

**Stofwisseling** (metabolisme) = het geheel van chemische processen in een cel. Via passief en actief transport nemen cellen stoffen op uit hun milieu. In de cellen ontstaan, onder invloed van enzymen, uit de opgenomen stoffen andere stoffen.

## Basisstof 1 Verzuurde spieren

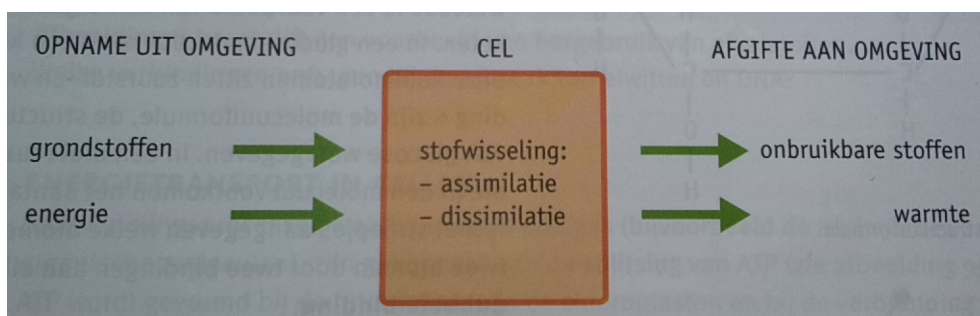
In de spieren wordt chemische energie uit glucose omgezet in kinetische energie. Hierbij is zuurstof nodig en ontstaan  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . Bij toenemende inspanning is steeds meer zuurstof nodig en op een bepaald moment wordt de maximale zuurstofopnamecapaciteit bereikt:  $\text{VO}_2$ -max. Deze  $\text{VO}_2$ -max bepaalt het moment van verzuuring. Bij inspanning boven deze grens is in de spiervezels onvoldoende zuurstof beschikbaar om alle benodigde energie te verkrijgen uit de omzetting van glucose in  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . Er ontstaat dan melkzuur en dit zuur hoopt zich op in het spierweefsel en veroorzaakt pijn.

**$\text{VO}_2$ -max** = maximale zuurstofopname bij een sporter die voluit gaat, uitgedrukt in milliliter zuurstof per kilogram lichaamsgewicht per minuut.

## Basisstof 2 Stofwisseling in cellen

Levende cellen nemen stoffen op uit hun omgeving, zetten stoffen om en geven stoffen af aan hun omgeving. Ook energie wordt opgenomen, omgezet en afgegeven. Cellen met chlorofyl kunnen energie in de vorm van licht opnemen, andere cellen moeten energierijke stoffen opnemen. Onbruikbare stoffen en warmte worden afgestaan aan de omgeving.

**Chemische energie** = de totale energie-inhoud van een stof. Chemische energie is opgeslagen in de bindingen tussen de atomen. Deze energie kan vrijkomen bij een chemische reactie. Hierbij worden nieuwe bindingen gevormd, wat energie kost, en andere bindingen afgebroken, hetgeen energie oplevert. Is aan het eind van de reactie meer energie vrijgekomen dan verbruikt, dan is er dus chemische energie beschikbaar gekomen.



Figuur 1. Stofwisseling in de cel.<sup>1</sup>

# 11 Assimilatie en dissimilatie

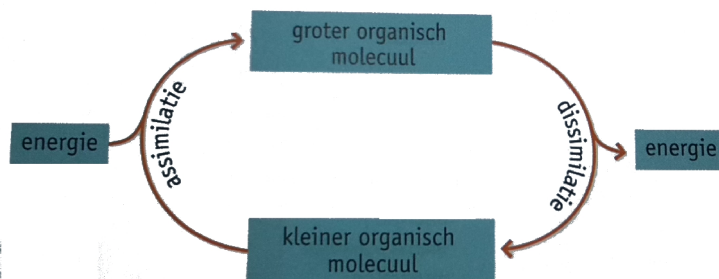
**Assimilatie** = de opbouw van organische moleculen uit kleinere moleculen. Bij assimilatiereacties wordt energie vastgelegd in grote moleculen in de vorm van chemische energie.

## Organische moleculen:

- zijn koolstofverbindingen; ze hebben C-H-bindingen.
- bevatten bijna allemaal een of meer ketens van koolstofatomen. Deze ketens kunnen enkele tot duizenden atomen lang zijn.
- bevatten naar koolstof (C), waterstof (H) en vaak zuurstof (O). Ook de elementen stikstof (N), zwavel (S) en fosfor (P) komen vaak voor.
- ontstaan uit kleinere moleculen door middel van assimilatie.
- kunnen dienen als brandstof, reservestof, bouwstof of informatiedrager.
- een koolwaterstofverbinding is energierijk.
- komen alleen voor in levende en dode organismen.
- voorbeelden:
  - koolhydraten (C, H en O) zoals glucose ( $C_6H_{12}O_6$ );
  - vetten (C, H en O);
  - eiwitten en aminozuren (C, H, O, N en soms S);
  - RNA en DNA (C, H, O, N en P).

**Dissimilatie** = de afbraak van organische moleculen. Hiervoor is zuurstof nodig. De brandstof is meestal glucose.

Bij dissimilatie komt chemische energie uit stoffen beschikbaar voor processen in de cel. Deze energie kan gebruikt worden voor assimilatie of andere processen in de cel, bv transport.



Afbeelding 2. Assimilatie en dissimilatie.<sup>1</sup>

## Anorganische moleculen:

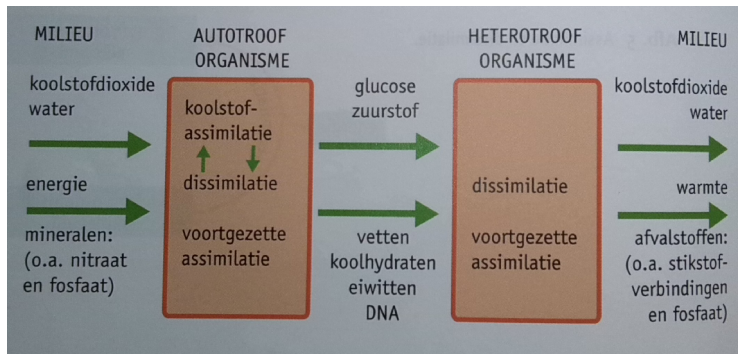
- hebben geen C-H-binding.
- zijn kleine moleculen.
- zijn energiearme moleculen.
- komen zowel in levenloze als in levende dingen voor.
- elk element uit het periodiek systeem kan en bestanddeel zijn van een anorganisch molecuul.
- voorbeelden: Koolstofmono-oxide (CO), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>)

Autotrofe organismen (bv planten en cyanobacteriën) zijn in staat tot koolstofassimilatie: ze kunnen glucose vormen uit de anorganische stoffen CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. De energie die hiervoor nodig is, halen ze uit (zon)licht met behulp van fotosynthese.

Heterotrofe organismen (bv de meeste bacteriën, schimmels en dieren) kunnen geen organische stoffen vormen uit alleen anorganische stoffen; zij zijn niet in staat tot koolstofassimilatie. Zij moeten organische stoffen als voedsel opnemen.

### Voortgezette assimilatie

- is het opbouwen van grotere moleculen (bv vetten, grotere koolhydraten, eiwitten) uit glucose en andere stoffen; bv. zetmeel uit glucose en eiwitten uit aminozuren.
- vindt plaats in zowel autotrofe als heterotrofe organismen.
- kost energie, die geleverd wordt door dissimilatie.
- vindt plaats in levende cellen en er ontstaan celmateriaal en reservestoffen.

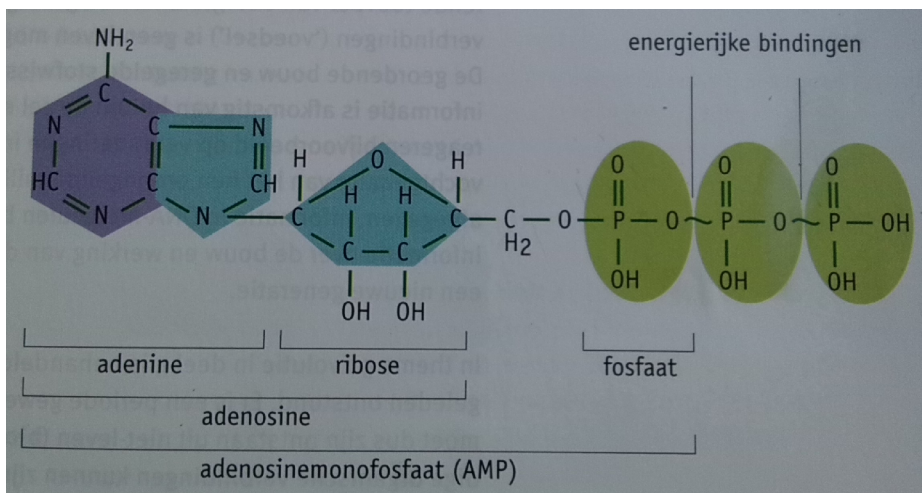


Afbeelding 3. Schema van de overdracht van stoffen en energie tussen organismen en het milieu.<sup>1</sup>

## 13 Energietransport in cellen

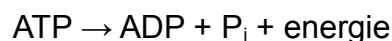
Stofwisselingsprocessen, zoals assimilatie van organische moleculen, waarbij energie nodig is, zijn gekoppeld aan de splitsing van ATP.

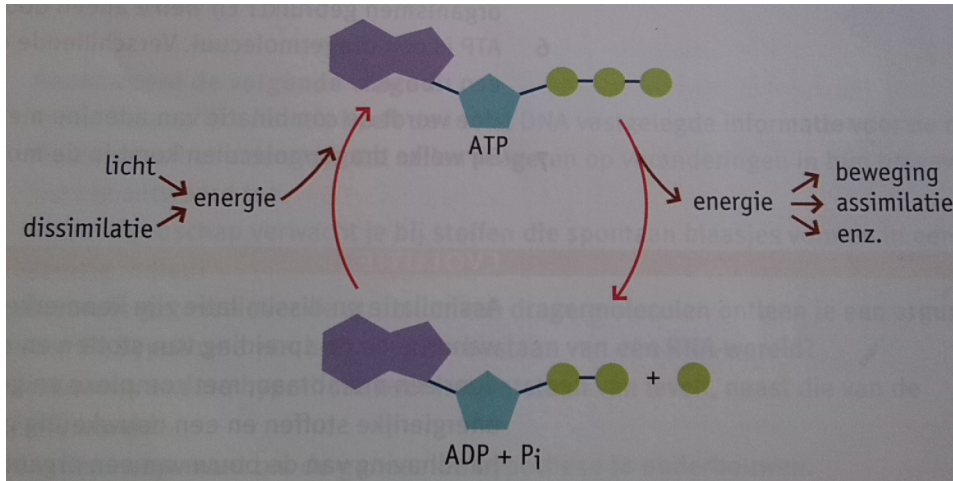
ATP (adenosinetriphosfaat) is een nucleotide dat uit adenosine (dat opgebouwd is uit adenine en ribose) en 3 fosfaatgroepen bestaat. In de verbinding tussen de fosfaatgroepen is veel chemische energie vastgelegd.



Afbeelding 4. Structuurformule van ATP.<sup>1</sup>

Wanneer de 3<sup>e</sup> fosfaatgroep van ATP wordt afgesplitst, komt energie vrij en ontstaat ADP (adenosinedifosfaat):



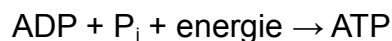


Afbeelding 5. Energietransport met behulp van ATP.  $P_i$  = inorganische fosfaatgroep (een vrije fosfaatgroep).<sup>1</sup>

ATP wordt gevormd bij

- lichtreacties, bv fotosynthese in de chloroplasten;
- dissimilatiereacties, bv verbranding in de mitochondriën.

De energie die bij deze reacties beschikbaar komt, wordt gebruikt om een fosfaatgroep te binden aan ADP, waardoor ATP ontstaat. Deze reactie wordt fosforylering genoemd:



**ATP (adenosinetrifosfaat)** = een energierijke nucleotide die uit adenosine (dat opgebouwd is uit adenine en ribose) en 3 fosfaatgroepen bestaat.

**ADP (adenosinedifosfaat)** = ontstaat uit ATP wanneer de 3<sup>e</sup> fosfaatgroep wordt afgesplitst.

**fosforylering** = reactie waarbij ATP ontstaat doordat een vrije fosfaatgroep aan ADP bindt.

Assimilatie en dissimilatie zijn kenmerken van leven. In de niet-levende natuur zijn wanorde en de spreiding van stoffen en energie regel.

Cellen daarentegen zijn ruimtes, omgeven door een membraan, met complexe en geordende structuren, concentraties van energierijke stoffen en een nauwkeurig gestuurde stofwisseling. Deze geordende bouw en geregelde stofwisseling zijn gebaseerd op informatie. Deze informatie is afkomstig van buiten de cel en aanwezig binnen in de cel. Informatie in DNA-moleculen beïnvloedt de bouw en de stofwisseling. Informatie over de bouw en werking van de cel wordt via het DNA doorgegeven aan een nieuwe generatie.

Sinds hun eerste ontstaan beschikken cellen waarschijnlijk al over enkele basiskennmerken.

- aanwijzingen hiervoor worden gevonden in experimenten.
- in de niet-levende natuur kunnen met behulp van energie, eenvoudige organische stoffen worden gevormd uit anorganische stoffen.
- uit eenvoudige organische stoffen kunnen blaasjes worden gevormd waarin zich RNA bevindt.
- de molecuulstructuur van informatiedragers en energiedragers zoals  $\text{NAD}^+$ , DNA en ATP in moderne cellen, vertoont grote overeenkomsten met de structuur van RNA.



## Basisstof 3 Enzymen

In cellen vinden veel stofwisselingsreacties plaats. Enzymen katalyseren (=versnellen) stofwisselingsreacties, die anders niet of slechts heel traag zouden verlopen, zonder zelf verbruikt te worden. De enzymactiviteit is bepalend voor het verloop van de stofwisseling.

### 16 Bouw en werking

#### Enzymen

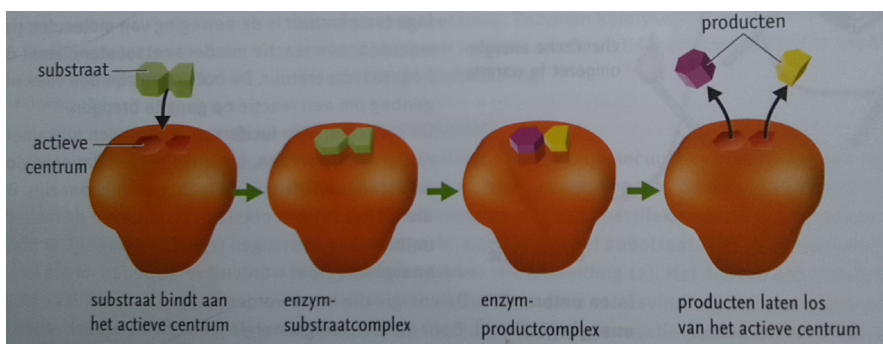
- zijn eiwitten.
- hebben een ruimtelijke vorm met veel knikken en lussen.
- versnellen stofwisselingsreacties zonder daarbij zelf verbruikt te worden.
- verlagen de hoeveelheid activeringsenergie die nodig is om een reactie op gang te brengen.
- zijn reactiespecifiek: elk enzym kan slechts één evenwichtsreactie beïnvloeden.
- hebben een actief centrum, dat tijdelijk een binding aangaat met een substraatmolecuul. Er ontstaat dan tijdelijk een enzym-substraat-complex.
- hebben soms een cofactor nodig om werkzaam te zijn. Als de cofactor een organische stof is, wordt het een co-enzym genoemd.
- hebben een naam die is samengesteld uit de naam van het substraat met het achtervoegsel “-ase”.

**Substraat** = de stof waarop het enzym inwerkt. Het substraatmolecuul past precies in het actieve centrum van het enzym.

**Actieve centrum** = het deel van het eiwitmolecuul waar de reactie plaatsvindt.

Zodra een substraatmolecuul aan de actieve plaats bindt, vindt de reactie plaats. Op het moment van binding ontstaat heel even een enzym-substraat-complex (E-S-complex). Na de reactie laat het ontstane molecuul (of moleculen) los van het actieve centrum en kan een volgende reactie plaatsvinden.

Eén enzymmolecuul maakt vele malen dezelfde reactie mogelijk, waardoor enzymen al in kleine hoeveelheden werkzaam zijn.



Afbeelding 6. De werking van een enzym.<sup>1</sup>

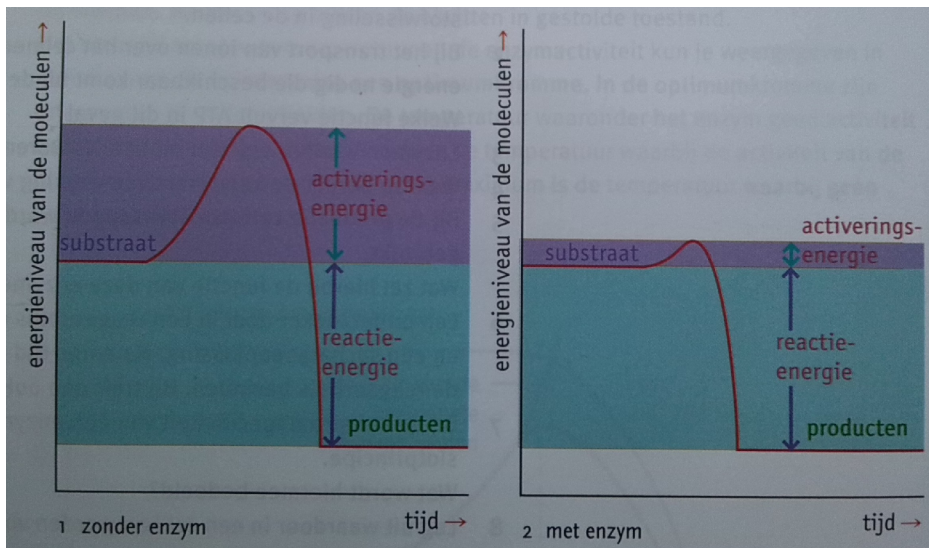
**co-factor** = een speciaal ion of molecuul, dat een enzym nodig heeft om goed te kunnen werken. Het eigenlijke enzym-molecuul wordt dan een apo-enzym genoemd. Als de co-factor een organische stof is, spreekt men meestal van een co-enzym (bv vitamines, NADP en ATP).

## 17 Activeringsenergie

Chemische reacties berusten op de beweging van moleculen en de botsing van moleculen tegen elkaar. Bij deze reacties speelt de temperatuur een belangrijke rol; bij een lage temperatuur is de beweging van moleculen trager, waardoor een reactie minder snel tot stand komt dan bij een hogere temperatuur.

De botsingen zijn dan vaak niet sterk genoeg om een reactie op gang te brengen. Er moet een energiedrempel worden overschreden om de reactie op gang te brengen. De energie die hiervoor moet worden toegevoerd, wordt activeringsenergie genoemd. Door de activeringsenergie gaan de moleculen sneller bewegen, waardoor de botsingen krachtiger worden, zodat een reactie op gang komt.

De temperatuur in de cel is te laag om voldoende activeringsenergie te leveren. Door inwerking van een enzym op een substraat wordt de energiedrempel verlaagd, zodat er minder activeringsenergie nodig is. De reactie kan dan bij de heersende temperatuur in de cellen plaatsvinden.



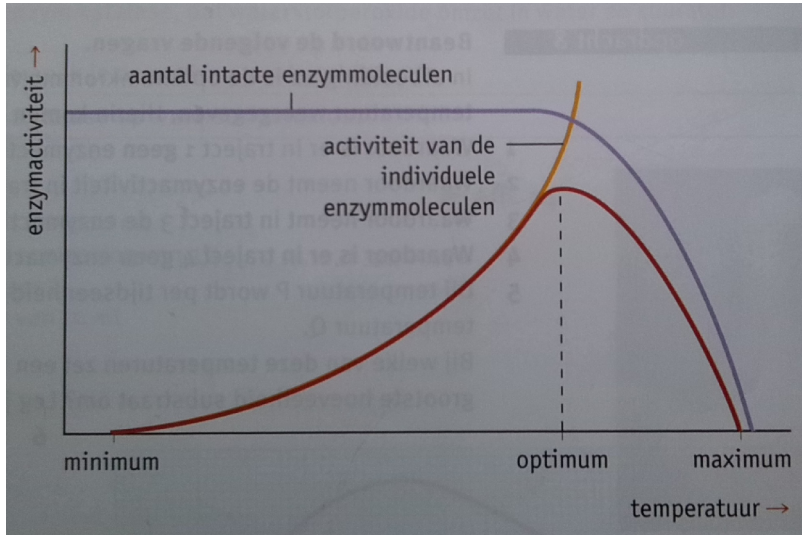
Afbeelding 7. Een enzym verlaagt de activeringsenergie van de moleculen.<sup>1</sup>

## 19 Enzymactiviteit

### Enzymactiviteit

- = de snelheid waarmee een enzym een reactie versnelt.
- kan worden uitgedrukt in:
  1. hoeveelheid substraat die per tijdseenheid wordt omgezet;
  2. hoeveelheid reactieproduct die per tijdseenheid ontstaat.
- kan worden afgeleid uit de tijd die een bepaalde hoeveelheid enzym nodig heeft om een bepaalde hoeveelheid substraat om te zetten.
- wordt beïnvloedt door:
  1. temperatuur
  2. zuurgraad
  3. concentratie van de deelnemende stoffen
  4. door bindingen van enzymen met stoffen die de activiteit kunnen verhogen of remmen.

## 19 Invloed van de temperatuur



Afbeelding 8. Het verband tussen de enzymactiviteit en de temperatuur.<sup>1</sup>

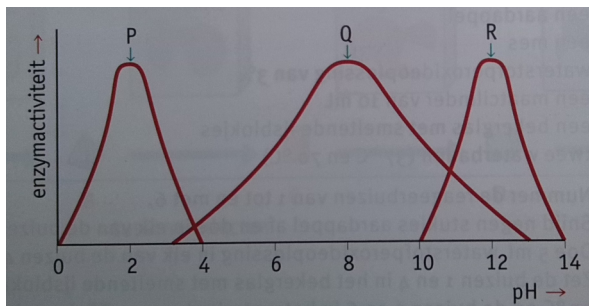
De temperatuur beïnvloedt de enzymactiviteit volgens een optimum-kromme. In de optimum-kromme zijn 3 punten te onderscheiden:

1. de minimumtemperatuur; onder de minimumtemperatuur is er geen enzymactiviteit, doordat de beweging van de moleculen te traag is voor de vorming van enzym-substraat-complexen.
2. het optimum; dit is de temperatuur waarbij de enzymactiviteit het grootst is.
3. de maximumtemperatuur; boven de maximumtemperatuur hebben alle enzymmoleculen hun specifieke ruimtelijke structuur verloren; er is geen enzymactiviteit meer. Dit proces heet denaturatie en is irreversibel (onomkeerbaar).

**Denaturatie** = proces waarbij een enzym (eiwit) zijn ruimtelijke structuur verliest en inactief wordt. Denaturatie is irreversibel.

## 21 Invloed van de pH

De pH-waarde van de oplossing waarin het enzym zit, beïnvloedt de enzymactiviteit volgens een optimumkromme. De ruimtelijke structuur van een enzymmolecuul blijft alleen bij een bepaalde zuurgraad intact: het optimum. Verandering van de pH heeft tot gevolg dat bij steeds meer enzymmoleculen het actieve centrum verandert, waardoor het enzym zijn werking verliest.

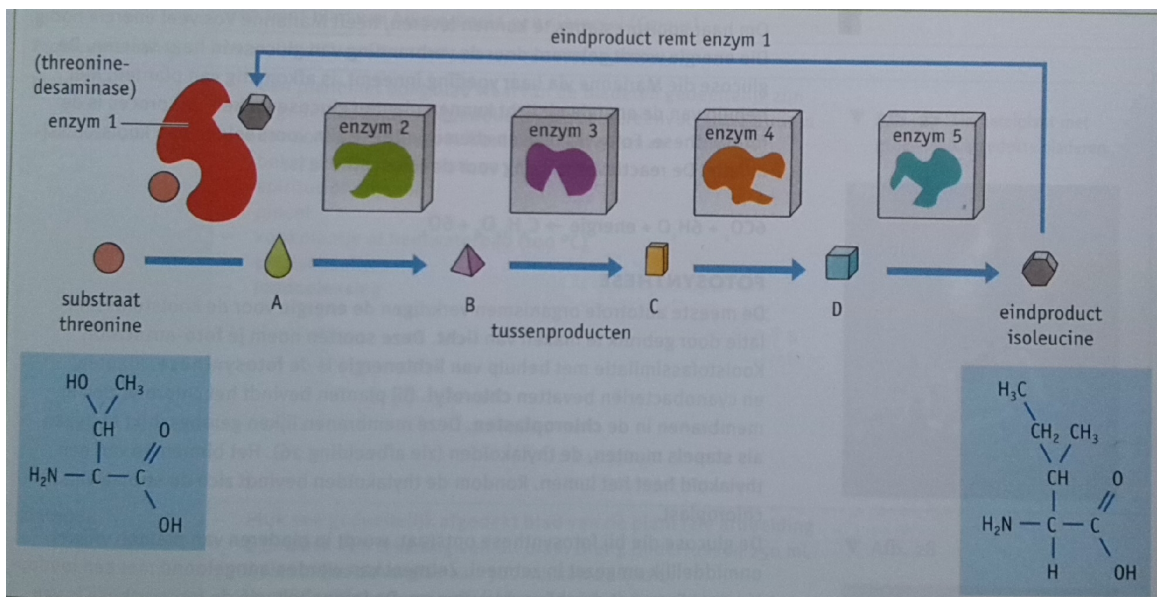


Afbeelding 9. Het verband tussen de pH en de enzymactiviteit van de enzymen P, Q en R.<sup>1</sup>

## 22 Activering en remming van enzymactiviteit

Bepaalde stoffen kunnen de enzymactiviteit beïnvloeden:

- **activering**: de ruimtelijke structuur van een enzymmolecuul wordt zodanig veranderd, dat sneller E-S-complexen kunnen worden gevormd. De stof die verantwoordelijk is voor verhoging van de enzymactiviteit wordt activator genoemd.
- **remming**, dit kan op 2 manieren:
  1. remstoffen veranderen de ruimtelijke structuur van enzymmoleculen, waardoor geen E-S-complexen meer kunnen worden gevormd (bv zware metalen zoals lood en cadmium). Deze verandering is irreversibel.
  2. negatieve terugkoppeling. Het eindproduct van een reeks van stofwisselingsreacties kan functioneren als remstof op een enzym in de reactieketen.



Afbeelding 10. Negatieve terugkoppeling bij de vorming van isoleucine.<sup>1</sup>

Enzymatische reacties zijn vaak evenwichtsreacties:

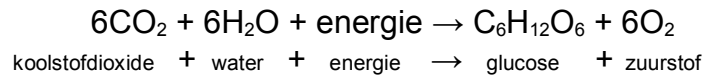
- een enzym heeft geen invloed op de ligging van het evenwicht, wel op de snelheid waarmee het evenwicht zich instelt.
- enzymen zijn reactiespecifiek; elk enzym kan slechts één evenwichtsreactie beïnvloeden.

De activiteit van enzym 1 (uit afbeelding 10) wordt geremd door het eindproduct van de reactieketen. Hierdoor ontstaat een evenwicht tussen de concentratie van het substraat en de concentratie van het eindproduct in een cel.

## Basisstof 4 Koolstofassimilatie

**Koolstofassimilatie** = proces waarbij een organische verbinding opgebouwd wordt uit eenvoudigere organische componenten en/of uit anorganische stoffen zoals CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. Fotosynthese en chemosynthese zijn voorbeelden van koolstofassimilatie.

**fotosynthese** = de vorm van koolstofassimilatie, waarbij de energie die nodig is voor de reactie uit (zon)licht komt. Komt voor in planten en cyanobacteriën:



**chemosynthese** = vorm van koolstofassimilatie, waarbij de chemische energie die nodig is voor de reactie uit de oxidatie (verbranding) van anorganische stoffen (bv NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S) komt. Komt voornamelijk voor bij bacteriën.

## 24 Fotosynthese

**foto-autotroof** = autotrofe organismen die de energie voor de koolstofassimilatie uit licht halen.

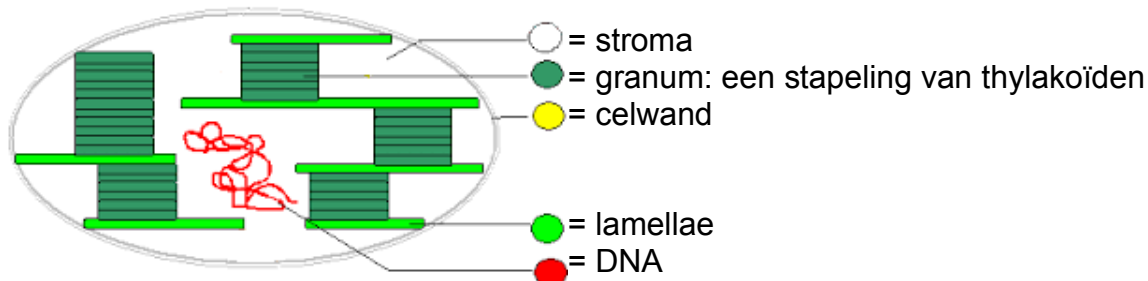
**chemo-autotroof** = autotrofe organismen die de energie voor de koolstofassimilatie uit de oxidatie van anorganische stoffen halen.

Bij planten zit het chlorofyl in thylakoïden-membranen in de chloroplasten. Deze membranen liggen gerangschikt als stapels munten, granum genoemd. Het binnenste van een thylakoïd heet het lumen. Rondom de thylakoïden bevindt zich de stroma van de chloroplast. Grana (meervoud van granum) zijn onderling verbonden door ongestapelde lamellae.

**thylakoïde** = deel van een chloroplast. Het bestaat uit een thylakoïdemembraan rond een thylakoïde-lumen. Het thylakoïdemembraan bevat chlorofyl en enzymen die nodig zijn voor de lichtreacties van de fotosynthese.

**granum** = (latijn voor 'stapel munten') stapel van thylakoïden.

**stroma** = de dikke vloeistof die tussen de stapels thylakoïden zit in een chloroplast.



Afbeelding 11. Een chloroplast met thylakoïden.

De glucose die bij de fotosynthese ontstaat, wordt in bladeren van planten vrijwel onmiddellijk omgezet in zetmeel.



De intensiteit van de fotosynthese hangt af van

- de hoeveelheid en de kleur van het licht.
- de beschikbare hoeveelheden koolstofdioxide en water.
- de temperatuur.
- de hoeveelheid bladgroen.

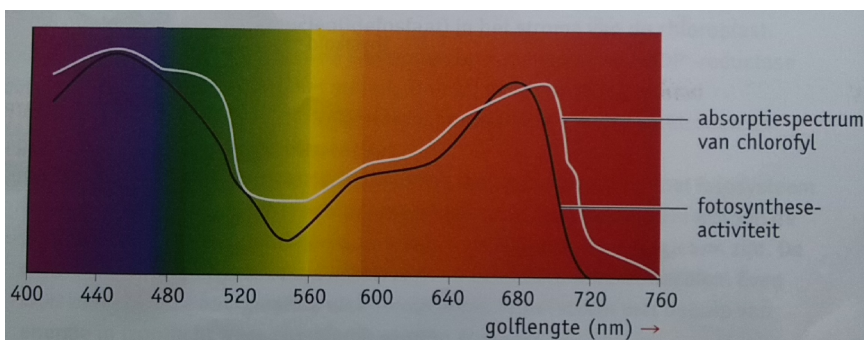
Is een van deze factoren niet aanwezig, dan vindt geen fotosynthese plaats. Is een van deze factoren in beperkte mate aanwezig, dan vindt de fotosynthese in beperkte mate plaats. De factor die het minst gunstig is, bepaalt de intensiteit van de fotosynthese. Deze factor wordt de beperkende factor genoemd.

**intensiteit van de fotosynthese** = de snelheid waarmee glucose wordt gevormd en zuurstof vrijkomt.

**beperkende factor** = de factor die de maximale intensiteit van de fotosynthese bepaalt. Anders gezegd; de factor die het minst gunstig is.

## 27 Chlorofyl

De groene delen van een plant bevatten chlorofyl. Chlorofyl absorbeert verschillende golflengten uit het zichtbare licht en het reflecteert de golflengte van groen licht. Daarom zijn planten groen voor ons. Als je licht met alle golflengten door een oplossing van bladgroen leidt, kun je bepalen welke golflengten geabsorbeerd worden door het chlorofyl.



Afbeelding 12. Absorptiespectrum van chlorofyl en de fotosynthese-activiteit bij verschillende golflengten.<sup>1</sup>

## 28 Lichtreacties en donkerreacties

De fotosynthese bestaat uit 2 samenhangende reactieketens:

1. lichtreacties waar licht voor nodig is.
2. donkerreacties die in het licht én in het donker plaats kunnen vinden.

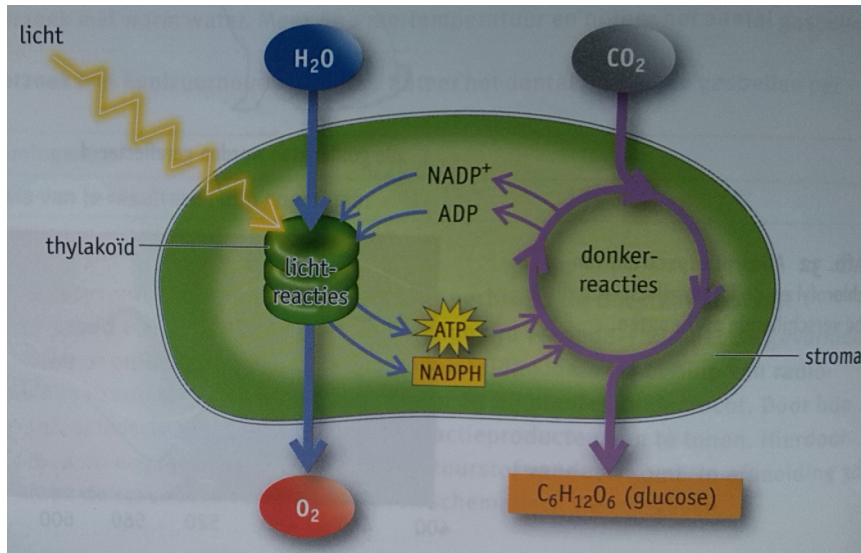
De lichtreacties:

- is licht voor nodig.
- vinden plaats op membranen van de thylakoïden.
- hierbij wordt de energie van het geabsorbeerde licht gebruikt voor de splitsing van  $H_2O$  en het energierijk maken van elektronen.

De energierijke elektronen en waterstofionen worden door transportmoleculen naar de donkerreacties getransporteerd.

De donkerreacties:

- vinden plaats in het stroma van de chloroplast.
- hierbij worden de energie van de waterstofionen gebruikt bij de vorming van glucose. CO<sub>2</sub> dient hierbij als koolstofbron.
- vinden direct aansluitend op de lichtreacties plaats.
- kunnen ook in het donker plaatsvinden.



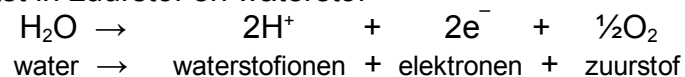
Afbeelding 13. Schema van de lichtreacties en de donkerreacties in een chloroplast.<sup>1</sup>

## 29 De lichtreacties

Tijdens de lichtreacties wordt energie vastgelegd voor de donkerreacties. De lichtreacties vinden plaats op de membranen van de thylakoïden.

De volgende processen vinden plaats:

1. water wordt gesplitst in zuurstof en waterstof



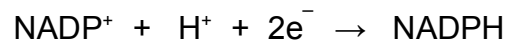
Hierbij worden de elektronen met behulp van de energie in het licht, energierijk gemaakt.

2. De energie uit de energierijke elektronen wordt gebruikt voor de vorming van ATP en NADPH:
  - waterstofionen worden gebonden aan NADP, zodat NADPH ontstaat.
  - lichtenergie wordt vastgelegd in ATP.
3. de zuurstof die gevormd wordt, verlaat de bladgroenkorrel als zuurstofgas O<sub>2</sub>.

Enzymmoleculen, elektronenacceptoren en verschillende typen chlorofyl liggen in de membranen van de thylakoïden georganiseerd in fotosystemen.

### Fotosysteem 1

In het stroma van de chloroplast wordt NADPH gevormd:



NADPH transporteert energierijke elektronen en waterstofionen naar de donkerreacties.

### Fotosysteem 2

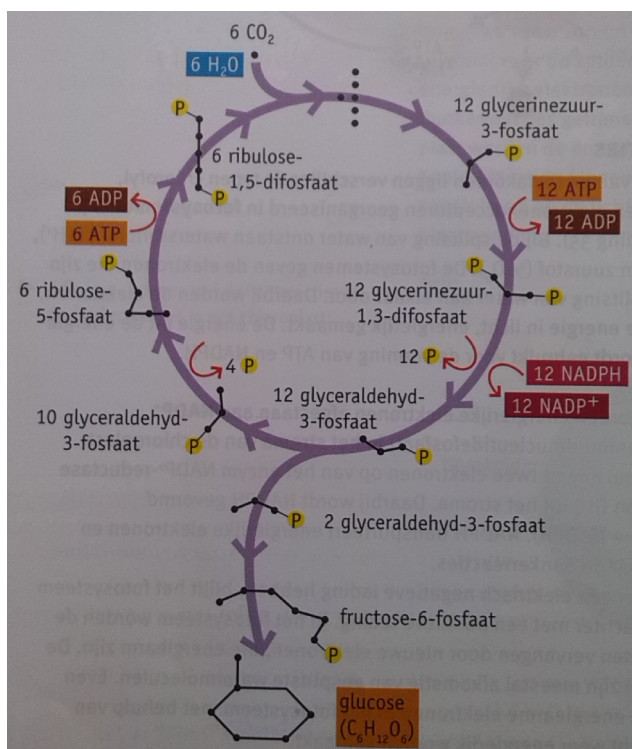
Energierijke elektronen worden gebruikt om waterstofionen actief, vanuit het stroma, door het thylakolïdmembraan te transporteren. Het elektron verliest zijn energie en keert terug naar het chlorofylmolecuul. Het elektron keert dus weer terug naar zijn oorspronkelijke plaats in het fotosysteem en deze cyclus wordt **cyclische fosforylering** genoemd.

## 30 Donkerreacties (calvin-cyclus)

Tijdens de donkerreacties worden glucose-moleculen opgebouwd uit CO<sub>2</sub> moleculen. Dit vindt plaats in de vloeistof (stroma) in de chloroplasten. De donkerreacties vormen een cyclische keten van reacties die naar de ontdekker Calvin-cyclus wordt genoemd.

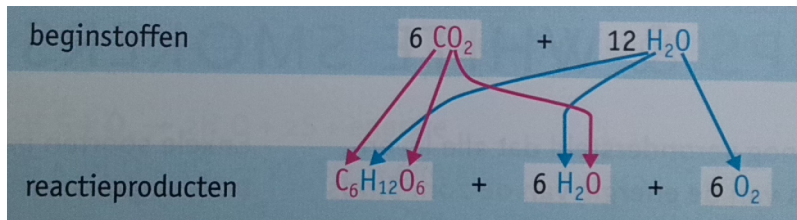
De volgende processen vinden plaats tijdens de donkerreacties:

1. er wordt ATP uit de lichtreacties gebruikt.
2. NADPH uit de lichtreacties wordt gebruikt.
3. 6CO<sub>2</sub> wordt via de Calvin-cyclus gebruikt om C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> te vormen.
4. ADP en NADP komen weer beschikbaar voor de lichtreacties.



*De getallen voor de molecuulnamen geven weer hoeveel moleculen nodig zijn voor de vorming van 1 glucosemolecuul.*

*Afbeelding 14. De donkerreacties, calvin-cyclus genoemd.<sup>1</sup>*



Afbeelding 15. De herkomst en bestemming van atomen bij de fotosynthese<sup>1</sup>.

## 31 Chemosynthese

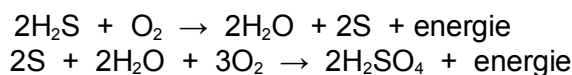
Fotosynthese is de vorm van koolstofassimilatie waarbij de energie uit (zon-)licht wordt benut. Chemosynthese is een vorm van koolstofassimilatie waarbij de energie gehaald wordt uit de oxidatie (=verbranding) van een anorganische stof. Chemosynthese komt voor bij bepaalde soorten bacteriën. Deze bacteriën zijn chemo-autotroof.

**Chemosynthese** = koolstofassimilatie waarbij de energie gehaald wordt uit de oxidatie (=verbranding) van een anorganische stof.

Chemo-autotrofe bacteriën zijn:

### 1. zwavelbacteriën.

- ze leven bij zwavelbronnen op de bodem van de oceanen en vormen de basis van diepzee-ecosystemen.
- ze oxideren waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) tot zwavel



in water splitst  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in  $\text{H}^+$ -ionen en  $\text{SO}_4^{2-}$ -ionen (sulfaationen)

### 2. nitrietbacteriën.

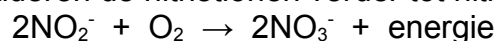
- komen in de bodem voor en spelen een rol in de stikstofkringloop
- ze oxideren ammoniak of ammoniumionen



$\text{HNO}_2$  wordt gesplitst in  $\text{H}^+$ -ionen en  $\text{NO}_2^-$ -ionen (nitrietionen)

### 3. nitraatbacteriën

- komen in de bodem voor en spelen een rol in de stikstofkringloop
- oxideren de nitrietionen verder tot nitraationen ( $\text{NO}_3^-$ )



Nitriet- en nitraatbacteriën worden ook wel nitrificerende bacteriën genoemd.

Op de bodem van de oceaan vormt de oxidatie van methaan ( $\text{CH}_4$ ) en waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) de basis voor 'cold seeps' en 'black and white smoker' ecosystemen.

Cold seeps zijn bronnen op de zeebodem, waar koud water uit de ondergrond de zee in stroomt. Vaak heeft het water uit cold seeps een hoge concentratie opgelost zwavel, methaan of zout. In de omgeving van cold seeps komt een bijzonder ecosysteem voor dat onafhankelijk is van fotosynthese.

Black and white smokers zijn een soort van geisers op de oceaانبodem. Deze hete smokers bieden in vergelijking met sold seeps overeenkomstige, maar minder stabiele groeiomstandigheden.

## Basisstof 5 Voortgezette assimilatie

De glucose die bij de koolstofassimilatie wordt gevormd, dient als grondstof voor de meeste andere organische stoffen die in autotrofe soorten voorkomen, zoals koolhydraten, eiwitten, vetten en DNA. De vorming van deze organische stoffen wordt voortgezette assimilatie genoemd. Bij de verbranding van glucose wordt ATP gevormd en ATP levert weer de energie voor de voortgezette assimilatie.

### Glucose:

- is grondstof voor oa. koolhydraten, eiwitten, vetten en DNA.
- levert bij verbranding energie op in de vorm van ATP dat weer gebruikt wordt als energie voor de voortgezette assimilatie.

Heterotrofe organismen kunnen ook glucose omzetten in andere koolhydraten en vetten. Zij kunnen echter geen stikstof (N) of zwavel (S) uit nitraten en fosfaten inbouwen in organische verbindingen. Heterotrofe organismen moeten daarom organische verbindingen die H of S bevatten, zoals eiwitten, via het voedsel binnenkrijgen.

## 34 Koolhydraten

### Koolhydraten:

- zijn bouwstof.
- zijn reservestof voor de energievoorziening.
- zijn te verdelen in
  1. mono-sachariden (enkelvoudige suikers; bestaan uit 1 ring van C-atomen)  
bv. glucose, fructose
  2. di-sachariden (suikers opgebouwd uit precies 2 monosachariden)  
bv. sacharose (riet- of bietsuiker)
  3. poly-sachariden (suikers opgebouwd uit 10 of meer monosachariden)  
bv. zetmeel, glycogeen, cellulose

### Glucose:

- is een monosacharide.
- is goed oplosbaar in water door de OH-groepen aan de koolstofketen.
- opgelost in water komt het in 2 vormen voor:
  1. als keten
  2. als ring van C-atomen.

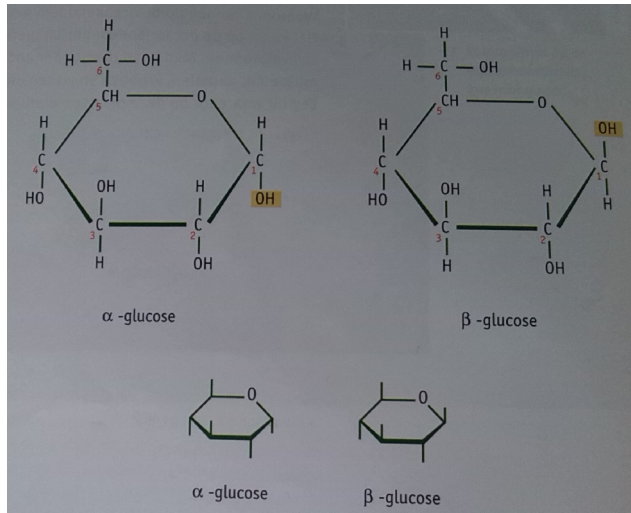
### Een ringvormig glucosemolecuul:

- ontstaat als tussen het 1<sup>e</sup> en 5<sup>e</sup> C-atoom een binding tot stand komt.
- kan in 2 vormen voor komen; een  $\alpha$ -vorm en een  $\beta$ -vorm.  
Deze vormen verschillen door de positie van de OH-groep aan het eerste C-atoom.

**Condensatiereactie** = assimilatiereactie waarbij een klein molecuul, meestal H<sub>2</sub>O, wordt afgesplitst (vandaar de naam 'condensatiereactie'). Bijvoorbeeld het ontstaan van een disacharide uit 2 monosachariden.

**Polymerisatie** = proces waarbij met behulp van condensatiereacties lange ketens van bijvoorbeeld glucosemoleculen gevormd worden. Hierbij ontstaat ook water. Door polymerisatie kan een polysacharide worden gevormd.

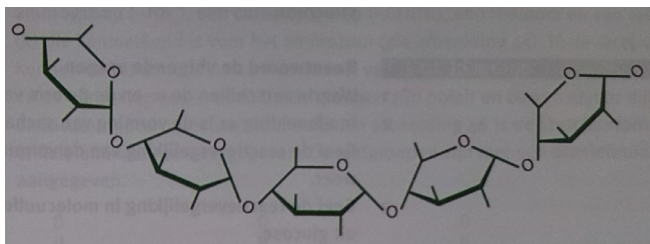




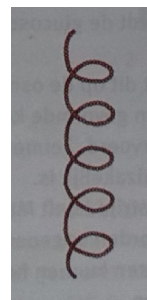
Afbeelding 16.  $\alpha$ -glucose en  $\beta$ -glucose<sup>1</sup>.

### Zetmeel:

- is een polysaccharide.
- een zetmeelmolecuul (amylose) wordt door condensatiereacties opgebouwd uit  $\pm$  6000  $\alpha$ -glucose-moleculen.
- de polymerisatie vindt plaats in de chloroplasten en amyloplasten (zetmeelkorrels) van plantaardige cellen.
- de  $\alpha$ -glucosemoleculen vormen bij de bindingsplaatst een kleine hoek die steeds dezelfde kant op wijst. Hierdoor is een zetmeelmolecuul spiraalvormig gewonden.
- dient als koolhydraatreserve voor planten.



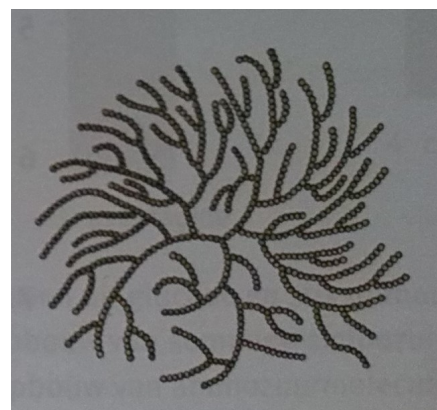
Afbeelding 17. Deel van een zetmeelmolecuul.<sup>1</sup>



Afbeelding 18. Vorm van een zetmeelmolecuul.<sup>1</sup>

### Glycogeen:

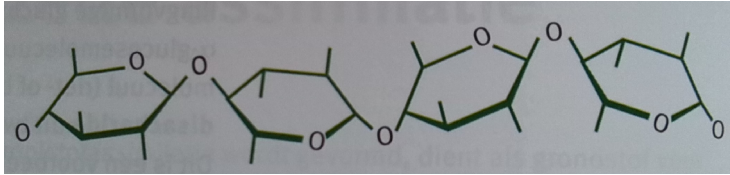
- is een polysaccharide.
- wordt mbv polymerisatiereacties gevormd uit meer dan 20.000  $\alpha$ -glucose.
- de polymerisatie vindt plaats in de lever en spieren van dieren.
- het glycogeenmolecuul is sterk vertakt.
- dient als koolhydratenreserve voor dieren.



Afbeelding 19. Vorm van het glycogeenmolecuul.<sup>1</sup>

## Cellulose:

- is een polysacharide.
- is het hoofdbestanddeel van de celwanden van planten.
- is een polymeer van  $\beta$ -glucose.
- heeft een zigzagvorm, doordat de hoek tussen de glucosemoleculen bij elke bindingsplaats telkens de andere kant op wijst,



Afbeelding 20. Deel van een cellulosemolecuul.<sup>1</sup>.

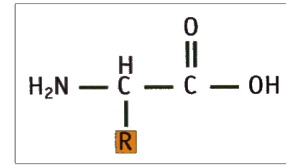
## 37 Eiwitten

Eiwitten zijn polymeren van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren. Eiwitten vervullen veel verschillende functies in een organisme:

eiwitgroepen	functie	voorbeeld
1. enzymen	katalyseren van reacties	
2. structuureiwitten	geven vorm aan weefsels en cellen	keratine in opperhuid, in haren en in nagels
3. membraaneiwwitten	transport tussen cel en omgeving	
4. receptoreiwitten	communicatie met celomgeving	bevinden zich in het celmembraan en reageren op de aanwezigheid van hormonen
5. plasma-eiwitten (maken deel uit van het bloedplasma) <ul style="list-style-type: none"><li>• albuminen (transporteiwitten)</li><li>• globulinen (antistoffen)</li><li>• fibrinogeen (stollingseiwitten)</li></ul>	transport van stoffen in bloedplasma en osmoregulatie  immuniteit  bloedstolling	transport van hemoglobine in rode bloedcellen

Een **aminozuur**:

- bestaat uit een
  - C-atoom
  - aminogroep (-NH<sub>2</sub>), deze is basisch en polair
  - carboxylgroep (-COOH), deze is zuur en polair
  - H-atoom
  - restgroep (waar bv N en S in voorkomen)
- is goed oplosbaar in water door de polaire groepen
- kan een peptidebinding aan gaan. Dit is een binding tussen de carboxylgroep van het ene aminozuur met de aminogroep van het andere aminozuur. Deze 2 aan elkaar gevormde aminozuren vormen een dipeptide.
- is er in 20 varianten die van elkaar verschillen in de restgroep.
- kan door planten geassimileerd worden uit glucose en nitraationen. Voor sommige aminozuren is ook sulfaat (S) nodig. De energie voor de assimilatie wordt geleverd door ATP.
- kan niet door dieren worden geassimileerd uit glucose. Dieren kunnen een aantal aminozuren vormen uit andere aminozuren die ze met hun voedsel binnen krijgen. De aminozuren die dieren niet zelf op deze manier kunnen maken (zogenaamde essentiële aminozuren) moeten dus in het voedsel zitten.

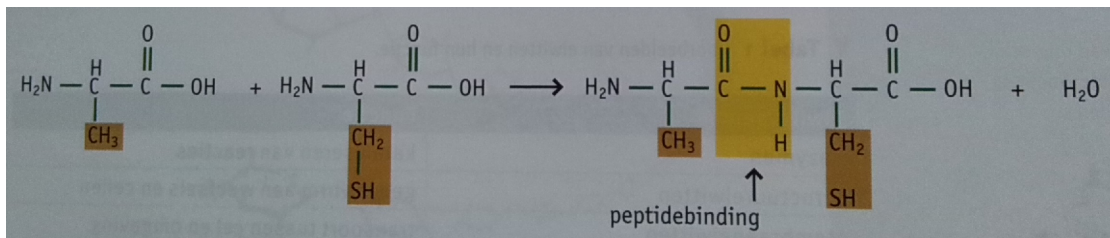


Afbeelding 21. Aminozuur.<sup>1</sup>

**peptidebinding** = een binding tussen de carboxylgroep van het ene aminozuur met de aminogroep van het andere aminozuur.

**dipeptide** = 2, door een peptidebinding, aan elkaar gekoppelde aminozuren.


**polypeptide** = meerdere aminozuren die door middel van peptidebindingen aan elkaar vast zitten.



Afbeelding 22. De vorming van een dipeptide met een peptidebinding.<sup>1</sup>

**essentiële aminozuren** = aminozuren die niet door dieren zelf gemaakt kunnen worden en die dus in het voedsel moeten zitten.

De ruimtelijke bouw van een eiwit wordt op verschillende niveaus bepaald:

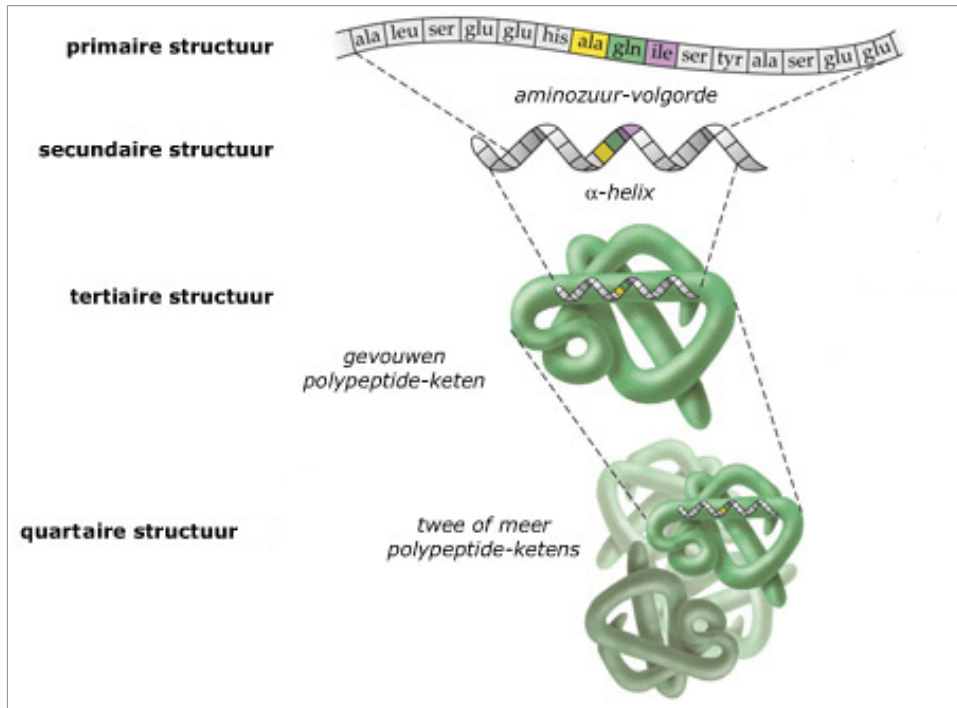
<p>1. <b>primaire structuur</b></p>	<p>wordt bepaald door de <u>typen aminozuren en in welke volgorde deze aminozuren voorkomen</u> in de polypeptideketen(s). De primaire structuur wordt bepaald door de erfelijke code in het DNA.</p>  <p>Afbeelding 23. Aminozuurvolgorde.<sup>4</sup></p>
-------------------------------------	---

<p>2. <b>secundaire structuur</b></p>	<p>wordt bepaald door de <u>hoek die aminozuren maken ten opzichte van elkaar</u>. Hierdoor vertonen grote delen van een eiwitmolecuul een spiraalvorm, de <math>\alpha</math>-helix genoemd, een erg stabiele ruimtelijke vorm.</p> <p>De secundaire structuur komt tot stand door waterstofbruggen met aminozuren in de erboven of eronder liggende winding van de spiraal.</p> <div data-bbox="826 427 1134 483" data-label="Chemical-Block"> </div> <p>Afbeelding 24. De <math>\alpha</math>-helix.<sup>4</sup></p>
<p>3. <b>tertiaire structuur</b></p>	<p>wordt bepaald door <u>waterstof- en zwavelbruggen tussen aminozuren die ver van elkaar afliggen</u>, waardoor de <math>\alpha</math>-helix verder wordt opgevouwen en nog meer gekronkeld wordt.</p> <div data-bbox="673 745 1286 1429" data-label="Chemical-Block"> </div> <p>Afbeelding 25. Zwavel- en waterstofbrug.<sup>3</sup></p>
<p>4. <b>quartaire structuur</b></p>	<p>wordt bepaald door het <u>zich aan elkaar hechten van meerdere (soms) verschillende eiwitketens</u>, die op deze manier een eiwitcomplex vormen.</p> <p>Bv hemoglobine in rode bloedcellen bestaat uit 4 polypeptideketens die elk een bepaalde organische verbinding (heem genoemd) hebben.</p>

**waterstofbrug** = een zwakke chemische verbinding tussen waterstofatomen van een aminogroep en de zuurstofatomen van een carboxylgroep.

**zwavelbrug** (of disulfidebrug (S-S)) = is een sterke covalente binding tussen twee cysteïne-zijgroepen. De zwavelbrug is sterker dan de waterstofbrug.

**eiwitcomplex** = een samengaan van meerdere eiwitten.

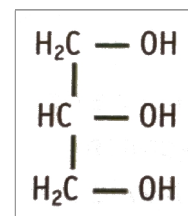
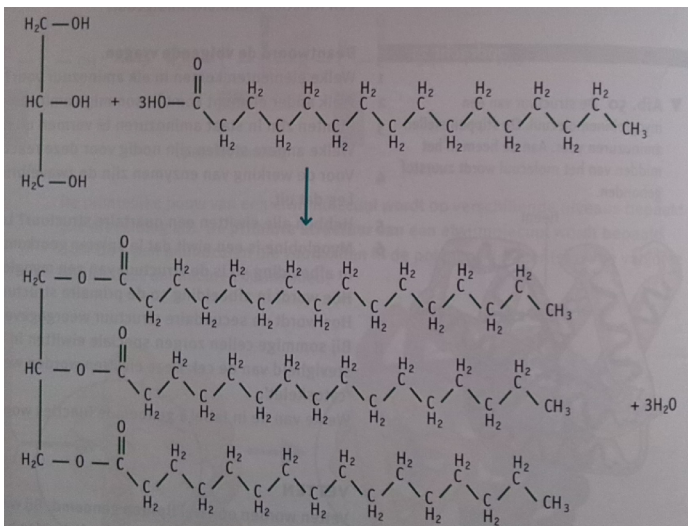


Afbeelding 26. Overzicht van de 4 niveaus van de eiwitstructuur.<sup>4</sup>

## 39 Vetten

### Vetten:

- worden ook lipiden genoemd.
- worden bij warmbloedige dieren opgeslagen in het onderhuidsbindweefsel.
- worden opgeslagen als reservebrandstof en hebben een warmte-isolerende functie.
- als er een overschot van suikers en eiwitten in de voeding zit, worden deze omgezet in vet.
- lossen bijna niet in water op.
- hebben een grote energiedichtheid (38,5 kJ per gram).
- maken deel uit van sommige vitamines, hormonen en cholesterol
- dienen als bouwstof in membranen.
- worden gevormd door condensatiereacties waarbij 3 vetzuurmoleculen zich binden aan 1 glycerolmolecuul.



Afbeelding 27. Glycerol.<sup>1</sup>

Afbeelding 28. De vorming van een vetmolecuul uit glycerol en 3 vetzuren.<sup>1</sup>

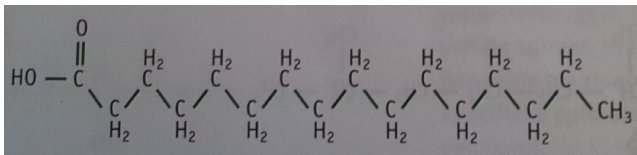


vervolg **vetten**:

- die een functie hebben als hormoon worden steroïdhormonen genoemd (bv oestrogenen, testosteron).

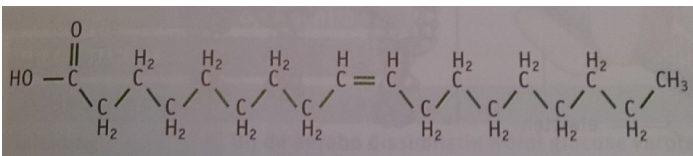
Een **vetzuurmolecuul**:

- bestaat uit een lange keten van  $-CH_2$  groepen met aan het eind daarvan een zuurgroep ( $-COOH$ ).
- de zuurgroep is sterk polair, de lange keten is voor het grootste deel apolair (waterafstotend)
- wordt verzadigd genoemd als de koolstofatomen onderling uitsluitend verbonden zijn door enkelvoudige verbindingen. De koolstofketen bevat dan het maximale aantal H-atomen.



Afbeelding 29. Verzadigd vetzuur.<sup>1</sup>

- wordt onverzadigd genoemd als tussen de C-atomen een of meer dubbele bindingen voorkomen.



Afbeelding 30. Onverzadigd vetzuur.<sup>1</sup>

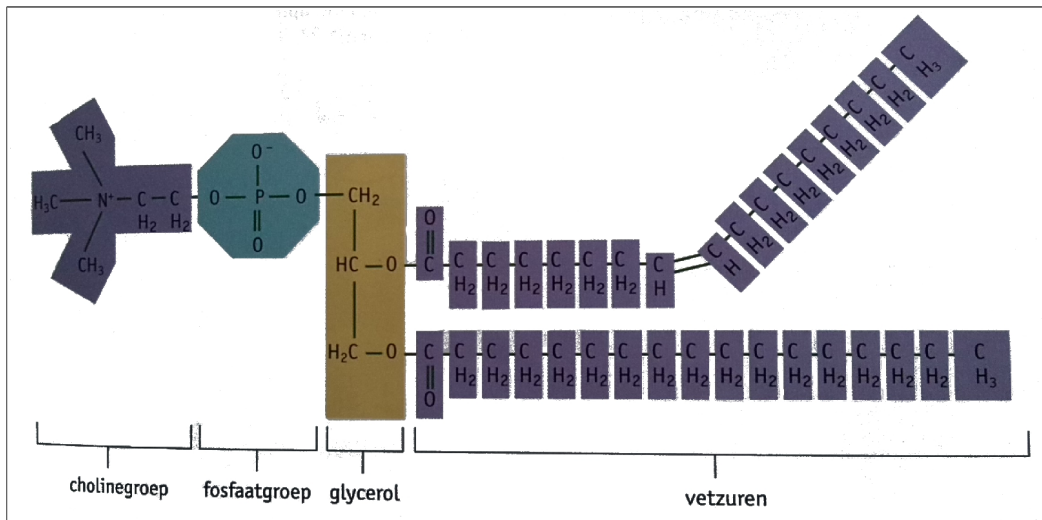
- meervoudig onverzadigd als er 2 of meer dubbele bindingen in de koolstofketen voorkomen.

Lipiden met verzadigde vetzuren zijn vast bij kamertemperatuur en worden vetten genoemd.

Lipiden met onverzadigde vetzuren zijn meestal vloeibaar bij kamertemperatuur en worden oliën genoemd, bv maïs-, soja- en zonnebloemolie.

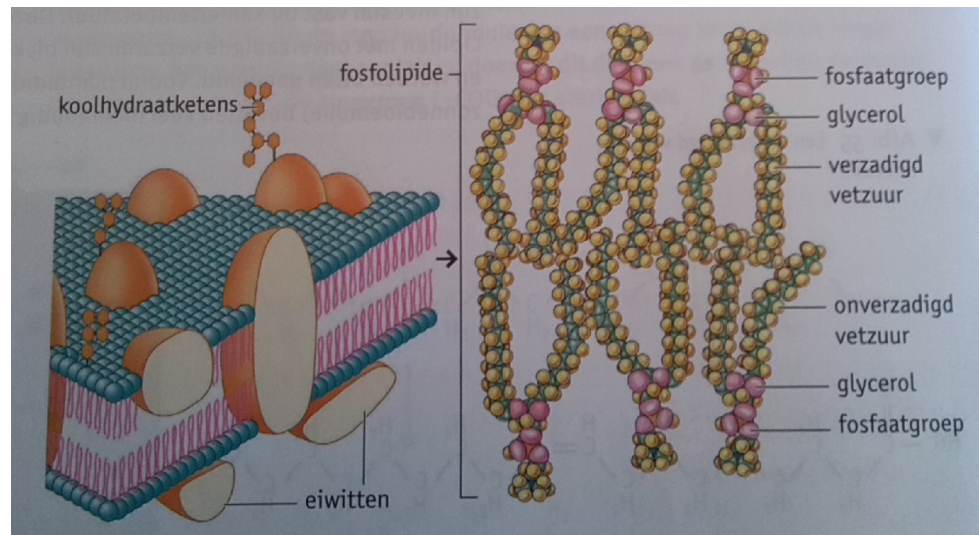
## Fosfolipiden:

- is een vetmolecuul waarbij 1 vetzuur vervangen is door een fosfaatgroep. De fosfaatgroep wordt ook wel aangeduid met  $P_i$  (inorganic phosphate).



Afbeelding 31. Structuur van een fosfolipide.<sup>1</sup>

- zijn de bouwstenen van celmembranen.
- hebben een hydrofobe vetzuurstaart (waterafstotend) hebben een hydrofiële fosfaatgroep, waar nog andere polaire groepen aan kunnen zitten.
- vormen een dubbele laag moleculen met de hydrofiële fosfaatgroepen aan de buitenzijde en de hydrofobe vetzuurstaarten naar elkaar toe aan de binnenzijde
- door de knikken in de onverzadigde vetzuren ontstaat een onregelmatige bouw, waardoor een membraan erg plooibaar is.



Afbeelding 32. Opbouw van een membraan uit fosfolipiden.<sup>1</sup>

# Basisstof 6 Dissimilatie

Bij dissimilatie van organische stoffen komt de energie die bij assimilatie is vastgelegd, weer beschikbaar. De belangrijkste brandstof in cellen is glucose, maar ook vetten en eiwitten kunnen worden verbrand.

**aerobe dissimilatie** = verbranding van glucose met zuurstof.

**anaerobe dissimilatie** = **gisting** = verbranding van glucose zonder zuurstof.

## 45 Aerobe dissimilatie van glucose

In organische moleculen zit de chemische energie vooral in energierijke elektronen. Bij dissimilatiereacties worden energierijke elektronen, meestal samen met waterstofionen overgedragen aan elektronenacceptoren en waterstofacceptoren, zoals  $\text{NAD}^+$  en  $\text{NADP}^+$ .

De bruto reactievergelijking van de aerobe dissimilatie van glucose is



Bij de aerobe dissimilatie van glucose in cellen wordt de energie uit glucose omgezet in ATP. Deze reacties worden in 4 opeenvolgende reactieketens gedeeld.

### 1 glycolyse:

- 1 glucosemolecuul wordt in 2 moleculen pyrodruivenzuur ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ ) gesplitst.
- vindt plaats in het cytoplasma.  
Pyrodruivenzuur wordt opgenomen in de mitochondriën en verder verwerkt.
- verloopt anaeroob.
- $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3 + 2 \text{ATP} + 2 \text{NADH}_2$
- de geproduceerde ATP is nodig om het geproduceerde  $\text{NADH}_2$  over het membraan van de mitochondriën te brengen.

### 2 decarboxylering:

- pyrodruivenzuur ( $\text{C}_3$ ) wordt omgezet in azijnzuur ( $\text{C}_2$ ) en azijnzuur wordt gebonden aan co-enzym A en vormt dan acetylco-enzym A ( $\text{C}_2$ )
- netto reactie:



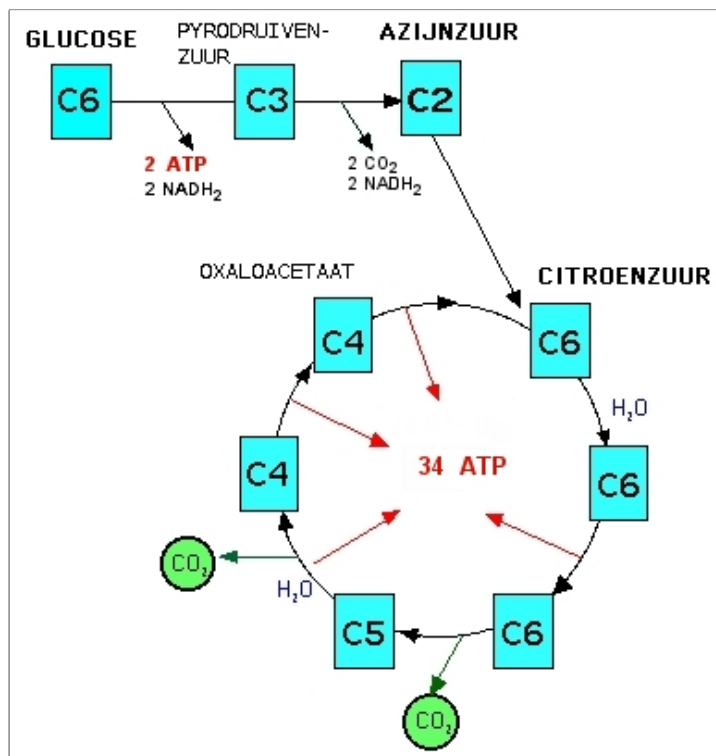
- acetylco-enzym A ( $\text{C}_2$ -molecuul) en oxaloacetaat ( $\text{C}_4$ -molecuul) vormen citroenzuur ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) en dit citroenzuur gaat de citroenzuurcyclus in.
- vindt plaats in de mitochondriën.

### 3 citroenzuurcyclus:

- citroenzuur worden verder afgebroken tot  $\text{CO}_2$ .
- vindt plaats in de matrix, dit is de vloeistof die wordt omsloten door het binnenmembraan van de mitochondriën.
- energierijke elektronen worden overgedragen aan elektronenacceptoren ( $\text{NAD}^+$  en  $\text{FAD}$ ).
- per afgebroken glucosemolecuul wordt de cyclus 2 keer doorlopen.
- verloopt anaeroob.

### 4 oxidatieve fosforylering:

- verloopt aerob.
- vindt plaats in het binnenmembraan van de mitochondriën
- energierijke elektronen staan hun energie geleidelijk af voor de vorming van ATP uit ADP en een fosfaatgroep:  $\text{ADP} + \text{P} \rightarrow \text{ATP}$
- uiteindelijk worden de elektronen (samen met waterstofionen) gebonden aan zuurstof. Hierbij ontstaan watermoleculen.
- wordt ook wel de elektronentransportketen genoemd.



Afbeelding 33. Dissimilatie van glucose tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ .<sup>2</sup>

## 49 Energieopbrengst

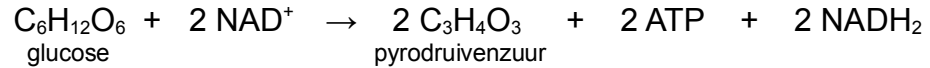
Bij de aerobe dissimilatie van glucose kunnen maximaal 38 ATP-moleculen ontstaan. In werkelijkheid ontstaan er maar 30 tot 32 ATP-moleculen. Dit komt omdat er bijvoorbeeld energie nodig is voor:

- het transport van pyrodruivenzuur en van elektronen vanuit het cytoplasma naar de matrix van het cytoplasma
- het transport van ATP vanuit de mitochondriën naar het cytoplasma.

## 51 Anaerobe dissimilatie van glucose

**Gisting** = het proces waarbij glucose in koolstofdioxide en ethanol (alcohol) of melkzuur wordt omgezet. Hierbij wordt alleen de glycolyse doorlopen.

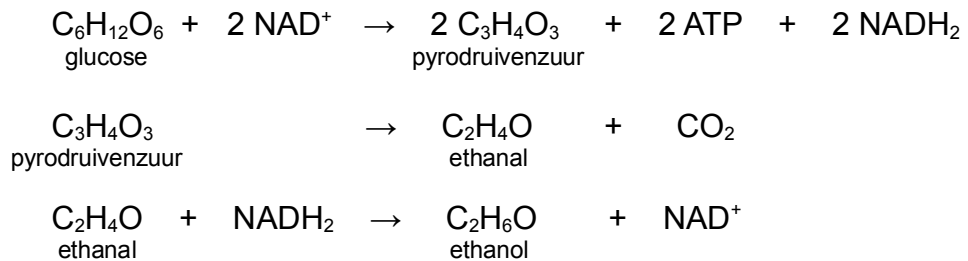
Bij de glycolyse ontstaan per glucosemolecuul 2 pyrodruivenzuur ( $C_3H_4O_3$ ) en netto 2 ATP. Er worden tevens elektronen overgedragen aan de elektronenacceptor  $NAD^+$ , waarbij  $NADH_2$  ontstaat.



Als er geen nieuw  $NAD^+$  gevormd zou worden, zou de gisting snel stoppen. Door de vorming van ethanol of van melkzuur uit pyrodruivenzuur wordt  $NADH_2$  weer omgezet in  $NAD^+$ .

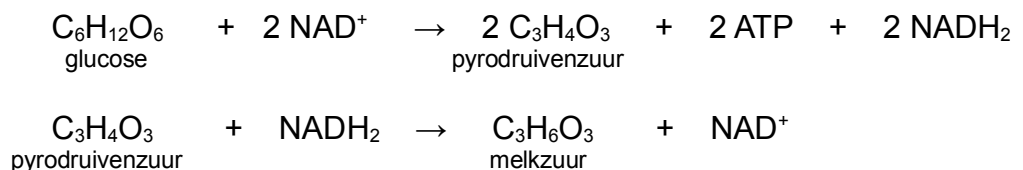
Gisten zetten pyrodruivenzuur om in ethanol (alcohol). Deze vorm van anaerobe dissimilatie van glucose wordt alcoholgisting genoemd en wordt gebruikt bij de bereiding van bier, wijn en brood.

**Alcoholgisting** = anaerobe dissimilatie van glucose tot alcohol (ethanol):



Melkzuurbacteriën zetten pyrodruivenzuur om in melkzuur. Deze vorm van anaerobe dissimilatie van glucose wordt melkzuurgisting genoemd en wordt gebruikt bij de bereiding van kaas, yoghurt en zuurkool.

**melkzuurgisting** = anaerobe dissimilatie van glucose tot melkzuur:

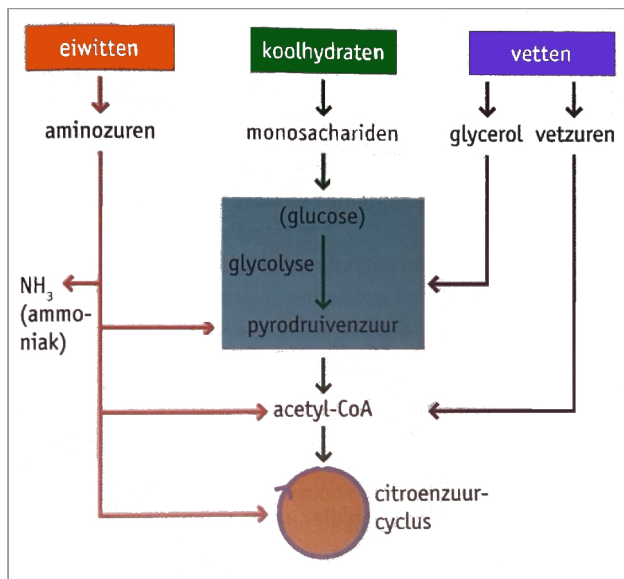


Als mensen of *dieren* in een hele korte tijd veel energie nodig hebben (bv bij explosieve sporten) kan door anaerobe dissimilatie melkzuur ontstaan. In het celplasma vindt alleen maar glycolyse plaats, omdat er geen tijd is om het pyrodruivenzuur naar de mitochondriën te transporteren voor verdere dissimilatie. In korte tijd wordt er veel glucose gedissimileerd en ontstaat er veel melkzuur, dat zich ophoopt in de spieren. Na afloop van de inspanning wordt het melkzuur afgevoerd naar de lever, waar het met behulp van  $O_2$  en ATP weer omgezet wordt in glucose.



## 53 Anaerobe dissimilatie van koolhydraten, vetten en eiwitten

In cellen worden, behalve glucose, ook vetten, eiwitten en andere koolhydraten gedissimileerd.



Afbeelding 34. Dissimilatie van eiwitten, koolhydraten en vetten.<sup>1</sup>

### Dissimilatie van eiwitten:

1. eiwitten worden gesplitst in aminozuren.
2. van de aminozuren wordt de aminogroep ( $-\text{NH}_2$ ) afgesplitst en omgezet in ammoniak ( $\text{NH}_3$ ).
3. de overgebleven koolstofketen kan worden omgezet in
  - pyrodruivenzuur
  - azijnzuur
  - andere stoffen die in de citroenzuurcyclus verder worden gedissimileerd.

### Dissimilatie van koolhydraten:

Koolhydraten worden eerst omgezet in monosachariden, vooral glucose.

### Dissimilatie van vetten:

1. vetten worden gesplitst in glycerol en vetzuren. Dit gebeurt in de lever en in de wand van de kleinste bloedvaten.
2. glycerol wordt omgezet in pyrodruivenzuur.  
Als in een cel geen behoefte is aan energie, kan glycerol ook worden omgezet in glucose en vervolgens in glycogeen en dit wordt dan opgeslagen als energiereserve.
3. van de vetzuren worden telkens  $\text{C}_2$ -moleculen afgesplitst.  
De enzymen die deze reactie katalyseren, bevinden zich in de vloeistof in de mitochondriën.
4. de  $\text{C}_2$ -moleculen worden omgezet in acetylco-enzym A dat de citroenzuurcyclus ingaat.

Bij de aerobe dissimilatie van vetten komt veel meer energie vrij dan bij de aerobe dissimilatie van koolhydraten of eiwitten. Dit komt door het relatief grote aantal waterstofatomen per gram vet.

De hoeveelheid energie die vrijkomt bij

- 1 gram vet : 38,5 kJ
- 1 gram koolhydraat : 17,2 kJ
- 1 gram eiwit : 22,2 kJ

## 53 Het basale metabolisme

**basale metabolisme** = alle stofwisselingsprocessen die in rust doorgaan, zoals de hartslag, de ademhalingsbewegingen en de peristaltische bewegingen van het darmkanaal.

De intensiteit van het basale metabolisme is afhankelijk van:

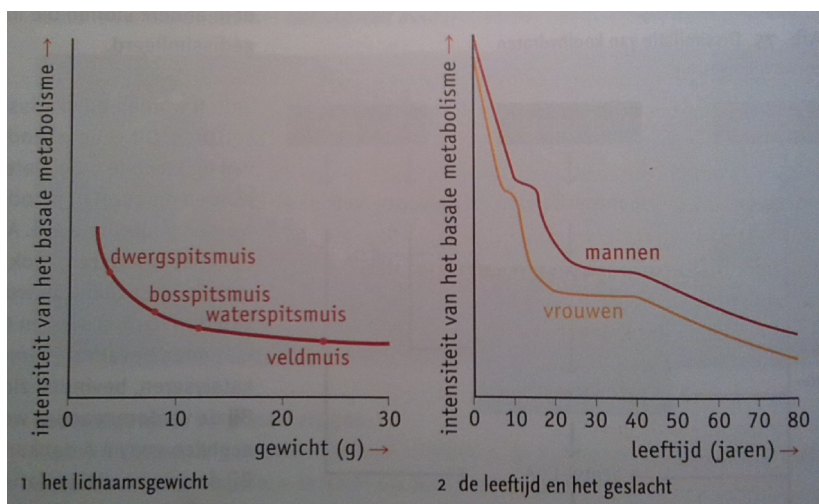
- geslacht
- leeftijd
- lichaamsgewicht
- lichaamstemperatuur
- tijdstip van de dag
- jaargetijde (winterslaap)

en kan worden bepaald door de hoeveelheid O<sub>2</sub> te meten die een individu in rust verbruikt.

**homoiotherm** = dieren met een min of meer constante lichaamstemperatuur.

**poikilotherm** = dieren met een lichaamstemperatuur die min of meer gelijk is aan de omgevingstemperatuur.

Bij lagere omgevingstemperatuur is de intensiteit van het basale metabolisme van homoiotherme dieren hoger dan die van poikilotherme dieren.



Afbeelding 35. Factoren die invloed hebben op het basale metabolisme.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Biologie voor jou, 5a VWO, 5e editie.

<sup>2</sup> [http://www.bioplek.org/sheets/sheet\\_citroenzuurcyclus.html](http://www.bioplek.org/sheets/sheet_citroenzuurcyclus.html)

<sup>3</sup> <http://www.10voorbiologie.nl/index.php?cat=9&id=370&par=376&sub=379>

<sup>4</sup> <http://www.aljevragen.nl/sk/biochemie/BIO157.html>