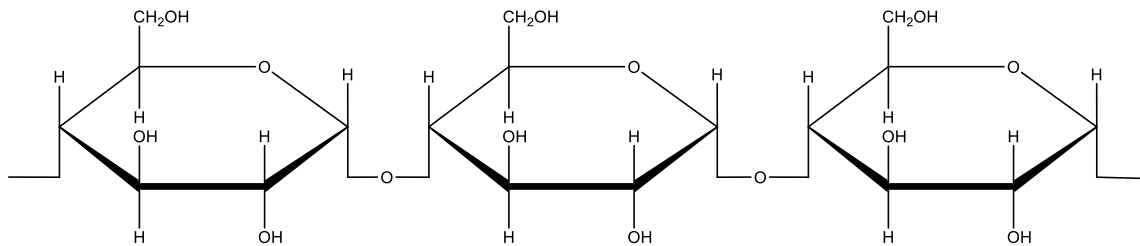
Polysacchariden ontstaan door condensatie van ca. 100 monosachariden. Hierbij worden  $n-1$  watermoleculen afgesplitst (bij vorming van een disacharide wordt 1  $H_2O$  afgesplitst, bij condensatie van 3 monosachariden 2  $H_2O$  moleculen, bij condensatie van  $n$  monosachariden  $n-1$   $H_2O$  moleculen).



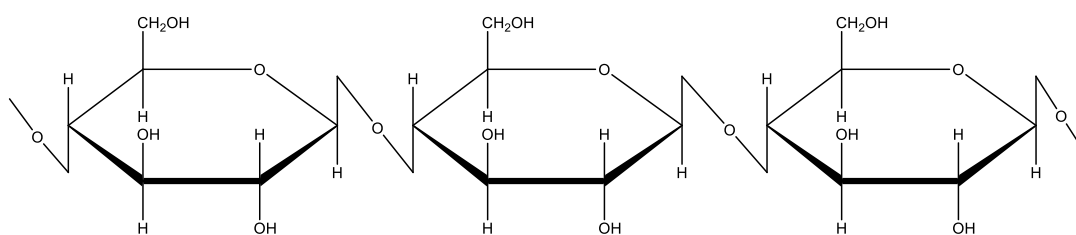
Voorbeelden:

- zetmeel: is opgebouwd uit  $\alpha$ -glucopyranose-eenheden die verbonden zijn door een  $\alpha(1-4)$ binding (afsplitsing van water tussen de OH op C1 en C4 van een andere molecule). We vinden ze vooral in knollen en bollen van planten en bestaat voor 20% uit amylose (onvertakt; 100-1000 glucose-eenheden) en 80% amylopectine (vertakt; 1000-1000000 glucose eenheden; beter oplosbaar, vertakkingen door middel van  $\alpha$  (1-6- binding))





- glycogeen: 'dierlijk zetmeel', cfr amylopectine maar vertakkingen korter, komt voor in de lever en spieren van dieren
- cellulose: is opgebouwd uit  $\beta$ -glucopyranose-eenheden die



verbonden zijn door een  $\beta(1-4)$  binding (waterafplitsing tussen de OH op C1 en C4 van een andere molecule).

Zoogdieren zijn niet in staat om een  $\beta(1-4)$  te splitsen. Net daarom kunnen zoogdieren zetmeel wel, maar cellulose niet, verteren.

Sachariden spelen een belangrijke rol in het lichaam als

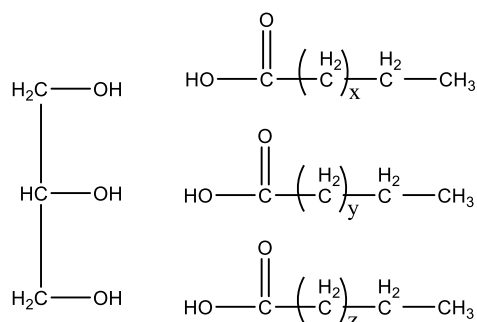
- brandstof: de merendeel van de energie voor een cel wordt gehaald uit de oxidatie (verbranding) van glucose (bij 1g komt ongeveer 17kJ vrij);
- reservestof (zetmeel bij planten + glycogeen bij dieren);
- stevigheid (bouwstof) bij planten (cellulose!);
- bescherming: polysachariden gebonden op eiwitten (glycoproteïnen) en lipiden (glycolipiden) vormen de glycocalix (zie eerder).

## 3.2. Lipiden

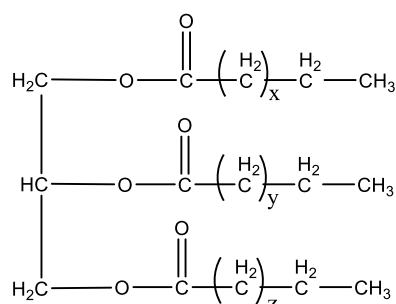
Lipiden worden ingedeeld in de complexe of hydrolyseerbare lipiden enerzijds, en de eenvoudige of niet-hydrolyseerbare anderzijds.

### 3.2.1. Complexe of hydrolyseerbare lipiden

Deze lipiden zijn esters van glycerol en vetzuren (onvertakte organische zuren met veel C). Lipiden zijn mengsels van triësters, of beter triacylglycerolen (glycerol waar H van de OH-groep vervangen is door C=O-



R). De R ketens kunnen verzadigd of onverzadigd zijn, en bevatten meestal een even aantal C-atomen. Vermits de configuratie rond een dubbele binding steeds een cis-configuratie betreft, vertonen die ketens een knik (van ca. 30°). De dispersiekrachten tussen de moleculen zijn



dan minder efficiënt, waardoor het lipide een lager smeltpunt heeft. Lipiden van dierlijke afkomst hebben altijd verzadigde vetzuren, bij kamertemperatuur zijn ze vast, oliën hebben een of meerdere vetzuren onverzadigd, en zijn bijgevolg bij kamertemperatuur vloeibaar.

Onverzadigde ketens kunnen verzadigd worden door additie van H<sub>2</sub> (hydrogenering). Hierop berust het harden van plantaardige oliën ten behoeve van de productie van margarine. Er is immers aangetoond dat er een correlatie bestaat tussen opname van verzadigde vetzuren en hart en vaatziekten. Plantaardige lipiden zijn dus 'gezonder' dan dierlijke, en zouden boven dierlijke verkozen moeten worden. Door het hydrogeneren wordt echter een deel van het gezonde effect teniet gedaan.

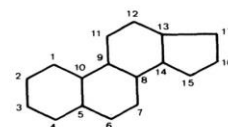
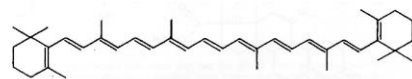
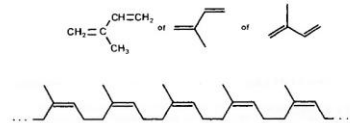
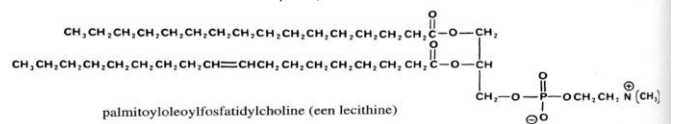
Ook de fosfolipiden (zie eerder, glycerol, fosforzuur en aminoalcohol) behoren tot de complexe of hydrolyseerbare lipiden.

### 3.2.2. Eenvoudige of niet-hydrolyseerbare lipiden

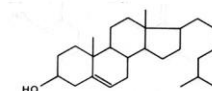
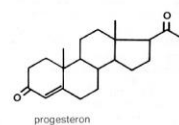
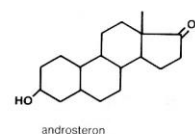
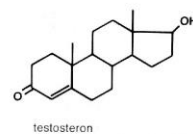
De belangrijkste eenvoudige lipiden zijn de terpenen en steroïden.

Terpenen zijn polymeren van 2 methyl 1,3 butadien of isopreen. Natuurlijk rubber (die weliswaar niet voorkomt in de cel) is cis 1,4 polyisopreen.  $\beta$ -caroteen is een afgeleid product van terpenen. De vele geconjugeerde dubbele bindingen zijn verantwoordelijk voor de rode kleur.  $\beta$ -caroteen kan gesplitst worden in 2 vitamine A moleculen.

Steroïden zijn lipiden met als basisstructuur een gecondenseerd ringsysteem van 3 zesringen (cyclohexaan) en een vijfring (cyclopentaan). Deze zijn belangrijk voor de biosynthese van galzuren en hormonen (cortison, testosteron, progesteron, oestrogeen, aldosteron) en cholesterol.



perhydrocyclopentaanfenanteren (of steran)



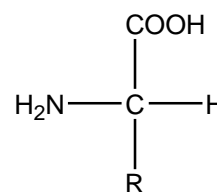
**Functie** van lipiden: energieleverancier (1g = 38kJ); reservestof (vetten); ondersteuning organen (o.a. hart en nieren); bescherming tegen koude (isolatie), stoten (o.a. hiel, voetzool); oplosmiddel vitaminen A,D, E, K, stabilisatie membranen (cholesterol), grondstof hormonen; drijfvermogen; bouw van membranen (fosfolipiden); (pro)vitaminen; pigmenten/kleurstoffen (carotenen).

### 3.3. Eiwitten – enzymen

Eiwitten zijn opgebouwd uit de elementen C, H, O, maar ook uit N, soms S en P.

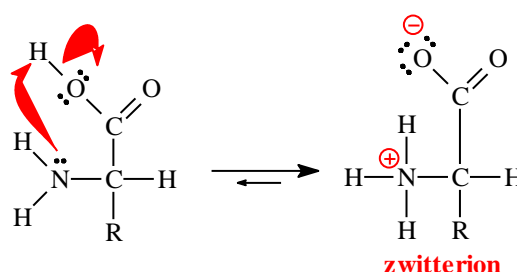
#### 3.3.1. Amino-zuren

Eiwitten zijn polymeren van amino-zuren. Hoewel een 200-tal amino-zuren bestaan, zijn alle eiwitten van organismen opgebouwd uit een combinatie van 20 amino-zuren, die allen eenzelfde basisstructuur hebben:



een carboxylgroep, aminogroep en restgroep (R staat hier niet voor een keten uitsluitend uit C atomen, zoals in de koolstofchemie). Wanneer de carboxyl- en amino-groep op eenzelfde C-atoom staan, noemt men dit C-atoom het  $\alpha$ -C-atoom (dit is bij alle 20 AZ het geval). Met deze 20 amino-zuren kunnen oneindig veel eiwitten mee worden gemaakt (cfr. letters van het alfabet). Alle 20 AZ die gebruikt worden bij synthese van eiwitten, zijn L-amino-zuren (NH<sub>2</sub>-groep staat links in Fisher projectie). Essentiële amino-zuren zijn amino-zuren die het organisme niet zelf kan synthetiseren, en daarom via het voedsel moeten worden opgenomen. Essentiële amino-zuren verschillen van soort tot soort, 8 van de 20 AZ die worden gebruikt bij opbouw van proteïnen zijn voor de mens essentieel.

De carboxylgroep is een zure groep, een aminogroep is basisch. Er zal bijgevolg een intramoleculaire protonoverdracht plaatsgrijpen in neutraal midden. Zo ontstaat een deeltje met een positieve en negatieve lading. Een dergelijk

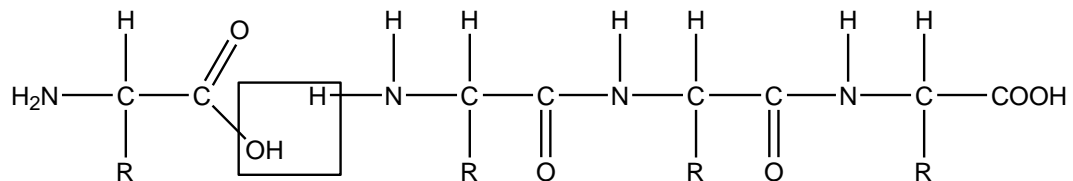


deeltje, dat in zijn geheel neutraal is, noemen we een Zwitterion. Door deze ladingen trekken AZ elkaar sterk aan, zodat kook- en smeltpunten

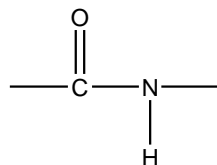
hoog liggen: het zijn bij kamertemperatuur vaste stoffen. Ze lossen dankzij deze ladingen goed op in water.

### 3.3.2. Primaire, secundaire, tertiaire en quaternaire structuur van eiwitten.

Een eiwit ontstaat doordat  $\text{H}_2\text{O}$  afgesplitst wordt tussen de  $\text{COOH}$ -groep en de  $\text{NH}_2$ -groep. zo ontstaat een peptidebinding.



peptidebinding:

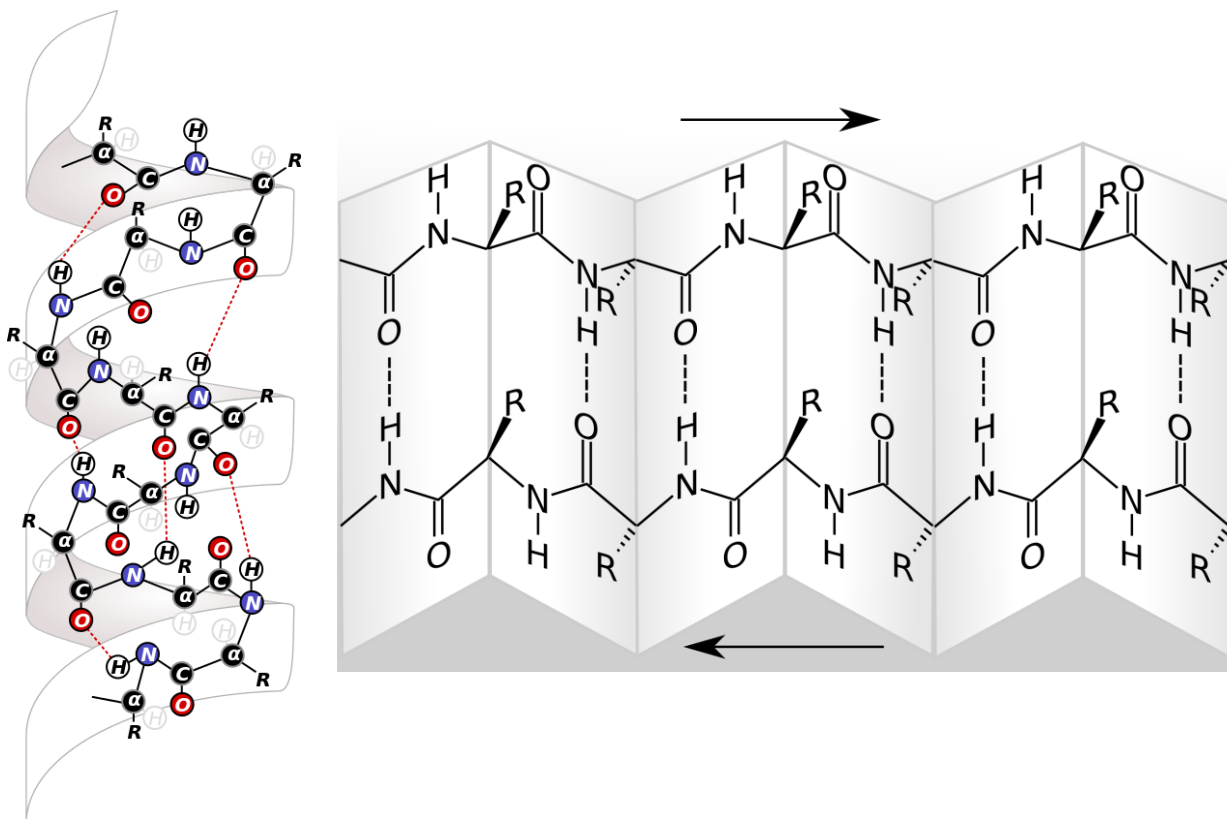


Onder primaire structuur verstaan we de volgorde van de verschillende aminozuren in de keten.

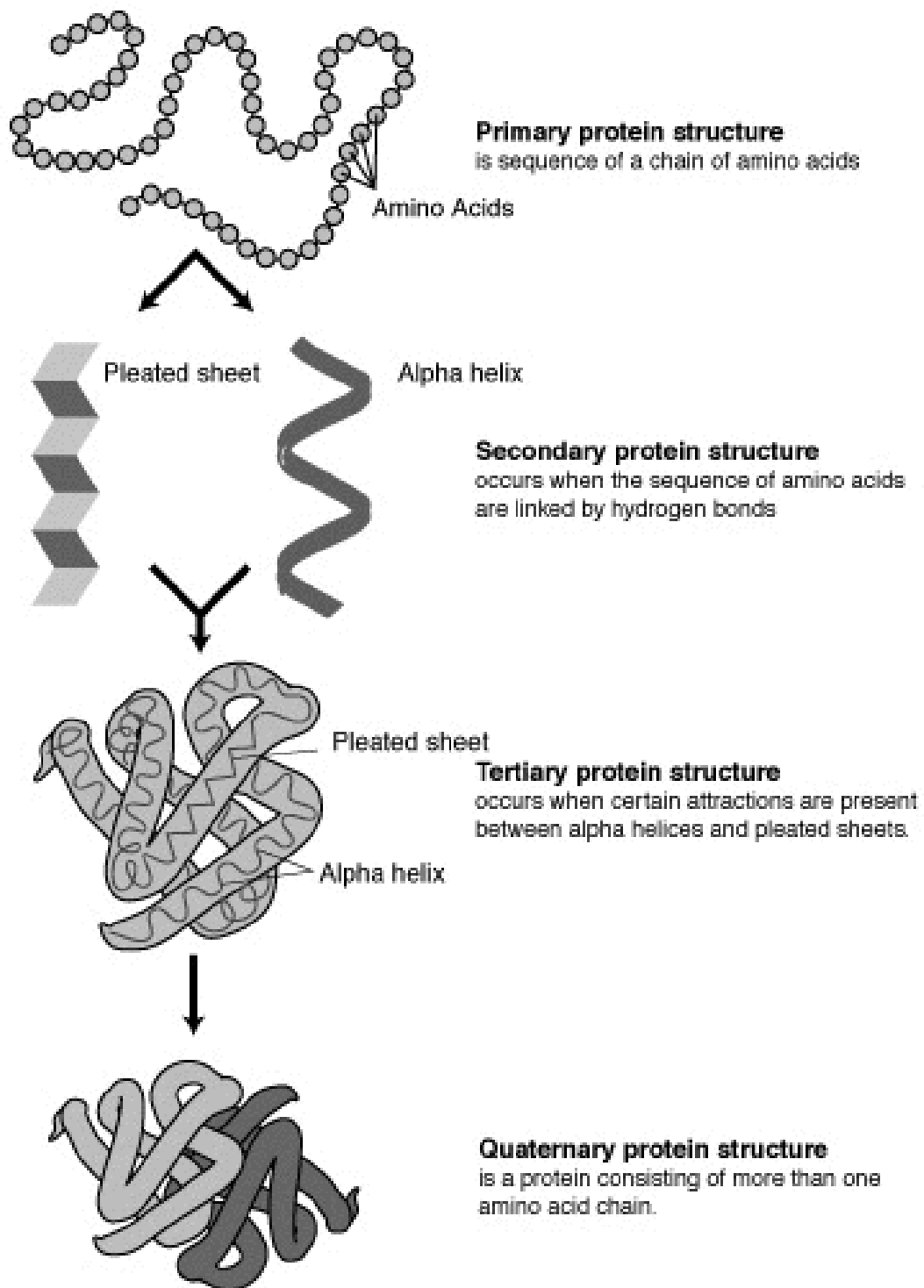
Bemerk dat de CO en NH binding zich in trans-positie bevinden. Deze peptidebinding speelt een doorslaggevende rol in de verdere structuur van het eiwit. Tussen de C, O en N-atomen ontstaat mesomerie. Hierdoor is er geen vrije rotatie meer mogelijk tussen de C en N. De vier atomen C, O, H en N liggen in éénzelfde vlak (peptidevlak), en er is enkel draaibaarheid tussen de verschillende peptidevlakken mogelijk ter hoogte van de  $\alpha$ -C-atomen. Door het ontstaan van H-bruggen ( $\text{C}=\text{O} \cdots \text{H}-\text{N}$ ) van verschillende peptidebindingen, kunnen twee stabiele conformaties ontstaan: de  $\alpha$ -helix en  $\beta$ -vouwblad.

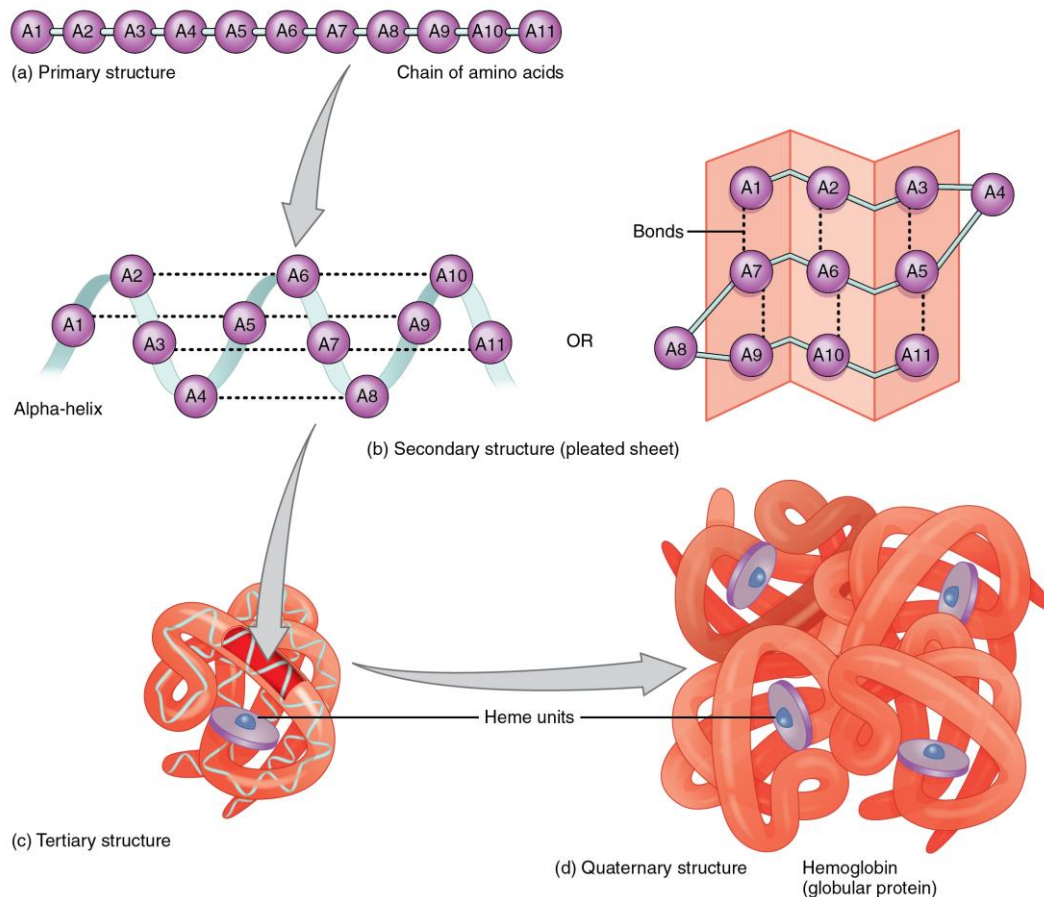
De secundaire structuur is de ruimtelijke gerichtheid van de peptideketen. R-groepen van deze structuur kunnen elkaar opnieuw aantrekken, zodat

opnieuw opvloeiing gebeurt. De wijze waarop de helix en het vouwblad zich in de ruimte uitstrekt noemt men de tertiaire structuur. Als een proteïne is opgebouwd uit meerdere eiwitketens, dan vormt de manier waarop de verschillende ketens ten opzichte van elkaar zijn gerangschikt, de quaternaire structuur van het proteïne.



De tertiaire en quaternaire structuur wordt in stand gehouden door H-bruggen, dipool-dipool interacties, ionbindingen, zwavelbruggen, vanderwaalse krachten of combinaties van deze. Deze bindingen worden beïnvloed door pH, zoutconcentratie en temperatuur. Wijziging van pH en/of temperatuur zal daarom leiden tot wijziging van secundaire, tertiaire en/of quaternaire structuur van een eiwit, waardoor het zijn functie verliest: denaturatie. Als de omstandigheden opnieuw gunstig worden (en de denaturatie was mild), dan herstellen de hoger genoemde bindingen zich, en worden de secundaire, tertiaire en quaternaire structuur hersteld.





In een cel gebeuren talrijke chemische reacties, alle met een zeer hoge rendement. Deze hoge efficiëntie is te danken aan de aanwezigheid van enzymen. Dit zijn eiwitten die in staat zijn een reactie bij betrekkelijke lage temperatuur met zeer hoog rendement te doen verlopen, zonder dat ze zelf worden opgebruikt: het zijn biokatalysatoren<sup>2</sup>.

Enzymen zijn substraatspecifiek of reactiespecifiek:

- substraatspecifiek: een enzym (slot) kan maar een bepaalde reactie bij een welbepaalde stof (het substraat=de sleutel) uitvoeren;

---

<sup>2</sup> Enzymen katalyseren (versnellen) chemische omzettingen door de activeringsenergie te verlagen. Dit kunnen ze door 1) het intermediair complex te stabiliseren, 2) de uitgangsstoffen te destabiliseren of door een combinatie van beide.



- reactiespecifiek: een enzym kan eenzelfde reactie (methylering, decarboxylering, etc...) uitvoeren op verschillende (maar dat is ook een beperkt aantal) substraten.

De plaats van het enzym waar de reactie plaats grijpt noemt men het actief centrum. Dit actief centrum is meestal zeer klein in vergelijking tot het ganse enzym (dat dient om het actief centrum in stand te houden). De specificiteit van een enzym wordt veroorzaakt doordat substraat en actief centrum volledig complementair dienen te zijn (H-bruggen, ionaire interacties, etc...).

Veel enzymen zijn slechts werkzaam wanneer een welbepaalde niet-protëinegroep aanwezig is (de cofactor). Het eiwitgedeelte wordt het apo-enzym genoemd. De cofactor kan een metaalion zijn (metaalionactivator) of een organische molecule (coënzym). Wanneer de cofactor niet van het eiwitgedeelte kan loskomen, spreekt men van een prosthetische groep.

De werking van enzymen wordt beïnvloed door temperatuur en zuurtegraad. Elk enzym heeft zijn eigen optimumtemperatuur en optimumzuurtegraad (zie hoger, dit omdat door veranderen de pH, zoutconcentraties en temperatuur de secundaire, tertiaire of quaternaire structuur geheel of gedeeltelijke verloren gaat, of interacties ter hoogte van het actief centrum veranderen).

Functie van eiwitten: bouw (fibrillaire proteïnen), enzymen (globulaire proteïnen).

## 4. Energie-omzettingen in de cel

Elke chemische reactie gaat gepaard met energie-omzettingen.

In de lessen chemie zul je volgend zien dat er twee drijfkrachten zijn voor een chemische reactie, namelijk het streven naar een minimale energie-inhoud ( $\Delta H$  =enthalpie) en het streven naar een maximale wanorde ( $\Delta S$  =entropie). Deze tweed rijkkrachten bepalen de uitkomst van een reactie, namelijk of een reactie al dan niet spontaan verloopt en/of een reactie energie oplevert waar iets mee gedaan kan worden (arbeid worden geleverd).

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

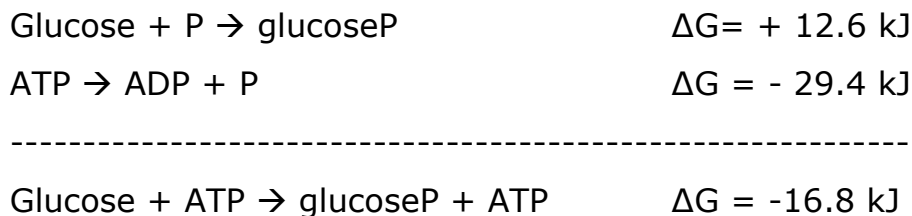
In een levende cel gebeuren behoorlijk wat reacties die energie opleveren (exergonisch e reacties), maar ook reacties die energie vereisen (endergonische reacties). Een reactie die energie vereist, wordt daarom steeds gekoppeld aan een reactie die meer<sup>3</sup> energie vrijstelt dan nodig is om de endergonische reactie te doen opgaan.

Om bijvoorbeeld een fosfaatgroep te binden op glucose is 12.6kJ aan energie nodig. Wanneer een molecule ATP een fosfaatgroep afstaat, komt 29.6kJ vrij. Wanneer een fosfaatgroep overgedragen wordt van ATP naar glucose, zal dus 16.8kJ aan warmte vrijkomen.

aan exergonische reacties die meer energie leveren dan nodig voor de endergonische reactie (een stilstaande takelwagen kan een defecte wagen enkel met een kabel de helling opslepen, als de takelwagen zwaarder is dan de defecte wagen). Het energieoverschot zal als warmte vrijkomen.

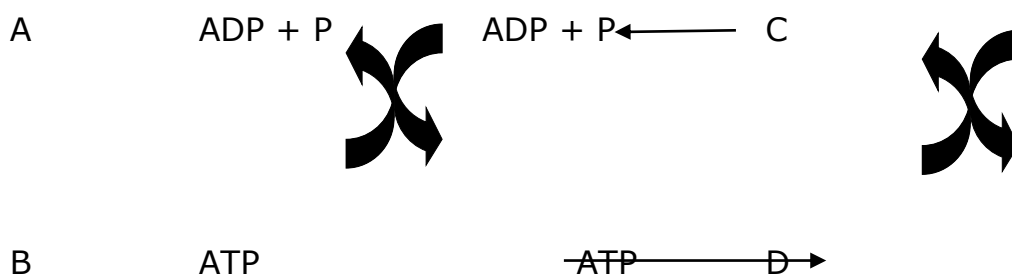
---

<sup>3</sup> Vergelijk: een stilstaande takelwagen kan een defecte wagen enkel met een kabel de helling opslepen, als de takelwagen zwaarder is dan de defecte wagen

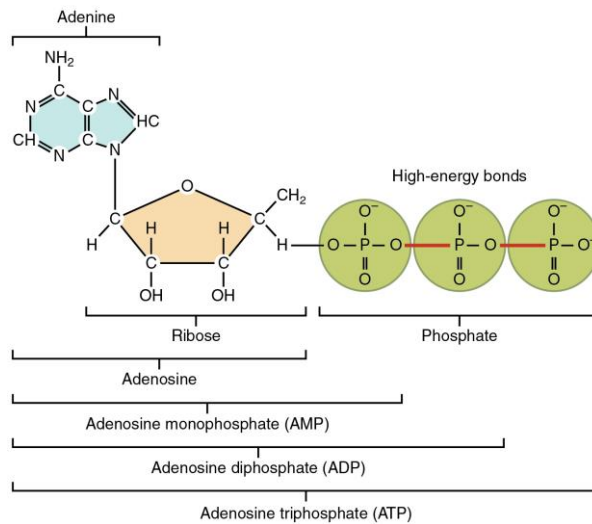
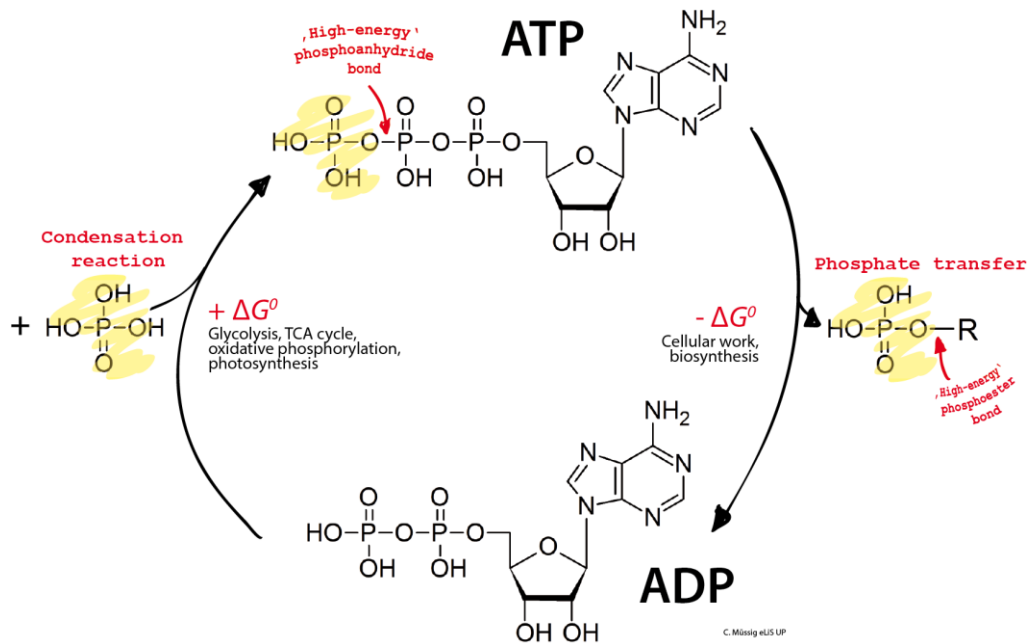


In een levende cel kan een endergonische reactie dus doorgaan wanneer ze gekoppeld wordt aan een reactie waarbij energie wordt vrijgesteld. In vele gevallen wordt de energie geleverd door de afbraak van glucose (zie later), dat een exergonisch proces is. Maar de afbraak van glucose gebeurt vaak op een andere plaats dan waar de reacties plaatsgrijpen die energie vereisen. Dit probleem wordt verholpen doordat energie tijdelijk 'opgeslagen' kan worden in een molecule die gemakkelijk verplaatst in een cel.

De meeste levende organismen zullen energie die vrijkomt bij afbraak van glucose (of een andere stof), gebruiken om een molecule fosfaat te koppelen aan adenosinedifosfaat (ADP). Zo ontstaat adenosinetrifosfaat (ATP). ATP en ADP zijn moleculen die gemakkelijk verplaatst kunnen worden in de cel. Een molecule ATP kan terug een fosfaatgroep afsplitsen, waardoor opnieuw ADP ontstaat en er energie vrijkomt. Op deze manier kan dus energie 'getransporteerd' worden van de ene plaats naar de andere, en kan de energie die op een bepaalde plaats in de cel vrijkomt bij, op een totaal andere plaats (en tijdstip) gebruikt worden om een endergonische reactie te laten doorgaan.



Omdat vrijwel alle levende organismen deze moleculen gebruiken, spreken we van universele moleculen.



Adenine + ribose = adenosine (een nucleoside)

Adenosine + 1 P groep = nucleotide (adenosinemonofosfaat, AMP)

AMP + P = ADP

ADP + P = ATP

Adenosinetrifosfaat ⇌ adenosinedifosfaat + fosfaat + E

ATP ⇌ ADP + P      ΔG = - 29.4 kJ

De opbouw van ATP (ADP + P) is endergonisch, de afbraak exergonisch.

## 5. Celmetabolisme

In een cel gebeuren talrijke chemische reacties. Het geheel van deze reacties wordt het **metabolisme** genoemd. Wanneer tijdens deze reactie grotere moleculen worden opgebouwd spreken we van **anabolisme**. Worden grotere moleculen afgebroken tot kleinere – om energie te produceren of om de grotere stoffen te verwijderen – dan spreken we van **katabolisme**. Beide zijn onlosmakelijk met elkaar **verbonden**: om nieuwe stoffen op te bouwen is energie nodig, die gewonnen wordt uit de afbraak van energierijke moleculen.

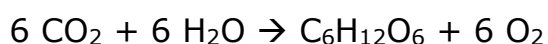
Energierijke stoffen worden ofwel gehaald uit het milieu (heterotrofe organismen, maken gebruik van bestaande verbindingen) of worden zelf aangemaakt.

### 5.1. Productie van energierijke verbindingen

Autotrofen maken zelf energierijke verbindingen aan op basis van een externe energiebron. Deze energierijke verbindingen worden later afgebroken om aan energie te komen voor levensnoodzakelijke processen. Het bekendste voorbeeld van autotrofie betreft ongetwijfeld de fotosynthese. Naast deze vorm van **foto-autotrofie**, bestaat er ook **chemo-autotrofie** (chemosynthese).

#### 5.1.1. Fotosynthese

De fotosynthese vindt plaats in de **chloroplasten**, en komt neer op een **reductie** van CO<sub>2</sub> tot glucose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>):

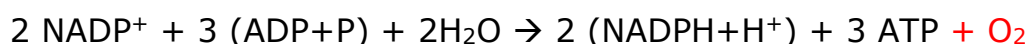


Met elke reductie gaat een oxidatie gepaard. Dit betekent dat de reductie van koolstofdioxide enkel kan doorgaan, als ze gekoppeld

wordt aan een oxidatie. Licht speelt hier een cruciale rol: in een reeks reacties wordt een stof **NADP<sup>+</sup>** gereduceerd door licht tot NADPH. De reductie van koolstofdioxide wordt vervolgens gekoppeld aan de oxidatie van NADPH tot NADP<sup>+</sup>.

De fotosynthese valt uiteen in twee deelprocessen.

1) De **lichtreacties**: hierbij is licht noodzakelijk en wordt NADP<sup>+</sup> gereduceerd tot NADPH.

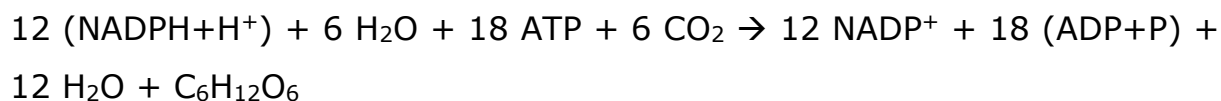


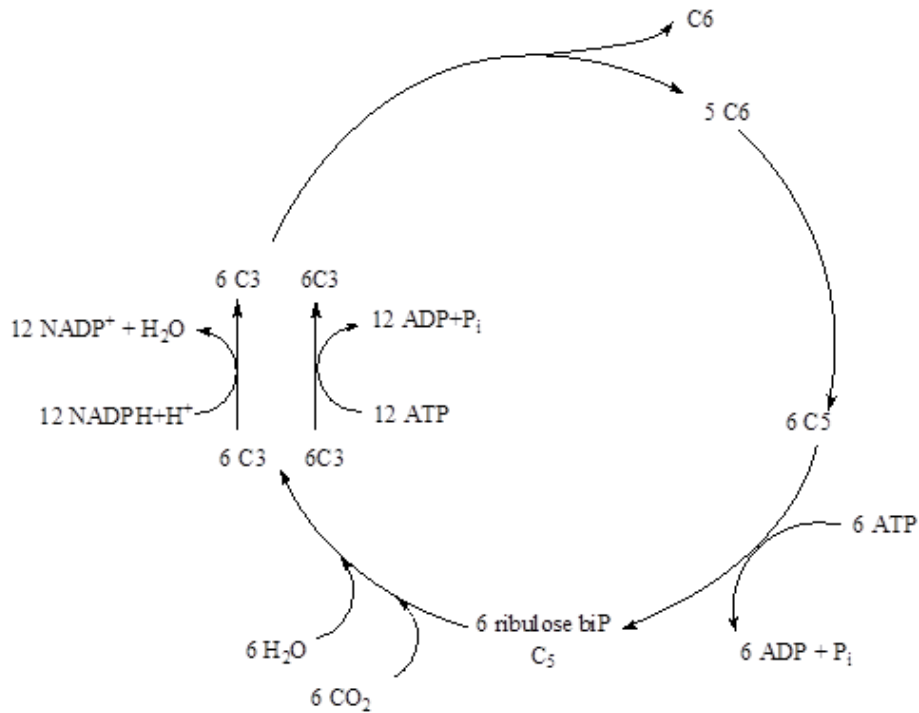
Merk op dat het zuurstofgas geproduceerd tijdens de fotosynthese afkomstig is uit water om de reductie van NADP<sup>+</sup> mogelijk te maken.

NADP: nicotinamide adenine dinucleotide phosphate NADP<sup>+</sup>:de geoxideerde vorm

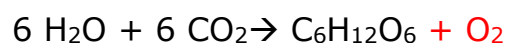
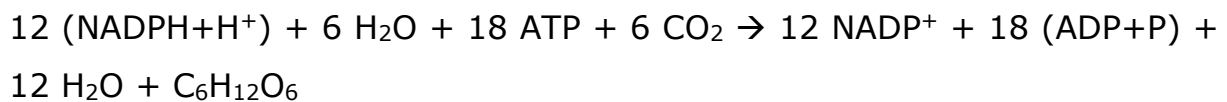
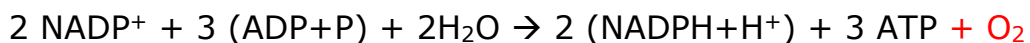
NADPH+H<sup>+</sup>: de gereduceerde vorm

2) De **donkerreacties** (Calvin-Benson-cyclus): tijdens deze reacties wordt koolstofdioxide stapsgewijs gereduceerd tot glucose. De reductie van koolstofdioxide wordt gekoppeld aan de oxidatie van NADPH tot NADP<sup>+</sup>.





Wanneer we beide reacties samen nemen, bekommen we de algemene vergelijking van de fotosynthese



## 5.2. Vrijmaken van energie uit energierijke verbindingen

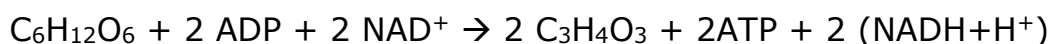
Zowel autotrofe als heterotrofe organismen hebben energie nodig. Deze energie wordt gehaald uit afbraak van energierijke verbindingen. In vele gevallen is wordt glucose gebruikt. Deze afbraak is chemisch gezien een **oxidatie** en gebeurt in verschillende stappen, en kan in aan- of afwezigheid van zuurstofgas gebeuren. Ook andere stoffen (aminozuren en lipiden) kunnen als bron van energie fungeren. Meestal worden zij

afgebroken tot tussenproducten van de afbraak van glucose, en dus via dezelfde 'weg' afgebroken.

## 5.2.1. Aërobe ademhaling

### 5.2.1.1. De glycolyse (geen O<sub>2</sub> vereist)

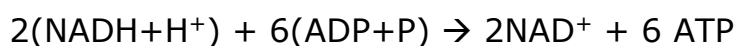
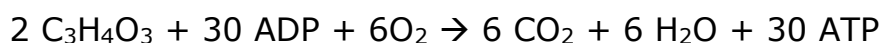
De eerste stap in de afbraak van glucose levert 2 moleculen **pyrodruivensuiker** (pyruvaat) per molecule glucose. Deze afbraak gebeurt in het cytoplasma en vereist **geen zuurstofgas**. De elektronen die vrijkomen bij de oxidatie, worden opgevangen door NAD<sup>+</sup> (Nicotinamide Adenine Dinucleotide). De glycolyse levert per molecule glucose, **twee moleculen ATP** (dit is een beperkte energiewinst).



### 5.2.1.2. Oxidaties in de mitochondriën

Wanneer zuurstofgas voorhanden is, kan het pyruvaat in de mitochondriën verder worden geoxideerd tot CO<sub>2</sub>. Dit levert een aanzienlijke hoeveelheid energie onder de vorm van ATP op. De oxidatie van het eerder gevormde NADH tot NAD<sup>+</sup> levert ook nog een aantal ATP-moleculen op.

De aërobe oxidatie van 2 moleculen pyruvaat levert in totaal 36 moleculen ATP op (glycolyse 2!).



In aanwezigheid van zuurstofgas kan glucose volledig worden geoxideerd tot koolstofdioxide.

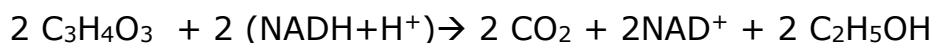




## 5.2.2. Anäerobe ademhaling

In afwezigheid van zuurstofgas gaat de glycolyse door, maar de oxidaties in de mitochondriën niet.

Teneinde de stof  $\text{NAD}^+$  te herwinnen (noodzakelijk voor glycolyse) wordt pyrodruivenzuur ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ ) gereduceerd tot **ethanol** of **melkzuur**.



OF



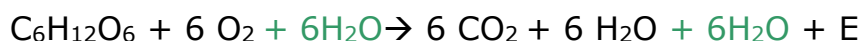
Bij deze oxidaties wordt geen energie vastgelegd in ATP. Per molecule glucose is er maar winst van 2 ATP-moleculen, in tegenstelling tot de 38 moleculen bij een aërobe afbraak.

Deze energie wordt gehaald uit energierijke verbindingen.

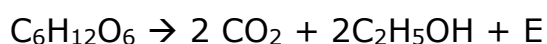
energieerijke verbinding  $\rightarrow$  energiearme verbinding + energie

De overgang van energierijke verbinding naar energiearme verbinding gebeurt

- door aërobe verbranding in mitochondriën



- door anaërobe ademhaling of gisting in het cytoplasma (door gistcellen en bacteriën)



Energierijke stoffen worden ofwel gehaald uit het milieu (heterotrofe organismen, maken gebruik van bestaande verbindingen) of worden zelf

aangemaakt (autotrofe organismen (groene planten en bacteriën)  $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{E} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$  waarbij de energie afkomstig is van zonlicht of van chemische reacties, respectievelijk bij foto- en chemo-autotrofe organismen)