

# Hoofdstuk 1 – De cel: de basiseenheid van het leven

## Inhoud

Hoofdstuk 1 – De cel: de basiseenheid van het leven .....	3
1. Inleiding.....	3
2. De celwand.....	7
3. Het celmembraan .....	8
3.1. Bouw.....	8
3.2. Functies van het celmembraan .....	11
4. Organellen zonder membraan .....	13
4.1. Ribosomen .....	13
4.2. Het celskelet of cytoskelet (microtubuli).....	14
4.3. Microfilamenten .....	15
5. Organellen opgebouwd uit/omgeven door een enkelvoudig membraan	16
5.1. Het endoplasmatisch reticulum.....	16
5.2. Golgi-apparaat.....	17
5.3. Lysosomen.....	18
5.4. Peroxisomen.....	18
5.5. Vacuole .....	18
6. Organellen opgebouwd uit/omgeven door een dubbel membraan.....	19
6.1. De kern/nucleus.....	19
6.2. Plastiden.....	21
6.3. Mitochondriën.....	22
6.4. Endosymbiosetheorie .....	22
7. Onderscheid tussen eukaryote en prokaryote cellen.....	25
8. Verband tussen structuur van de cel en zijn functie.....	27
8.1. Stamcellen en celdifferentiatie .....	27
8.2. Relatie tussen structuur en functie van celtypes .....	29
8.2.1. Cellen van de dunne darm .....	29
8.2.2. Zintuigcellen in het oor .....	30
8.2.3. Epitheelcellen in verschillende stelsels .....	31
8.2.4. Neuronen .....	32
8.2.5. Zaadcellen .....	33
8.2.6. Rode bloedcellen.....	34
8.2.7. Spiercellen.....	36

## Eindtermen die bij dit hoofdstuk horen – basisvorming

BV3_06.22	De leerlingen leggen het verband tussen celtypen en hun functie in weefsels en organen met inbegrip van celademhaling en fotosynthese.	
BV3_06.22.01	De leerlingen beschrijven de structuur en de functie van de voornaamste celorganellen.	X
BV3_06.22.02	De leerlingen leggen uit dat de celademhaling van belang is voor de energiehuishouding van de cel en dat mitochondriën hier een essentiële rol in spelen.	H2
BV3_06.22.03	De leerlingen leggen uit dat cellen van autotrofe organismen zelf glucose en organische moleculen opbouwen dankzij fotosynthese in de chloroplasten. <ul style="list-style-type: none"> <li>• organismen, stelsel, orgaan, weefsels, cel</li> <li>• structuur en functie van celorganellen op elektronenmicroscopisch niveau</li> <li>• celorganellen in functie van andere eindtermen, nl genexpressie (kern, DNA, ribosomen) , immunologie (lysosomen) en celdeling (celkern, DNA)</li> </ul>	+ -  X X  + -

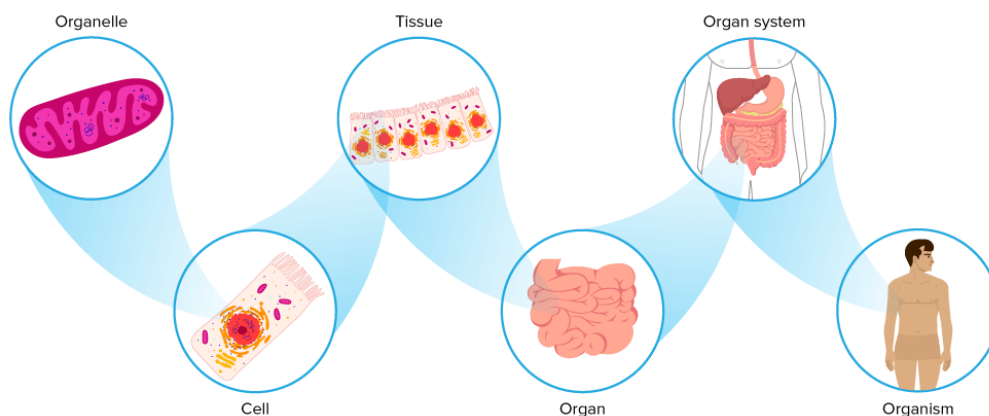
## Eindtermen die bij dit hoofdstuk horen – specifiek gedeelte

WD3_08.01.01	De leerlingen onderzoeken cellulaire processen ivm fotosynthese en celademhaling.	H2
WD3_08.01.01.01	De leerlingen beschrijven de verschillende manieren van samenwerking tussen de celorganellen. <ul style="list-style-type: none"> <li>• bouw celorganellen en celmembraan</li> </ul>	x
WD3_08.01.01.02	De leerlingen beschrijven de verschillende soorten transport in en uit de cel. <ul style="list-style-type: none"> <li>• transport: diffusie, osmose, membraantransport</li> </ul>	x
WD3_08.01.01.03	De leerlingen onderzoeken fotosynthese en aerobe celademhaling. <ul style="list-style-type: none"> <li>• fotosynthese, aërobe celademhaling</li> </ul>	H2
WD3_08.01.01.04	De leerlingen leggen cellulaire processen op moleculair en subcellulair niveau uit. <ul style="list-style-type: none"> <li>• katabole en anabole processen</li> <li>• glycolyse, krebcyclus, eindoxidatie, licht- en donkerreacties</li> <li>• anaerobe ademhaling en chemosynthese</li> </ul>	H2
WD3_08.01.02	De leerlingen leggen belang en katalytische werking van enzymen in biologische processen uit.	+ -
WD3_08.01.02.01	De leerlingen onderzoeken de functie van een enzym	+ -
WD3_08.01.02.02	De leerlingen onderzoeken de factoren die werking van een enzym beïnvloeden.	H2
WD3_08.01.02.03	De leerlingen leggen belang en katalytische werking van enzymen in biologische processen uit. <ul style="list-style-type: none"> <li>• katabole en anabole processen</li> <li>• sleutel slot enzymsubstraatcomplex</li> <li>• verband tussen naamgeving van enzym en substraat</li> <li>• cofactor en inhibitoren</li> </ul>	H2

# Hoofdstuk 1 – De cel: de basiseenheid van het leven

## 1. Inleiding

Elk organisme is opgebouwd uit één of meerdere cellen. Bij de meeste meercellige organismen worden taken uitgevoerd door specifieke stelsels (zoals het ademhalingsstelsel, spijsverteringsstelsel, spierstelsel, bloedvatstelsel, zenuwstelsel, voortplantingsstelsel, uitscheidingsstelsel, immuunstelsel, etc...), die opgebouwd zijn uit meerdere organen. Elk van die organen is opgebouwd uit verschillende weefsels. Weefsels bestaan uit cellen die geen gelijkaardige bouw en functie hebben. Omdat alle organismen zijn opgebouwd uit cellen, en cellen de kleinste eenheden zijn die 'leven', wordt de cel de eenheid van het leven genoemd.



Figuur 1. Organisatieniveau's in een organisme

Om te begrijpen hoe een organisme werkt, moet men weten hoe een cel werkt en hoe cellen samenwerken. Alle levensprocessen – voeding, transport, ademhaling, uitscheiding – kan men terugbrengen tot processen die plaatsvinden op het niveau van cellen. In dit hoofdstuk wordt de bouw van de cel nader bekeken.

Op een paar uitzonderingen na, zijn cellen niet met het blote oog waar te nemen. Kennis en inzichten over bouw, werking en functie van cellen en hun onderdelen kon pas verworven worden na de ontdekking van de microscoop, maar vooral na de verfijning van de *lichtmicroscoop* en de ontwikkeling van de *elektronenmicroscoop* (1933).



Figuur 2. De lichtmicroscoop.

Robert Hooke (1635-1703) was een van de eerste microscopenbouwers. Hij observeerde ook de honingraatstructuur in een dun schijfje kurk en introduceerde de naam 'cel'. Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723, zie *Figuur 3*) kon als eerste bacteriën observeren. Van Leeuwenhoek had ontdekt hoe een bolle lens op een heel eenvoudige manier gemaakt kon worden<sup>1</sup> (met vergroting tot 270x). Hij liet echter uitschijnen dat dit een zeer sinecuur werk was dat vele tientallen uren tijd kostte<sup>2</sup> – om te vermijden dat anderen hun eigen microscoop zouden maken en hem met nieuwe ontdekkingen zouden overtroeven – in realiteit maakte Van Leeuwenhoek vaak snel een nieuwe microscoop wanneer hij een nieuw preparaat wou bestuderen.

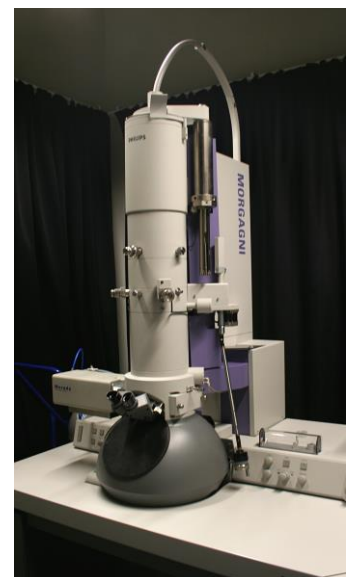


Figuur 3. Antonie van Leeuwenhoek en zijn eerste microscoop.

De huidige lichtmicroscopen (zie *Figuur 2*) bestaan uit een set lenzen achter elkaar geplaatst. Met een conventionele lichtmicroscoop, kan een vergroting van ca. 1000x-2000x bekomen worden. Een sterkere vergroting levert geen beter beeld op wegens het oplossend vermogen.

Het *oplossend vermogen* (resolutie, scheidend vermogen) is de kleinste afstand tussen twee punten die nog als afzonderlijk kunnen worden genomen. Het oplossend vermogen van een menselijk oog is ca. 0.2mm. Voor een lichtmicroscoop geldt dat het oplossend vermogen niet kleiner kan zijn dan een halve golflengte van het gebruikte licht. Gezien een lichtmicroscoop gebruik maakt van zichtbaar licht (400-700nm), bedraagt het oplossend vermogen ca. 200nm. Bij een vergroting van 1000x wordt dit trouwens vergroot tot 0.2mm. Een sterkere vergroting levert wel een groter beeld op, maar levert niet meer details op (vergelijk het met een digitale zoom op een fotocamera).

Een elektronenmicroscoop (zie *figuur 3*) werkt niet met licht, maar beschiet het object met elektronen. Teruggekaatste elektronen worden opgevangen op een scherm en een computer staat in voor de beeldvorming. Het oplossend vermogen van een elektronenmicroscoop bedraagt 0.2nm ... en sommige – veel duurdere – exemplaren hebben een oplossend vermogen dat nog veel kleiner is. Hoewel de meeste



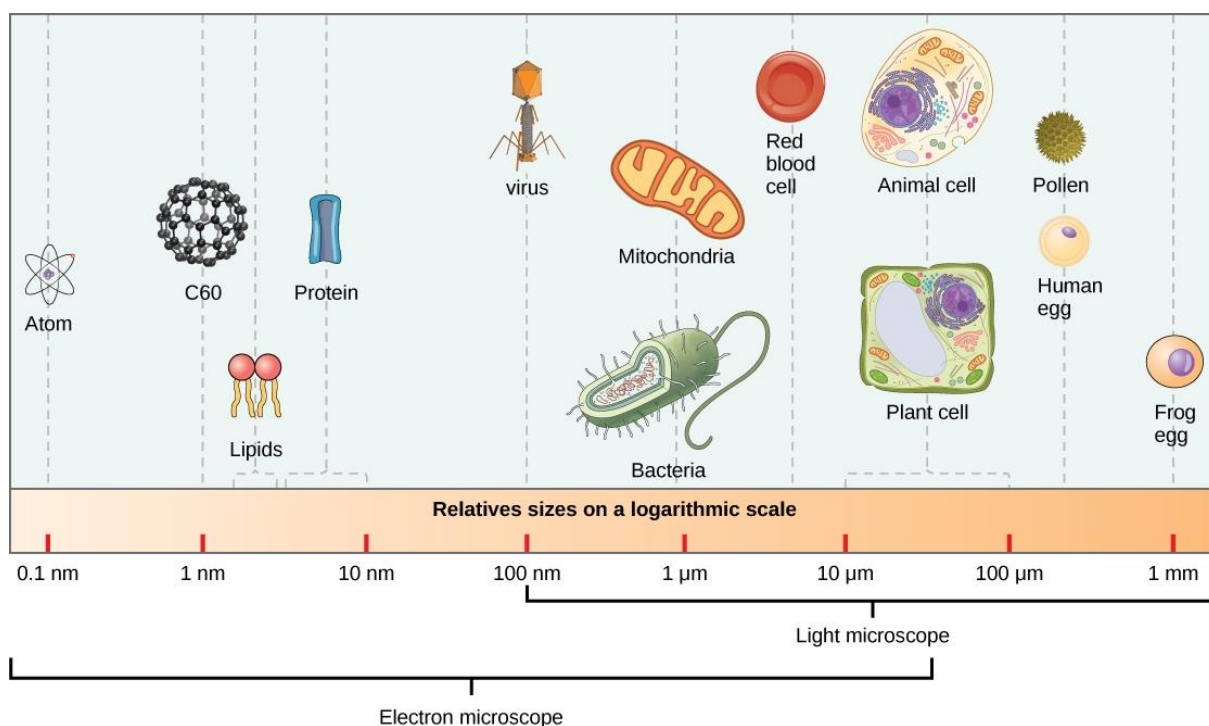
Figuur 4. De elektronenmicroscoop.

<sup>1</sup> Wanneer een glazen staaf tot smelten wordt verhit, ontstaat een draad uit glas wanneer beide uiteinden uiteen worden getrokken. Wanneer de glazen draad in een vlam wordt gehouden, smelt de draad en 'verschrompelt' ze tot een glazen bolletje... dat als lens kan fungeren.

<sup>2</sup> Hij trok zich daarom soms dagenlang in zijn huis terug.

elektronenmicroscopen een beeld in grijstinten oplevert, maakt men ook vooruitgang op dat gebied. Globaal gezien kan men een onderscheid maken tussen een transmissie-elektronenmicroscop – waarmee dunne coupes worden bestudeerd – en een rasterelektronenmicroscop – waarmee de oppervlakte van structuren kan worden bestudeerd.

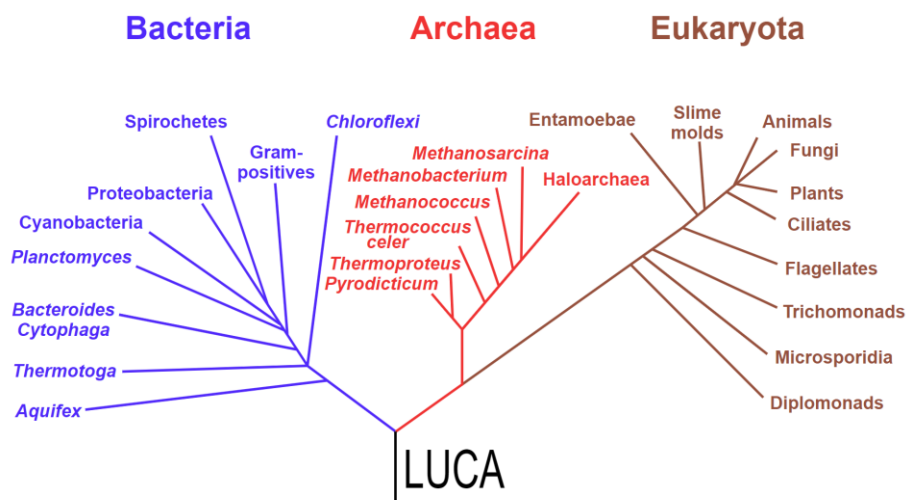
De meeste cellen van planten en dieren kunnen met een lichtmicroscop worden gezien. Ze zijn immers 10 tot 200 micrometer groot. Het bestuderen van hun onderdelen (celorganellen) vereist echter het gebruik van een elektronenmicroscop. Een aantal cellen is met het blote oog waarneembaar, denk bijvoorbeeld aan een ei (kippenei, struisvogelei, kwartelei), een menselijke eicel, kikkerdril, etc... Bacteriën (1-10 micrometer) zijn kleiner dan cellen van planten en dieren, en enkel met een goede, duurdere lichtmicroscop (1000x vergroting, immersie-objectief) zichtbaar.



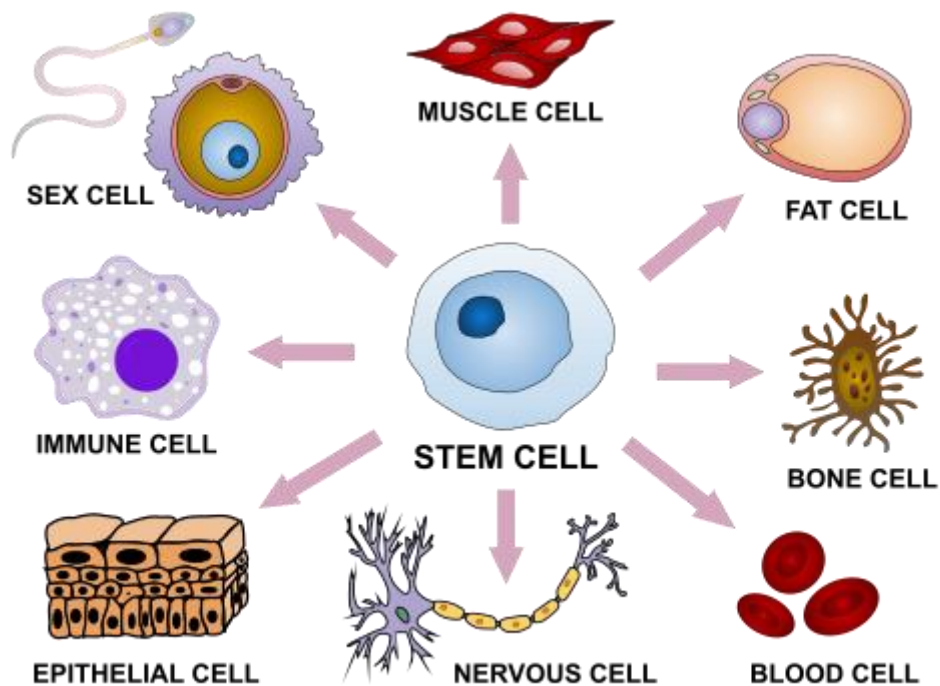
Figuur 5. Grootte van enkele cellen of celonderdelen.

In dit hoofdstuk bespreken we een ideale eukaryote cel. Een eukaryote cel heeft – in tegenstelling tot een prokaryote cel – een kern. Eukaryote cellen zijn pas later in de evolutie ontstaan, en zijn gecompartmenteerd: verschillende functies spelen zich af in verschillende compartimenten – organellen genoemd. Een ideale cel is een cel die alle mogelijke structuren die aanwezig kunnen zijn, bezit. In de realiteit zijn afhankelijk van de functie van de cel (dus het celtype) sommige organellen sterker, andere minder goed ontwikkeld. In meercellige organismen vinden we vaak een grote variatie aan verschillende celtypes: het zijn gespecialiseerde cellen. Al die cellen zijn ontstaan uit de bevruchte eicel die

ontstaat tijdens de voortplanting. Die gespecialiseerde cellen zijn dus ontstaan uit stamcellen door celdifferentiatie.



Figuur 6. De tree of life. Alle organismen stammen af van één oercel, de Last Universal Common Ancestor. We onderscheiden drie domeinen: Bacteria en Archaea zijn beide prokaryoten. Binnen het domein van de Eukaryoten worden (soms nog) de rijken 'planten', 'dieren' en 'schimmels' onderscheiden. Protisten zijn eencellige eukaryoten die een diverse groep vormen, en niet binnen één afzonderlijk rijk passen.

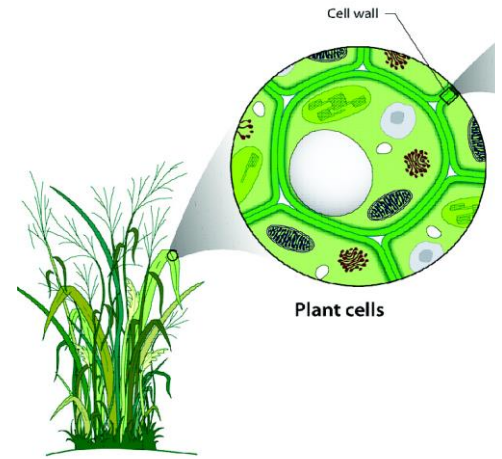


Figuur 7. De meeste meercellige organismen bestaan uit een groot aantal gespecialiseerde cellen. Die cellen ontstaan door celdifferentiatie van de nakomelingen van een bevruchte eicel, die ontstaat door of tijdens de voortplanting.

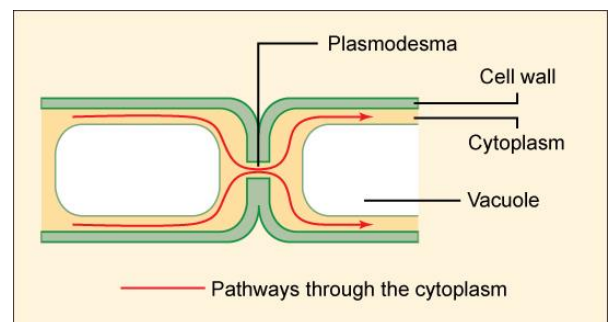
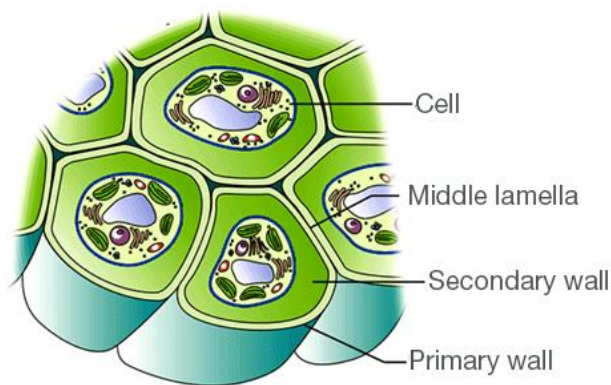
## 2. De celwand

Celwanden (zie *Figuur 8*) komen enkel voor bij plantaardige cellen zwammen en bacteriën. Ze zijn afwezig bij dierlijke cellen. De belangrijkste bestanddelen van een plantaardige celwand zijn:

- cellulose (belangrijk bestanddeel van de primaire celwand);
- lignine (houtstof, belangrijke bestanddeel van de secundaire celwand);
- een middenlamel die bestaat uit pectine (een soort kleefmiddel dat celwanden aan elkaar kleeft).



Figuur 8. Plantencellen zijn voorzien van een rigide celwand.



Figuur 9. De celwand van planten bestaat uit een primaire (buitenste) en secundaire (binnenste) celwand. De middenlamel bestaat uit pectine en 'lijmt' de cellen aan elkaar. Omdat de celwand ondoorlaatbaar is, zitten er kleine openingen in – de plasmodesmata – die transport tussen de cellen toelaten.

De celwand is relatief ondoordringbaar en laat nauwelijks uitwisseling van stoffen toe tussen naburige cellen. Daarom bevat het open kanaaltjes of plasmodesmata, die het cytoplasma van de aanliggende cellen met elkaar verbindt.

De celwand van zwammen is opgebouwd uit chitine – een stof waaruit het exoskelet van ongewervelden is opgebouwd. Bacteriën hebben een celwand die opgebouwd is uit mucopeptiden (peptidoglycaan) – een stof die niet bij andere organismen voorkomt. Stoffen die mucopeptiden afbreken (zoals penicilline) zijn dan ook stoffen met een antibacteriële werking.

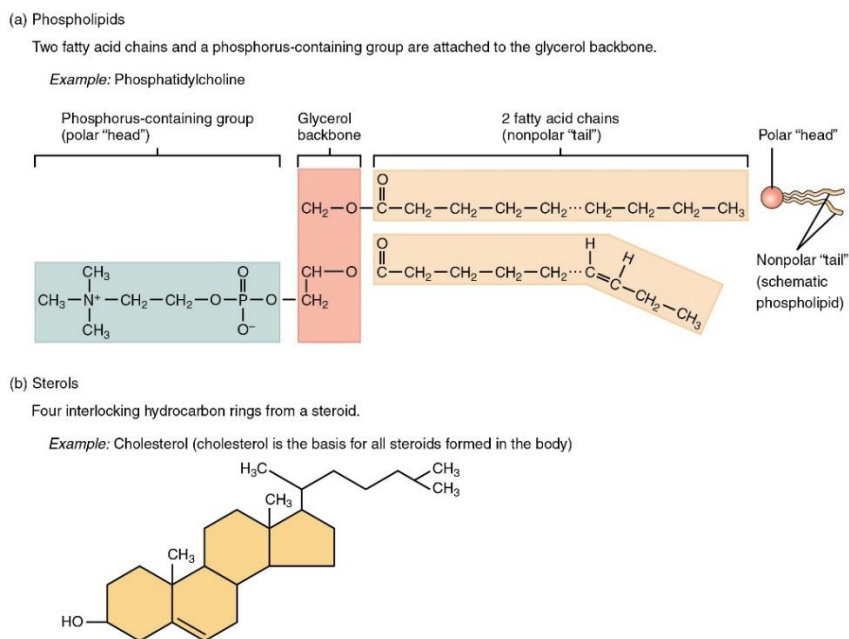
De functie van de celwand bij plantaardige cellen bestaat uit de bescherming tegen ongunstige omstandigheden en afbraak (bescherming) en uit het verlenen van vorm en stevigheid aan de cel en/of het organisme.

## 3. Het celmembraan

### 3.1. Bouw

Elke cel is omgeven door een plasmamembraan of celmembraan of plasmalemma. Het celmembraan is - net zoals alle membraanstructuren in de cel - een eenheidsmembraan.

Het celmembraan is opgebouwd uit een bilayer van fosfolipiden (zie figuur 10), die een trilaminaire structuur vormt. Een fosfolipide is opgebouwd uit een molecule glycerol gebonden (veresterd) met twee vetzuren en een fosfaatgroep, die zelf verbonden is aan geladen groep. De molecule bevat bijgevolg een hydrofiel (de kop) en een hydrofoob deel (de twee staarten).



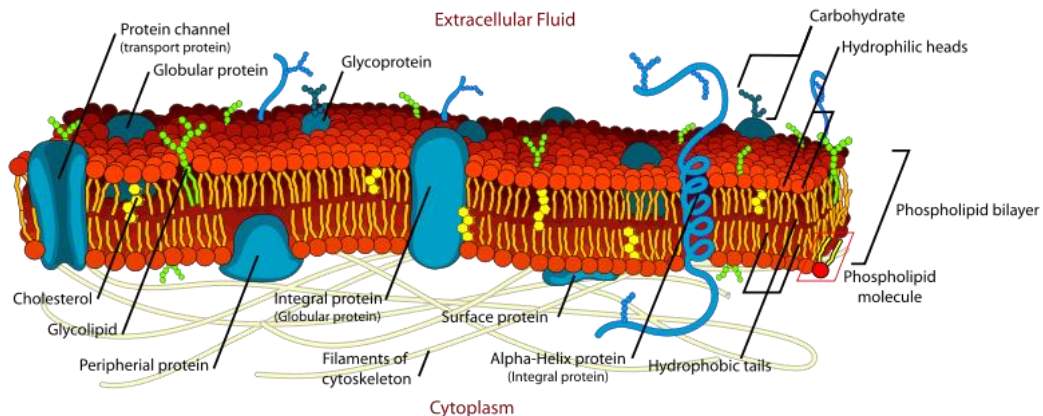
Figuur 10. Bouwstenen van het celmembraan (fosfolipiden en cholesterol)

Een groot aantal moleculen zal, in het waterig cytoplasma, ten gevolge van de oplosbaarheid (polaire stoffen lossen op in polaire stoffen, apolair stoffen in apolair - zie chemie), de hydrofobe staarten spontaan tegenover elkaar oriënteren. Hoewel het membraan opgebouwd is uit een dubbele laag fosfolipiden (bilayer), ontstaat zo een trilaminaire structuur (hydrofiel-hydrofoob-hydrofiel).

Belangrijk is op te merken dat dit een dynamische structuur is: de fosfolipiden zijn niet aan elkaar vast geankerd maar kunnen zich vrij doorheen het membraan bewegen.



Een dergelijk membraan is zeer fluïde en loopt het risico te 'breken'. Cholesterolmoleculen plaatsen zich tussen de fosfolipiden en stabiliseren het geheel.



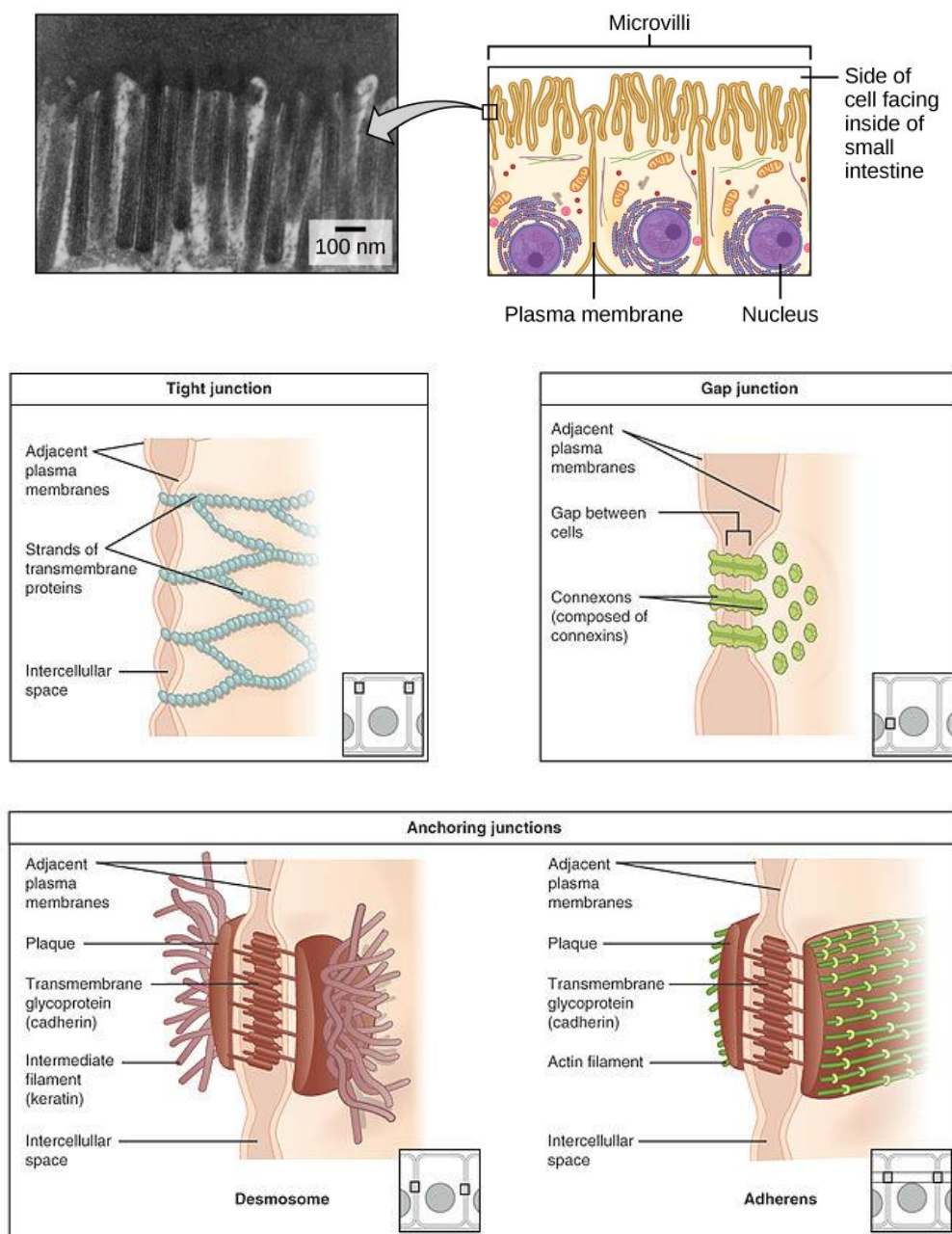
Figuur 11. Structuur van het eenheidsmembraan.

In het membraan bevinden zich talrijke eiwitten. Men kan onderscheid maken tussen transmembrane/integrale/intensieve eiwitten en perifere/extrinsieke eiwitten. Transmembrane eiwitten steken langs beide zijden door het membraan uit – en spelen een belangrijke rol als kanaaleiwitten. Perifere eiwitten bevinden zich enkel aan de extra- of enkel aan de intracellulaire zijde van het membraan en bezorgen haar dus een asymmetrische bouw. Ze vormen ankerpunten voor andere moleculen als eiwitten. Net zoals de fosfolipiden, kunnen de eiwitten zich vrij doorheen het membraan bewegen.

Sommige eiwitten bevatten ook gebonden polysachariden. Deze proteïne-polysacharide complexen worden glycoproteïnen genoemd. Een aantal van deze zijn betrokken in de celherkenning (zie later: immunologie). Het geheel van de polysachariden betrokken in de celherkenning (fingerprint van de cel) wordt de glycocalix genoemd. Nog andere eiwitten vormen receptoren waar bepaalde stoffen zich aan kunnen binden (hormonen, antigenen, boodschappermoleculen, etc...).

De bijzondere bouw van het membraan levert het membraan enkele bijzondere eigenschappen. Membranen zijn bijzonder flexibel, en vrij beperkt doorlaatbaar (zie figuur 12). Geladen moleculen kunnen niet zonder meer door het hydrofobe gedeelte van het membraan, grote en ongeladen moleculen kunnen niet tussen de fosfolipiden en de hydrofiele gedeelten van het membraan. Voor transport van deze stoffen doorheen het membraan, zijn eiwitten nodig. Enkel kleine en ongeladen moleculen zoals  $O_2$  en  $CO_2$  kunnen tussen de membraanmoleculen heen diffunderen.

Het celmembraan kan op sommige plaatsen in functie van specifieke vereisten aanpassingen (zie *Figuur 12*) vertonen:



Figuur 12. 'Vormingen' van het celmembraan: microvilli, gap-junctions, tight junctions (occludens-verbindingen), desmosomen en adherens-verbindingen.

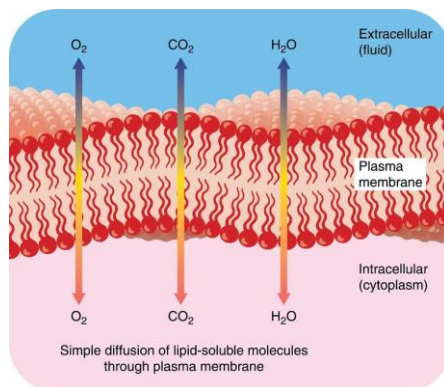
- gap junctions: kanaaleiwitten die rechtstreekse uitwisseling van stoffen tussen cellen toelaten;
- microvilli: vingervormige uitstulpingen zorgen voor een sterke toename in oppervlakte (bevorderen opname/afgifte van stoffen of vasthechting);
- occludens-verbindingen (tight junctions): de celmembranen van twee naburige cellen liggen tegen elkaar en verhinderen intercellulair transport; de betrokken cellen regelen hier de doorgang van alle stoffen en krijgen een controlerende functie;

- adherens verbindingen (zonula adherens), desmosomen: zijn vasthechtingsstructuren die aangetroffen worden in weefsels die veel mechanische stress ondervinden.

### 3.2. Functies van het celmembraan

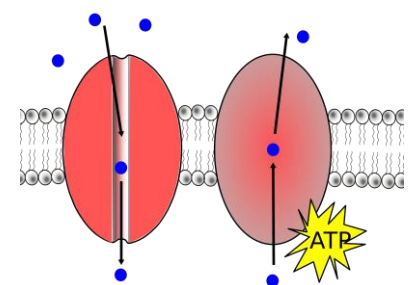
Het celmembraan vervult verschillende functies in de cel:

- het celmembraanlijnt de cel af en houdt alle structuren samen (afschieden tussen wat tot de cel hoort en wat niet);
- het celmembraan speelt een belangrijke rol bij het uitwisselen van stoffen met de omgeving. Stoffen kunnen op verschillende manieren worden uitgewisseld met de omgeving:
  - rechtstreeks doorheen het membraan op basis van diffusie (passief transport): dit kan enkel als de moleculen klein én ongeladen zijn, zoals  $O_2$  en  $CO_2$



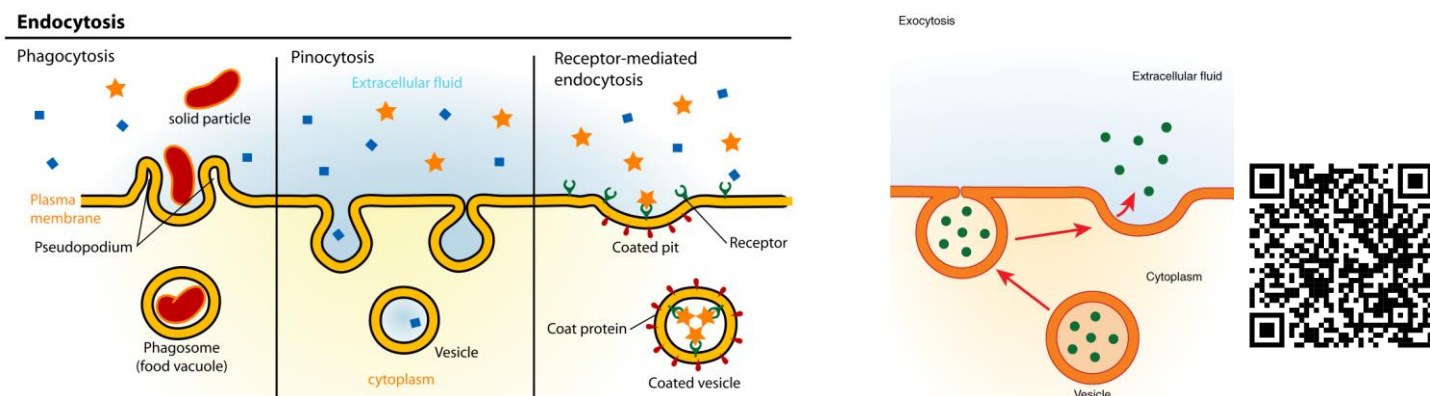
Figuur 13. Kleine ongeladen moleculen kunnen rechtstreeks doorheen het membraan diffunderen.

- langsheen (meestal zeer *specifieke*) kanalen, gevormd door transmembrane eiwitten. Wanneer het transport doorheen kanalen verloopt op basis van diffusie, spreekt men van gefaciliteerd transport (dit is een vorm van passief transport, aangezien ze geen verbruik van energie vereist). Vereist het proces energie (ATP, zie verder), dan spreekt men actief transport;



Figuur 14. Grotere of geladen moleculen kunnen enkel doorheen het membraan met behulp van eiwitten. Dit kan op een passieve manier (gefaciliteerd transport) of via actief transport.

- via vesikels (kleine blaasjes) die afgesnoerd worden van of versmelten met het membraan. Men maakt een onderscheid tussen (zie figuur 14)
  - endocytose: opname van celvreemd materiaal via vesikels die afgesnoerd worden van het celmembraan.
    - pinocytose: opname van vloeistof en opgeloste stoffen
    - fagocytose: opname van vaste partikels.
  - exocytose: uitscheiden van stoffen via vesikels die versmelten met het celmembraan.



Figuur 14. Door endocytose en exocytose (rechts) kunnen stoffen opgenomen of uitgescheiden worden. Fagocytose en pinocytose zijn vormen van endocytose.

Het afsnoeren van stukken membraan (endocytose) en het versmelten van vesikels met het celmembraan (exocytose) kost energie (ATP). Deze vormen van transport zijn dan ook vormen van actief transport.

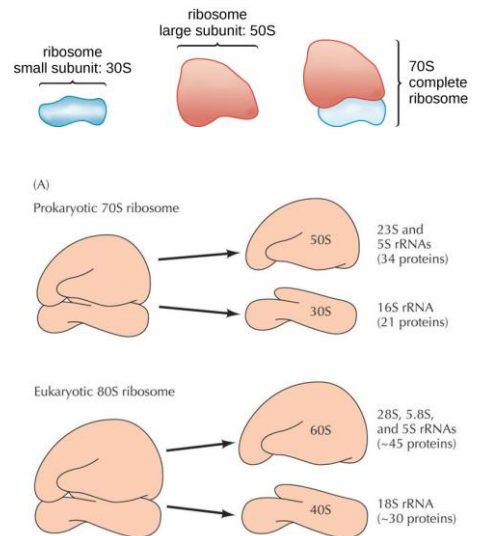
Het moet duidelijk zijn dat door endocytose en exocytose het celmembraan voortdurend opgebouwd en afgebroken wordt en dus een zeer dynamische structuur is. De voortdurende afsnoering en versmelting van vesikels van/met het celmembraan wordt aangeduid met de "membraanstroom".

- c) het celmembraan speelt een cruciale rol in de immuniteit: de glycocalyx laat toe om een onderscheid te maken tussen celvreemd en celegeen materiaal;
- d) vasthechting (zowel aan naburige cellen als bepaalde organellen/moleculen aan de binnenzijde van het membraan).

## 4. Organellen zonder membraan

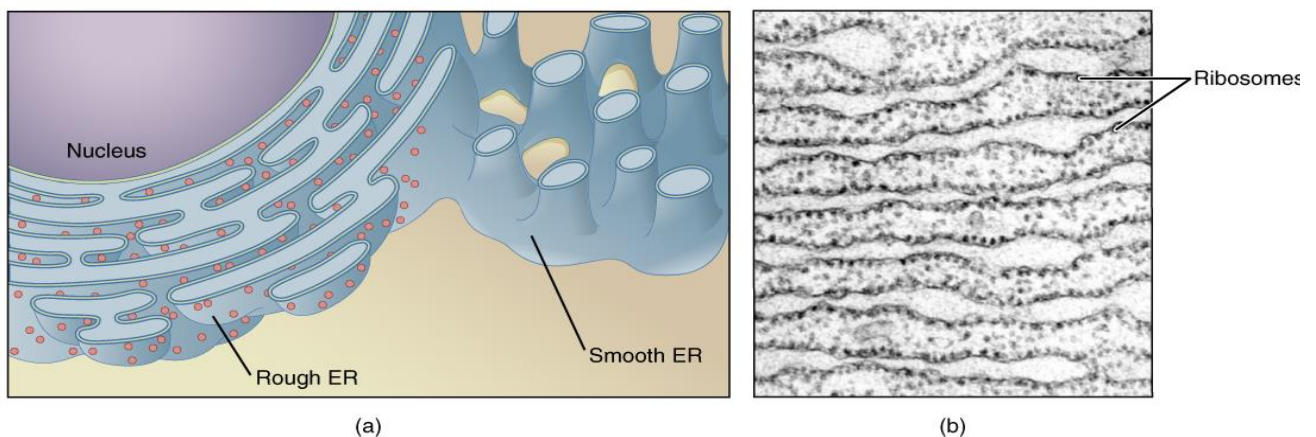
### 4.1. Ribosomen

Ribosomen (Figuur 15) zijn kleine korrelvormige organellen die bestaan uit twee sub-eenheden: een kleine en een grote subeenheid. Het ribosoom is slechts werkzaam indien de twee sub-eenheden verenigd zijn. Elke subeenheid is opgebouwd uit proteïnen en rRNA (ribosomale ribonucleïnezuren). De beide sub-eenheden van prokaryoten en eukaryoten bevatten een verschillend aantal proteïnen, wat zich manifesteert in een verschillend gewicht. Hoewel ribosomen zowel in prokaryoten als in eukaryoten aanwezig zijn, zijn ze niet volledig identiek. De ribosomen van prokaryoten zijn onder meer lichter (massa 70S) dan deze van de eukaryoten (80S).



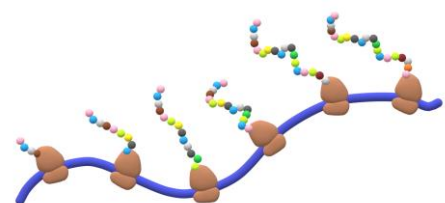
Figuur 15. Ribosomen zijn opgebouwd uit een kleine en een grote sub-eenheid.

Het aantal ribosomen kan oplopen tot verschillende miljoenen per cel. Ze kunnen vrij in het cytoplasma voorkomen, of gebonden aan het endoplasmatisch reticulum (zie figuur 16).



Figuur 16. Als ribosomen gebonden zijn aan het endoplasmatisch reticulum, spreekt men van RER (zie verder). Ribosomen kunnen ook vrij in het cytoplasma voorkomen.

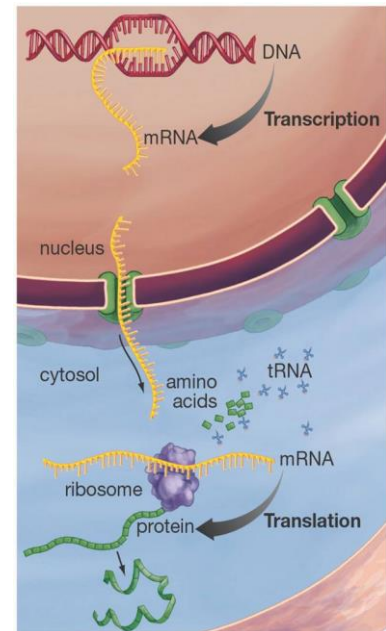
Ribosomen zijn de organellen die eiwitten bouwen (aminozuren aaneenschakelen) op basis van de informatie aanwezig in mRNA. Meestal wordt een mRNA-molecule afgelezen door een



Figuur 17. Een polysoom is een stukje mRNA, dat wordt afgelezen door een groot aantal ribosomen.

groot aantal ribosomen: dit is een polysoom (zie figuur 17).

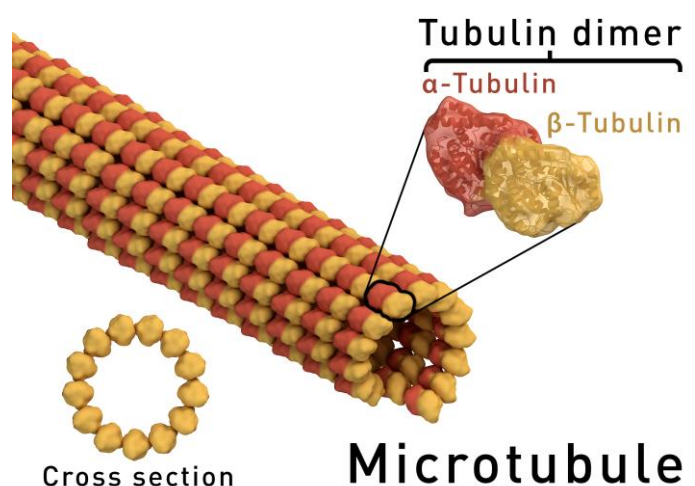
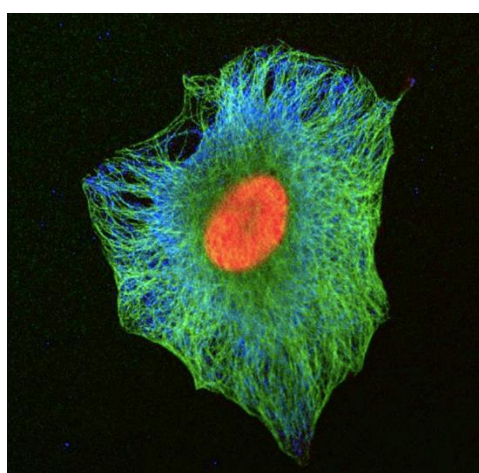
Verschillen tussen verschillende individuen van eenzelfde soort, verschillen tussen verschillende soorten zijn terug te brengen tot verschillende eiwitten. Kenmerken zijn overdraagbaar naar de volgende generatie. Hoewel kenmerken tot uiting worden gebracht door eiwitten, wordt het DNA naar de volgende generatie overgedragen. DNA bevat dus de informatie over de bouw van de eiwitten (zie tweede jaar van derde graad). De productie van eiwitten gebeurt in het cytoplasma, maar het DNA bevindt zich in de kern en kan deze niet verlaten. Daarom wordt in de kern het DNA 'gekopieerd' naar een andere molecule die de kern wel kan verlaten: mRNA. In het cytoplasma wordt deze code dan "vertaald" naar eiwitten. Dit ganse proces wordt het centrale dogma in de biologie genoemd (zie Figuur 18).



Figuur 18. Het centrale dogma in de biologie: de erfelijke informatie vervat in het DNA, wordt vertaald naar eiwitten.

#### 4.2. Het celskelet of cytoskelet (microtubuli)

Het celskelet of cytoskelet (zie Figuur 19) is voornamelijk opgebouwd uit buisvormige structuren: de microtubuli. Deze microtubuli zijn polymeren van het eiwit tubuline: 13 dergelijke monomeren vormen een ringvormige structuur.



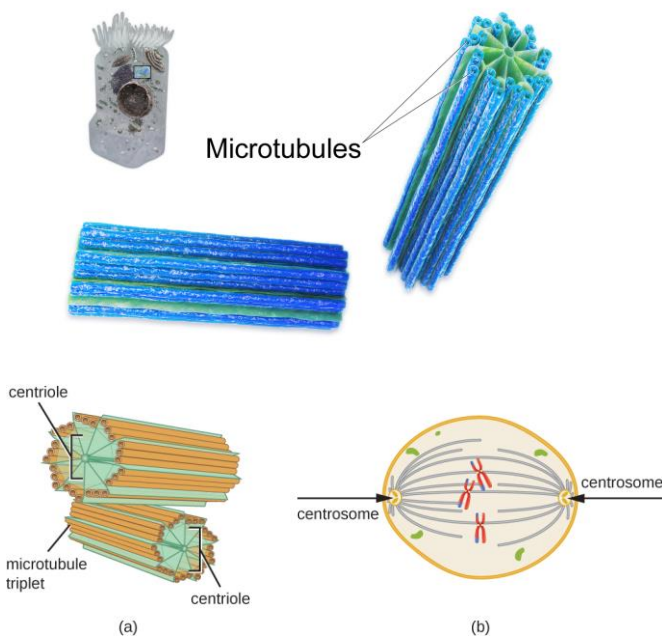
Figuur 19. Het cytoskelet is opgebouwd uit microtubuli. Microtubuli zijn polymeren van tubuline-dimeren.

Deze tubuli kunnen door toevoegen of verwijderen van tubuline-eenheden, verlengen of verkorten en zijn bijgevolg dynamische celementen. Deze tubuli

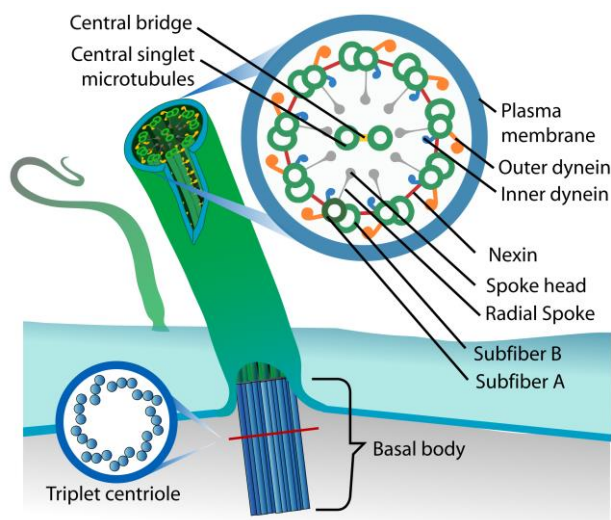
vormen een netwerk van kabels waarlangs organellen zich bewegen. Verder spelen ze een belangrijke rol bij de celdeling (zie later, de kernspoel) en zijn ze betrokken bij beweging van cellen.

Een centriool (zie Figuur 20) is een celstructuur die opgebouwd is uit 9 tripletten (3 verbonden microtubuli), die gerangschikt zijn als de schoepen van een waterrad. Ze spelen een cruciale rol in de celdeling, maar zijn enkel aanwezig in dierlijke cellen en cellen van 'lagere planten'. In een niet-delende cel, zijn twee centriolen aanwezig, die loodrecht op elkaar staan.

Flagellen en cilia<sup>3</sup> (zie Figuur 21 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) zijn andere afgeleide structuren van microtubuli. Beide zijn opgebouwd uit 9x2 microtubuli, met 2 centrale tubuli. Beide hebben een functie in de voortbeweging van de cel.



Figuur 20. Een centriool is opgebouwd uit 9 sets van 3 microtubuli. Twee centriolen staan haaks op elkaar



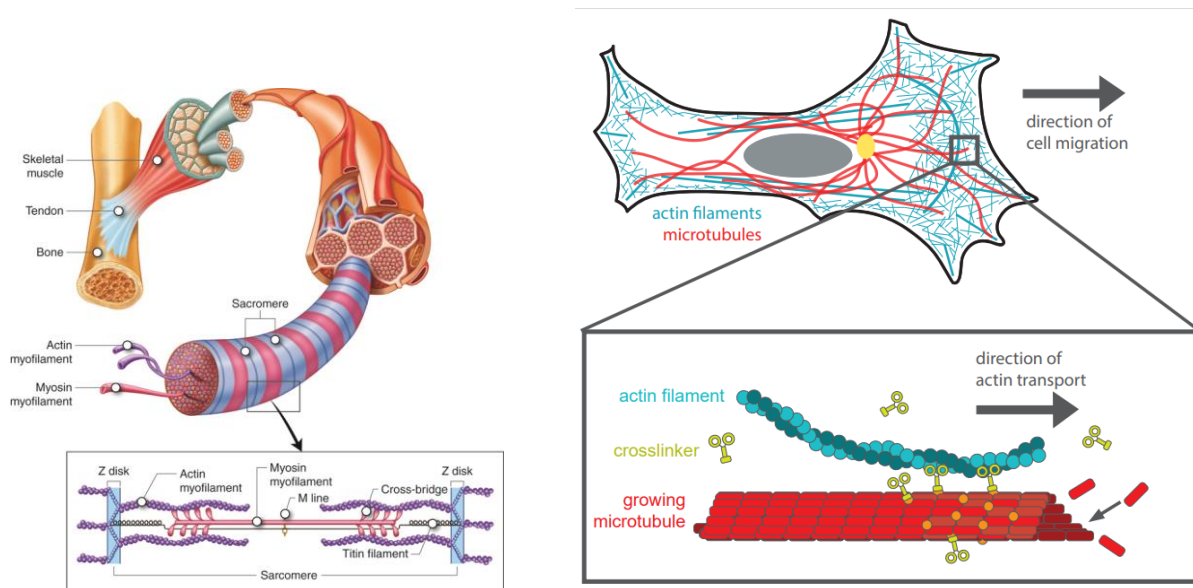
Figuur 21. Een centriool is opgebouwd uit 9 sets van 3 microtubuli. Twee centriolen staan haaks op elkaar

### 4.3. Microfilamenten

Microfilamenten (zie Figuur 22, midden) zijn dunne draadvormige structuren, meestal gelegen onder het celmembraan. Bij spiercellen zijn ze zo talrijk aanwezig, dat ze bijna de volledige celinhoud in beslag nemen. Ze bevatten ATP-splitsende enzymen (*ATP: Adenosine Tri Phosphate: belangrijkste*

<sup>3</sup> Het verschil tussen een cilium en flagel valt buiten deze cursus. Cilia zijn korter en in groot aantal aanwezig. Ze komen enkel voor bij eukaryoten en maken golfvormige bewegingen. Flagellen zijn groter, maken roterende bewegingen en komen in kleiner aantal (max. 10) voor. Ze komen voor zowel bij prokaryoten als eukaryoten.

energie'dragende' molecule in de cel) en kunnen over elkaar 'glijden' met verbruik van energie. Wanneer ze over elkaar glijden, veroorzaken ze een vormverandering van de cel en staan op deze manier vaak in voor de beweging of verkorting van de cel.

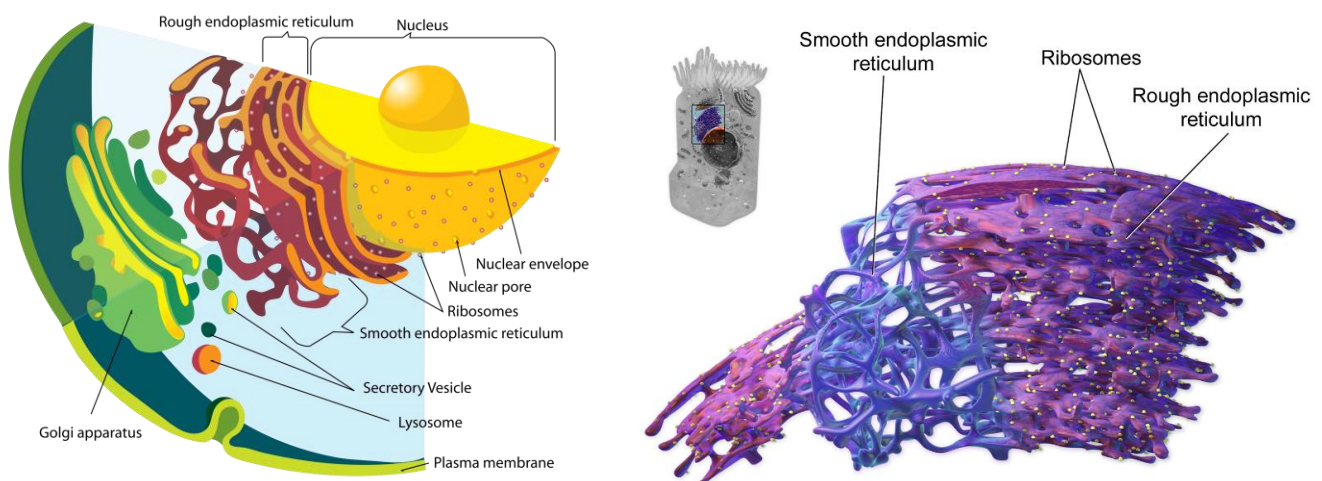


Figuur 22. Microfilamenten zijn dunne draadvormige structuren die ATP kunnen splitsen en over elkaar glijden. Ze veroorzaken verkortingen van de cel. Spiercellen zitten vol met microfilamenten (actine en myosine). Ze werken soms samen met microtubuli (rechts).

## 5. Organellen opgebouwd uit/omgeven door een enkelvoudig membraan

### 5.1. Het endoplasmatisch reticulum

Het endoplasmatisch reticulum (E.R.) is de voortzetting van het celmembraan in de cel. Het is aldus een eenheidsmembraan en staat met het celmembraan en het kernmembraan in verbinding. Ze vormt in de cel een netwerk van afgeplatte zakken (cisternen) omgeven door een membraan.



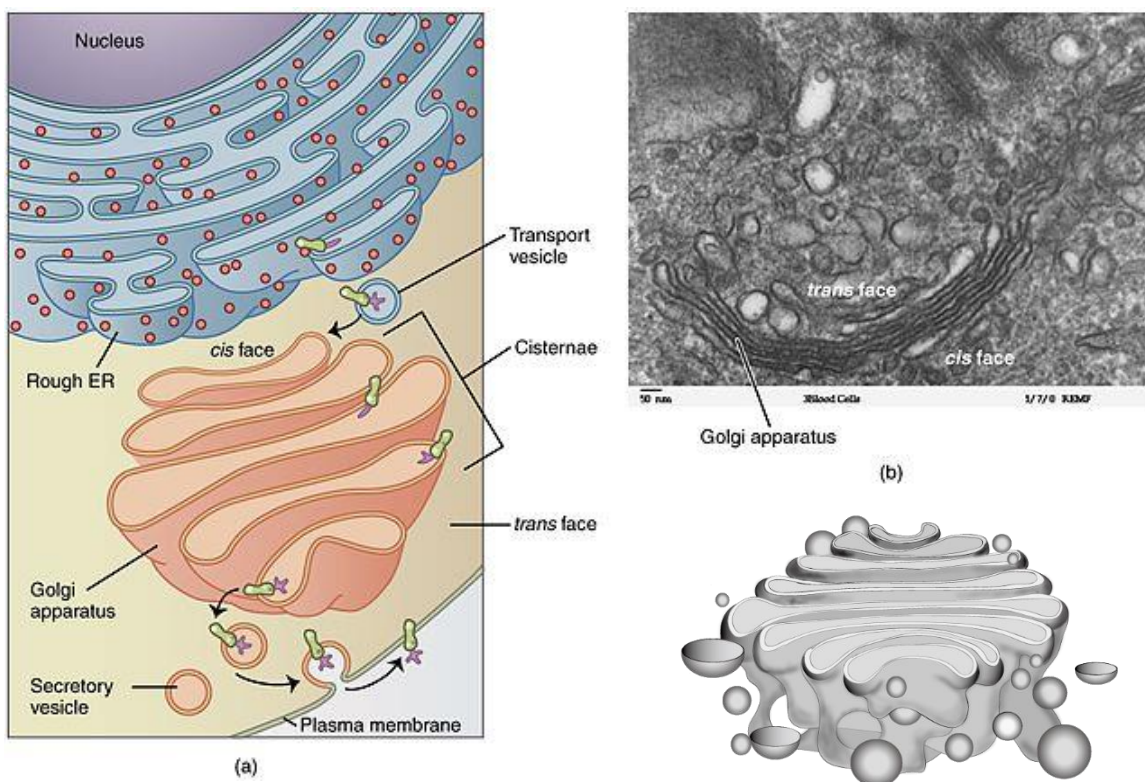
Figuur 23. Het endoplasmatisch reticulum.



Men kan een onderscheid maken tussen ruw endoplasmatisch reticulum waarop ribosomen gebonden zijn (R.E.R.= rough endoplasmatic reticulum) en glad endoplasmatisch reticulum (S.E.R.= smooth endoplasmatic reticulum) zonder ribosomen. Het RER staat in voor de productie van eiwitten (door de ribosomen) die in vesikels getransporteerd worden en eventueel door exocytose gesecreteerd worden (na bijv. bewerking in het Golgi-apparaat). Het SER staat in voor productie en opslag van lipiden en glycogeen en opslag van hormonen.

## 5.2. Golgi-apparaat

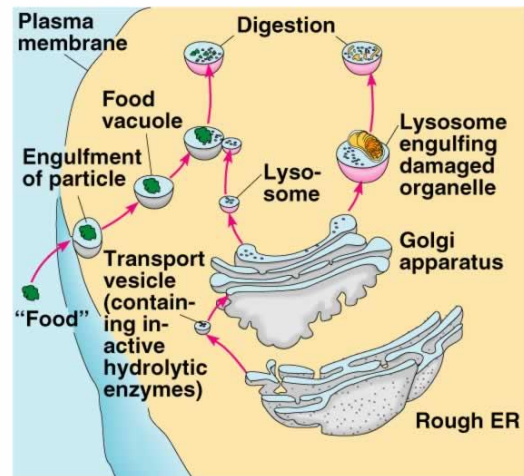
Het Golgi-apparaat (zie *Figuur 24*) is opgebouwd uit een reeks afgeplatte holtes omgeven door een eenheidsmembraan, cisternen genoemd. Cisternen zijn gestapeld in een dictyosoom en een Golgi-apparaat kan een of meerdere dictyosomen bevatten. Aan een dictyosoom kunnen twee zijden worden onderscheiden: met de cis-zijde (meestal de bolle zijde) versmelten blaasjes of vesikels afkomstig van het RER en aan de trans-zijde worden vesikels afgesnoerd. Eiwitten geproduceerd in het RER, versmelten met de cis-zijde van een dictyosoom en ondergaan in de opeenvolgende cisternen een reeks veranderingen/modificaties. Ze verlaten het Golgi-apparaat als 'afgewerkt' product. Het Golgi-apparaat staat dus in voor de modificatie van eiwitten. Daarnaast is het Golgi-apparaat de plaats waar lysosomen worden geproduceerd.



Figuur 24. Het Golgi-apparaat.

### 5.3. Lysosomen

Een lysosoom (zie *Figuur 25*) is een vesikel (blaasje) gevuld met lytische enzymen (afbraakenzymen), dat zorgt voor intracellulaire vertering. Ze worden gemaakt in het Golgi-apparaat. Een lysosoom afgesnoerd van een Golgi-apparaat is een primair lysosoom. Wanneer de primaire lysosomen versmelten met vesikels vormen ze secundaire lysosomen. De lytische enzymen breken dan de inhoud van de vesikel af. Wanneer het celvreemd materiaal (opgenomen door endocytose) betreft, spreekt men van heterofagie, wanneer de vesikel celliegn materiaal bevat, van autofagie. Door middel van autofagie worden afgestorven of uitgewerkte organellen opgebruikt. Resterende afvalstoffen in de vesikel worden door exocytose geloosd.



Figuur 25. Lysosomen. We kunnen een onderscheid maken in primaire en secundaire lysosomen, al naargelang ze reeds versmolten zijn met een vacuole.

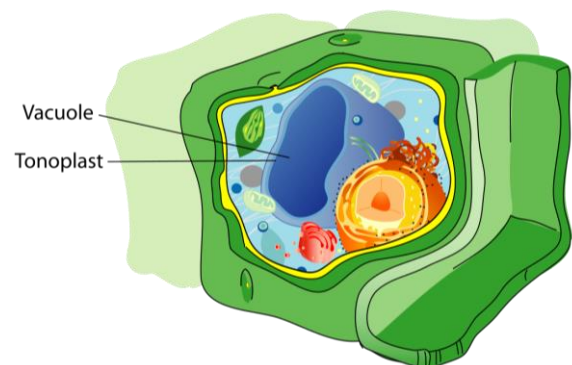
In extreme gevallen worden alle organellen afgebroken en ondergaat de cel geïnduceerd celdood of apoptosie.

### 5.4. Peroxisomen

Peroxisomen komen voor in alle eukaryote cellen, maar vooral in plantaardige cellen en levercellen. Ze zijn belangrijk voor de productie van waterstofperoxide dat helpt om schadelijke verbindingen te oxideren.

### 5.5. Vacuole

De vacuole (zie *Figuur 26*) is een met vocht gevulde holte, omgeven door een eenheidsmembraan (de tonoplast). Plantaardige cellen worden gekenmerkt door een of twee grote vacuolen, terwijl de vacuolen bij dierlijke cellen meestal zeer klein zijn. Vacuolen dienen,



Figuur 26. De vacuole in een plantaardige cel.

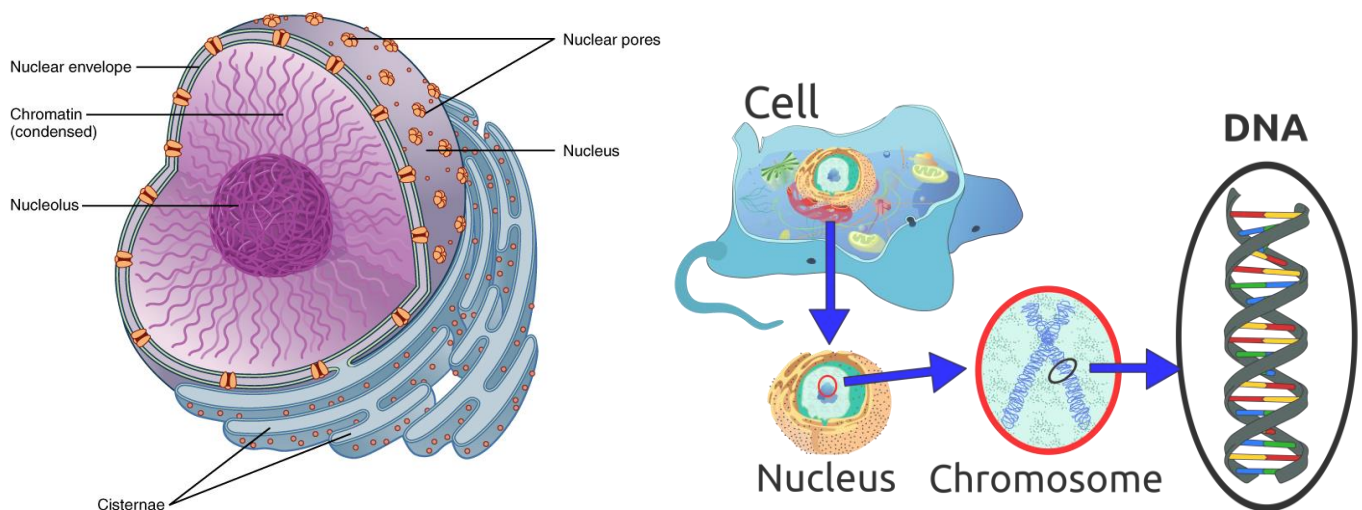
naargelang het soort cel, voor opslag van voedingsstoffen, afvalstoffen, kleurstoffen, gifstoffen, etc... Door de hoge osmotische waarde van het vacuolevocht in planten, bevat ze veel water en is ze verantwoordelijk voor de turgor van de cel.

## 6. Organelen opgebouwd uit/omgeven door een dubbel membraan

### 6.1. De kern/nucleus

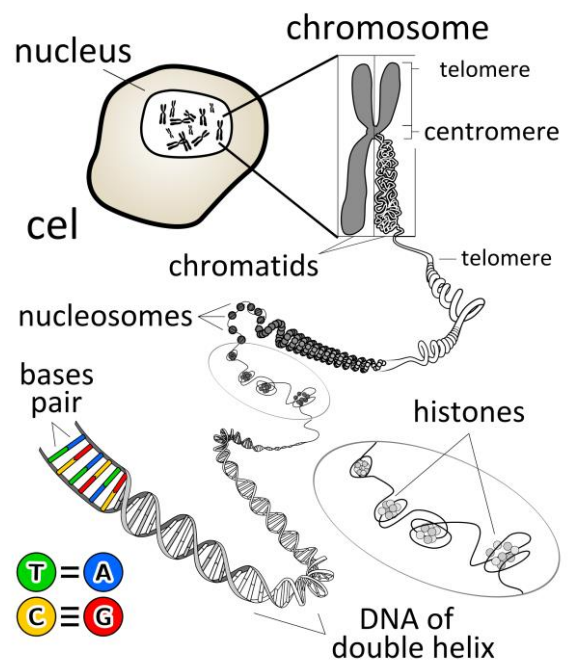
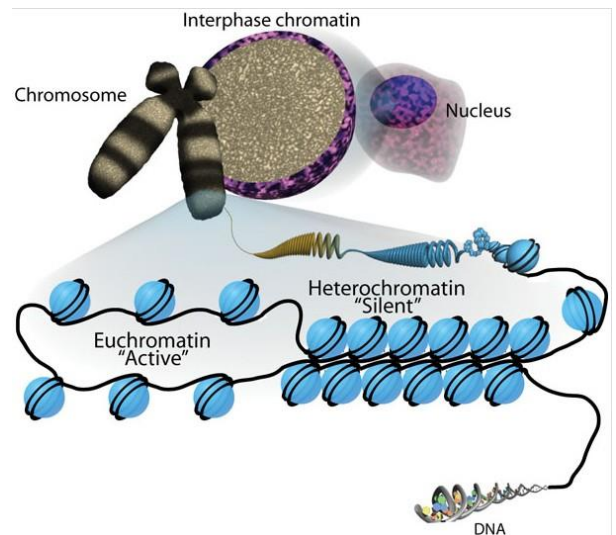
De kern (zie Figuur 27) is een organel omgeven door een dubbel membraan, dat talrijke poriën bevat die transport van moleculen tussen karyoplasma en cytoplasma moet toelaten. Dit organel wordt (net als de plastiden en mitochondriën) enkel in eukaryote cellen aangetroffen.

Ze bevat het erfelijk materiaal of DNA (DeoxyriboNucleicAcid, desoxyribonucleïnezuur, zie figuur 27). Elk levend organisme maakt gebruik van deze universele moleculen (nucleïnezuren) om erfelijke eigenschappen te coderen, op te slaan, uit te drukken en door te geven naar de volgende generatie. De bouw van het DNA wordt in het tweede jaar van de derde graad uitvoerig besproken. Het volstaat om te weten dat DNA opgebouwd is uit twee moleculen die schroefvormig rond elkaar zijn gedraaid (dubbele helix) en door middel van waterstofbruggen aan elkaar zijn gehecht. Deze DNA-molecule is bij eukaryoten tweemaal gewonden rond een complex van 8 histon-eiwitten (wat een nucleosoom wordt genoemd), om zo chromatine te vormen.



Figuur 27. Eukaryote cellen bevatten een kern, omgeven door een dubbel membraan.

Bij eukaryoten zijn de DNA-fragmenten lineair. De totale lengte van al deze fragmenten bedraagt in elke menselijke cel ca. 2 meter, wat naar cellulaire normen gigantisch is. Het chromatine is in de meeste gevallen verder gecondenseerd (zie Figuur 28) tot euchromatine (dat nog kan afgelezen worden) of heterochromatine (dat dermate compact is dat het niet meer kan 'gelezen' worden), of tot chromosomen wanneer een cel gaat delen. Een chromosoom van een cel die op het punt staat te delen, bestaat uit twee chromatiden die met elkaar verbonden zijn ter hoogte van het centromeer. Deze twee chromatiden zijn in feite twee kopijen van elkaar, die nog op een bepaalde plaats aan elkaar vasthangen. Deze twee chromatiden zullen tijdens een erop volgende deling van elkaar worden gescheiden, en elk in een aparte dochterkern/dochtercel terecht komen. De plaatsen aan de buitenzijde van het centromeer worden de kinetochoren genoemd, de telomeren zijn de uiteinden van de chromatiden.



Figuur 28. DNA is de molecule die de erfelijke informatie draagt. Gewonden rond histon-eiwitten, vormt ze chromatine dat in de kern aanwezig is.

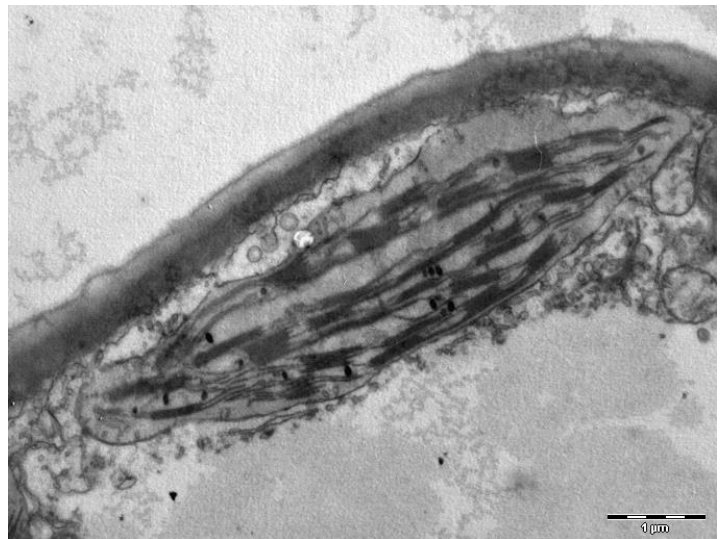
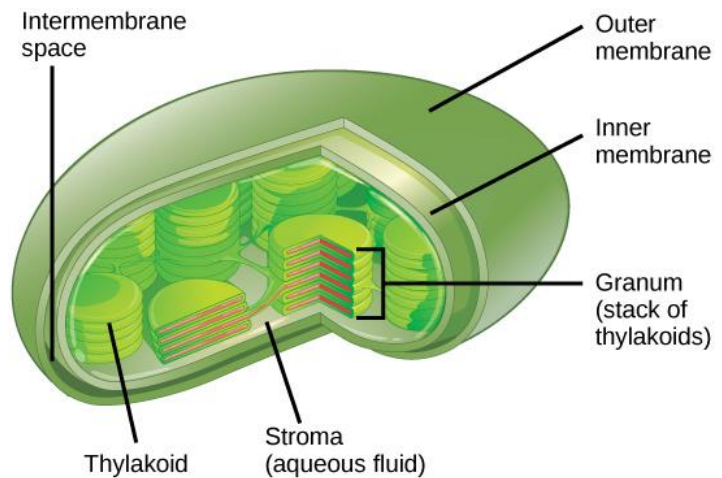
Prokaryoten bevatten minder DNA. Bovendien is het DNA niet rond eiwitten gewonden (naakt DNA) en circulair. Soms kunnen in prokaryoten ook nog extra, kleinere circulaire DNA-moleculen voorkomen (plasmiden), die informatie bevatten over niet-levensnoodzakelijke eiwitten (plasmiden).

In de kern komen vaak één tot drie kernlichaampjes of nucleoli<sup>4</sup> voor. Dit zijn plaatsen waar het DNA wordt afgelezen en 'vertaald' naar mRNA (transcriptie). Ook worden hier ribosomen gevormd.

<sup>4</sup> Enkelvoud: nucleolus

## 6.2. Plastiden

Plastiden (zie Figuur 29) zijn ovale organellen met een dubbel membraan, die enkel in plantaardige cellen worden aangetroffen. Net zoals bij mitochondriën, kent het buitenmembraan een typische eukaryote samenstelling en het binnenmembraan een prokaryote samenstelling. Het binnenmembraan vertoont talrijke plooien ter oppervlaktevergroting: de thylakoïden. Deze thylakoïden vormen op regelmatige plaatsen gestapelde membranen (granathylakoïden) die verbonden zijn door stromathylakoïden. Het cytoplasma van een plastide wordt 'stroma' genoemd. Ook dit organel heeft naakt, circulair DNA en ribosomen van het prokaryote type (70S). Nieuwe plastiden ontstaan door tweedeling van bestaande plastiden, en kunnen bij verlies niet opnieuw door de cel worden aangemaakt.



Figuur 29. Een chloroplast.

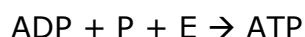
Naargelang hun functie en bouw onderscheidt men

- chloroplasten die chlorofyl bevatten en instaan voor fotosynthese;
- chromoplasten die gevuld zijn met kleurstoffen en bepaalde plantendelen een typische kleur geven (kroonbladen, vruchten, etc...);
- leucoplasten waarin reservestoffen worden opgeslagen, indien het zetmeel betreft worden deze plastiden amyloplasten genoemd.

### 6.3. Mitochondriën

Mitochondriën (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) zijn staafvormige organellen met een grootte tussen 1 en 10µm. Ze hebben een buitenmembraan en binnenmembraan met verschillende samenstelling: het buitenmembraan is een typisch eukaryoot membraan, het binnenmembraan bevat componenten die enkel bij prokaryoten worden aangetroffen. Het binnenmembraan vertoont bovendien talrijke plooien (cristae) ter oppervlaktevergroting, zodat de talrijke enzymen voor de ademhaling (KREBS-cyclus of citroenzuurcyclus, zie later) zich kunnen vasthechten. De vloeistof in de mitochondrie wordt de matrix genoemd.

In de mitochondrium gebeuren talrijke reacties, die uiteindelijk instaan voor de synthese van ATP (adenosinetrifosfaat), een energierijke molecule. Globaal kan deze reactie worden voorgesteld als



(AdenosineDiPhosphate + fosfaatgroep + E → AdenosineTriPhosphate)

De energie in ATP kan terug worden vrijgesteld, door hydrolyse tot ADP (de omgekeerde reactie)



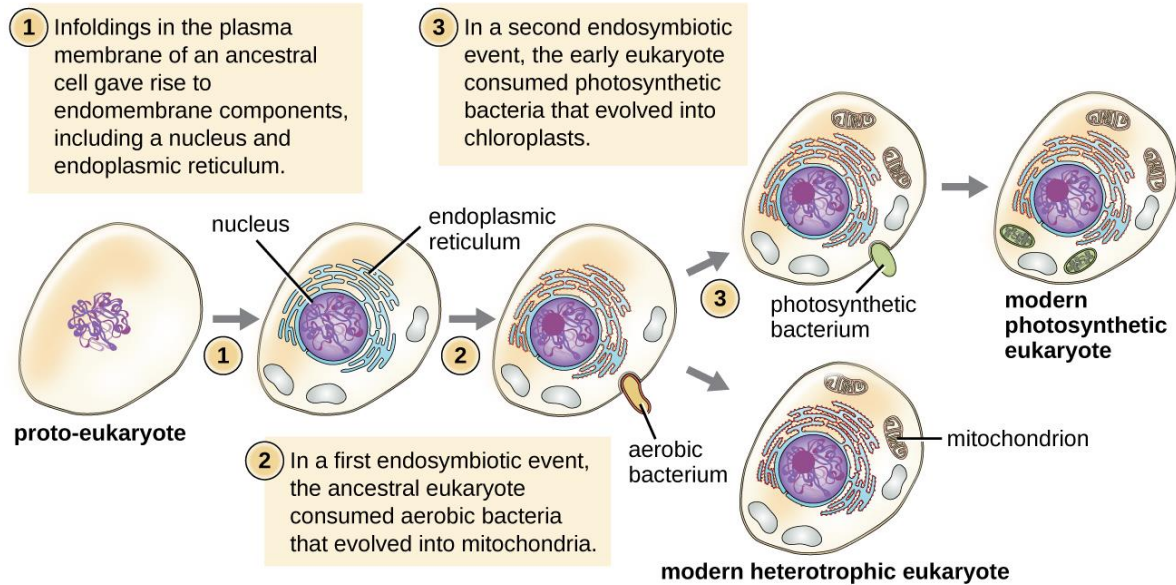
Het aantal mitochondriën in de cel hangt af van haar energiebehoefte. Verder valt op te merken dat mitochondriën beschikken over eigen DNA dat naakt en circulair is. Ze beschikken over eigen ribosomen (70S). Nieuwe mitochondriën kunnen enkel worden gevormd door deling van bestaande mitochondriën, en de deling verloopt zoals de deling van prokaryoten. Dit alles wijst sterk op een verwantschap met prokaryoten. Mitochondriën kennen een maternale overerving: wanneer bij de bevruchting de mannelijke gameet (zaadcel) versmelt met de vrouwelijke gameet (eicel), dringt enkel de kern van de mannelijke gameet de eicel binnen. Dit betekent dat alle mitochondriën in de bevruchte eicel (zygote), en het latere, meercellig organisme, ontstaan zijn door deling van mitochondriën van de moeder.

### 6.4. Endosymbiosetheorie

Zowel mitochondriën als plastiden delen verschillende kenmerken met prokaryoten. Ze bevatten alle eigen, naakt en circulair DNA, hebben een membraan met unieke samenstelling en ribosomen die verschillend zijn van eukaryote cellen. Deze kenmerken, samen met andere, wijzen er op dat in een

ver verleden, een eukaryote cel prokaryoten heeft opgenomen door endocytose (zie figuur 31). De opgenomen prokaryoot werd echter niet verteerd, maar er ontstond een symbiose tussen opgenomen prokaryoot en de eukaryote gastheer.

### The Endosymbiotic Theory

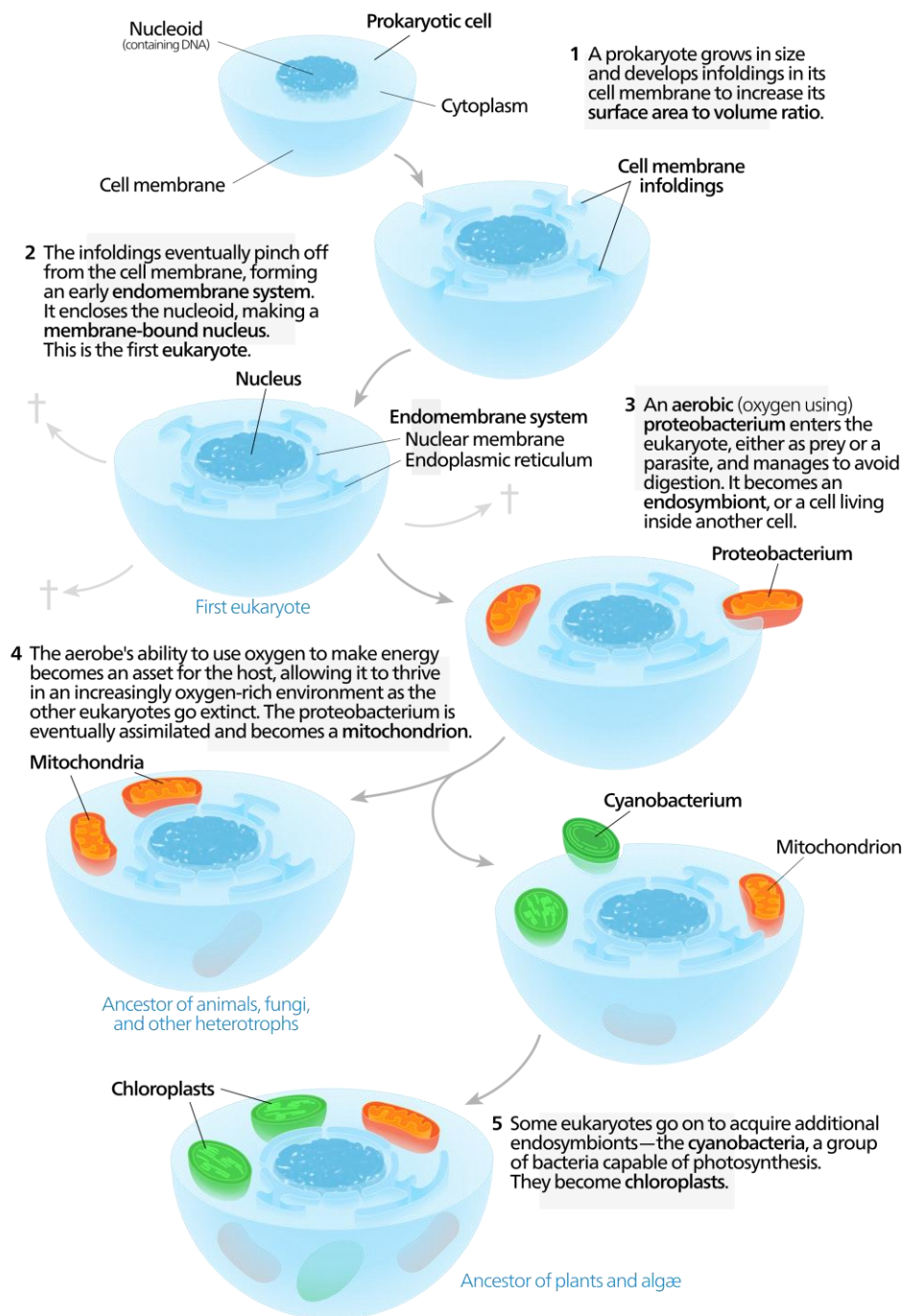


Figuur 30. De endosymbiosetheorie. Eerst werd een bacterie opgenomen die evolueerde tot mitochondria. Daarna gebeurde een tweede endosymbiose van een bacterie die fotosynthese kan verrichten.

Of deze samenwerking gezien kan/moet worden als een vredige samenwerking dan wel als een vorm van slavernij, is een andere kwestie. Aangezien plantaardige en dierlijke cellen beide over mitochondriën beschikken, en plastiden enkel aanwezig zijn in plantaardige cellen, is de opname van de plastiden gebeurt na de opname van de mitochondriën. De organismen die evolueerden uit de eukaryote cel die de geen tweede maal een symbiose aangingen (opname prokaryoot die zich ontwikkelde tot plastide), ontwikkelden zich tot 'dierlijke' organismen. De eukaryoten die ook een endosymbiose aangingen met de plastiden, konden hun eigen organische stoffen aanmaken op



basis van een externe energiebron (licht) en anorganische stoffen. Planten evolueerden uit deze laatste groep

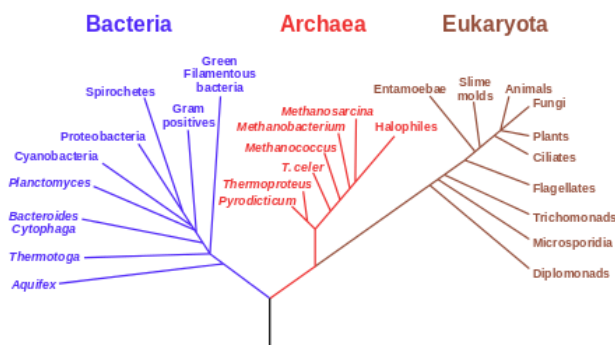


Figuur 31. De endosymbiosetheorie.

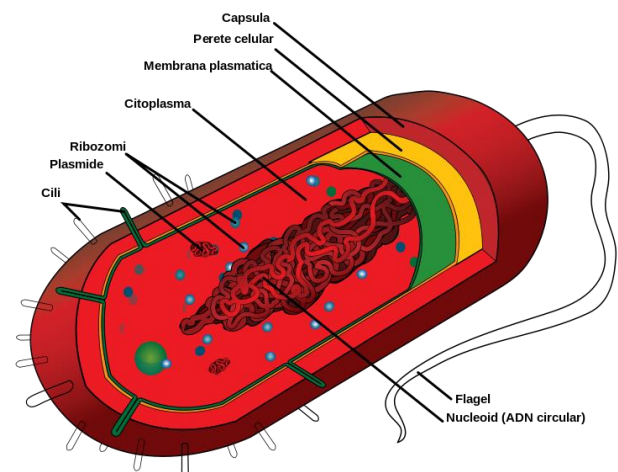
## 7. Onderscheid tussen eukaryote en prokaryote cellen

In de huidige systematiek/classificatie worden levende organismen ingedeeld in 3 domeinen: de Bacteria, Archaea en Eukaryota. De eerste twee groepen (bacteriën en Archaeabacteriën) zijn prokaryoot. Archaeabacteriën zijn vermoedelijk de oudste levende organismen op onze planeet, en verschillen in hun biochemie en RNA zeer duidelijk van bacteriën (maar hebben een aantal enzymen voor transcriptie en translatie gemeen met eukaryoten). Ze komen vaak voor in zeer extreme milieus (extremofielen – in zeer saliene, zure of hete omgevingen), waar ze de basis van de voedselketen vormen.

### Phylogenetic Tree of Life



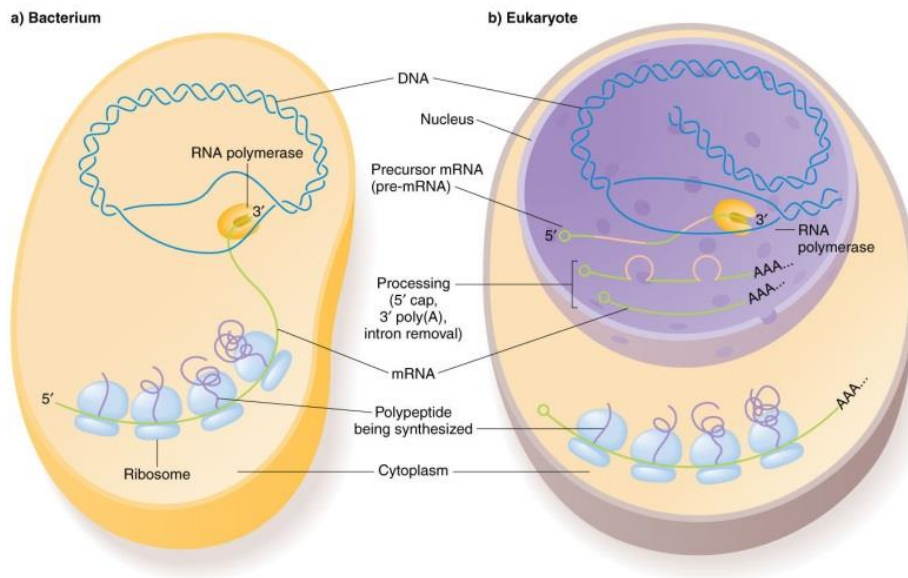
Figuur 33. Tegenwoordig worden organismen ingedeeld in 3 rijken.



Figuur 32. Zowel bacteriën als Archae zijn prokaryoten

De prokaryote organismen onderscheiden zich van eukaryote organismen onder andere door:

- de afwezigheid van een kern, plastiden en mitochondriën;
- het hebben van naakt, circulair DNA (eukaryoten hebben lineair, niet naakt DNA);
- het feit dat transcriptie (het vertalen van DNA naar mRNA) en translatie (het vertalen van mRNA naar een eiwit) tegelijkertijd en op eenzelfde plaats gebeurt (bij eukaryoten gebeurt de transcriptie in de kern en de translatie in het cytoplasma);
- een vermeerdering door tweedeling (eukaryoten kennen een mitose en celdeling);
- een andere membraansamenstelling;
- ribosomen van een ander (lichter) type (70S);
- hun kleinere grootte.



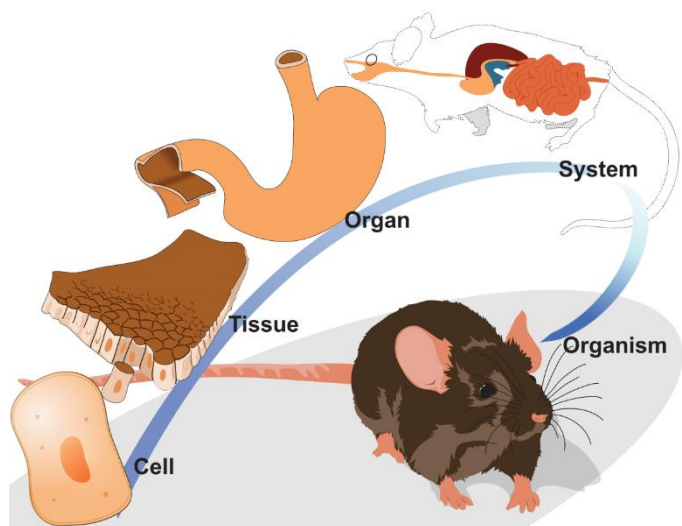
Figuur 34. Verschil tussen een prokaryote en eukaryote cel.

## 8. Verband tussen structuur van de cel en zijn functie.

### 8.1. Stamcellen en celdifferentiatie

De meeste meercellige organismen ontstaan uit een bevruchte eicel die tijdens de voortplanting wordt gevormd. Celdelingen alleen volstaan niet voor het uitgroeien van de bevruchte eicel tot een complex meercellig organisme. Meercellige organismen bevatten immers verschillende stelsels, die opgebouwd zijn uit meerdere organen. Elk orgaan bevat verschillende weefsels, opgebouwd uit welbepaalde celtypes met elk een specifieke functie. Tijdens de ontwikkeling gebeurt er een celdifferentiatie. Dit is een proces waarbij een weinig gespecialiseerde cel zich omvormt tot een meer gespecialiseerde cel. Hierdoor krijgt de cel een bepaalde vorm en grootte en functie: ze voert specifieke processen uit.

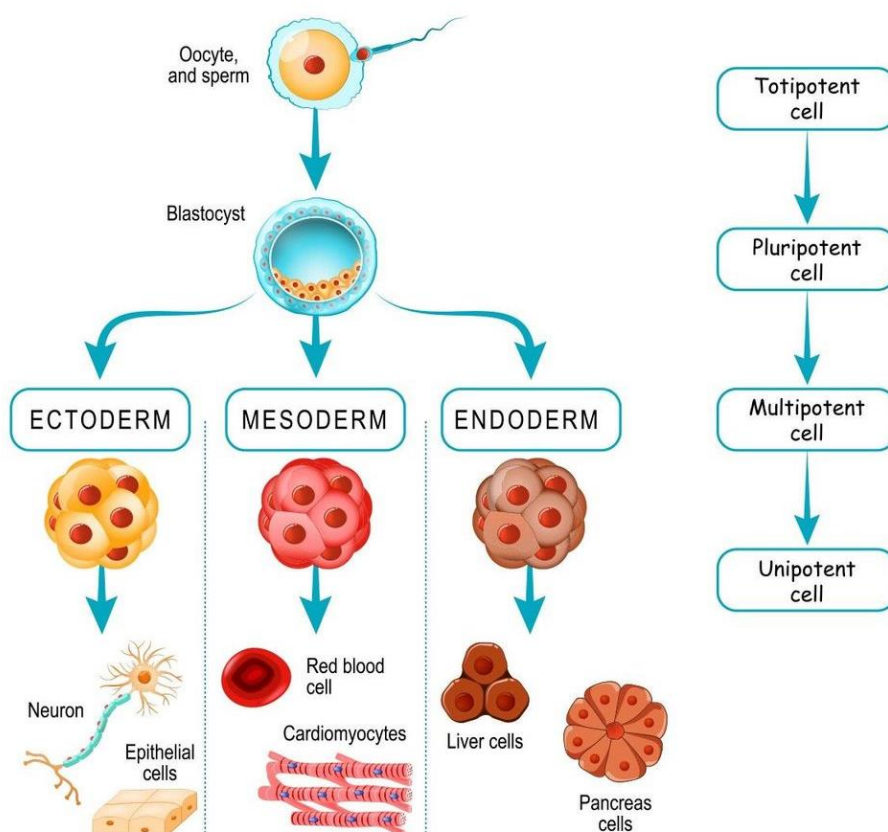
Niet of onvolledig gedifferentieerde cellen worden stamcellen genoemd. Alle zoogdieren vormen zich uit een bevruchte eicel. Dit is een stamcel die nog alle weefseltypes kan vormen. In de loop van de



Figuur 35 Meercellige organismen zijn opgebouwd uit stelsels, die opgebouwd zijn uit meerdere organen. De organen zijn opgebouwd uit verschillende weefsels. Weefsels bestaan uit een groep cellen met gelijkaardige bouw en functie.

ontwikkeling verliezen cellen steeds meer de mogelijkheid om zich te differentiëren tot andere celtypes. Zo kunnen verschillende soorten stamcellen worden onderscheiden: (<https://www.youtube.com/watch?v=Xhrys6MyiHw>)

- totipotente stamcellen kunnen zich tot alle andere celtypes differentiëren, ook deze van extra-embryonale weefsels, zoals de moederkoek/placenta;
- pluripotente stamcellen kunnen zich differentiëren tot alle celtypes van het embryo, maar niet tot extra-embryonale weefsels;
- multipotente stamcellen kunnen zich differentiëren tot meerdere celtypes, maar een kleiner aantal dan pluripotente stamcellen. Stamcellen die in volwassen personen en in de navelstreng worden gevonden, zijn multipotent;
- oligopotente stamcellen kunnen zich differentiëren tot een beperkt aantal cellen;
- unipotente cellen kunnen maar één specifiek celtype meer vormen.



Figuur 36. Er bestaan verschillende soorten stamcellen. In de loop van de ontwikkeling van een individu kunnen cellen zich steeds tot een kleiner aantal andere celtypes differentiëren.

Een voorbeeld van multipotente stamcellen zijn de stamcellen in het beenmerg. Zij zorgen onder andere voor de aanmaak van de verschillende bloedcellen:

- de rode bloedcellen of erythrocyten voor transport van zuurstofgas,
- de bloedplaatjes of trombocyten voor bloedstolling
- en de witte bloedcellen of leukocyten voor immuniteit.

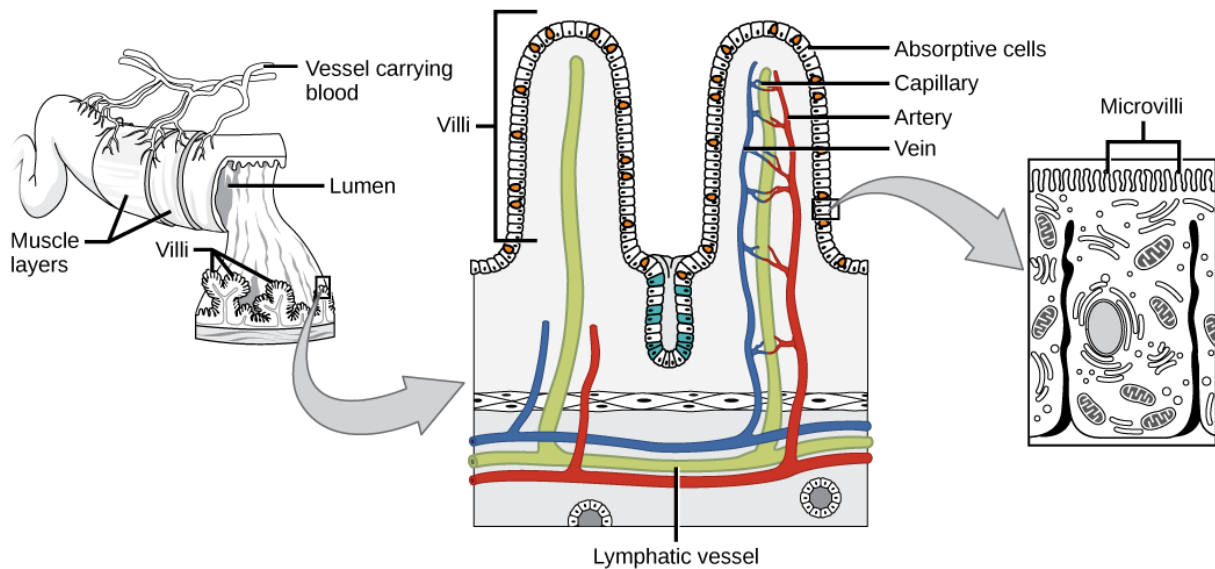
## 8.2. Relatie tussen structuur en functie van celtypes

Door celdifferentiatie ontstaan cellen met een structuur waarmee ze een welbepaalde functie optimaal kunnen uitvoeren. Dit wordt geïllustreerd met enkele voorbeelden.

### 8.2.1. Cellen van de dunne darm

Heterotrofe, meercellige organismen benutten organische stoffen als bron van energie en van bouwstoffen om nieuwe cellen of celonderdelen op te bouwen. Dit is nodig om te groeien en/of defecte cellen of celonderdelen te vervangen.

Omdat de organische stoffen in het voedsel te groot zijn om doorheen de darmwand tot in het bloed te raken, worden ze in het spijsverteringsstelsel afgebroken tot kleinere eenheden die de cellen van de dunne darm kunnen opnemen. De kleinere eenheden of nutriënten worden opgenomen langs het deel van dunne darm dat in contact staat met de voedselbrij. De snelheid waarmee dit gebeurt, hangt af van de grootte van het contactoppervlak van de dunne darm. De binnenkant van de dunne darm is sterk geplooid waardoor darmplooiën gevormd worden. De darmplooiën zijn zelf geplooid en vormen darmvlokken of villi. De darmvlokken worden begrensd door het darmepitheel. De cellen van het darmepitheel vertoont heel wat vingervormige uitstulpingen of microvilli. Hoewel de dunne darm maar ca. 7 meter lang is en een diameter heeft van 3-4cm, zorgen de darmplooiën, darmvlokken en microvilli zorgen voor een enorme oppervlaktevergroting. Hoewel in veel boeken de oppervlakte van de dunne darm geschat wordt op 250-300m<sup>2</sup>, blijkt de oppervlakte 'slechts' ca. 32m<sup>2</sup> te bedragen (<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/00365521.2014.898326?journalCode=igas20>).

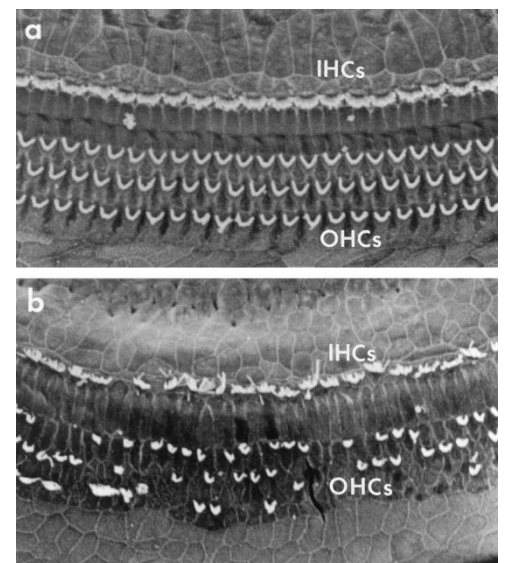
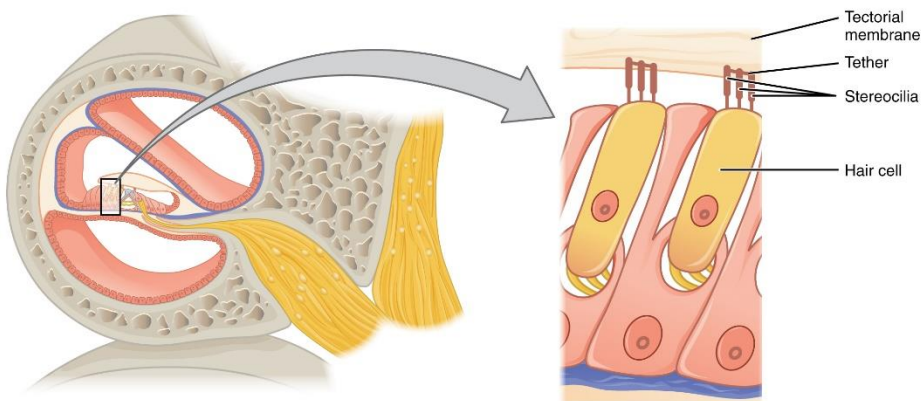


Figuur 37. De binnenzijde van de dunne darm is geplooid. De plooiën vormen zelf plooiën (villi). De cellen die de binnenzijde van de dunne darm aflijnen, vertonen talrijke microvilli.

### 8.2.2. Zintuigcellen in het oor

Het oor is een zintuig dat niet alleen geluidsprikkels waarneemt maar ook de stand en rotatie van het hoofd. De zintuigcellen van oor bevatten vrij stijve uitstulpingen die stereocilia worden genoemd. Als geluidsgolven doorheen de vloeistof van het slakkenhuis lopen, zorgen ze op welbepaalde plaatsen voor kleine bewegingen van de stereocilia. De beweging van de stereocilia zorgt voor een prikkeling van de zintuigcellen.

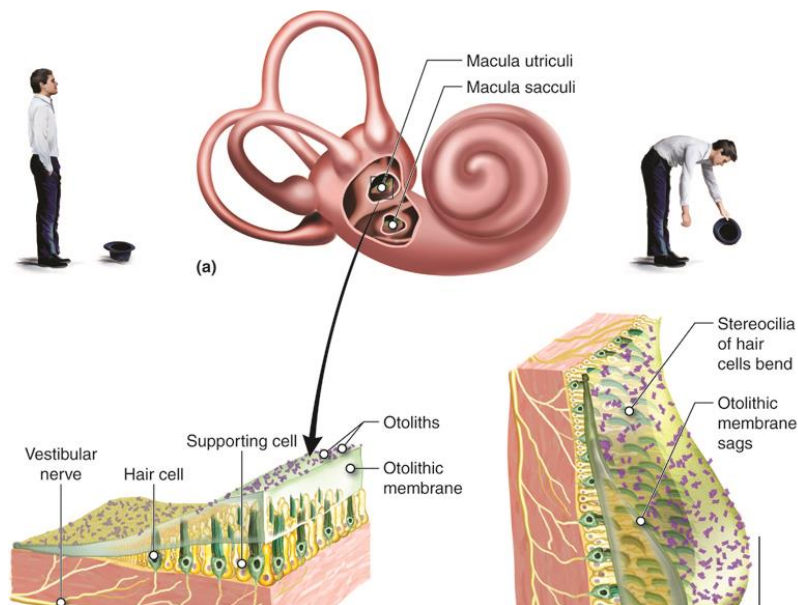
Blootstelling aan zeer hoge geluiden kunnen de stereocilia van de zintuigcellen doen afbreken, waardoor gehoorschade optreedt.



Figuur 39. Het binnenoor bevat meerdere rijen zintuigcellen met stereocilia. Als geluidsgolven zich doorheen de endolymfe verplaatsen, worden de zintuigcellen tegen het tectoriaal membraan gedruwd en buigen de stereocilia op welbepaalde plaatsen.

Figuur 38. Door luide geluiden kunnen de stereocilia afbreken. Dit leidt tot gehoorschade zoals tinnitus. Boven: zintuigcellen met intacte stereocilia, onder: zintuigcellen met beschadigde stereocilia.

Ook het evenwichtsorgaan in het oor (de drie semicirculaire kanalen en het ovaal en het rond blaasje) bevatten zintuigcellen met stereocilia. Receptorcellen detecteren bewegingen van het hoofd door een verandering in de buiging van die stereocilia.


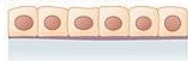
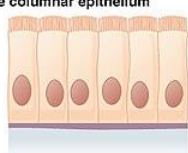
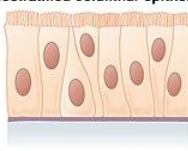
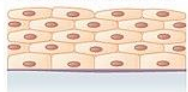
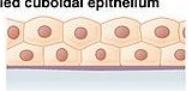
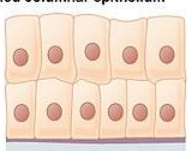
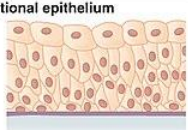


Figuur 40. Ook het evenwichtsorgaan in het oor werkt op basis van stereocilia. Verplaatsing van het hoofd zorgt voor een verandering van de buiging van de stereocilia. Deze verandering wordt geregistreerd door de zintuigcellen.

### 8.2.3. Epitheelcellen in verschillende stelsels

De huid en de binnenzijde van het ademhalingsstelsel, voortplantingsstelsel, uitscheidingsstelsel en het spijsverteringsstelsel zijn bekleed met epitheelweefsel. Dat weefsel vormt de grens tussen het externe en het interne milieu. Cellen van epitheelweefsel zijn onderling sterk met elkaar verbonden door speciale eiwitstructuren. De sterke onderlinge verankeringen verhinderen dat lichaamsvreemde stoffen of micro-organismen niet of moeilijk de cellen van het interne milieu bereiken.

Cellen van epitheelweefsels zijn afgeplat of kubisch van vorm. In de verschillende organen/weefsels komen andere soorten epitheelcellen voor, afhankelijk van de functie die ze moeten uitoefenen.

Cells	Location	Function
<b>Simple squamous epithelium</b> 	Air sacs of lungs and the lining of the heart, blood vessels, and lymphatic vessels	Allows materials to pass through by diffusion and filtration, and secretes lubricating substance
<b>Simple cuboidal epithelium</b> 	In ducts and secretory portions of small glands and in kidney tubules	Secretes and absorbs
<b>Simple columnar epithelium</b> 	Ciliated tissues are in bronchi, uterine tubes, and uterus; smooth (nonciliated tissues) are in the digestive tract, bladder	Absorbs; it also secretes mucous and enzymes
<b>Pseudostratified columnar epithelium</b> 	Ciliated tissue lines the trachea and much of the upper respiratory tract	Secretes mucus; ciliated tissue moves mucus
<b>Stratified squamous epithelium</b> 	Lines the esophagus, mouth, and vagina	Protects against abrasion
<b>Stratified cuboidal epithelium</b> 	Sweat glands, salivary glands, and the mammary glands	Protective tissue
<b>Stratified columnar epithelium</b> 	The male urethra and the ducts of some glands	Secretes and protects
<b>Transitional epithelium</b> 	Lines the bladder, urethra, and the ureters	Allows the urinary organs to expand and stretch

Figuur 41. Epitheelweefsels bestaan uit stevig aan elkaar gehechte cellen. Afhankelijk van de plaats in het lichaam komen verschillende soorten epitheelweefsels voor, die van elkaar verschillen in de vorm van de cel en het aantal lagen cellen.

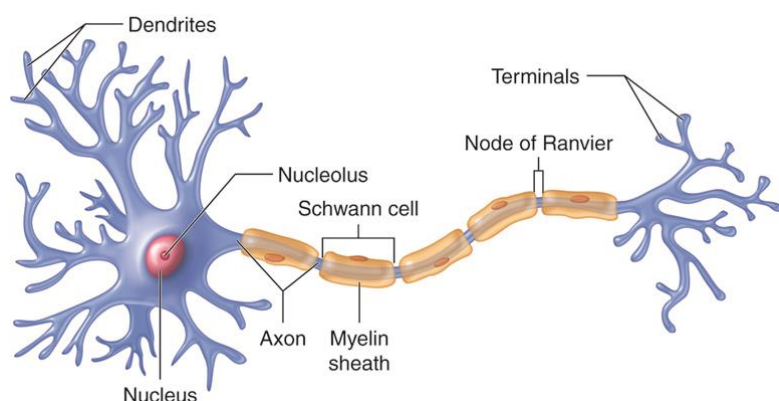
### 8.2.4. Neuronen

Zenuwcellen of neuronen brengen informatie van zintuigcellen naar het centraal zenuwstelsel, of van het centraal zenuwstelsel naar effectoren zoals klieren en spieren. De bouw van een neuron is afgestemd om deze taak efficiënt uit te voeren:

- aan de hand van talrijke, vertakte uitlopers of dendrieten kunnen zenuwcellen impulsen van talrijke zintuigcellen of zenuwcellen opvangen;
- het axon is een zeer lange uitloper (tot 1m) die informatie over een grote afstand kan vervoeren;



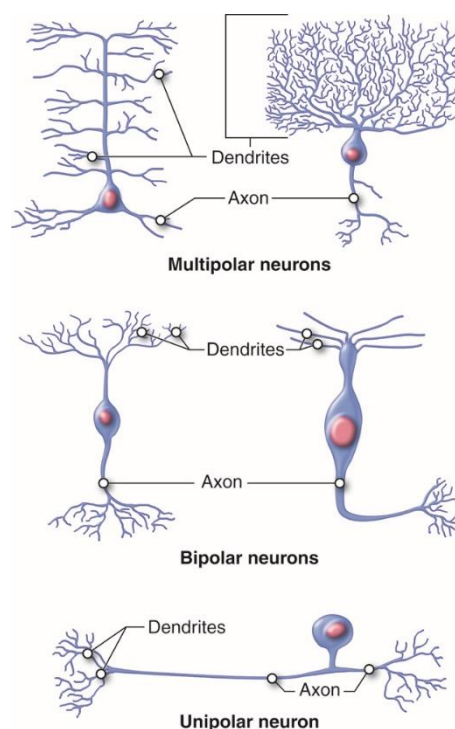
- het eindknopje bevat blaasjes met neurotransmitter (chemische synaps) om een impuls op te wekken in een volgende cel (zenuwcel, spiercel, kliercel), of staat met talrijke gap-junctions in verbinding met de volgende cel, om de informatie over te brengen via een elektrische synaps.



Figuur 42. Verschillende onderdelen van een neuron.

Het axon van neuronen is vaak omgeven door een schede van myeline. De myeline wordt gemaakt door speciale cellen: cellen van Schwann in perifeer zenuwstelsel of oligodendrocyten in het centraal zenuwstelsel. De myelineschede zorgt voor een enorme verhoging in de snelheid van prikkelgeleiding, maar zorgt ook dat impulsen niet overspringen naar nabijgelegen neuronen.

De bouw van het neuron hangt verder af van zijn functie. Zo onderscheiden we multipolaire, unipolaire en bipolaire neuronen. Motorische neuronen zijn meestal van het multipolaire type. Sensorische neuronen zijn vaak van het pseudo-unipolaire type. Interneuronen zijn vaak bipolair.

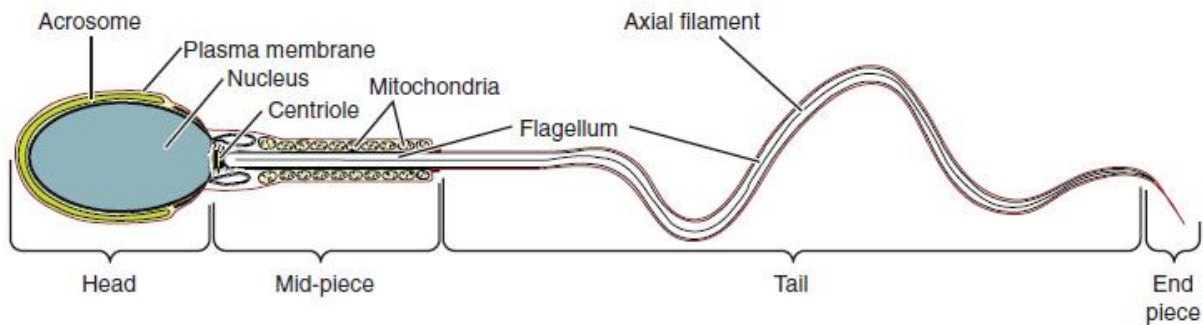


Figuur 43. Het zenuwstelsel bevat verschillende types neuronen. Motorische neuronen zijn meestal multipolair, sensorische neuronen (pseudo)-unipolair en schakelneuronen bipolair.

### 8.2.5. Zaadcellen

Bij een bevruchting versmelt een zaadcel met een eicel tot een zygote. Zaadcellen moeten dus in staat zijn om zich richting een eicel te bewegen. Het is bovendien een race: een eicel kan maar door één zaadcel bevrucht worden, het is dus belangrijk dat de zaadcellen zo snel mogelijk de eicel bereiken. Een zaadcel bestaat uit : een kop, een middenstuk en een staartstuk. De kop bevat

de kern met het erfelijk materiaal en een blaasje met enzymen om doorheen structuren rondom het eicelmembraan te boren. Het middenstuk bevat veel mitochondriën. De mitochondriën produceren grote hoeveelheden ATP, nodig om het staartstuk te laten bewegen.



Figuur 44. Aan een spermatozoïde zijn een duidelijke kop, middenstuk en staartstuk te onderscheiden. Het staartstuk is de structuur om zich voort te bewegen. De mitochondriën uit het middenstuk leveren de energie voor de beweging van het staartstuk. De kop bevat het erfelijk materiaal en een blaasje met enzymen die structuren rond de eicel oplossen.

Enkele jaren terug ontdekte men dat spermatozoïde niet vooruit raken door de staart heen en weer te zwiepen, maar door ze rond te draaien. heen en weer zwiept, maar ronddraait.

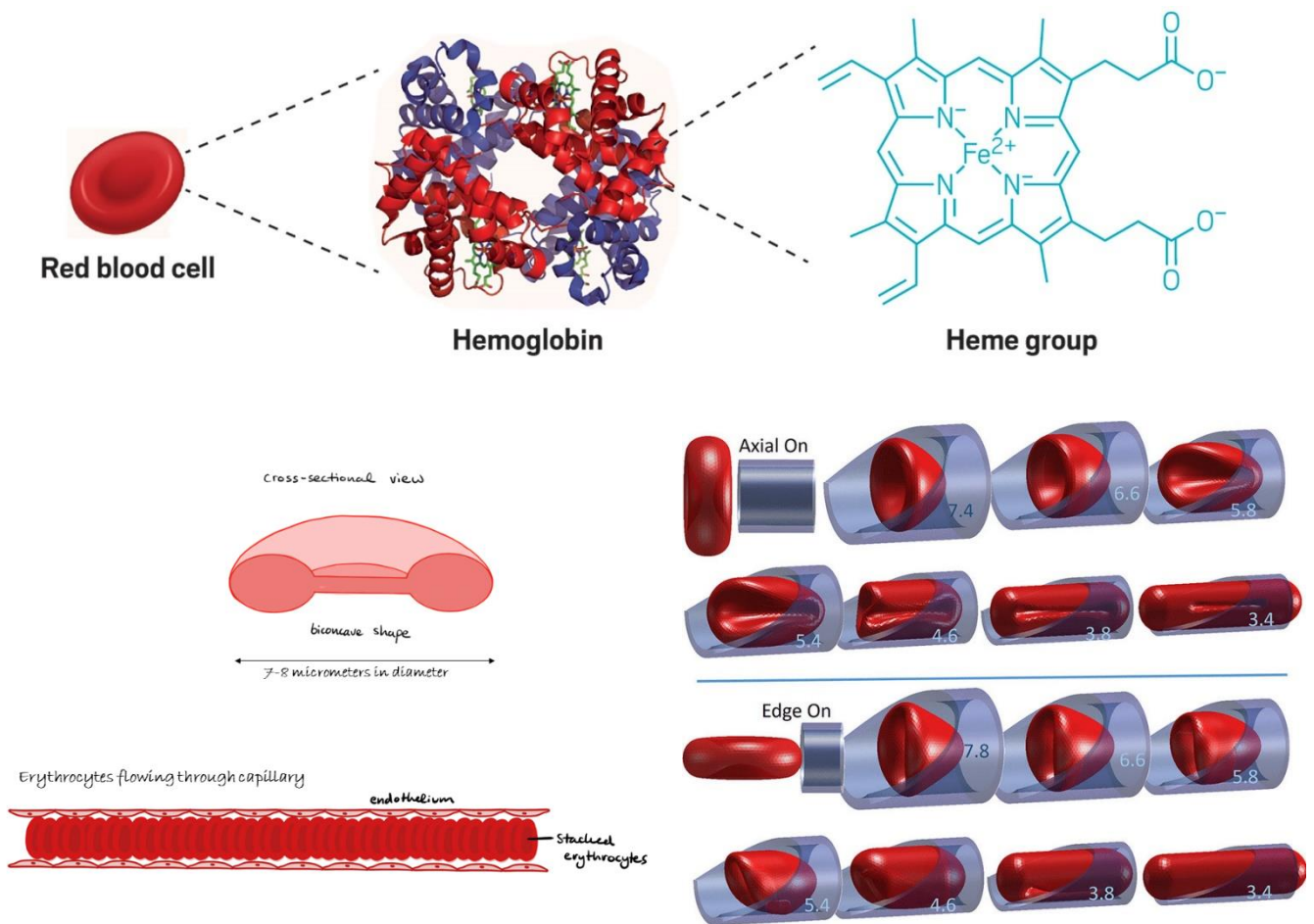


### 8.2.6. Rode bloedcellen

Cellen in zoogdieren gebruiken de aërobe celademhaling (zie later) om glucose te oxideren en ATP aan te maken. Voor de aërobe ademhaling is de aanwezigheid van zuurstofgas essentieel. Zuurstofgas wordt ter hoogte van de longen in het bloed opgenomen. Ademhalingsbewegingen zorgen dat de lucht in de longen voortdurend wordt verversd en voldoende zuurstofgas bevat. De longblaasjes zijn omgeven met haarvaten. Zuurstofgas diffundeert uit de longblaasjes naar het bloed en kan binden met hemoglobine - een eiwit in rode bloedcellen of erythrocyten. Via de erythrocyten wordt het vervolgens naar andere delen van het organisme getransporteerd. In weefsels wordt het zuurstofgas vrijgesteld zodat het gebruikt kan worden in de celademhaling in de mitochondriën.

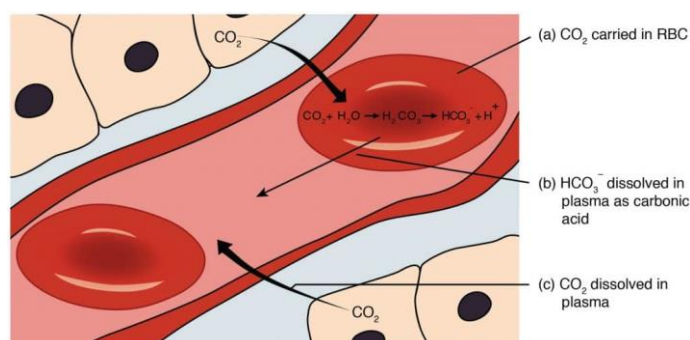
De erythrocyten hebben de vorm van een schijf die in het midden is ingedeukt. Deze vorm laat een optimale uitwisseling van gassen toe. Hun diameter is net iets groter dan de diameter van haarvaten. Wanneer ze door haarvaten

passeren, moeten ze iets vervormen. Daardoor vergroot het contact met de wand van het bloedvat, waardoor zuurstofgas sneller wordt uitgewisseld met de omgeving.



Figuur 45. Rode bloedcellen hebben een ronde vorm en zijn ingedeukt. Ze zijn flexibel van vorm. Wanneer ze door kleine capillairen of haarvaten gaan, wijzigen ze van vorm waardoor het contact met de bloedvatwand vergroot, en er meer gassen worden uitgewisseld.

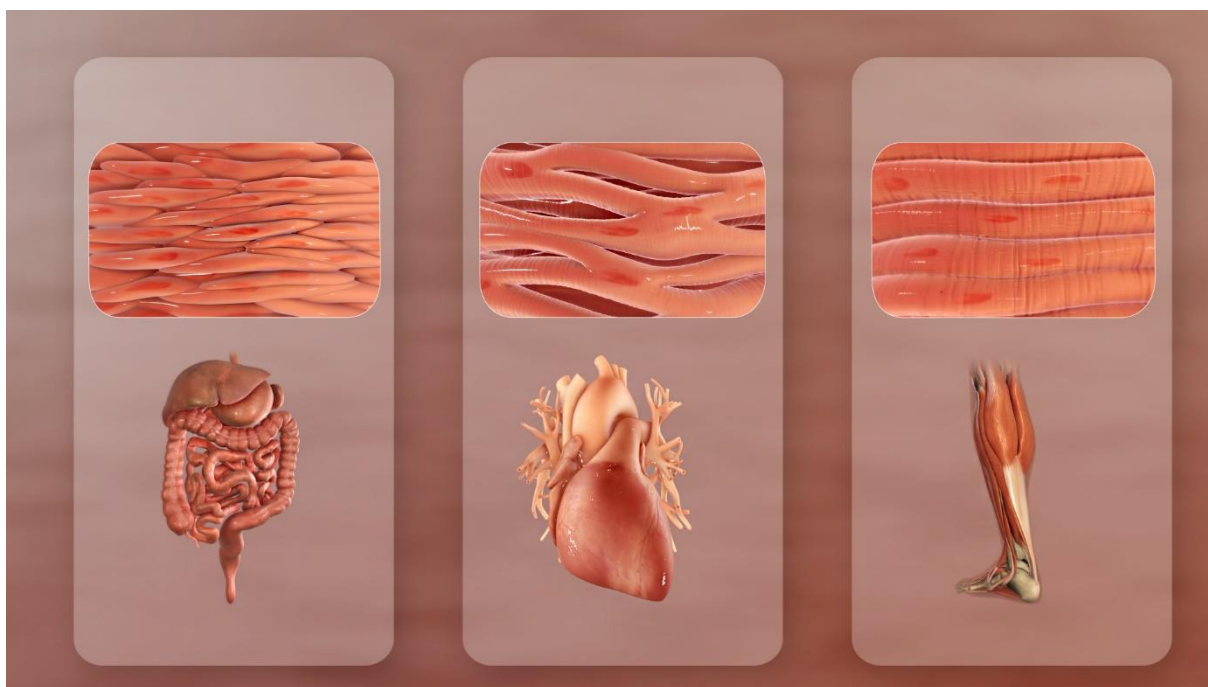
Erythrocyten transporteren ook  $\text{CO}_2$  van de weefsels naar de longen. Dit doen vooral onder de vorm van  $\text{HCO}_3^-$  ionen in het plasma (die ontstaan door reactie tussen  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ ).



Figuur 46. Erythrocyten zijn ook belangrijk voor transport van  $\text{CO}_2$  van de weefsels naar de longen. Ze transporten  $\text{CO}_2$  dat rechtstreeks oplost in het plasma, maar ook via  $\text{HCO}_3^-$  ionen.

### 8.2.7. Spiercellen

Organismen reageren vaak op een prikkel met bewegingen. Die bewegingen ontstaan doordat spieren samentrekken en dan skeletdelen ten opzichte van elkaar doen bewegen. Cellen van spierweefsel kunnen samentrekken omdat ze beschikken over microfilamenten (myosine en actine) die over elkaar kunnen glijden. De cellen van glad spierweefsel, skeletspierweefsel en hartspierweefsel hebben een bouw die afgestemd is op hun werking.



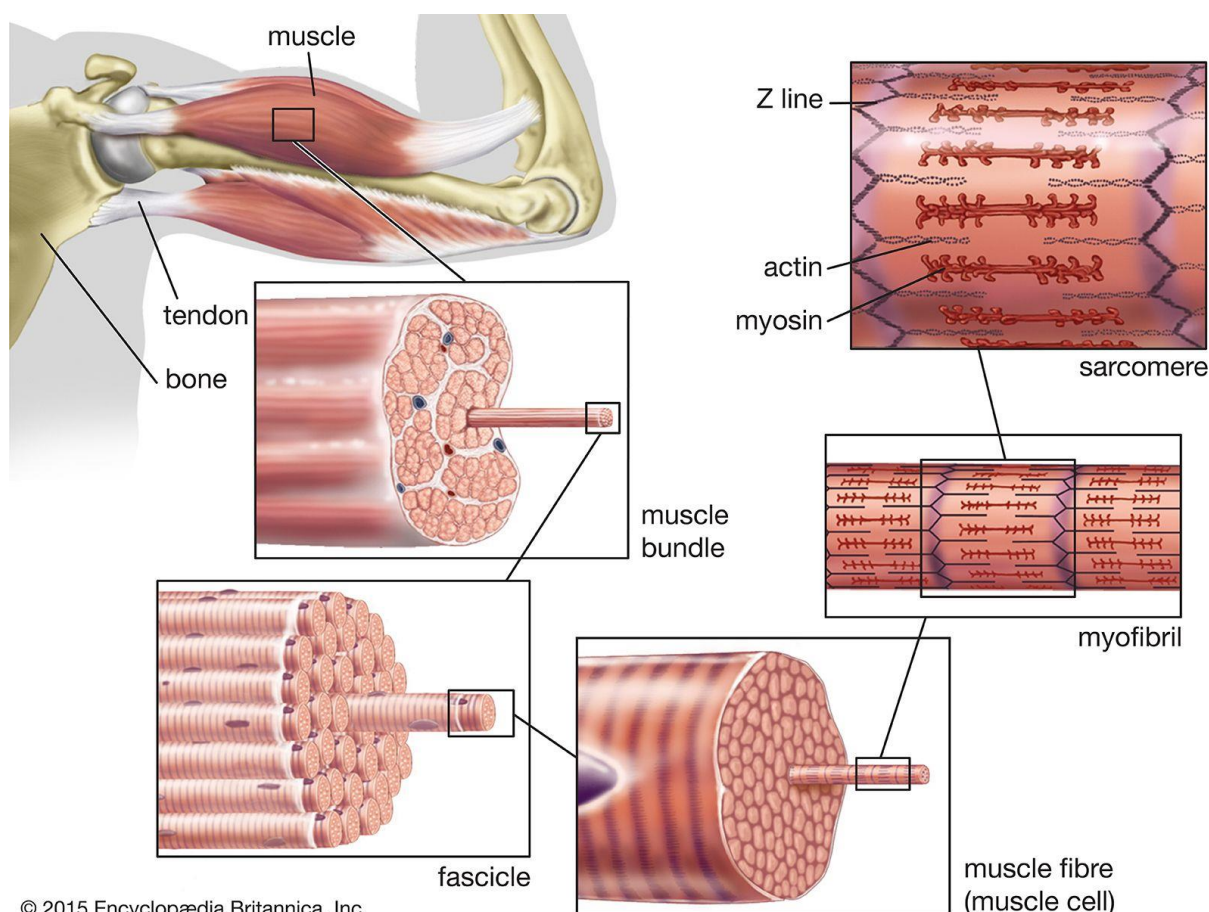
Figuur 47. De cellen van de verschillende spiertypes hebben een bouw die toelaat hun functie optimaal uit te voeren.

**Glad spierweefsel** bevindt zich in de organen die niet onderhevig zijn aan de wil, zoals bijvoorbeeld de spijsverteringsorganen of de wanden van bloedvaten.

De cellen zijn spoelvormig en hebben een centraal gelegen kern. Ze bevatten veel mitochondriën en raken daardoor nauwelijks vermoeid. Doordat de microfilamenten niet op een sterk geordende manier gerangschikt zijn, vertonen ze geen dwarse streping.

**Skeletspierweefsel** zijn verbonden met het skelet. Als deze spieren samentrekken, bewegen botten over gewrichten. De spieren zijn opgebouwd uit spiervezels, die ontstaan als embryonale cellen met elkaar versmelten, waardoor reusachtige, veelkernige eenheden ontstaan. De eiwitdraden vertonen een bijzonder sterke ordening in herhalende eenheden die we sarcomeren noemen.

De sterke ordening veroorzaakt macroscopisch een dwarse streping. De aaneenschakeling van een groot aantal sarcomeren maakt dat de spiervezels heel sterk in lengte kunnen afnemen en een grote kracht kunnen uitoefenen. Hierdoor kunnen ze skeletdelen ten opzichte van elkaar bewegen (door middel van de gewrichten). Spiervezels van skeletspieren trekken pas samen als ze een impuls ontvangen van een motorische zenuw. Omdat de spiervezels zo groot zijn, loopt een aftakking van een motorische neuron naar elke spiervezel. In tegenstelling tot glad spierweefsel zijn de cellen wel vermoeibaar. Binnen een skeletspier kan een verdere opdeling worden gemaakt tussen rode en witte spiervezels.



© 2015 Encyclopædia Britannica, Inc.

Figuur 48. Dwarsgestreepte spieren zijn opgebouwd uit bundels van spiervezels. In elke spiervezels bevinden zich een myofibrillen, die opgebouwd zijn uit een groot myofilamenten. De myofilamenten zijn sterk geordend, een sarcomeer is de kleinste eenheid die kan samentrekken.

Binnen een skeletspier kunnen twee soorten spiervezels worden onderscheiden, namelijk rode en witte spiervezels. **Rode spiervezels** hebben een kleine diameter en zijn sterk doorbloed. Ze hebben een groot aantal mitochondriën. Omdat ze sterk doorbloed zijn, komen ze bijna nooit aan een tekort aan zuurstofgas. Ze kunnen meestal voldoende ATP produceren via de aerobe celademhaling in de mitochondriën. Rode

spiervezels raken dan ook niet snel vermoeid. Ze hebben ook myofilamenten van het trage type, waardoor ze minder kracht kunnen opwekken en minder explosief zijn dan witte spiervezels.

**Witte** spiervezels hebben een grotere diameter en zijn minder doorbloed. Ze hebben myofilamenten van het snelle typen en kunnen daarom zeer snel en krachtig samentrekken. Omdat ze minder doorbloed zijn en een grotere diameter hebben, kan het bloed vaak onvoldoende zuurstofgas aanvoeren en kan het zuurstofgas onvoldoende snel diffunderen in de cel. Daardoor moeten de spiervezels overschakelen op de anaerobe celademhaling, waardoor melkzuur ontstaat. Witte spiervezels raken dus sneller vermoeid.

*Sprinters hebben een groter percentage aan witte spiervezels in hun spieren dan marathonlopers, die vooral over rode spiervezels beschikken. De verhouding witte en rode spiervezels is erfelijk bepaald. Hoe hard iemand met overwegend rode spiervezels ook traint, hij of zij zal nooit een spurter worden. Omgekeerd zal iemand met overwegend witte spiervezels, nooit een kampioen marathonlopen worden.*

**Hartspierweefsel** is net als skeletspierweefsel dwarsgestreept door de sterke ordening van eiwitdraden. Hierdoor kan het hart snel en krachtig samentrekken. Hartspierweefsel bestaat wel uit individuele cellen die vertakt zijn. De verschillende hartspiercellen zijn door middel van speciale structuren (intercalaire schijven) stevig met elkaar verbonden. De intercalaire schijven zorgen voor een zeer sterke onderlinge vasthechting, zodat de hartspier nooit scheurt. Langsheen die intercalaire schijven geven hartspiercellen impulsen aan elkaar door, waardoor het hart samentrekt zonder impulsen van het zenuwstelsel te ontvangen.