

Toelatingsexamen Arts-Tandarts- Dierenarts

Vorbereiden voor de toelatingstoets

Twaalfde Editie

Christine Dirkse, MSc

Arjen Vreugdenhil, MSc

Omslagontwerp: Micha Steenbergen
Druk: Uitgeverij Palmslag, Groningen, Nederland

© Bio-exact Educatie, Groningen, Nederland, 2023.

12^e editie, 1^e druk

E-mail: contact@studyboard.be

www.toelatingsexamenvlaanderen.be

ISBN-NUMMER: 978-94-93245-29-7

NUR 100

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt worden, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur.

De auteurs aanvaarden geen aansprakelijkheid voor eventuele schade, die zou kunnen voortvloeien uit enige fout die in deze publicatie zou kunnen voorkomen.

Voorwoord

Dit boek is bedoeld als theorie- en oefenboek ter voorbereiding op de kennistoets van het toelatingsexamen arts, tandarts & dierenarts in Vlaanderen. Met deze cursus heeft u alle theorie en oefeningen in de hand om met glans te slagen op het examen. Het boek is geschikt voor zelfstudie. Met behulp van onze e-learning module op www.toelatingsexamenvlaanderen.be kunt u zich verder optimaal voorbereiden.

Over het verloop en praktische vragen over het examen, te kennen leerstof etc. kunt u terecht op de officiële website van het toelatingsexamen: toelatingsexamenartstandarts.be.

Deze twaalfde editie lijkt op de elfde editie en is gebaseerd op de exameneisen van 2023. Op het moment van uitgave zijn de eisen van 2024 nog niet bekend. Deze worden in januari 2024 bekend gemaakt. Eventueel noodzakelijke toevoegingen van theorie zullen via de website (www.toelatingsexamenvlaanderen.be) beschikbaar gemaakt worden.

Het boek kwam tot stand vanuit een idee van Frédéric van der Cruyssen en is door Christine Dirkse en Arjen Vreugdenhil verder ontwikkeld tot een naslagwerk dat nauw aansluit bij de KIW-eisen van het ingangsexamen.

Online Content

Wij willen studenten zo veel mogelijk ondersteunen bij het studeren voor het ingangsexamen. Daarom creëerden wij een online studieplatform. Dit platform is gemaakt ter ondersteuning van onze boeken. Met behulp van onderstaande licentiecode kunt u een gratis account te creëren op www.toelatingsexamenvlaanderen.be.

Op deze website vindt u extra uitleg, uitlegvideo's, simulaties en honderden oefenopgaven, nieuwsupdates, handige documenten en nog veel meer. Ons platform is ook toegankelijk op mobiele toestellen en tablets!

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	3
Online Content.....	3
1 Tips voor het examen	6
Deel I: Biologie.....	7
2 Cellen.....	8
3 Stofwisseling en energie	17
4 Erfelijke informatie	34
5 Celvermeerdering.....	45
6 Erfelijkheid.....	52
7 Evolutie	61
8 Voortplanting	67
9 Skelet en bewegingsstelsel van de mens	81
10 Zenuwstelsel.....	90
11 Hormonaal stelsel	96
12 Biologie-opgaven oefenen	100
Deel II: Fysica.....	133
13 Optica	134
14 Hydrostatica	145
15 Thermodynamica.....	155
16 Elektrostatica	164
17 Elektrische schakelingen.....	180
18 Magnetisme	192
19 Kernfysica	205
20 Kinematica	213
21 Dynamica	230
22 Trillingen en golven.....	254
23 Geluid	267
24 Natuurkunde-opgaven oefenen.....	271
Deel III: Chemie.....	313
25 Basiskennis Chemie	314

26	Atomen en periodiek systeem.....	332
27	Chemische binding	343
28	Chemisch rekenen.....	354
29	Kinetiek en evenwicht.....	369
30	Zuren en basen	381
31	Redoxreacties.....	394
32	Koolstofchemie.....	403
33	Scheikunde-opgaven oefenen	418
Deel IV Wiskunde		441
34	Algebraïsche bewerkingen	442
35	Vergelijkingen oplossen	453
36	Vlakke meetkunde	468
37	Analytische meetkunde	474
38	Trigonometrie.....	482
39	Calculus.....	490
40	Analyse van functies	503
41	Kansrekening en combinatoriek	525
42	Statistiek	535
43	Wiskunde-opgaven oefenen.....	544
Deel V Uitwerkingen		577
44	Uitwerkingen Biologie	578
45	Uitwerkingen Fysica.....	587
46	Uitwerkingen Chemie	609
47	Uitwerkingen Wiskunde.....	620
Verantwoording.....		637

1 Tips voor het examen

Dit boek bereid u voor op het kennisdeel van het Toelatingsexamen Arts, Tandarts & Diergeneeskunde in Vlaanderen. De leerstof hiervoor vindt u op de website toelatingsexamenartstandarts.be. Hier vindt u ook meer informatie over de CLEAR- en VAARDIGTEST, daar gaat dit boek verder niet uitgebreid op in.

Omdat ieder vak zijn eigen studie-aanpak vereist, geven we bij het begin van elk deel (elk vak) een aantal studietips.

Hier alvast een paar algemene tips bij de voorbereiding op het examen:

- Laat u niet overdonderen door de massa volk, maar kom tot rust en focus u onmiddellijk op de vragen.
- Blijf niet te lang op één vraag hangen, maar maak eerst de overige vragen zodat u niet in tijdnood komt.
- Begin met het leerstofonderdeel dat u het beste ligt.
- Vergeet geen horloge om de tijd in de gaten te houden, mobiele telefoons zijn verboden.
- Vergeet uw identiteitskaart en toelatingsbrief niet!
- Bekijk goed de formularia op voorhand dat u geen onnodige dingen van buiten leert. Leg het naast u tijdens het maken van de oefeningen

Deel I: Biologie

Bij Biologie is het belangrijk om feitjes te leren. Een paar tips daarbij:

- Maak een lijst van begrippen die u nog niet kent. Oefen die met behulp van flashcards; die kunt u op papier maken of invoeren op een website als cram.com of quizlet.com (handige sites om in een verloren minuutje op de telefoon even te oefenen!).
- Sta uitgebreid stil bij de afbeeldingen. Veel van wat er in de tekst staat, vindt u terug in de afbeeldingen. Een goede manier om te testen of u de stof beheerst, is om zoveel mogelijk stof na te vertellen aan de hand van de afbeeldingen.
- Belangrijke onderdelen die in de regel uitgebreid op het examen aan bod komen zijn:
 - Celorganellen (Hoofdstuk 2)
 - Celdelingen (Hoofdstuk 2)
 - Stofwisseling (Hoofdstuk 3)
 - Voortplanting en ontwikkeling (hoofdstuk 8)
- Neem de stof per hoofdstuk door en leer direct. De verwerkingsopgaven aan het eind van ieder hoofdstuk kunnen helpen overzicht te krijgen over de stof.
- Maak na het bestuderen van de stof de oefenopgaven in hoofdstuk 12.
- Oefen daarna met de examens van vorig jaar op toelatingsexamenartstandarts.be.

2 Cellen

In dit hoofdstuk staan de volgende leerdoelen uit het leerstofoverzicht van KIW centraal:

De eukaryote cel: bouw en de functie van de celorganellen

- lichtmicroscopische bouw van dier- en plantencel
- elektronenmicroscopische bouw van dier- en plantencel:
 - bouw en functie van celorganellen en -structuren: kern, plastiden, mitochondriën, endoplasmatisch reticulum, Golgi-apparaat, lysosomen, ribosomen, celmembraan, cytoskelet (microfilamenten, microtubuli), centriolen, celwand, vacuole
 - eenheidsmembraan: bouw en functie
 - verschil tussen dier- en plantencel
- uitwisseling van stoffen tussen cel en milieu
 - passief transport: diffusie, osmose
 - actief transport: transport van stoffen tegen een concentratiegradiënt
 - endo- en exocytose

2.1 Bouw van cellen

Alle organismen bestaan uit één of meerdere cellen. Daarbij onderscheiden we vier typen cellen:

Prokaryote cellen zijn zeer eenvoudig gebouwd en hebben geen celkern. Komen voor in bacteriën.

Eukaryote cellen zijn cellen met een celkern en andere onderdelen. Daar zijn drie typen van:

- Dierlijke cellen
- Plantaardige cellen
- Schimmelcellen

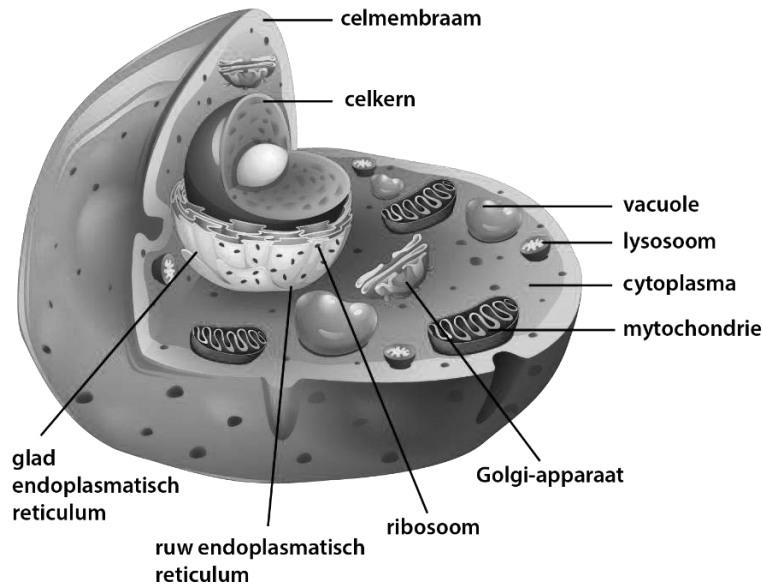
In dit hoofdstuk behandelen we de bouw van dierlijke en plantencellen. Deze zijn ongeveer 50 μm groot (0,05 mm). De precieze grootte van deze cellen kan wel aanzienlijk verschillen, denk bijvoorbeeld aan een

kippenei, zenuwcel of spiervezel. Cellen zijn nog te zien met een lichtmicroscop (100 nm – 1 mm), de meeste celstructuren zijn alleen zichtbaar met een elektronenmicroscop (0,1 nm – 50 µm).

2.2 Celorganellen en hun functie

De cel is te vergelijken met een fabriek. Zoals in een fabriek elke machine zijn eigen taak heeft, heeft de cel onderdelen die elk hun eigen taak hebben, de organellen. We zetten de organellen hieronder op een rij.

Organellen in dierlijke cellen



Figuur 1 Een dierlijke cel met organellen

In dierlijke cellen tref je de volgende organellen aan:

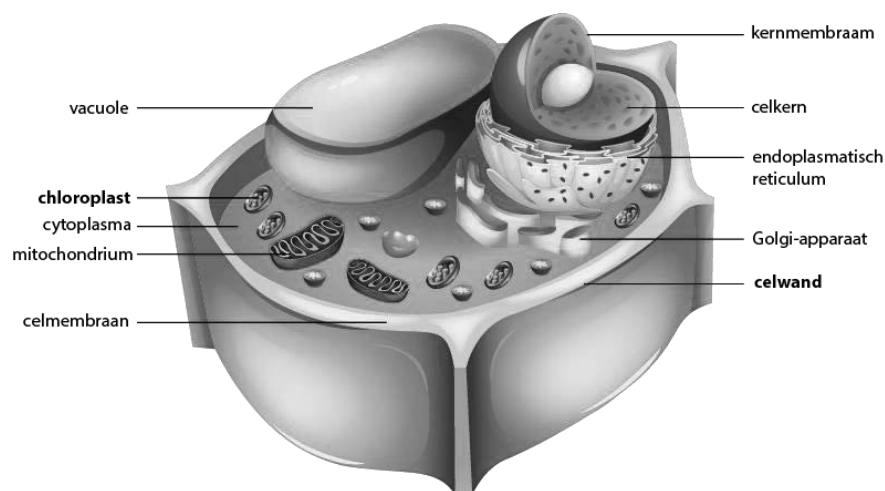
- **De celmembraan**, ook wel eenheidsmembraan genoemd. De celmembraan vormt de buitenzijde van de cel en houdt de onderdelen van de cel bij elkaar. Verderop bespreken we de celmembraan uitgebreider.
- **De celkern**, met daarin de genetische informatie, die als pakketjes DNA verpakt is in chromosomen. De celkern is omgeven door de kernmembraan, die net zo gebouwd is als de celmembraan, met daarin poriën waardoor RNA en eiwitten de celkern in en uit kunnen. In de kern wordt de eiwitsynthese gereguleerd.
- **De ribosomen**, kleine bolletjes die verantwoordelijk zijn voor de eiwitsynthese. Ze bestaan uit ribosomaal RNA en eiwitten. Ze zitten deels gebonden op het endoplasmatisch reticulum en liggen deels los in het cytoplasma.
- **Het endoplasmatisch reticulum (ER)**, een netwerk van membranen dat tegen de celkern aanligt. Binnen die membranen vormen een soort zakken, die met elkaar in verbinding staan. We onderscheiden twee typen:
 - **Het ruw endoplasmatisch reticulum**; dit lijkt ruw doordat er ribosomen op liggen. Dit deel van het ER is belangrijk voor de eiwitsynthese. Daar komen we later op terug.

- **Het glad endoplasmatisch reticulum**, waar geen ribosomen op liggen. Dit is belangrijk bij de vorming van bouwstoffen van membranen.
- **Het Golgi-apparaat**, dat het distributiecentrum van de cel vormt. Hier worden eiwitten verpakt om naar buiten de cel te versturen. Eventueel worden eerder gevormde eiwitten hier nog enigszins gewijzigd.
- **Lysosomen**, een soort blaasjes, omgeven door een membraan, met daarin verterende enzymen. Het lysosoom breekt grote moleculen af (proteïnen, nucleïnezuren en lipiden bijvoorbeeld) en oude celorganellen, maar ook vreemde stoffen zoals bacteriën en viruspartikels. De opname gaat via endocytose (zie paragraaf 2.3). Lysosomen ontstaan door afsnoering van het Golgi-apparaat. Het zijn dus blaasjes die zijn ontstaan uit het Golgi-apparaat.
- **Mitochondriën**, die verantwoordelijk zijn voor de energievoorziening in de cel. Bijzonder is dat mitochondriën hun eigen DNA hebben, dat anders is dan het DNA in de celkern.
- **Het cytoskelet**. Dit netwerk van eiwitvezels houdt de celvorm in stand; het zijn als het ware de steunpilaren van de cel. Het houdt ook de organellen op hun plek en helpt bij het transport van materialen door de cel. We onderscheiden twee typen eiwitvezels in de cel: microfilamenten die belangrijk zijn voor het samentrekken en voortbewegen van de cel, en microtubuli die belangrijk zijn voor organisatie en transport in de cel.
- **Vacuolen**, blaasjes waarin stoffen opgeslagen kunnen worden. In dierlijke cellen komen kleine vacuolen voor, bijvoorbeeld vetvacuolen. In plantaardige cellen komen grote vacuolen voor, waarin water en reservestoffen liggen opgeslagen.

De cel is verder opgevuld met cytoplasma, een vloeistof dat voornamelijk uit water en zouten bestaat. Daarin liggen ook de bouwstoffen die de cel nodig heeft bij processen, zoals eiwitten, aminozuren en suikers.

Organellen in plantaardige cellen

Plantaardige cellen bevatten vrijwel alle organellen die dierlijke cellen ook bevatten (zie Figuur 2).



Figuur 2 Plantaardige cel

Een aantal verschillen:

- **Plantencellen hebben geen lysosomen.** De vacuole, die in plantencellen heel groot is, neemt de afbreekfunctie van de lysosomen over.
- **Plantencellen hebben grote vacuolen.** Naast de functie voor opslag en afbraak van stoffen, spelen vacuolen ook een rol in de stevigheid van de plantencel.
- **Plantencellen hebben een celwand.** Deze zit om de celmembraan heen. De celwand is poreus; de meeste stoffen kunnen er gewoon doorheen. Maar als de plantencel opzwelt doordat hij veel water opneemt, zorgt de celwand ervoor dat de cel niet knapt.
- Plantencellen bevatten **plastiden**: korrels met daarin kleurstoffen of zetmeel. We onderscheiden verschillende plastiden:
 - **Chloroplasten** of bladgroenkorrels, met groene pigmenten. Hierin vindt de fotosynthese plaats. Net als mitochondriën hebben ze hun eigen DNA.
 - **Chromoplasten** of kleurstofkorrels. Deze bevatten rode of gele kleurstof en zijn verantwoordelijk voor de kleur van sommige bloemen en vruchten. Een tomaat bijvoorbeeld is eerst groen door chloroplasten, die tijdens het rijpen steeds meer vervangen worden door chromoplasten, waardoor hij zijn rode kleur krijgt.
 - **Amyloplasten** of zetmeelkorrels. Deze bevatten zetmeel als reservestof voor de plant. Ze zijn bijvoorbeeld in aardappels aan te treffen. Deze plastiden zijn kleurloos.

Overzicht verschil plantencel en dierlijke cel

Plantencellen en dierlijke cellen lijken op het eerste gezicht dus op elkaar. Toch verschillen ze in het voorkomen van bepaalde organellen en is de celbegrenzing verschillend. De belangrijkste verschillen zijn in Tabel 1 op een rij gezet.

Tabel 1 Verschillen tussen plantencellen en dierlijke cellen.

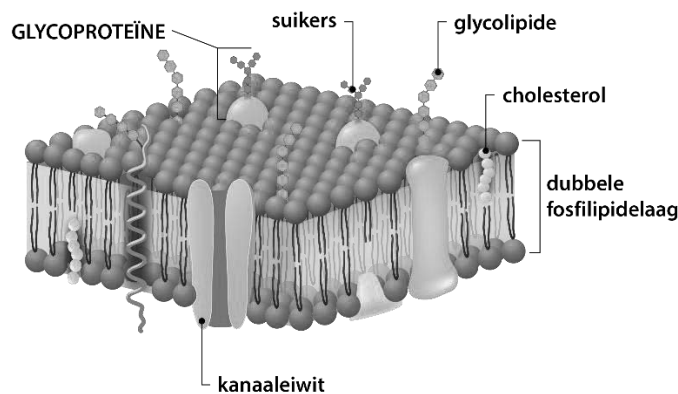
Aanwezigheid van	plantencel	dierlijke cel
celwand	wel	niet
vacuole	grote vacuole	alleen kleine vacuolen
chloroplasten (bladgroenkorrels)	wel	niet

2.3 Transport over de celmembraan

De celmembraan (of eenheidsmembraan) is de buitenrand van de dierlijke cel. Ook plantencellen hebben een celmembraan, met daaromheen nog een celwand. De celmembraan kan selectief stoffen doorlaten. In deze paragraaf bespreken we eerst de bouw van die membraan. Daarna bekijken we hoe stoffen de celmembraan kunnen passeren.

Bouw van de celmembraan

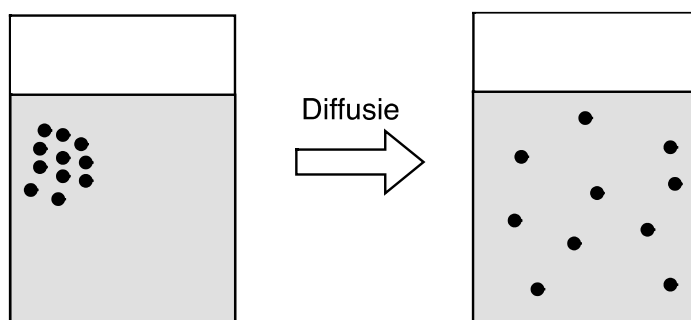
De celmembraan bestaat uit een **dubbele fosfolipidenlaag** (vetrijk) (zie Figuur 3). Fosfolipiden zijn vetachtige stoffen, met een **hydrofiële** (wateraantrekkende) **kop** en een **hydrofobe** (waterafstotende) **staart**. De hydrofobe staarten richten zich naar elkaar toe, waardoor een laag vet ontstaat waar water niet doorheen kan. Dit vormt geen statisch geheel, maar is flexibel, zoals de wand van een zeepbel flexibel is. **Cholesterol** stabiliseert het membraan. Uit de celmembraan steken suikers en vetten die een functie hebben als signaalmolecuul (glycoproteïnen en glycolipiden). Ook bevat de celmembraan **eiwitten**, voor verschillende doeleinden: receptoreiwitten die signalen uit de omgeving opvangen (glycoproteïnen) en kanaaleiwitten, die een rol spelen bij het transport van stoffen door de celmembraan. Tot slot bevat de celmembraan suikers (**polysachariden**) die belangrijk zijn in herkenning van de cel en auto-immuniteit.



Figuur 3 De celmembraan

Diffusie

Iedere stof heeft de neiging zichzelf evenredig te verspreiden over de beschikbare ruimte (thee verspreidt zich door een glas heet water, geur verspreidt zich over de hele ruimte, etc). Dit heet **diffusie** (zie Figuur 4).



Figuur 4 Diffusie is het verspreiden van een stof over de ruimte; dit gebeurt zowel in de lucht als in een vloeistof.

Als de concentratie van een bepaalde stof, bijvoorbeeld zuurstof, buiten de cel hoger is dan in de cel, zal de zuurstof van de plaats met hoge concentratie zich verplaatsen naar de plaats met de laagste concentratie,

tot de concentratie aan beide zijden gelijk is. Dit gebeurt bijvoorbeeld in de longen bij ademhaling, waarbij zuurstof vanuit de longen naar het zuurstofarme bloed diffundeert.

De celmembraan scheidt stoffen buiten en binnen de cel van elkaar. Kleine moleculen, zoals zuurstof en koolstofdioxide, kunnen echter wel door deze membraan heen diffunderen. Andere stoffen, zoals glucose en geladen ionen zoals natrium-, kalium- en chloride-ionen, kunnen alleen door de celmembraan verplaatsen als er een transporteiwit aanwezig is dat een kanaal door de membraan vormt waar deze stoffen doorheen kunnen. Verplaatsing gaat dan altijd naar de plaats met de laagste concentratie. Deze vorm van transport kost geen energie en heet daarom **passief transport**.

Passief transport van water: osmose

Ook water kan door passief transport verplaatsen naar de plaats met de laagste concentratie waterdeeltjes (dus met de hoogste concentratie opgeloste stoffen). Diffusie van water heet ook wel **osmose**.

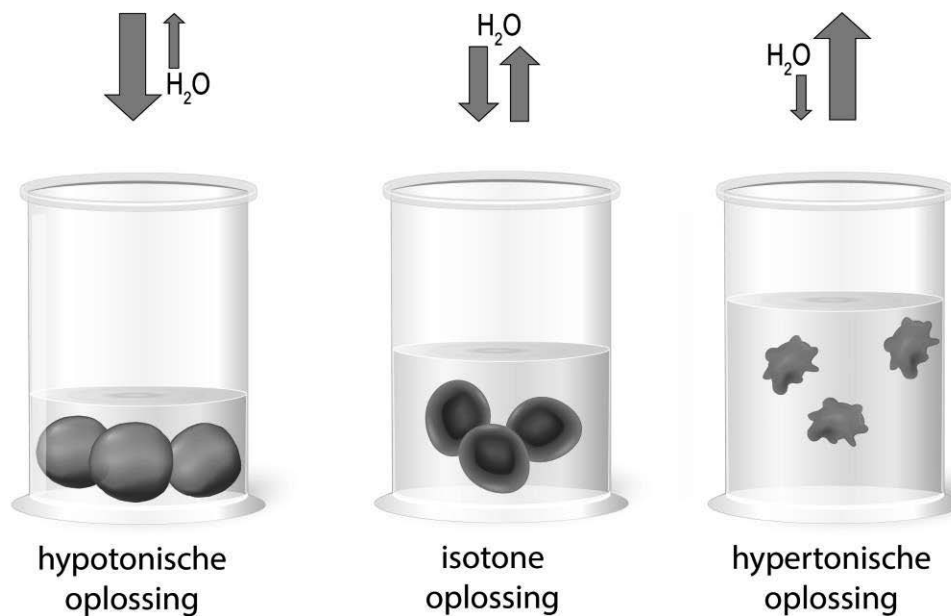
Veel processen in het lichaam worden mogelijk gemaakt door osmose: zo nemen we vocht in het bloed op door osmose en scheiden we vocht uit via urine door osmose. Het is dan ook belangrijk dat de concentratie opgeloste stoffen in het bloed redelijk constant is. Is dat niet het geval, dan kan vochtophoping in de weefsels ontstaan (oedeem).

Osmose is ook in planten een belangrijk proces. De vacuolen in planten bevatten relatief veel opgeloste stoffen. Daardoor nemen plantencellen water op in hun vacuolen. De vacuole zwelt op, en de hele cel wordt groter, totdat de celmembraan tegen de celwand drukt. Hierdoor worden de planten stevig; de steel strekt zich uit. Zo kunnen kruidplanten rechtop staan.

Een zout milieu is voor cellen dan ook een probleem; de hoge concentratie zouten opgelost in de omgeving onttrekt vocht aan de cellen (denk aan zout op slakken). Alleen organismen die daarop zijn aangepast en bijvoorbeeld water actief naar buiten kunnen pompen, kunnen een zout milieu overleven.

Voor osmose zijn de volgende begrippen belangrijk:

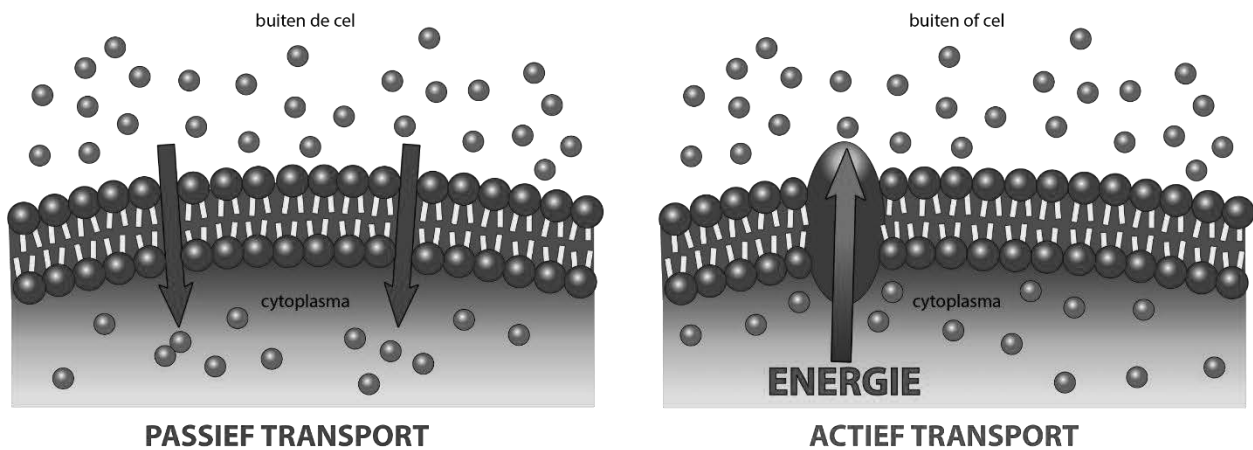
- **Osmotische waarde:** hoe hoger de osmotische waarde, hoe hoger de hoeveelheid opgeloste stoffen ten opzichte van de omgeving, dus hoe meer water naar die plaats toe zal gaan.
- **Isotoon:** dezelfde osmotische waarde als de omgeving. Er vindt dus geen nettoverplaatsing van water plaats.
- **Hypertoon:** een hoge osmotische waarde. Een cel in een hypertone oplossing zal water afgeven aan zijn omgeving. De cel krimpt hierdoor (let op: er kan ook gesproken worden over een hypertone cel; in dat geval is de osmotische waarde in de cel juist hoog en zal de cel water uit de omgeving opnemen).
- **Hypotoon:** een lage osmotische waarde ten opzichte van de omgeving. Een cel in een hypotone oplossing zal water opnemen. Heeft de cel geen celwand (dierlijke cel), dan zal de cel uiteindelijk "ontploffen". Een hypotone cel zal juist water aan de omgeving afgeven, omdat in dat geval de osmotische waarde van de omgeving juist hoger is dan de osmotische waarde in de cel. Lees de informatie bij een vraag dus nauwkeurig!



Figuur 5 Osmose in een bloedcel, bij hypotone, isotone en hypertone oplossing. Hoe dikker de pijl, hoe meer water er die richting op stroomt (omhoog = uit de cel, omlaag = in de cel).

Actief transport van stoffen

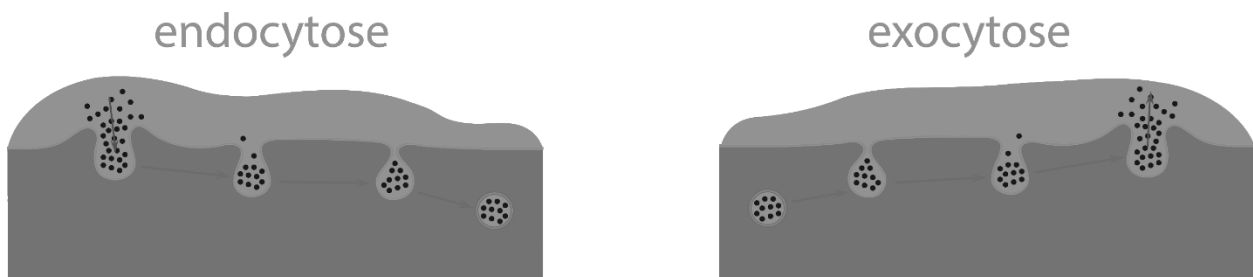
Als er stoffen de cel uit verplaatst moeten worden, maar de concentratie van die stof is buiten de cel al groter dan in de cel, kan verplaatsing niet plaatsvinden door passief transport. Daarom bevat een cel vaak eiwitpoorten die met behulp van energie uit ATP actief stoffen de cel uit kunnen pompen. Dit **actief transport** kost dus energie en gaat van een plaats met een lage concentratie van een stof naar een plaats met een hoge concentratie van die stof.



Figuur 6 Passief transport verloopt van een hoge naar een lage concentratie en kost geen energie. Bij actief transport gaan stoffen naar de plek met de hoogste concentratie. Dit kost wel energie.

Endocytose en exocytose

Als stoffen niet door eiwitpoorten of via diffusie de celmembraan kunnen passeren, kan ook endocytose en exocytose plaatsvinden. Hierbij worden deeltjes van buiten de membraan door de membraan omsloten. Aan de andere kant van de cel laat de celmembraan de deeltjes weer los (zie Figuur 7). Als stoffen op deze manier de cel binnenkomen, heet dit **endocytose**. Als stoffen op deze manier de cel verlaten is dat **exocytose**. Endocytose en exocytose gebeuren ook binnen de cel, als lysosomen afvalstoffen opnemen of als het Golgi-apparaat eiwitten afgeeft voor buiten de cel.



Figuur 7 Endocytose en exocytose

2.4 Verwerkingsopgaven

De antwoorden op deze opgaven zijn te vinden op pagina 578.

1 Noteer de functie van de volgende organellen:

- a. ribosomen
- b. endoplasmatisch reticulum
- c. Golgi-apparaat
- d. mitochondriën
- e. lysosomen

2. Noteer vier verschillen tussen plantaardige en dierlijke cellen.

3. Noteer van de volgende stoffen op welke wijze ze de celmembraan kunnen passeren:

- a. vetten
- b. ionen
- c. zouten
- d. water
- e. eiwitten

4. In een cel is de zoutconcentratie lager dan in de omgeving. Wat gebeurt er met het volume van deze cel?

5. Een cel is hypertoon ten opzichte van zijn omgeving. Gaat er netto dan vooral veel water de cel in of uit, of geen van beiden?

3 Stofwisseling en energie

In dit hoofdstuk staan de volgende leerdoelen uit het leerstofoverzicht van KIW centraal:

Stofwisseling en energetische omzettingen in de eukaryote cellen en organismen

- Chemische stoffen
 - belang van water, mineralen en ionen (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , PO_4^{3-} , Fe^{2+} en Cl^-)
 - moleculaire bouw en functie van sachariden, lipiden, proteïnen, nucleïne-zuren
- Energetische omzettingen in de cel
 - celmetabolisme: cellulaire vertering, fotosynthese en aerobe en anaerobe celademhaling
 - rol van enzymen
 - rol van ATP

3.1 Chemische samenstelling van organismen

Belang van water en mineralen voor de cel

Water is het hoofdbestanddeel van het menselijk lichaam. Bij mannen is dat ongeveer 60% van het gewicht, bij vrouwen 55%. Dat percentage hangt af van de spiermassa, omdat spieren driemaal zo veel vocht bevatten als vet. Dit water zit in diverse organen en in het bloed en is eigenlijk ons belangrijkste voedingsmiddel. Bij onze lichaamsfuncties speelt water een vitale rol.

Vocht is in het lichaam voor allerlei processen nodig:

- warmteregeling
- transport van stoffen (bloed en lymfe)
- oplossen van voedingsstoffen in het verteringsstelsel
- bescherming tegen schokken (hersenen, ogen en ruggenmerg)
- glijmiddel (in gewrichten en spieren)
- geleiding van geluid in de oren

Daarnaast bevat water mineralen die essentieel zijn voor de zouthuishouding (elektrolytenbalans) in het lichaam. Bovendien zijn ze belangrijk voor het opwekken van een membraanpotentiaal (verschil in lading

binnen en buiten de cel) in spiercellen en zenuwcellen. In Tabel 2 zijn de meest voorkomende mineralen opgenomen. Een mineraal opgelost in water vormt een ion. Deze ionen zijn ook in Tabel 2 aangegeven.

Tabel 2 De meest voorkomende mineralen in het lichaam en de ionen zoals ze opgelost zijn in water.

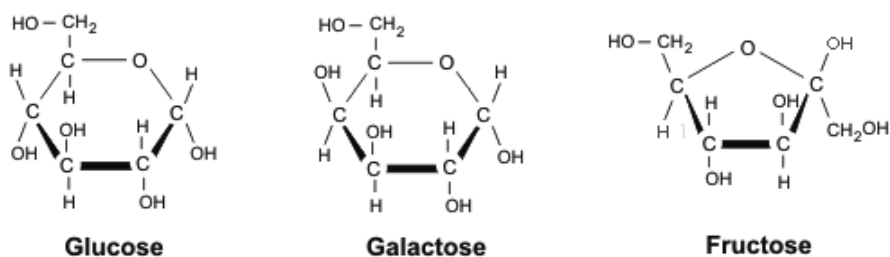
Mineraal	Als ion opgelost in water
Natrium	Na ⁺
Kalium	K ⁺
Calcium	Ca ²⁺
Magnesium	Mg ²⁺
Fosfor	PO ₄ ³⁻
Ijzer	Fe ²⁺
Chloor	Cl ⁻

Cellen bestaan behalve uit water en mineralen voor een belangrijk deel uit organische stoffen. **Organische stoffen** zijn alle stoffen waar koolstof- en waterstofatomen inzitten (uitgezonderd NaHCO₃ (baksoda) en andere zouten met HCO₃). Daarnaast bevatten ze vaak zuurstof en elementen zoals fosfor, zwavel en stikstof. Organische stoffen komen alleen voor in organismen (niet in niet-levende natuur zoals stenen en water) en worden door organismen gebruikt als energiebron. Voorbeelden zijn sachariden (koolhydraten), lipiden (vetten), proteïnen (eiwitten) en nucleïnezuuren (DNA en RNA). Deze stoffen zullen we hierna in meer detail bespreken. Koolhydraten, eiwitten, vetten, DNA en RNA zijn polymeren; stoffen die bestaan uit een keten van andere, kleinere moleculen, de monomeren.

Chemische structuur en belang van sachariden

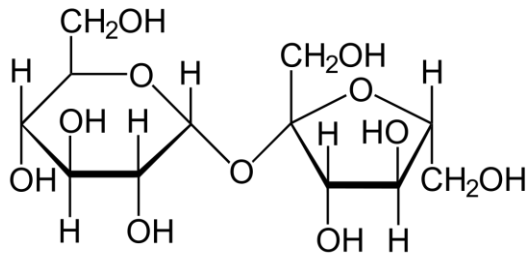
Een andere naam voor **sachariden** is suikers of **koolhydraten**. Bekende koolhydraten zijn glucose, dextrose, cellulose en amylose (zetmeel). Er zijn drie typen sachariden: monosachariden, disachariden en polysachariden.

- **Monosachariden** zijn de kleinste sachariden; ze bestaan uit één koolstofring (zie Figuur 8). De meest voorkomende monosacharide is glucose. De monosachariden, met name glucose, zijn de belangrijkste brandstof voor cellen. De energie uit glucose kan tijdens de cellulaire ademhaling (verbranding) omgezet worden in energierijke verbindingen, zodat het lichaam de energie beschikbaar heeft voor processen.



Figuur 8 Enkele belangrijke monosachariden

- **Disachariden** bestaan uit twee monosachariden die aan elkaar zijn gekoppeld door een glycosidische verbinding. Dat is een covalente verbinding die gevormd wordt in een condensatiereactie (ook wel dehydratie; een reactie waarbij water afsplitst. Dit wordt in het chemiedeel verder behandeld). De meest voorkomende disacharide is sucrose (de gewone tafelsuiker, zie Figuur 9). Deze bestaat uit de monosachariden glucose en fructose. Een ander bekende disacharide is lactose, de suiker die aanwezig is in melk en bestaat uit een verbinding van glucose en galactose.



Figuur 9 Sucrose

- **Polysachariden** zijn zeer grote (lange) verbindingen van honderden tot duizenden monosachariden, verbonden door glycosidische verbindingen. Polysachariden kunnen twee functies hebben: ze dienen ofwel als reserve en worden later afgebroken in kleinere deeltjes of zoals zetmeel en glycogeen voor energie in de cel, ofwel ze dienen als structurelement.

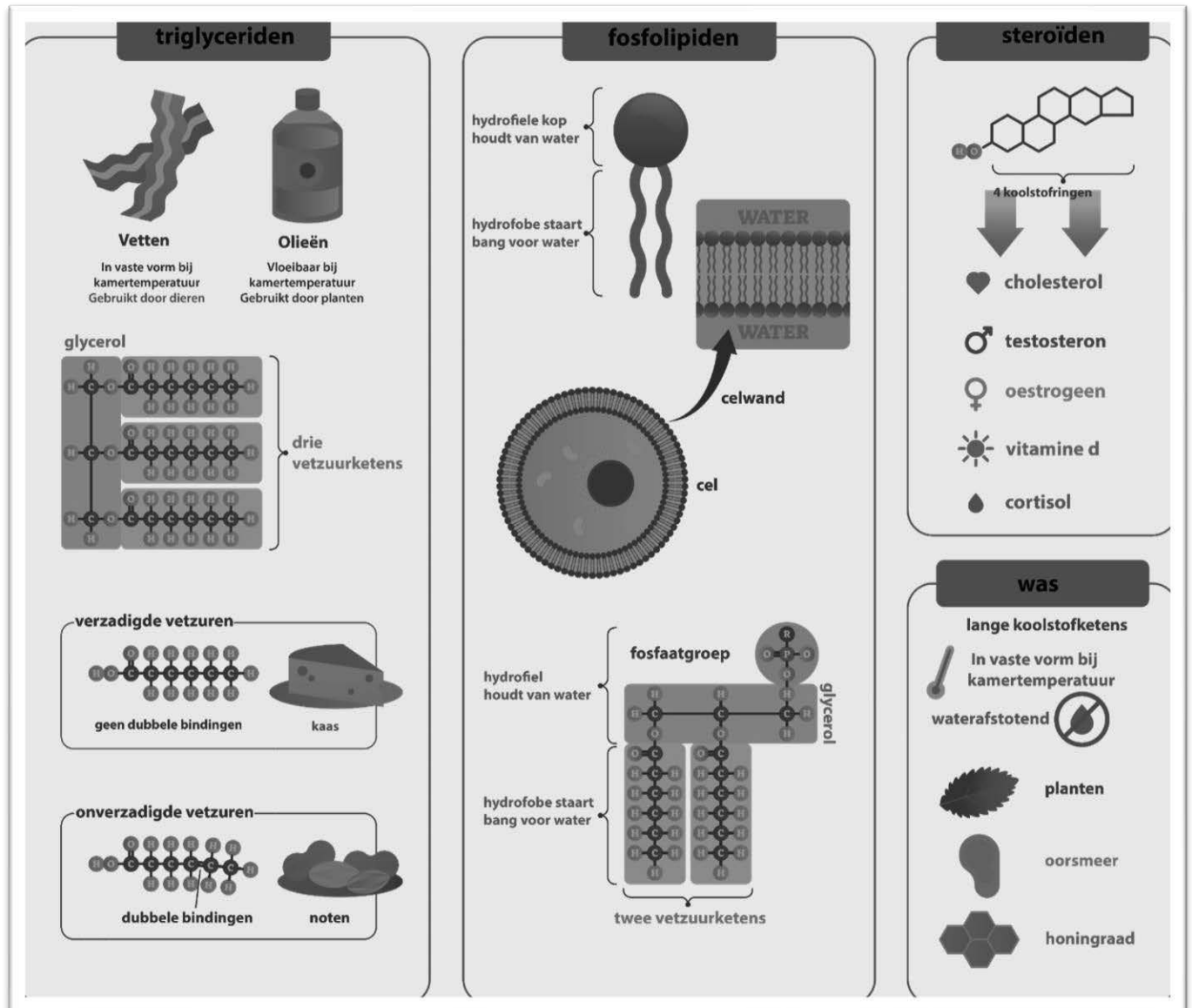
Een aantal voorbeelden van polysachariden:

- **Zetmeel** is een opslagvorm van glucose in planten. Al deze glucose monosachariden zijn dus door middel van glycosidische verbindingen met elkaar verbonden. Zetmeel wordt bijvoorbeeld opgeslagen in vacuolen.
- **Glycogeen** is de opslagvorm van glucose bij dieren. Bij de mens wordt de grootste hoeveelheid van het glycogeen opgeslagen in de lever.
- **Cellulose** wordt in planten als structureel element gebruikt voor bijvoorbeeld de celwand. Cellulose bestaat ook enkel uit glucose, maar de verbindingen tussen de monosachariden zijn anders gevormd.

Chemische structuur en belang van lipiden

Lipiden (vetten) zijn grote moleculen die door hun chemische samenstelling en structuur (deels) waterafstotend zijn (zie Figuur 10). De biologisch meest belangrijke lipiden zijn:

- **Fosfolipiden** (bouwstof van celmembranen)
- **Cholesterol** (belangrijk voor stabiliteit van de celmembraan)
- **Triglyceriden** (vetvoorraad van het lichaam)
- **Steroïden** (hormonen, bijvoorbeeld cortisol, testosteron en progesteron)



Figuur 10 Overzicht van de belangrijkste typen vet

Lipiden kunnen ook gebruikt worden als energievoorraad. Ze vormen de grootste energievoorraad in het menselijk lichaam. Deze energievoorraad wordt echter pas als laatste aangesproken: bij fysieke inspanning wordt eerst het beschikbare creatinefosfaat gebruikt, dan glucose en glycogeen en dan pas de lipiden. Bij langdurig vasten zijn lipiden een belangrijke energiebron.

Voordat het lichaam de triglyceriden als energiebron kan gebruiken, worden deze omgezet in glycerol en vrije vetzuren die dan kunnen worden gebruikt voor ATP-productie. Een **triglyceride** bestaat dus uit een glycerol, dat een driewaardig alcohol is (3 OH-groepen) en vetzuren, dit zijn koolstofketens met een eindstandig COOH. De vetzuren zijn verbonden door esterverbindingen met het glycerol.

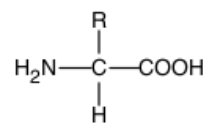
We maken onderscheid tussen verzadigde en onverzadigde vetzuren. Bij **verzadigde vetzuren** zijn alle koolstofatomen maximaal bezet met waterstofatomen; er komen daardoor geen dubbele bindingen voor. **Onverzadigde vetzuren** bevatten minstens één dubbele binding. Verzadigde vetzuren vinden we vooral terug in dierlijke producten, terwijl onverzadigde vetzuren meestal plantaardig zijn. Verzadigde vetzuren stollen sneller dan onverzadigde vetzuren.

Chemische structuur en belang van proteïnen

Proteïnen (eiwitten) spelen overal in het lichaam een belangrijke rol. Zo'n 50% van de droge massa van een cel bestaat uit proteïnen. Er zijn veel verschillende soorten proteïnen, die uiteenlopende functies kunnen hebben: bijvoorbeeld enzymen om reacties te versnellen, microfilamenten om stevigheid aan de cel te geven, eiwitkanalen om eiwitten door de celmembraan te transporteren en receptoren om te communiceren met andere cellen.

Proteïnen zijn polymeren die opgebouwd zijn uit afzonderlijke **aminozuren** (peptiden). Een proteïne is daarom een **polypeptide**. Een aminozuur is een organisch molecuul die zowel een carboxyl (-COOH) als een aminogroep (-NH₂) bevat. Cellen gebruiken slechts 20 verschillende aminozuren om alle verschillende proteïnen mee op te bouwen.

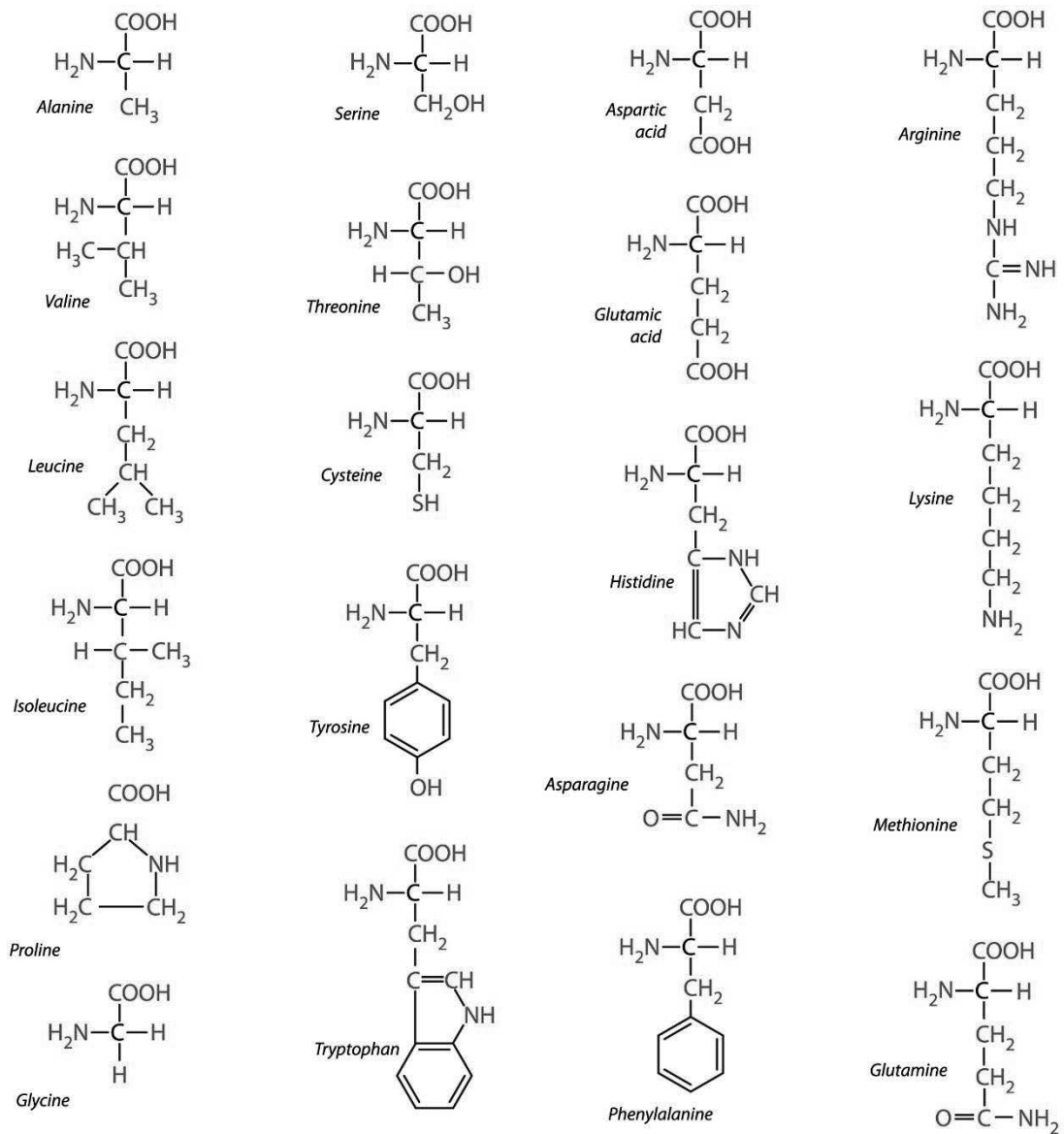
In Figuur 11 is een aminozuur weergegeven. Alle aminozuren hebben dezelfde basisstructuur, ze verschillen alleen in de restgroep R. Dat is ook te zien in Figuur 12, waar alle 20 aminozuren die in ons lichaam voorkomen, zijn weergegeven.



Figuur 11 Een aminozuur

Aminozuren worden aan elkaar gekoppeld door **polymerisatie**. Daarbij is een enzym nodig dat een **dehydratatiereactie** laat plaatsvinden, zodat er een **peptidebinding** tussen beide aminozuren ontstaat. Daarbij komt water vrij. Door vele aminozuren aan elkaar te koppelen vormt zich uiteindelijk een lange keten, die vervolgens gevouwen wordt tot een driedimensionaal molecuul; de proteïne. Aan het ene uiteinde van het proteïne zit een **aminogroep** (H₂N), en aan de andere kant een vrije **carboxylgroep** (COOH). Bij het aangeven van de volgorde van aminozuren in een proteïne starten we altijd met het noemen van het aminozuur aan de amino-uiteinde en eindigen bij het carboxy-uiteinde.

De opeenvolging van de verschillende aminozuren noemen we de sequentie. De 20 te onderscheiden aminozuren hebben bovendien nog een specifieke afkorting van 3 letters. Zo kan op een eenvoudige manier de sequentie worden genoteerd. Voorbeeld: Tyr- Ser-Leu-Ser-Asn. De afkortingen van de eiwitten tref je aan in paragraaf 4.3, Figuur 29. Je hoeft deze namen en afkortingen niet uit je hoofd te leren.



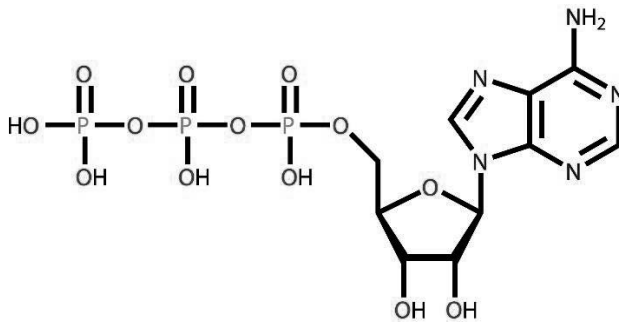
Figuur 12 De 20 aminozuren in ons lichaam (niet uit het hoofd leren!)

3.2 Energetische omzettingen in een cel

Belang van ATP

Voor allerlei processen in het lichaam is energie nodig. Die energie halen we uit energierijke stoffen, met name uit glucose en andere koolhydraten. De energie die vrijkomt bij verbranding, moet tijdelijk worden opgeslagen. Zoals we energie in een accu opslaan om later te gebruiken, zo kan het lichaam energie opslaan in een molecuul, adenosinetriphosfaat, afgekort **ATP**.

ATP is opgebouwd uit het nucleobase adenine, het monosacharide ribose en drie fosfaatgroepen (zie Figuur 13).

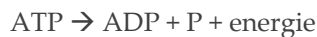


Figuur 13 Structuur van ATP. Links zijn drie fosfaatgroepen te zien, middenin een cyclisch ribose en rechts de nucleobase adenine.

ATP wordt in mitochondriën in de cel gevormd, als daar bij verbranding energie vrijkomt. Met die energie wordt aan het molecuul ADP (adenosinedifosfaat) een extra fosfaatgroep toegevoegd (via een dehydratie reactie):



Als een cel energie nodig heeft, kan het ATP weer afbreken door hydrolyse, waardoor weer ADP en fosfaat ontstaat. De energie die daarbij vrijkomt kan gebruikt worden voor andere chemische reacties in de cel.



In de cel moet steeds ATP gevormd worden. Dit gebeurt door talrijke processen:

- Gedurende de glycolyse
- Door bèta-oxidatie
- Door anaerobe respiratie
- Tijdens de fotosynthese

In de volgende paragrafen worden deze processen kort toegelicht. Je hoeft niet alle processen met structuurformules uit het hoofd te leren, maar je moet wel goed weten wat het resultaat van elk proces is en waar het zich afspeelt.

Cellulaire vertering

Het lichaam breekt regelmatig grote moleculen af tot kleinere moleculen. Dat gebeurt in de lysosomen, de afvalverwerkers van de cel. De stoffen die worden afgebroken, kunnen uit de cel zelf komen (**autofagie**) of van buiten de cel (**heterofagie**). Als stoffen van buiten de cel komen, komen die via endocytose de cel binnen; ze worden omsloten door een stukje van de celmembraan. Dit membraan fuseert met het lysosoom, zodat de inhoud in het lysosoom terecht komt. Als stoffen van binnen de cel komen, worden ze omsloten door een deel van het endoplasmatisch reticulum of het Golgi-apparaat. Zo komen ook de enzymen die betrokken zijn bij de vertering in het lysosoom, het lysosoom binnen.

De lysosomen kunnen alle bouwstenen van ons lichaam afbreken: vetten, eiwitten, DNA, RNA, delen van een celmembraan en delen van organellen. Net als bij vertering in de darmen worden deze stoffen afgebroken tot de oorspronkelijke bouwstenen: glucose, glycerol, vetzuren en aminozuren bijvoorbeeld. Deze worden afgegeven aan het cytoplasma, waardoor ze beschikbaar zijn voor de processen in de cel.

De verteringsenzymen in de lysosomen werken het best onder zure omstandigheden (pH van ongeveer 5). Dat betekent dat er in de lysosomen veel H^+ -deeltjes opgenomen moeten worden, omdat die verantwoordelijk zijn voor het creëren van een zure omgeving. Dat gebeurt door protonenpompen in het membraan. Deze pompen H^+ -deeltjes tegen de concentratiegradiënt de cel in. Hierbij levert ATP de energie.

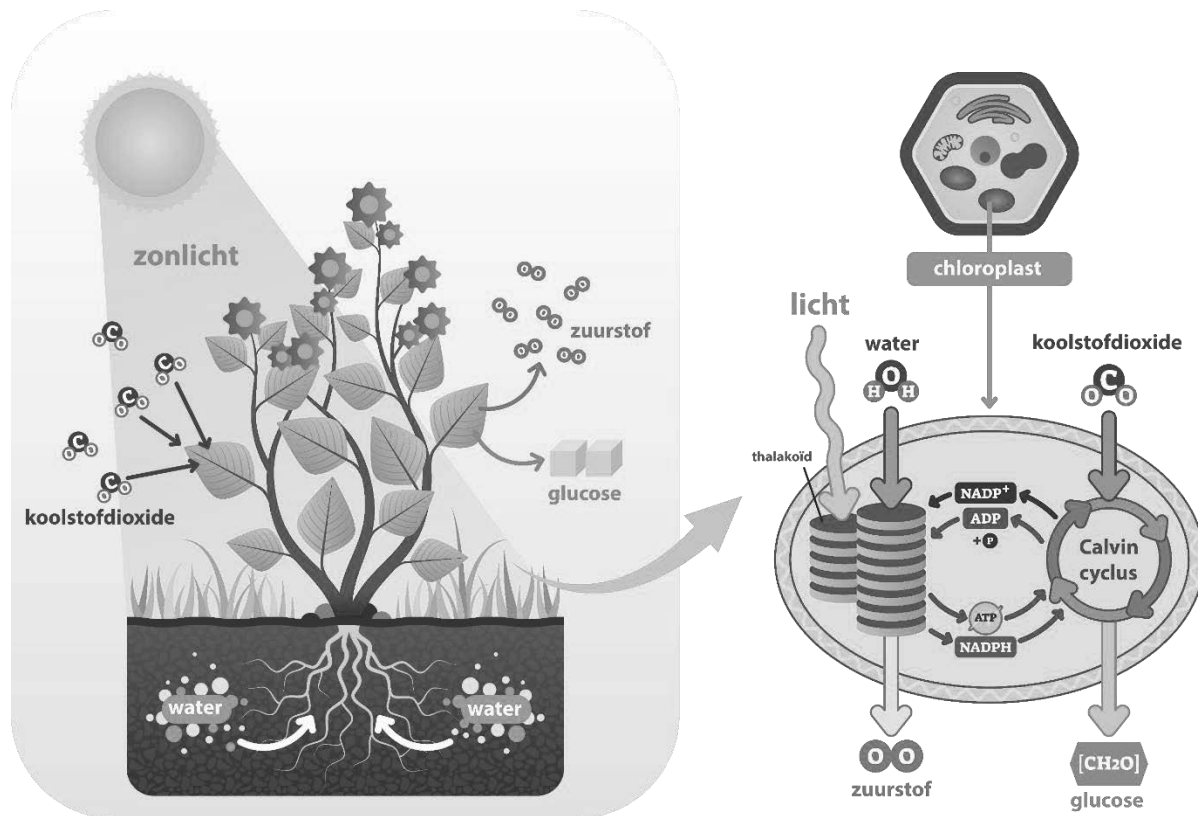
3.3 Fotosynthese

Dierlijke cellen zijn niet in staat zelf **organische stoffen** (bijvoorbeeld glucose) te vormen uit **anorganische stoffen** (koolstofdioxide en water bijvoorbeeld). Voor de opname van organische stoffen zijn dierlijke cellen daarom afhankelijk van andere cellen. Plantencellen kunnen wel glucose maken uit anorganische stoffen. Dat gebeurt in een proces dat fotosynthese heet.

Fotosynthese is het produceren van organische stoffen uit anorganische stoffen met behulp van licht.

Gedurende de fotosynthese wordt lichtenergie van de zon opgevangen en omgezet in chemische energie. Deze energie wordt gebruikt om glucose te produceren, waar de energie in wordt vastgelegd. Dit proces kan plaatsvinden in planten met bladgroen. Organismen die uit een anorganisch koolstofmolecuul (CO_2), een organisch koolstofmolecuul (glucose) kunnen maken, noemt men **autotroof**.

Opbouwreacties, waarbij moleculen worden aaneengeschakeld tot langere moleculen, heten **anabolisme** of **assimilatiereacties**. Dit proces kan opgesplitst worden in twee fasen: lichtreacties en donkerreacties. De chloroplasten spelen, vooral in de lichtreacties, een belangrijke rol.



Figuur 14 Overzicht van de fotosynthese. Rechts is te zien dat de fotosynthese in twee stappen verloopt: een lichtreactie, waarin zonlicht wordt gebruikt en ATP en NADPH wordt gemaakt, en de Calvin cyclus waar de energie uit deze stoffen wordt gebruikt en glucose ontstaat.

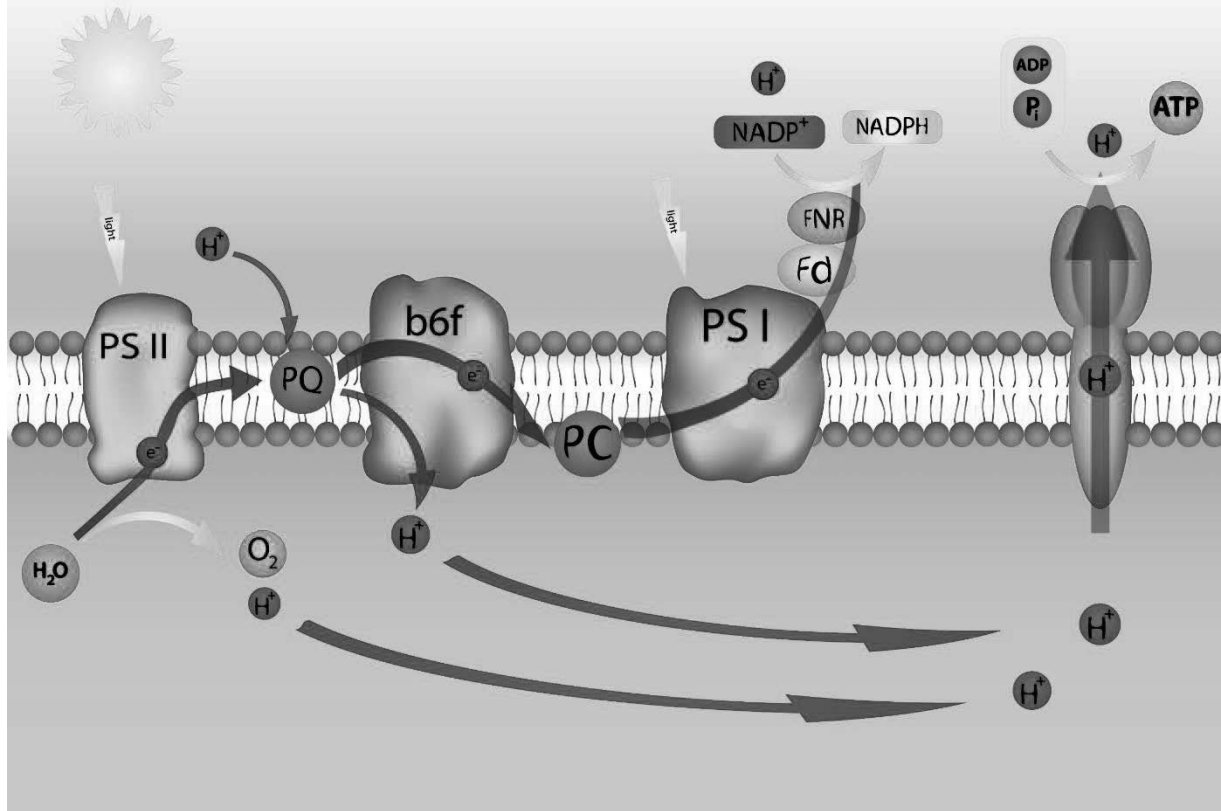
Lichtreacties (eigenlijke fotosynthese)

De fotosynthese vindt plaats in twee stappen: de lichtreactie en de donkerreactie (Calvin-cyclus). De lichtreactie vindt plaats in het thylakoïdmembraan van de chloroplasten (zie Figuur 14).

Tijdens de lichtreactie (die alleen overdag plaatsvindt) wordt de lichtenergie uit de zon geabsorbeerd door de pigmentmoleculen in de bladgroenkorrels. Bij dit proces zijn verschillende membraanmoleculen betrokken:

- Fotosysteem II (PSII) is verantwoordelijk voor de fotolyse van water: $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4\text{e}^-$
- Fotosysteem 1 (PSI) is verantwoordelijk voor de reactie: $\text{NADP}^+ + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{NADPH,H}$.
- ATP-synthase is een kanaaleiwit, dat de H^+ , die is ontstaan bij de fotolyse van fotosysteem 2, door het membraan naar buiten laat stromen. Dit levert energie op, waardoor het eiwit ATP kan vormen.

Voor de lichtreactie is dus licht nodig. Uit deze cascade van reacties ontstaat uiteindelijk 3 ATP, 2 NADPH,H en 1 O_2



Figuur 15 Fotosynthese lichtreactie.

Donkerreacties (Calvin-cyclus)

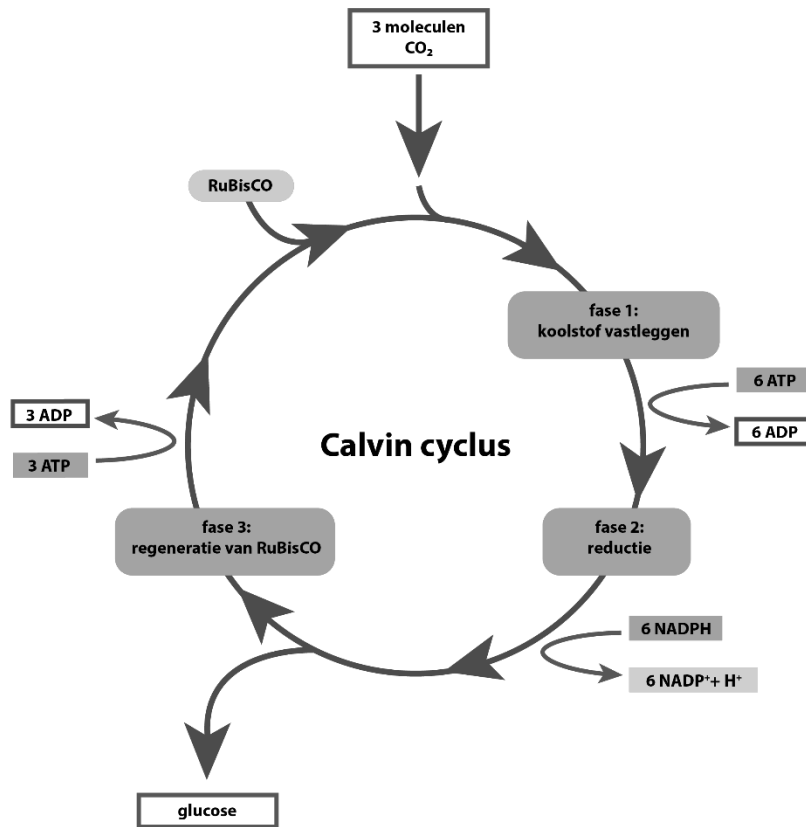
De gevormde NADPH,H- en ATP-moleculen uit de lichtreactie worden vervolgens gebruikt in de donkerreactie om uit CO₂ en H₂O glucose te vormen. Deze reacties spelen zich af in de stroma (de vloeistof) van de chloroplasten. De reacties vinden alleen plaats bij planten (autotrofen) en hebben geen licht nodig (kan dus overdag en 's nachts plaatsvinden).

De eerste reactie die plaatsvindt is de koolzuurfixatie, die specifiek is voor autotrofe organismen. De reactie verloopt in een aantal stappen.

- Allereerst worden er 6 CO₂-moleculen gebonden aan al aanwezige koolstofmoleculen in de cel. Hierdoor ontstaan uiteindelijk 12 moleculen glycerinezuur-3-fosfaat; een molecuul met 3 koolstofatomen.
- Vervolgens geven 12 ATP-moleculen hun fosfaat af. Met behulp van deze fosfaatmoleculen vindt een reductiereactie plaats, waarbij 12 NADPH,H (ontstaan tijdens de lichtreactie) wordt omgezet in 12 NADP⁺.
- Er zijn nu 12 glyceraldehyde-3-fosfaat-moleculen ontstaan. Twee daarvan worden aan elkaar gekoppeld tot glucose.
- De andere 10 moleculen worden verder bewerkt, zodat uiteindelijk weer de zes oorspronkelijke ribulose-1,5-difosfaatmoleculen zijn ontstaan. Hiervoor is 6 APT nodig.

Bij deze reactie worden 18 ATP en 12 NADPH,H-moleculen gebruikt. Deze ontstaan tijdens de lichtreactie. Daarnaast zijn CO₂- en H₂O nodig. Er ontstaat glucose.

De uiteindelijke totale reactie van de fotosynthese is als volgt:



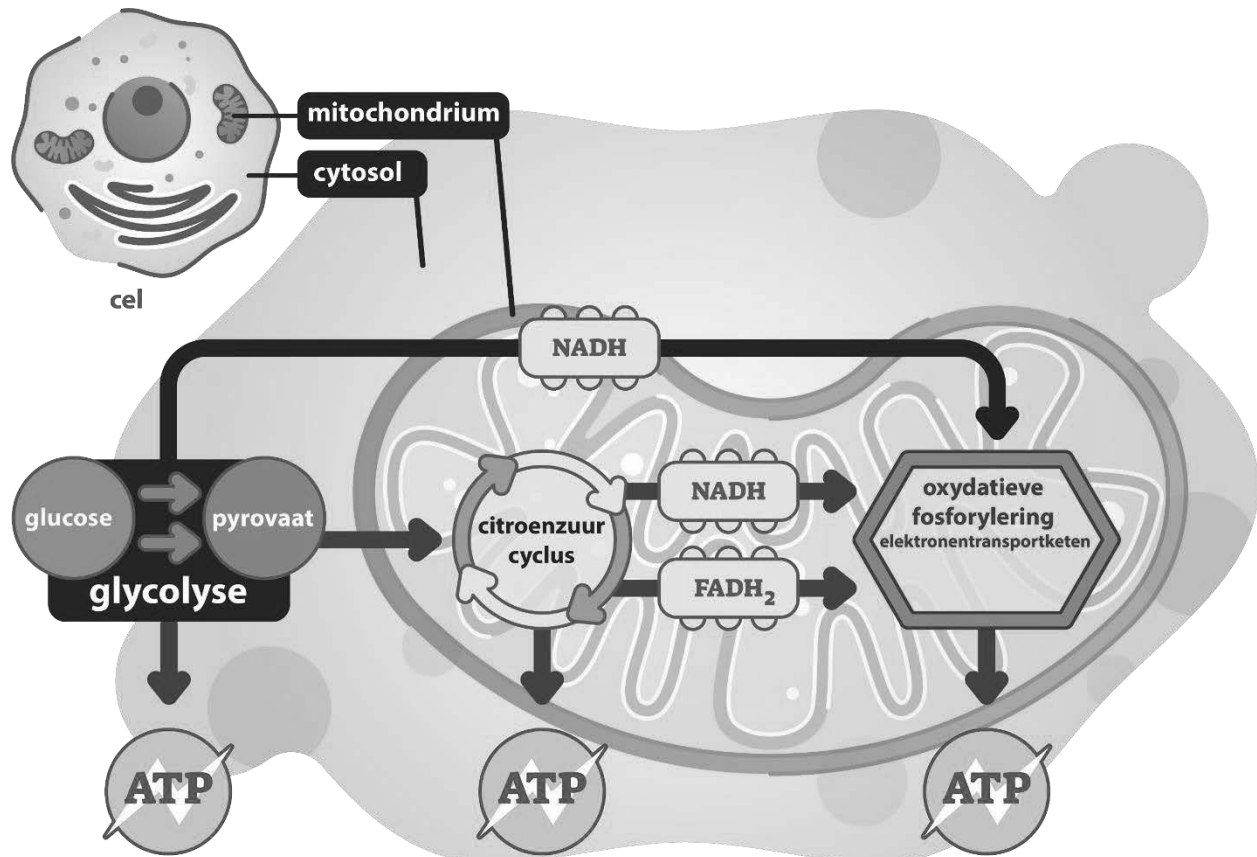
Figuur 16 De donkerreactie of Calvin Cyclus, waarin ATP en NADPH (uit de lichtreactie) gebruikt wordt om glucose te maken uit koolstofdioxide.

3.4 Aerobe celademhaling

Celademhaling is de afbraak van organische koolstofverbindingen (suikers, eiwitten e.d.) tot koolstofdioxide. Daar is zuurstof voor nodig. Bij die afbraak ontstaat naast CO₂ en H₂O ook energie, waarmee energierijke verbindingen als ATP, NADH,H⁺ en FADH₂ kunnen worden gevormd. Deze afbraakreacties heten ook wel **katabolisme** of **dissimilatie**. Dit is dus in feite het tegenovergestelde van de fotosynthese.

Tijdens de aerobe celademhaling worden er in totaal ongeveer 30-34 ATP-moleculen gevormd. Dit gebeurt in drie fasen, die we hierna uitgebreider zullen bespreken:

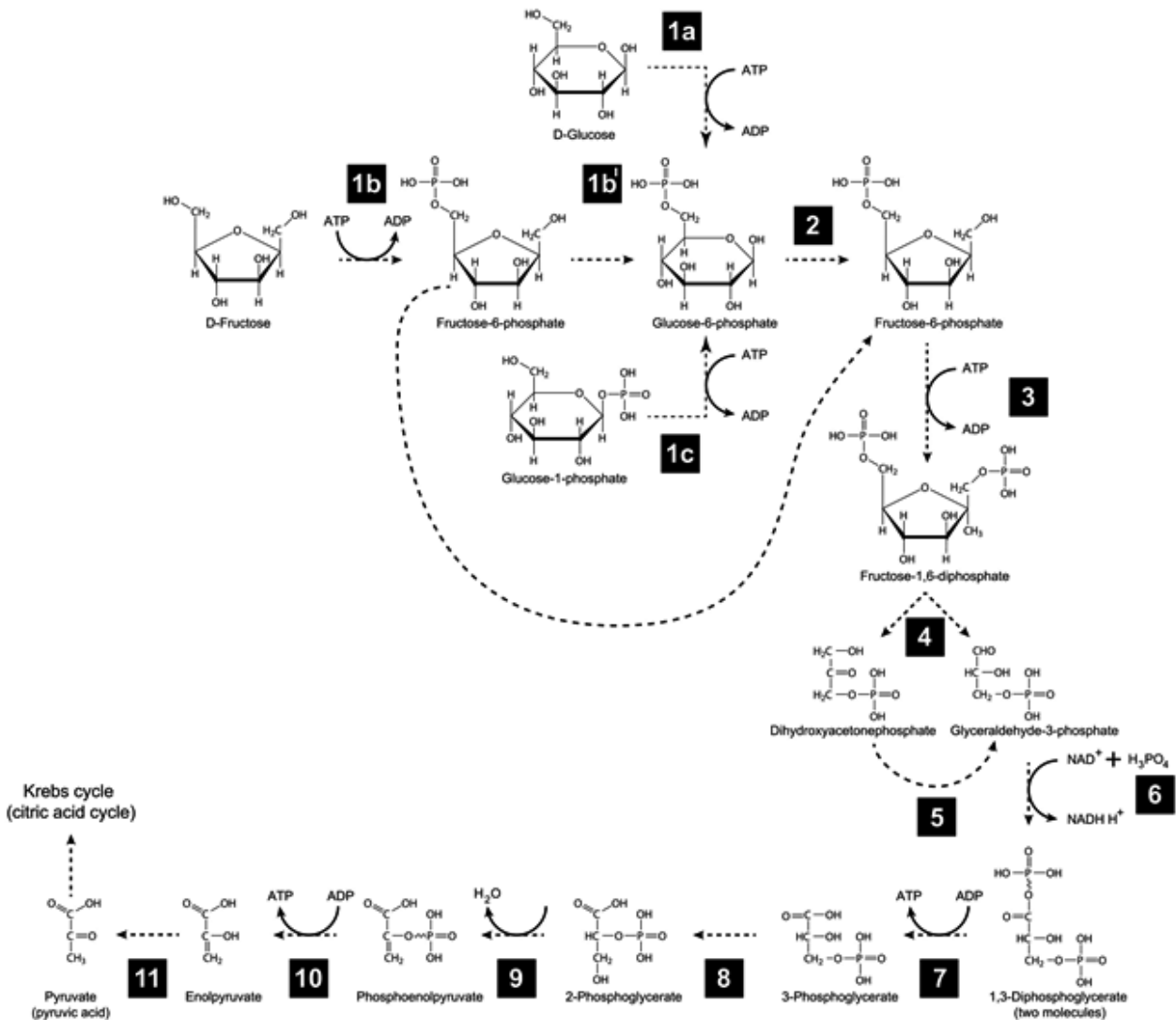
- de **glycolyse**: glucose wordt afgebroken tot 2 pyruvaat. Hierbij ontstaat 2 ATP.
- de **oxidatieve decarboxylatie**: pyrodruivenzuur wordt omgezet in Acetyl Coenzyme A. Hierbij ontstaan CO_2 en NADH, H^+
- de **krebscyclus** (ofwel **citroenzuurcyclus**); Acetyl Coenzyme A wordt afgebroken tot CO_2 . Hierbij ontstaat 2 ATP, en NADH, H^+ en FADH_2 .
- de **elektronentransportketen**; de energie uit het eerder gevormde NADH, H^+ en FADH_2 wordt omgezet in ATP. Hierbij ontstaat 28-30 ATP.



Figuur 17 Overzicht van de stappen van aerobe dissimilatie. De oxidatieve decarboxylatie is niet weergegeven; die vindt plaats tussen de glycolyse en de citroenzuurcyclus.

Glycolyse

De eerste stap in de afbraak van glucose is de glycolyse. Bij dit proces is geen zuurstof nodig (anaëroë dissimilatie). De glycolyse speelt zich af in het cytoplasma van de cel.



Figuur 18 Stappen van de glycolyse. Leer deze niet uit het hoofd!!

De precieze reacties zijn weergegeven in Figuur 17. Je hoeft de reacties niet uit je hoofd te leren. Je ziet dat er in de eerste stappen (stap 1b en 3) 2 ATP gebruikt wordt. In de volgende stappen wordt echter 4 ATP gevormd (in stap 7 en 10); de stappen 4 t/m 11 verlopen twee keer, omdat er in stap 4 twee moleculen ontstaan uit één fructose-1,6-difosfaat, die beiden de overige stappen doorlopen. In totaal levert de glycolyse daardoor 2 ATP.

Uiteindelijk ontstaat er in de glycolyse:

- ATP
- NADPH
- 2 pyrodruivenzuur (pyruvaat)

Oxidatieve decarboxylatie

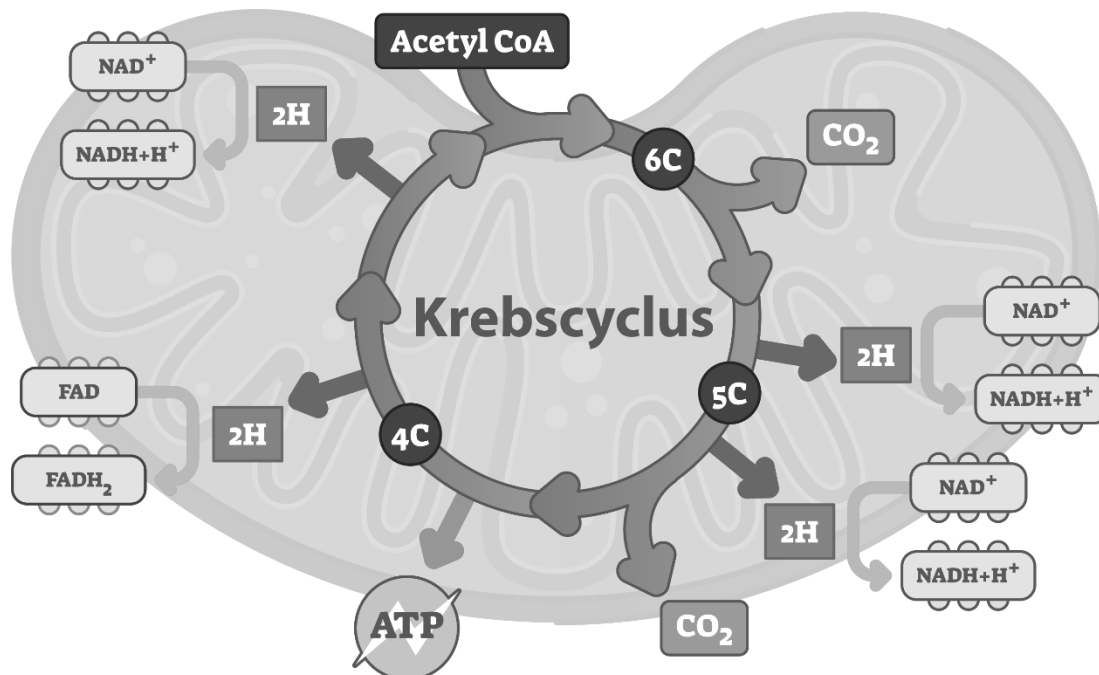
In de volgende stap, de oxydatieve decarboxylatie, wordt pyrodruivenzuur omgezet tot geactiveerd azijnzuur (Acetyl Coenzym A). Daarbij wordt CO_2 afgesplitst en NADH, H^+ gevormd. Voor dit proces is zuurstof nodig. Dit proces vindt plaats in de mitochondriën.

Basisreactie:



Krebscyclus of citroenzuurcyclus

Hierna wordt het azijnzuur verder afgebroken tot 2CO_2 met vorming van **2 ATP**, 3NADH , 2H^+ en FADH_2 . Ook hier is **zuurstof nodig**, dus ook deze reactie speelt zich af in de mitochondriën.



Figuur 19 Globaal overzicht van de Krebscyclus. De moleculen zijn niet allemaal weergegeven. 6C, 5C en 4C verwijst naar het aantal koolstofmoleculen dat aanwezig is in het molecuul dat de cyclus doorloopt. Acetyl CoA bevat twee C-atomen, waardoor het 4C molecuul weer aangevuld wordt tot een 6C-molecuul.