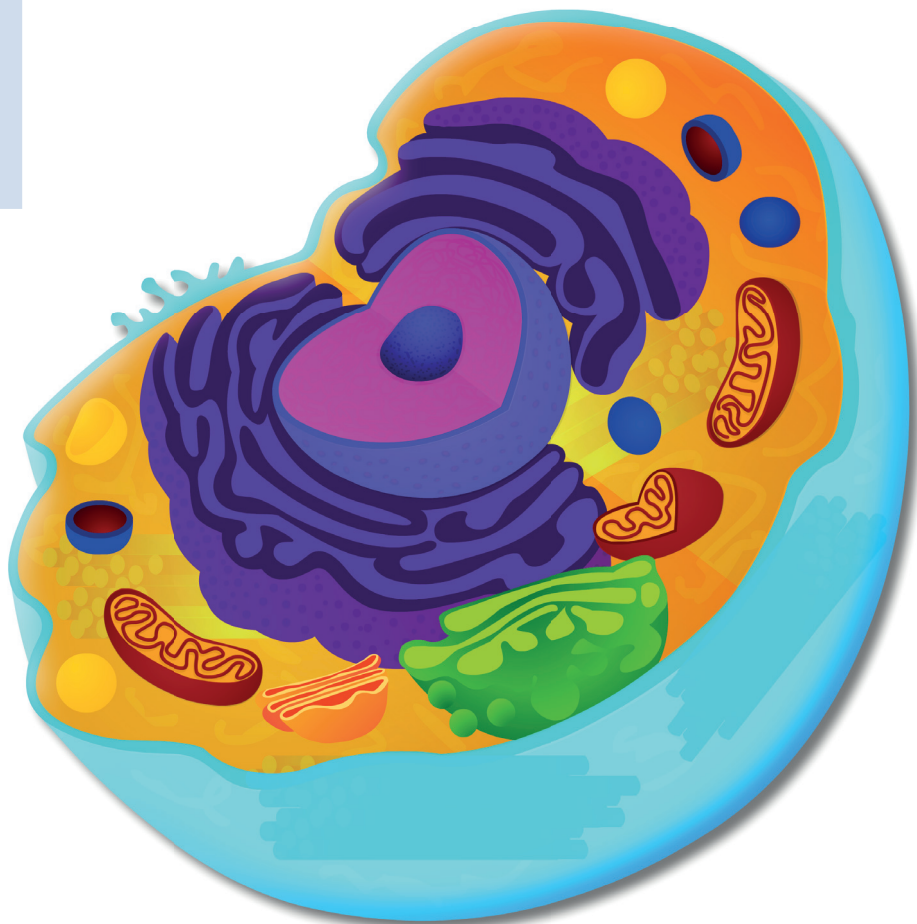


1



DE CEL

Elk levend wezen is opgebouwd uit cellen. Het eerste deel van dit hoofdstuk gaat over de verschillende componenten van een cel. Het celmembraan, het cytoplasma en de belangrijkste organellen worden afzonderlijk in dit hoofdstuk uitgelegd, met aandacht voor de verschillende functies.

Het tweede deel van dit hoofdstuk gaat over de eiwitsynthese. Het DNA, RNA en de aminozuren zijn de onderdelen waaruit nieuwe eiwitten worden gevormd. Deze onderdelen komen eerst aan de orde voordat we ingaan op de eiwitsynthese. Duidelijk wordt wat de volgorde van het DNA te maken heeft met de uiteindelijke vorming van eiwitten. De verschillende soorten RNA passeren de revue waarbij aandacht is voor de verschillen in functie. De synthese van eiwitten verloopt in verschillende fasen die in dit hoofdstuk worden besproken.

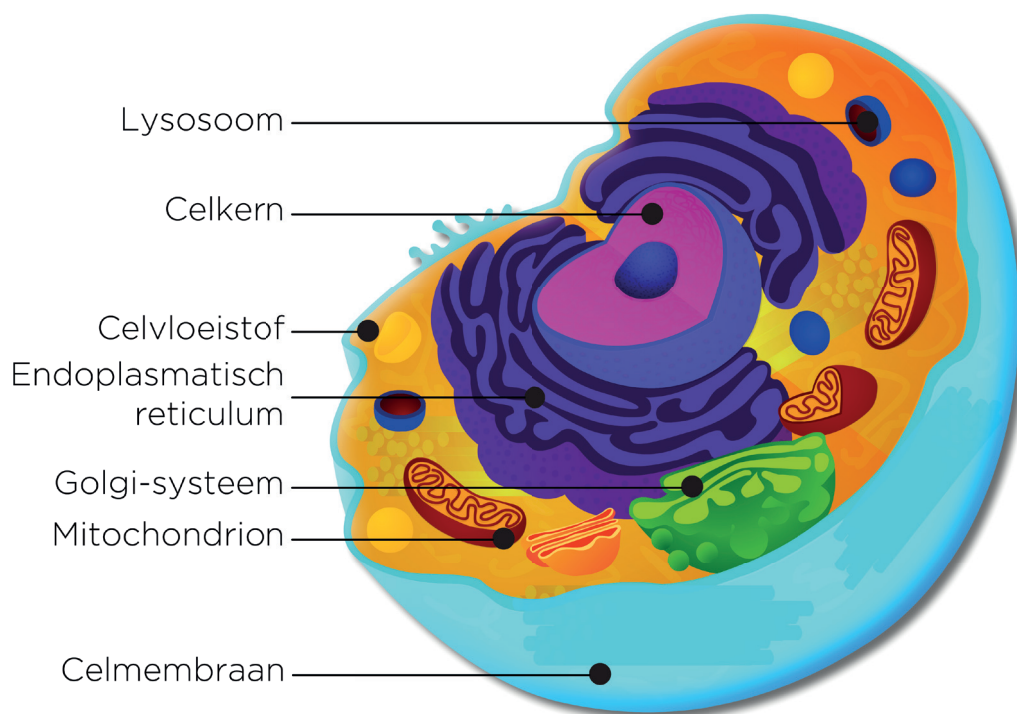
Hierna gaan we dieper in op de celcyclus. De celcyclus omvat alle fasen die een cel tijdens haar leven doormaakt, inclusief celgroei- en -deling. De fasen zijn op hun beurt weer verdeeld in verschillende onderdelen.

Het laatste deel van dit hoofdstuk gaat over transport en metabolisme. Voor het onderhoud van de cel is het van belang dat verschillende stoffen het celmembraan kunnen passeren. De belangrijkste vormen van transport over het celmembraan worden in dit hoofdstuk besproken. Ook komt het begrip metabolisme aan de orde.

1.1 De cel

1.1.1 De cel

Elk levend wezen (organisme) is opgebouwd uit cellen. Cellen zijn de kleinste bouwstenen



Afbeelding 1.1 Anatomie van de cel.

van een organisme. In een organisme zitten verschillende cellen met elk een eigen functie. Ondanks deze verschillen zijn al deze cellen grofweg op dezelfde manier opgebouwd.

De buitenkant van de cel is omgeven door een dun laagje, het celmembraan. Binnen het celmembraan bevindt zich een waterige structuur, het **cytoplasma**. In het cytoplasma bevinden zich verschillende structuren, de **organellen**. Organellen zijn de onderdelen van de cel die een specifieke functie binnen de cel uitoefenen.

Cellen kun je onderverdelen in:

- **prokaryoten**: cellen zonder celkern (bacteriën);
- **eukaryoten**: cellen met een celkern (schimmels, planten en dieren).

Tot de bekendste organellen van de cel behoren:

- de celkern;
- de mitochondriën;
- het endoplasmatisch reticulum (ER);
- de ribosomen;
- het Golgi-systeem;
- lysosomen.

1.1.2 Het celmembraan

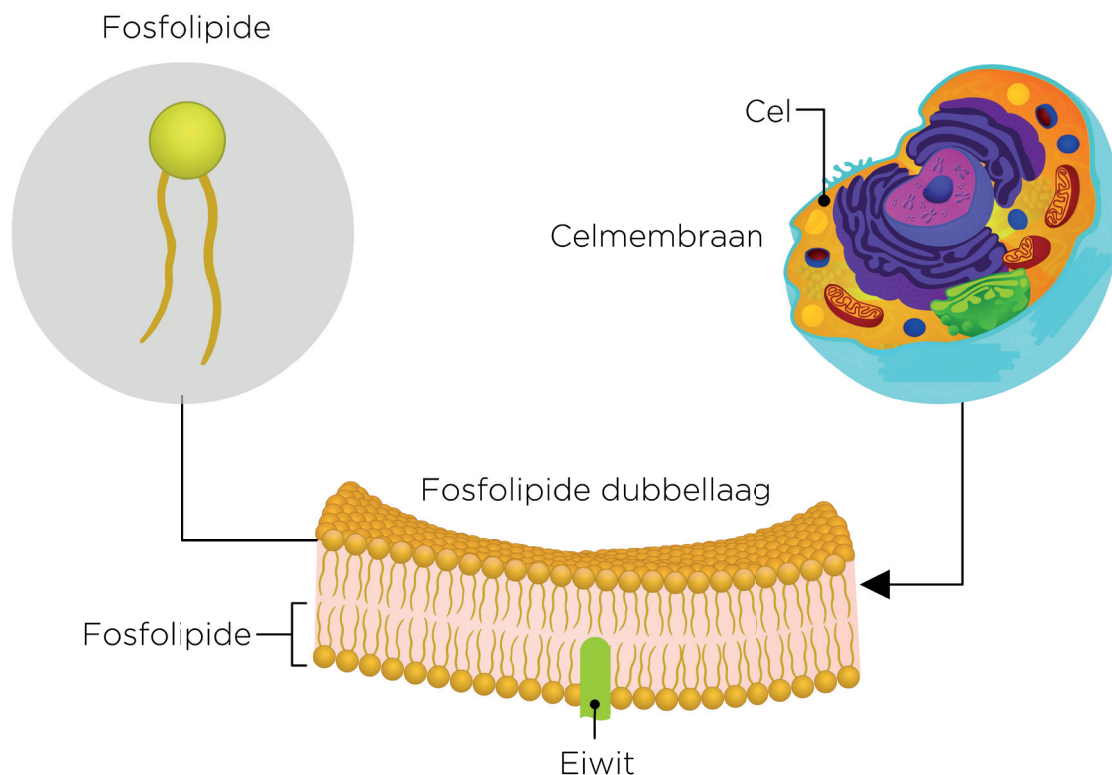
Alle levende cellen hebben een celmembraan. Deze omvat de inhoud van de cel en vormt een halfdoorlaatbare (**semipermeabele**) bar-

rière tussen de binnenkant van de cel en de omgeving. De ruimte in de cel noemen we ook wel de intracellulaire ruimte. De omgeving van de cel, dus buiten de cel, is de extracellulaire ruimte. Het celmembraan dient als een grens die de bestanddelen in de cel bijeenhoudt. Daarnaast regelt het celmembraan het transport van stoffen tussen de ruimte in de cel (intracellulaire ruimte) en de ruimte buiten de cel (extracellulaire ruimte). Kleine moleculen zoals zuurstof, koolstofdioxide en water kunnen relatief makkelijk het membraan passeren. De passage van grotere moleculen, zoals eiwitten en suikers, wordt via complexere mechanismen gereguleerd.

Opbouw celmembraan

Het celmembraan is slechts 7,5-10 micrometer dik en bestaat uit een dubbele laag fosfolipiden en eiwitten. Deze fosfolipiden zijn opgebouwd uit een vet (-lipide) en een fosfaatgroep (fosfo-). Ze zijn 'amfifiel', dit houdt in dat ze zowel waterminnende (**hydrofiele**) als waterafstotende (**hydrofobe**) eigenschappen hebben. Dit komt doordat bepaalde gedeelten van deze moleculen 'polair' zijn. Polair wil zeggen dat ze twee polen hebben: een waterminnende (hydrofiele) pool en een waterafstotende (hydrofobe) pool. De niet-polare koolwaterstofstaart van een membraanmolecuul is waterafstotend en de polaire kop is waterminnend.

Aan beide zijden van het celmembraan zit een waterige oplossing. Hierdoor liggen de fosfolipiden in een dubbele laag: de **fosfolipide dubbellaag**. De waterminnende (hydrofiele) koppen liggen aan de buitenzijde en de waterafstotende (hydrofobe) staarten aan de binnenzijde van de cel. Tussen de fosfo-



Afbeelding 1.2 Anatomie van de celwand.

lipiden bevinden zich **cholesterolmoleculen**. Afhankelijk van het type cel zijn dit er veel of weinig. Naast het cholesterol bevat het celmembraan ook **membraaneiwwitten**. Sommige membraaneiwwitten vormen speciale kanaaltjes die afgesloten kunnen worden: de **membraanporiën**. Via deze kanaaltjes kunnen stoffen de cel in en uit worden vervoerd. Andere membraaneiwwitten kunnen reageren op signaalstoffen, zoals hormonen of neurotransmitters (signaalstoffen in de hersenen). Deze membraaneiwwitten noem je **receptor-eiwwitten**.

Functies celmembraan

Buiten het vormen van een barrière heeft het celmembraan ook de volgende functies:

- transport van diverse stoffen;

- bescherming tegen beschadiging en ziektekiemen;
- stevigheid en onderhouden van de vorm van de cel.

Op het buitenoppervlak van het celmembraan zitten bepaalde koolhydraten die bevestigd zijn aan membraaneiwwitten. Deze combinaties van koolhydraten en membraaneiwwitten noem je **glycoproteïnen**. Een bekend voorbeeld van glycoproteïnen zijn antigenen, zoals de ABO-antigenen (antigenen die de bloedgroep bepalen) op het celoppervlak van bloedcellen. Antigenen zijn moleculen die een afweerreactie in gang kunnen zetten. Andere koolhydraten zijn weer gehecht aan de fosfolipiden van het celmembraan. Deze combinaties van koolhydraten met fosfolipi-

den noem je **glycolipiden**. De glycoproteïnen en glycolipiden vormen een laag om de cel, de zogenoemde **glycocalyx**. De glycocalyx zorgt voor bescherming van de cel en zorgt ervoor dat de cel herkend kan worden door het afweersysteem van het lichaam.

Glycoproteïnen zijn naast eerdergenoemde functies ook betrokken bij het fenomeen 'contactremming'. Contactremming (of contactinhibitie) houdt in dat cellen stoppen met delen wanneer hun glycocalyx in contact komt met een andere glycocalyx. Hierdoor delen cellen nooit te veel in een beperkte ruimte. Wanneer dit mechanisme faalt (zoals bij kanker) is sprake van wildgroei van cellen met alle gevolgen van dien.

1.1.3 De celkern (nucleus)

De celkern (nucleus) bevat het erfelijk materiaal (het DNA) van de cel. De celkern is verantwoordelijk voor het regelen van de celgroei en de deling van de cel. De celkern heeft een bolle vorm en neemt ongeveer 10 procent van de cel in. De celkern bestaat uit een kernvelop (dubbele membraan) die de inhoud van de celkern scheidt van het cytoplasma (vloeistof in de cel). Door poriën kunnen verschillende stoffen zich bewegen tussen de celkern (nucleus) en het cytoplasma.

De celkern (*nucleus*) bevat nucleoplasma, dit is een stroperige vloeistof die de chromosomen omvat. In het nucleoplasma bevindt zich daarnaast een **kernlichaam** (*nucleolus*) (of meerdere nucleoli). Kernlichamen (nucleoli) zijn organellen die de eiwitten aanmaken die nodig zijn voor de opbouw van verschillende onderdelen van de cel.

Andere belangrijke functies van de kern zijn:

- opslag van DNA (erfelijk materiaal);
- uitwisseling van RNA (andere vorm van erfelijk materiaal) tussen de celkern en de rest van de cel;
- regelen welke genen (stukken DNA die coderen voor eiwitten) tot uiting komen;
- verdelen van genetisch materiaal tijdens de celdeling (replicatie);
- opslag van eiwitten en RNA in de celkern;
- transcriptie: dit betekent dat een soort kopie wordt gemaakt van een stukje DNA. Deze kopie noem je mRNA. mRNA wordt in de celkern gemaakt om eiwitten te kunnen aanmaken;
- aanmaak van eiwitten die nodig zijn voor de groei van de cel;
- regelen van de stofwisseling in cellen.

1.1.4 De mitochondriën

Mitochondriën (enkelvoud: mitochondrion) zijn de energiecentrales van de cel. Ze produceren energie die de cel nodig heeft om te kunnen functioneren. Mitochondriën zijn staafvormige organellen van 1 en 10 micrometer groot. Mitochondriën zijn in de meeste cellen te vinden. Actievere cellen (die meer energie nodig hebben) bezitten meer mitochondriën.

Mitochondriën produceren energie uit voedingsstoffen door verbranding waarbij gebruik wordt gemaakt van zuurstof (**aerobe dissimilatie**). Deze energie wordt gebruikt

om adenosine difosfaat (ADP) te binden aan fosfaat (P). Wanneer deze twee stoffen gebonden zijn, dan heet dit adenosine trifosfaat (ATP). ATP bevat energie voor de cel. De verbranding met behulp van zuurstof (aerobe verbranding) vindt plaats via de citroenzuurcyclus.

Het vormen van ATP in de mitochondriën wordt op de volgende manier weergegeven:

$ADP \text{ (adenosine difosfaat)} + P \text{ (fosfaat)} + \text{energie} \rightarrow ATP \text{ (adenosine trifosfaat)}$.

ATP wordt in het cytoplasma weer omgezet in ADP en P. Hierbij komt energie vrij die de cel kan gebruiken:

$ATP \rightarrow ADP + P + \text{energie}$.

Mitochondriën hebben twee membranen:

- 1 een gladde buitenmembraan;
- 2 een binnenste membraan dat is ingevouwen met plooien, de cristae.

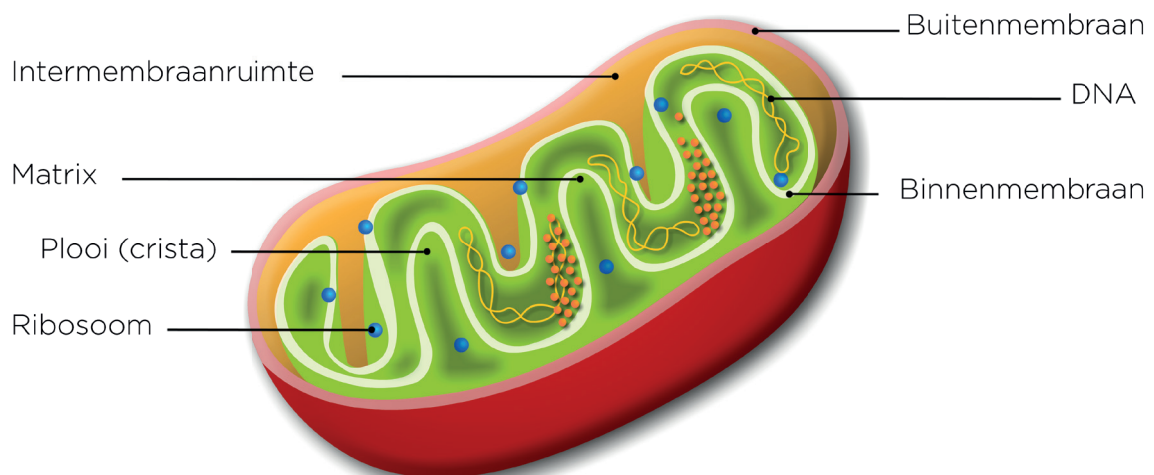
De plooien vergroten het oppervlak van dit binnenste membraan. Door dit grotere oppervlak kan meer energie geproduceerd worden.

Het mitochondrion is grofweg onder te verdelen in twee onderdelen:

- 1 de **intermembraanruimte**: het smalle gebied tussen de binnenste en buitenste membranen;
- 2 de **mitochondriale matrix**: de binnenkant van het binnenste membraan. Deze matrix omvat:
 - verschillende soorten enzymen (eiwitten die een reactie tussen twee stoffen beïnvloeden);
 - mitochondriaal DNA (erfelijk materiaal van mitochondriën);
 - ribosomen (organel dat eiwitten aanmaakt).

De belangrijkste functie van de mitochondriën is de productie van energie. Andere functies zijn:

- assisteren bij de opbouw van bepaalde delen van bloed en hormonen zoals testosteron en oestrogeen;



Afbeelding 1.3 Anatomie van een mitochondrion.

- afbreken van ammoniak (in levercellen);
- coördinatie van de geprogrammeerde celdood (*apoptose* – hierbij gaan cellen op een gecontroleerde manier dood).

1.1.5 Het endoplasmatisch reticulum

Het endoplasmatisch reticulum is een organel dat alleen voorkomt in kernhoudende (eukaryote) cellen. Het bestaat uit een netwerk van:

- buisjes (*tubuli*);
- zakjes (*cisternae*): dit woord komt van het Latijnse woord *cisterna*, dat reservoir voor een vloeistof betekent.

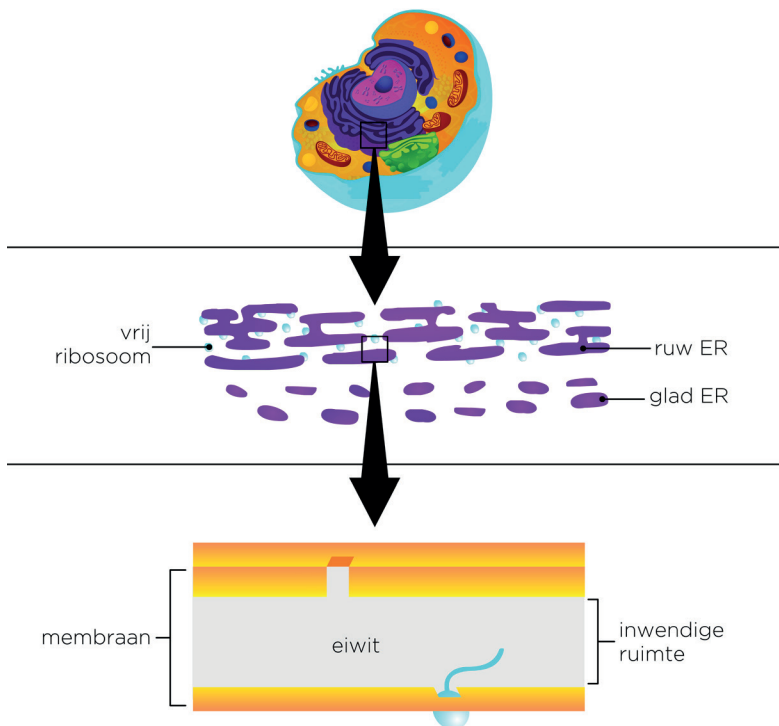
Het endoplasmatisch reticulum bestaat uit een membraan dat verbonden is met het membraan van de celkern. Het membraan van het

endoplasmatisch reticulum beslaat meer dan de helft van het totale membraanoppervlak in cellen. Het woord *endoplasmatisch* betekent ‘in het cytoplasma’ en *reticulum* is het Latijnse woord voor ‘netwerk’.

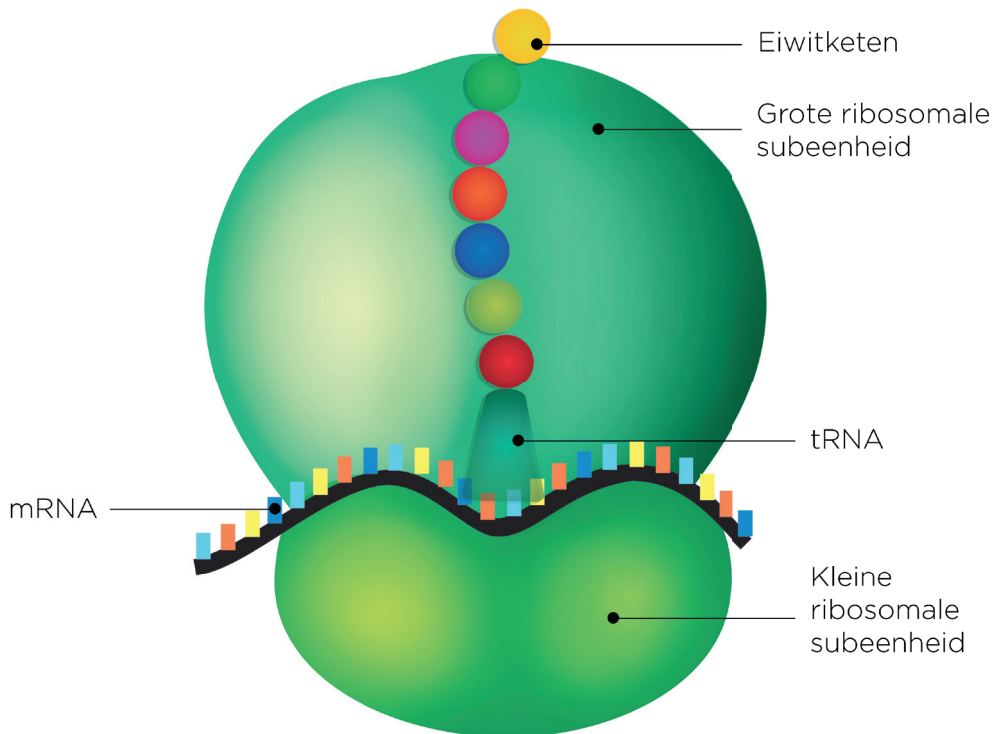
Er zijn twee verschillende delen van het endoplasmatisch reticulum te onderscheiden:

- 1 Het **ruwe endoplasmatisch reticulum** is bezaaid met ribosomen (organellen die eiwitten aanmaken) op het buitenoppervlak van het membraan. Via een elektronenmicroscop is hierdoor een hobbelig (ruw) aspect zichtbaar waaraan het ruwe endoplasmatisch reticulum zijn naam dankt. De belangrijkste functie is transport van eiwitten vanuit de ribosomen naar het Golgi-apparaat.

- 2 Het **gladde endoplasmatisch reticulum** wordt zo genoemd, omdat er geen ribosomen aan het buitenoppervlak vastzitten waardoor het een glad oppervlak heeft. Het gladde endoplasmatisch reticulum heeft veel verschillende functies die ook nog per type cel kunnen verschillen. Met name belangrijk zijn de productie van sommige koolhydraten en het verwerken van medicijnen en gifstoffen. Ook is het gladde endoplasmatisch reticulum betrokken bij calciumopslag en de stofwisseling. In spiercellen geeft het gladde endoplasmatisch reticulum calcium (Ca^{2+}) af en draagt op deze manier bij aan het samentrekken van spieren.



Afbeelding 1.4 Schematische weergave van het endoplasmatisch reticulum.



Afbeelding 1.5 Anatomie van een ribosoom.

Het endoplasmatisch reticulum is ook verantwoordelijk voor:

- het vervoer van bepaalde koolhydraten naar andere organellen;
- het vergroten van het membraanoppervlak waardoor verschillende reacties in de cel makkelijker en sneller kunnen plaatsvinden;
- de vorming en uitbreiding van het kernmembraan tijdens de celdeling;
- de aanmaak van eiwitten, vetten, koolhydraten en steroïden zoals cholesterol, progesteron, testosteron.

1.1.6 De ribosomen

Alle levende cellen bevatten ribosomen. Deze kleine organellen maken eiwitten aan. Ri-

bosomen kunnen onderverdeeld worden in twee subeenheden:

- 1 grote ribosomale subeenheid;
- 2 kleine ribosomale subeenheid.

Elke subeenheid bestaat voor ongeveer 60 procent uit **rRNA** (ribosomaal RNA) en voor 40 procent uit eiwit.

Cellen waarin veel eiwitten worden gemaakt, bevatten grote aantallen ribosomen. Ribosomen hebben geen membraan en zijn veel kleiner dan andere organellen. De meeste ribosomen zitten op het ruwe endoplasmatisch reticulum, maar sommige ribosomen zweven ook vrij rond in de cel. Deze laatste worden vrije ribosomen genoemd.

De meeste eiwitten die de ribosomen produceren, worden naar de ruimte buiten de cel

vervoerd. Vooral de ribosomen van het ruwe endoplasmatisch reticulum maken deze eiwitten. Sommige eiwitten zijn juist bedoeld voor gebruik door de cel zelf. Deze eiwitten worden vooral door de vrije ribosomen gemaakt.

1.1.7 De lysosomen

Een lysosoom is een klein, bol blaasje dat zich in het cytoplasma bevindt. Dit blaasje bevat verschillende soorten enzymen die zorgen voor de afbraak van stoffen in de cel. Enzymen zijn eiwitten die de omzetting van verschillende stoffen beïnvloeden. Deze enzymen werken optimaal in een zuur milieu, daarom worden ze afgeschermd van het cytoplasma door het **lysosoommembraan**.

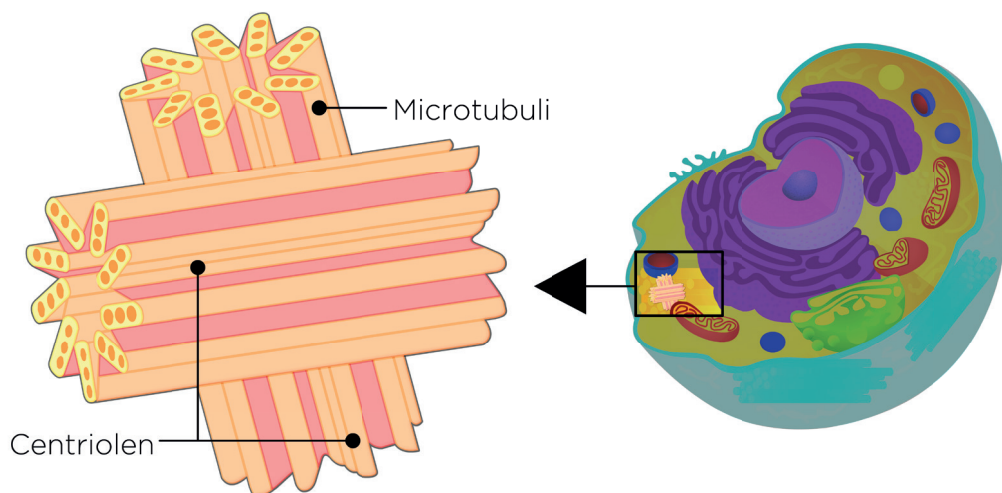
Lysosomen helpen de cel bij de voedselvertering van stoffen die via endocytose de cel in zijn getransporteerd. **Endocytose** is het opnemen van stoffen van buiten de cel door ze in te sluiten in het celmembraan. Lysosomen hebben ook een belangrijke taak bij de opslag en het transport van schadelijke stoffen. Daarnaast zorgen ze ervoor dat afbraakproducten hergebruikt of veilig uitgescheiden kunnen worden. Denk hierbij

aan afbraakproducten van oude organellen of opgegeten (gefagocyteerde) bacteriën.

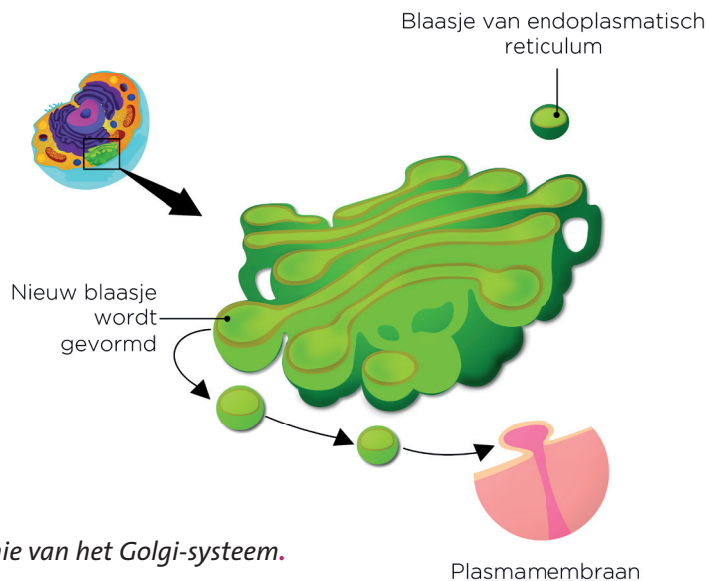
1.1.8 De spoellichaampjes (centrosomen)

Het spoellichaampje (centrosoom) is een organel dat zich in het cytoplasma vlak bij de kern bevindt. Het speelt een belangrijke rol bij de celdeling en het regelen van de opbouw van microbuisjes (*microtubuli* – buisvormige eiwitten die de vorm van de cel in stand houden) in de cel. Spoellichaampjes (centrosomen) zijn alleen te vinden in dierlijke cellen; planten en schimmels hebben geen spoellichaampjes.

Een spoellichaampje (centrosoom) bestaat uit twee **centriolen** die zich loodrecht ten opzichte van elkaar bevinden. De centriolen bevinden zich in een min of meer structuurloze eiwitmassa. Het spoellichaampje (centrosoom) heeft een sleutelrol tijdens de celdeling. Spoellichaampjes (centrosomen) worden maar één keer per celcyclus gekopieerd, namelijk tijdens de S-fase van de celcyclus. Tijdens de profase verplaatsen de spoellichaampjes zich naar tegenoverliggende einden van



Afbeelding 1.6 Het spoellichaampje (centrosoom) bestaat uit twee centriolen.



Afbeelding 1.7 Anatomie van het Golgi-systeem.

de cel. Vanuit ieder spoellichaampje komen draden die de spoelfiguur vormen.

Andere functies van spoellichaampjes zijn:

- vorming van het cytoskelet door de opbouw van het microtubulinetwerk. Dit is belangrijk om de cel haar vorm te laten behouden;
- richting geven aan de deling van het cytoplasma (cytokinese) tijdens de celdeling;
- signalen geven aan de dochtercellen om een nieuwe celcyclus te beginnen.

1.1.9 Het Golgi-systeem

Het Golgi-systeem (andere namen hiervoor zijn Golgi-complex, Golgi-apparaat of Golgi-lichaam) werd ontdekt door de Italiaanse arts Camillo Golgi. Het Golgi-systeem kun je in het cytoplasma van zowel planten als dieren vinden. Het bestaat uit verschillende lagen met vloeistof gevulde membraanzakken (*cisternae*). Elke membraanzak (*cisterna*) is een platte schijf, omgeven door een membraan

en gevuld met Golgi-enzymen. Deze enzymen helpen bij het veranderen van eiwitten die door het organel worden getransporteerd. De membraanzakken (*cisternae*) liggen 'gestapeld' vlak bij het endoplasmatisch reticulum en de celkern (*nucleus*).

De belangrijkste functie van het Golgi-systeem is het aanpassen, sorteren en verdelen van nieuw aangemaakte eiwitten. Bij plantencellen heeft het Golgi-systeem ook nog een functie bij het aanmaken van de meervoudige suikers (*polysachariden*) die zich in de celwand bevinden.

Het ontvangende deel van het Golgi-lichaam wordt de **cis**-kant genoemd. Deze kant ontvangt de eiwitten van het endoplasmatisch reticulum. Koolwaterstoffen en fosfaten kunnen worden toegevoegd aan of verwijderd van de eiwitten, waarna de eiwitten worden gesorteerd om naar andere delen van de cel te worden vervoerd. Deze aangepaste eiwitten verlaten het Golgi-systeem in afgesnoerde blaasjes aan de **trans**-kant. Ze kunnen dan worden gebruikt in andere delen van de cel, of ze kunnen de cel uit worden getransporteerd.