

## Samenvatting

Academiejaar 2021 – 2022

Robbe Decapmaker

## Inleiding

De samenvatting van BioTechnologie. De source code is te vinden op Github.

<https://github.com/debber1/BioTech>

Dit document is een ‘work in progress’, dit wil zeggen dat er (ongeveer) een wekelijkse update zal zijn. De meest recente versie zal altijd op Github staan!

## Contributors

Jonathan Valgaeren

## Inhoudsopgave

<b>1 Koolhydraten</b>	<b>4</b>
1.1 Naamgeving . . . . .	4
1.2 Voorstellingen . . . . .	5
1.3 Stereochemie . . . . .	5
1.3.1 Enantiomeren . . . . .	5
1.3.2 Diastereomeren . . . . .	7
1.3.3 Glucose . . . . .	7
1.4 Reducerende koolhydraten . . . . .	7
1.5 Monosachariden . . . . .	8
1.5.1 Belangrijke monosachariden . . . . .	8
1.5.2 Afgeleiden . . . . .	9
1.6 Disachariden . . . . .	10
1.6.1 Belangrijke disachariden . . . . .	10
1.7 Polysachariden . . . . .	11
1.7.1 Belangrijke polysachariden . . . . .	12
<b>2 Lipiden</b>	<b>12</b>
2.1 Biologische functies van lipiden . . . . .	13
2.2 Vetzuren . . . . .	13
2.2.1 Structuur . . . . .	13
2.2.2 (On)Verzadigde vetzuren . . . . .	13
2.2.3 Cis- en Transvetzuren . . . . .	14
2.2.4 Omega vetzuren . . . . .	15
2.2.5 Reacties met vetzuren . . . . .	15
2.3 Glyceriden . . . . .	15
2.3.1 Structuur . . . . .	15
2.3.2 Triglyceriden . . . . .	16
2.3.3 Reacties . . . . .	16
2.3.4 Fosfoglyceriden . . . . .	17
2.4 Niet-glyceride lipiden . . . . .	17
2.4.1 Sfingolipide . . . . .	17
2.4.2 Steroïden . . . . .	17

<b>3 Celstructuren</b>	<b>18</b>
3.1 Microscopische observatie van cellen . . . . .	18
3.2 Celtheorie . . . . .	18
3.3 Plasmamembraan . . . . .	19
3.4 2 types cellen . . . . .	21
3.4.1 Prokaryote cellen . . . . .	21
3.4.2 Eukaryote cellen . . . . .	22
3.5 Intracellulaire structuren . . . . .	22
3.5.1 Nucleus . . . . .	22
3.5.2 Ribosomen . . . . .	23
3.5.3 Endomembraansysteem . . . . .	23
3.5.4 Vacuole . . . . .	24
3.5.5 Energie-organellen . . . . .	25
3.5.6 Cytoskelet . . . . .	26
3.5.7 Centriolen . . . . .	26
3.5.8 Cilia en flagellen . . . . .	27
3.6 Extracellulaire structuren . . . . .	27
3.6.1 Celwand . . . . .	27
3.6.2 Extracellulaire matrix . . . . .	27
3.6.3 Juncties tussen cellen . . . . .	27
3.7 Cellulaire reproductie . . . . .	28
3.8 Wat met virussen? . . . . .	28
<b>4 Cases in rode biotechnologie</b>	<b>29</b>
4.1 Wat is rode biotechnologie . . . . .	29
4.1.1 Diagnostische tests . . . . .	29
4.1.2 Geneesmiddelenontwikkeling en gentherapie . . . . .	29
4.1.3 Vaccin ontwikkeling . . . . .	30
4.2 Case study . . . . .	30
4.2.1 Welke celtypes . . . . .	30
4.2.2 Cellen als therapeutica . . . . .	31
4.2.3 Van cellen naar weefsels . . . . .	31
4.3 Ingenieurs in rode biotechnologie . . . . .	31
<b>5 De dynamische cel</b>	<b>31</b>
5.1 Wat is energie? . . . . .	31
5.2 ATP: energie voor cellen . . . . .	32
5.3 Metabolische pathways en enzymen . . . . .	33
5.4 Cellulaire transportsystemen . . . . .	34
5.4.1 Passief transport . . . . .	34
5.4.2 Osmose . . . . .	35
5.4.3 Actief transport . . . . .	36
5.4.4 Bulktransport . . . . .	36
<b>6 Energie voor cellen</b>	<b>37</b>
6.1 Cellulaire respiratie . . . . .	37
6.2 Buiten de mitochondriën: glycolyse . . . . .	38
6.3 Buiten de mitochondriën: fermentatie . . . . .	38
6.4 In de mitochondriën . . . . .	40
6.5 Metabolisme van voeding . . . . .	41
<b>7 Constructie-biotechnologie</b>	<b>42</b>
7.1 Wat is constructie-biotechnologie . . . . .	42
7.2 Beton . . . . .	42
7.2.1 Scheuren herstellen in beton . . . . .	42
7.2.2 Biologisch zelf-herstellend beton . . . . .	42



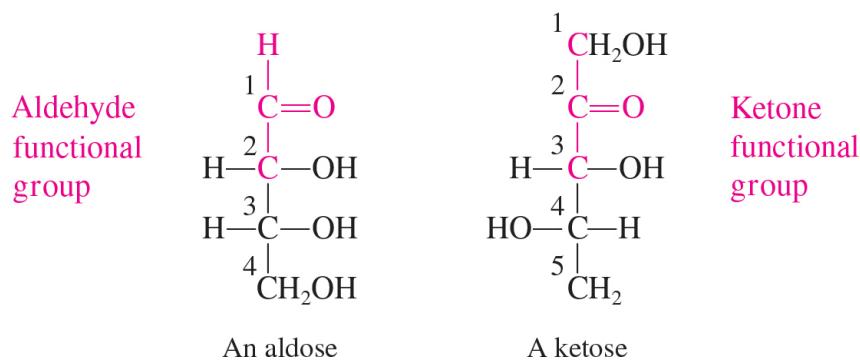
<b>8 Witte biotechnologie: case biobrandstoffen</b>	<b>44</b>
8.1 Wat is witte biotechnologie . . . . .	44
8.1.1 Fermentatie en bioconversie . . . . .	44
8.1.2 Biomassa . . . . .	44
8.2 Biobrandstoffen . . . . .	44
8.2.1 Bio-ethanol van lignocellulose . . . . .	44
8.2.2 Productie van biodiesel . . . . .	46
<b>9 Proteïnen</b>	<b>47</b>
9.1 Inleiding . . . . .	47
9.2 Aminozuren . . . . .	47
9.2.1 Structuur en eigenschappen . . . . .	47
9.2.2 Aminozuren in voeding . . . . .	47
9.2.3 Niet-proteïnogene aminozuren . . . . .	48
9.3 Peptidebinding . . . . .	48
9.3.1 Peptiden en Polypeptiden . . . . .	48
9.3.2 Chemische en biologische synthese van peptiden . . . . .	48
9.4 Structuur van proteïnen . . . . .	48
9.4.1 Primaire, secundaire tertiaire en quaternaire structuur . . . . .	48
9.4.2 Denaturatie . . . . .	48
9.5 Voorbeelden en toepassingen . . . . .	48

# 1 Koolhydraten

Koolhydraten zijn essentieel voor biologisch leven. Grosso modo kunnen we 3 verschillende types onderscheiden: monosachariden, disachariden en polysachariden. Voor dat we deze types degelijk kunnen bespreken, moeten er eerst enkele afspraken vast gelegd worden rond naamgeving en voorstelling. Vervolgens maken we enkele belangrijke opmerkingen rond de chemische fenomenen die zich voor doen bij koolhydraten.

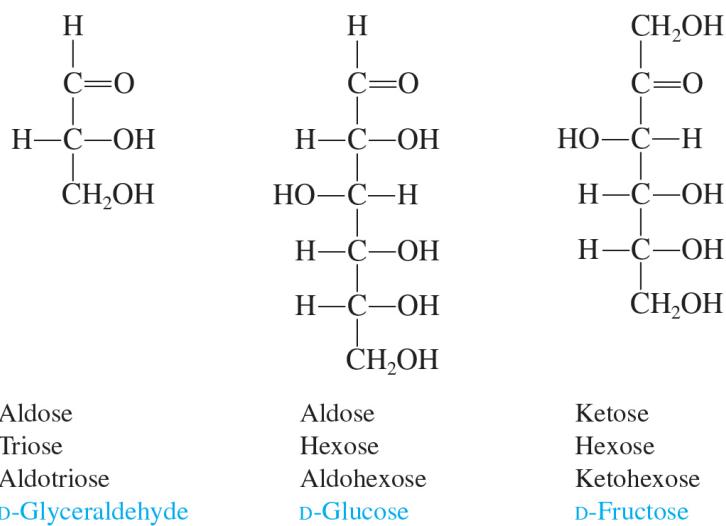
## 1.1 Naamgeving

Koolhydraten bestaan voornamelijk uit C, O en H atomen. Afhankelijk van de onderling gevormde bindingen kunnen we een onderscheid maken tussen twee soorten koolhydraten; de aldosen en ketonen. Het verschil tussen beiden wordt duidelijk gemaakt in figuur 1. Als een koolhydraat in bezit is van een aldehyde groep, noemen we hem een aldose. Als hij in bezit is van een keton groep, noemen we hem een ketose.



Figuur 1: Aldehyden en ketonen

Naast de aanwezigheid van functionele groepen, maken we ook een onderscheid op basis van het aantal aanwezige koolstof atomen. De nummering en naamgeving van deze moleculen worden overgenomen uit de chemie zoals te zien is op figuur 2.

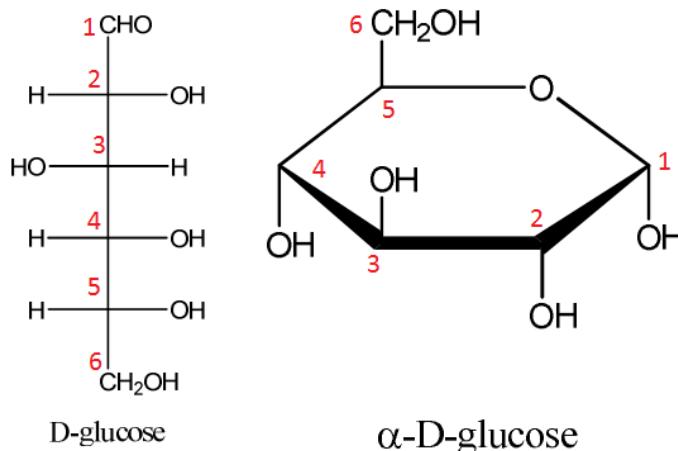


Figuur 2: Voorbeelden van naamgeving

Er zijn ook enkele koolhydraten die een triviale naam krijgen, zoals sacharose of fructose.

## 1.2 Voorstellingen

Er bestaan twee manieren om een koolhydraat voor te stellen, de Fischer- en Haworthprojectie. Voor D-glucose zien we op figuur 3 beide voorstellingen.



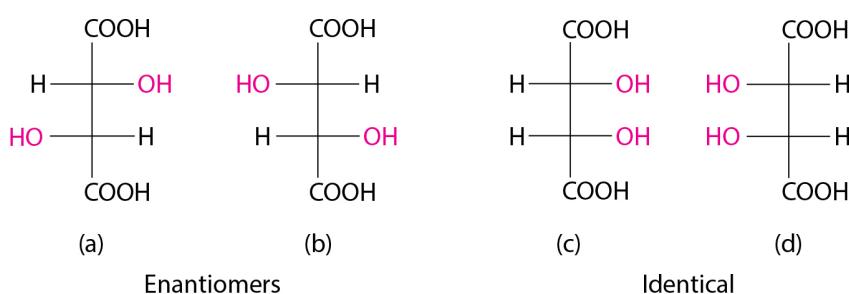
Figuur 3: Fischerprojectie (links) en Haworthprojectie (rechts)

## 1.3 Stereochemie

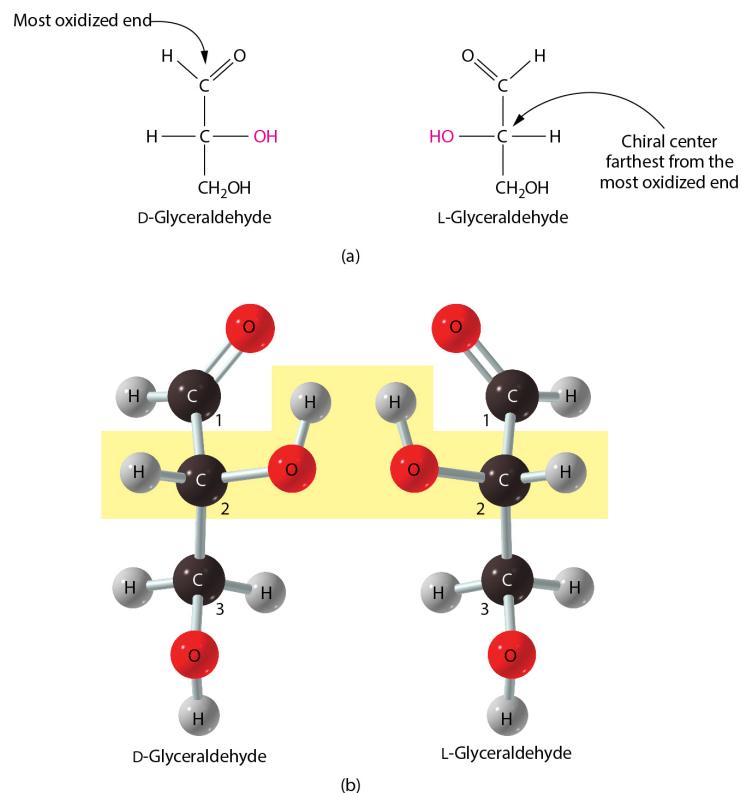
Als de structuur van een koolhydraat koolstof atomen bevat die gebonden zijn met vier verschillende groepen, dan zeggen we dat de structuur een chiraal centrum heeft. Dit fenomeen kan tot opmerkelijke resultaten leiden, zo is het mogelijk dat bepaalde functionele groepen niet altijd op dezelfde manier georiënteerd zijn.

### 1.3.1 Enantiomeren

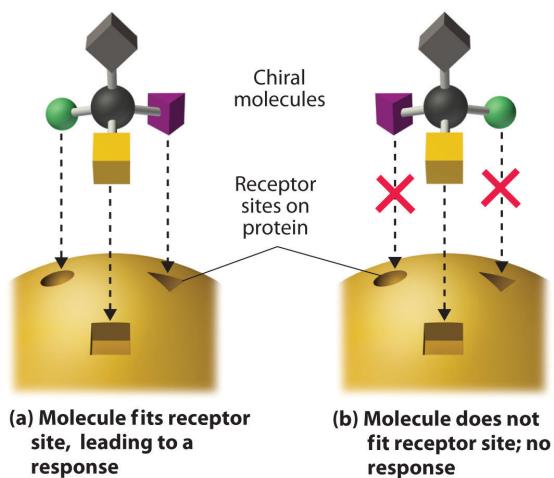
We spreken van enantiomeren als een we te maken hebben met een molecule die volledig gespiegeld kan worden. Een voorbeeld is te zien op figuur 5. Deze spiegeling heeft enkele gevolgen, zowel op biologisch als op fysisch vlak. Zo kunnen verschillende enantiomeren anders reageren op gepolariseerd licht. Vanuit een biologisch standpunt vormt er een probleem als de enantiomeren niet op dezelfde manier samenwerken met enzymen (zie figuur 6). Als beide enantiomeren (normaal en gespiegeld of L en D in een biologische context) aanwezig zijn in een mengsel, dan nomen we dit een racemisch mengsel. Het is ook belangrijk om op te merken dat een gespiegelde tekening niet zomaar een enantiomeer is. Het is ook mogelijk dat er een mesoverbinding aan het werk is. Dit is een verbinding met twee of meer chirale koolstofatomen en een intern symmetrievlak zoals te zien is op figuur 4.



Figuur 4: Enantiomeer (links) en mesoverbinding (rechts)

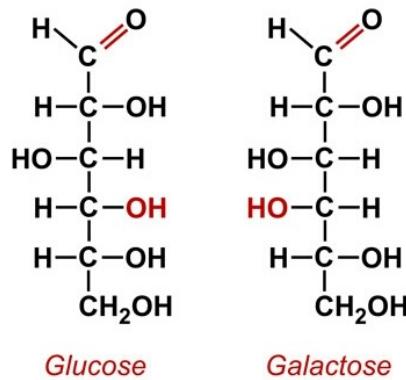


Figuur 5: Enantiomeer



Figuur 6: Interactie tussen enantiomeren en enzymen

### 1.3.2 Diastereomeren



Figuur 7: Diastereomeren

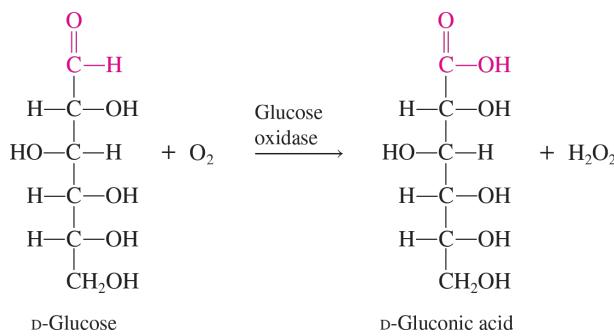
Diastereomeren zijn zoals enantiomeren, maar ze zijn geen perfect spiegelbeeld zoals te zien is op figuur 7.

### 1.3.3 Glucose

Het bekendste voorbeeld van dit fenomeen is glucose. In de natuur observeren we D-glucose en L-glucose. Hiervan zien we voornamelijk D-glucose voorkomen omdat dit het type glucose is dat gemaakt wordt door fotosynthese. Ons lichaam maakt wel een onderscheid tussen beide varianten, ze smaken alle twee zoet maar enkel D-glucose heeft een calorische inhoud bij het verteren. Dit wil zeggen dat L-glucose niet wordt opgenomen door ons spijsverterings-stelsel, en dus niet kan gebruikt worden om energie uit te halen. Het is dus een ‘zoetstof’.

## 1.4 Reducerende koolhydraten

We spreken van een reducerend koolhydraat als het molecuul optreedt als reducerend agens in een redox-reactie als gevolg van de aanwezigheid van de aldehyde- of ketongroep (zie figuur 8). Veel monosachariden bezitten deze eigenschap, daarnaast hebben ook disachariden, waarvan het anomere koolstof-atoom geen glycoside binding heeft, ook een reducerend vermogen. Polysachariden hebben meestal een te lage hoeveelheid reducerende uiteinden om een reductief karakter te hebben.



Figuur 8: Reducerende koolhydraten

We kunnen testen of een koolhydraat in het bezit is van een reducerend karakter met Benedict's reagens. Hierbij kijken we naar de kleurverandering van de oplossing na de reactie. Dit is tevens de manier waarop we kunnen bepalen of er suiker in urine zit, het is handig om suikerziekte op te sporen.

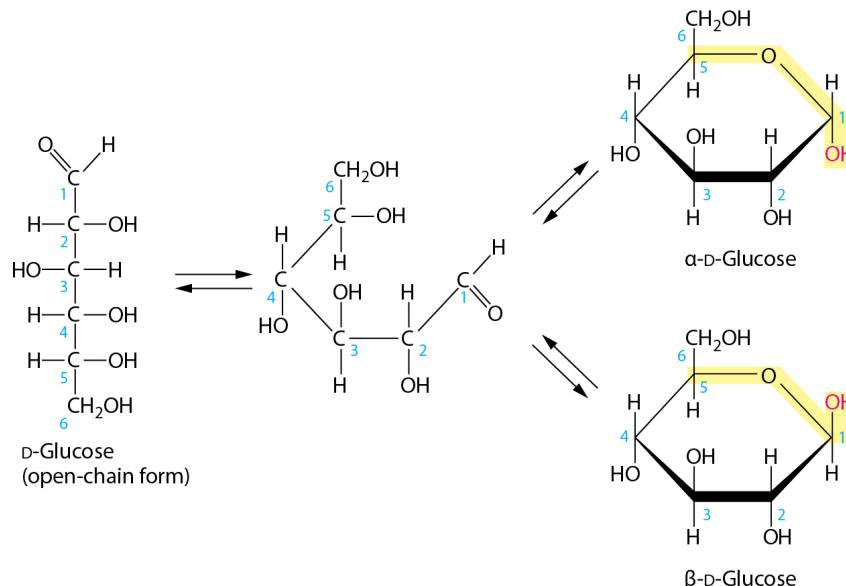
## 1.5 Monosachariden

Monosachariden zijn de meest eenvoudige koolhydraten. Ze vormen hierdoor dus ook de bouwstenen voor complexere structuren zoals disachariden en polysachariden.

### 1.5.1 Belangrijke monosachariden

In monosachariden merken we telkens anomeren op. Een anomeer is een stereo-isomeer van een koolhydraat in ringvorm met het enigste verschil de configuratie van het koolstof-atoom op positie 1.

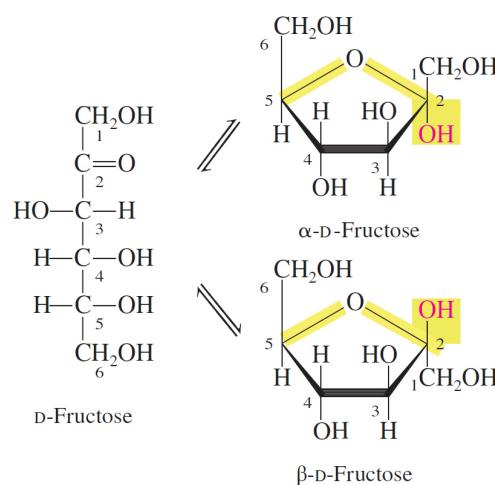
#### Glucose



Figuur 9: Glucose

Hierbij kunnen we nog vermelden dat koolstof atoom 1 in figuur 9 een nieuw chiraal centrum is, en dus een anomeer C-atoom is.

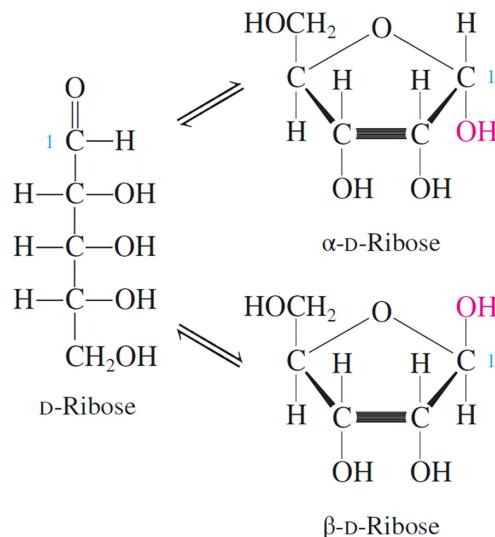
#### Fructose



Figuur 10: Fructose

Hierbij kunnen we nog vermelden dat koolstof atoom 2 in figuur 10 een nieuw chiraal centrum is, en dus een anomeer C-atoom is.

## Deoxyribose

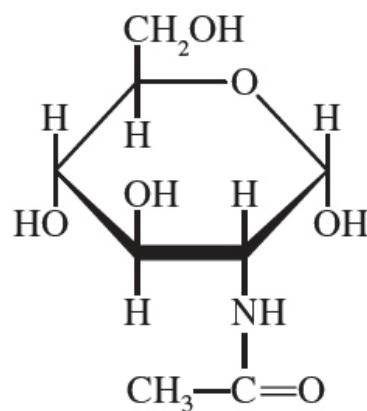


Figuur 11: Deoxyribose

Hierbij kunnen we nog vermelden dat koolstof atoom 1 in figuur 11 een nieuw chiraal centrum is, en dus een anomeer C-atoom is. Deoxyribose is tevens belangrijk voor RNA en DNA.

### Acetylglucosamine

Door andere functionele groepen toe te voegen aan de koolhydraatstructuur kunnen we complexere moleculen maken. Acetylglucosamine (figuur 12) is bijvoorbeeld een bloed antigen.

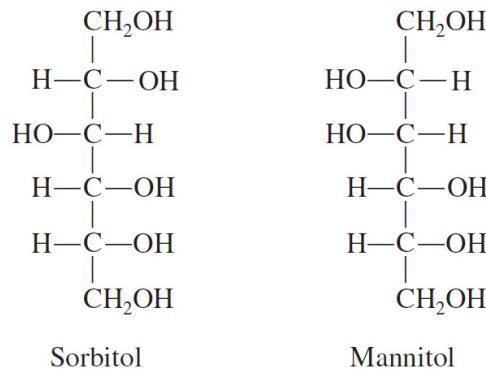


$\alpha$ -D-N-Acetylglucosamine

Figuur 12: Acetylglucosamine

### 1.5.2 Afgeleiden

Enkele voorbeelden van afgeleiden van monosachariden zijn polyolen. Ze zijn geen monosachariden, maar lijken er wel sterk op. De voorbeelden uit figuur 13 zijn zoet zoals glucose, ze hebben wel geen calorie-inhoud. Ze zijn dus geschikt om zoetstoffen mee te maken.



Figuur 13: Afgeleiden van monosachariden

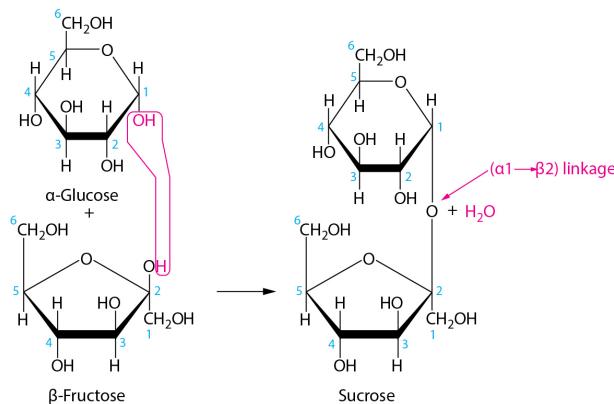
## 1.6 Disachariden

Disachariden zijn opgebouwd uit 2 monosachariden. We kunnen ze benoemen volgens de monosachariden waaruit ze zijn opgebouwd, en de manier waarop deze gebonden zijn aan elkaar.

### 1.6.1 Belangrijke disachariden

#### Sucrose

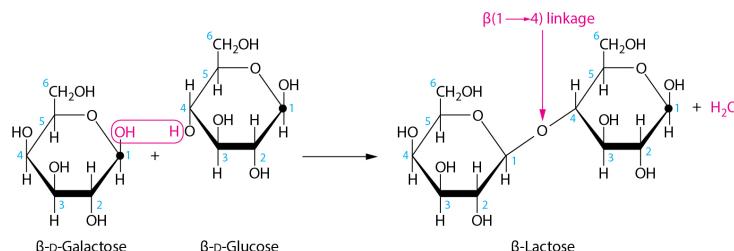
Sucrose is wat wij kennen als 'gewoon' suiker. Het is opgebouwd uit  $\alpha$ -D-glucose en  $\beta$ -D-fructose (zie figuur 14).



Figuur 14: Sucrose

#### Lactose

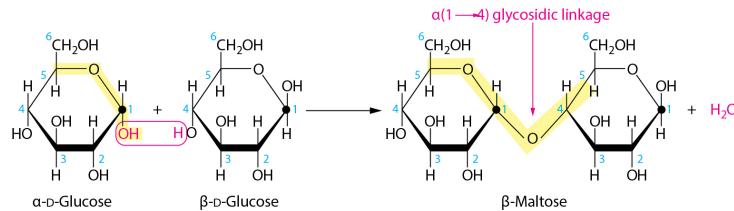
Lactose of melksuiker is opgebouwd uit  $\beta$ -D-galactose en  $\beta$ -D-glucose (zie figuur 15).



Figuur 15: Lactose

## Maltose

Maltose of moutsuiker is opgebouwd uit  $\alpha$ -D-glucose en  $\beta$ -D-glucose (zie figuur 16).

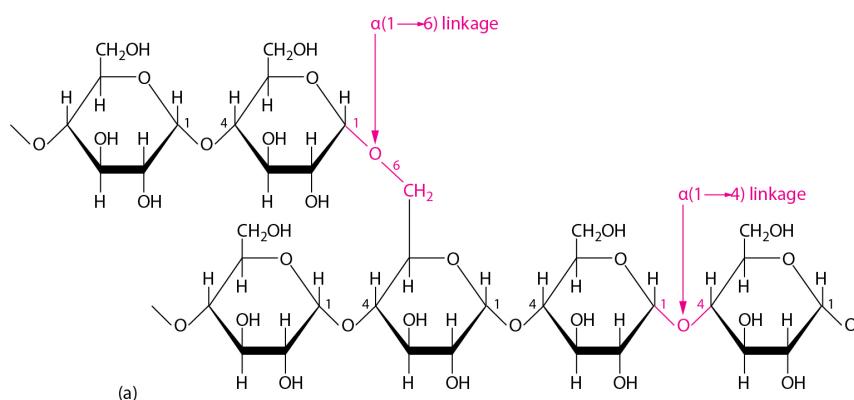


Figuur 16: Maltose

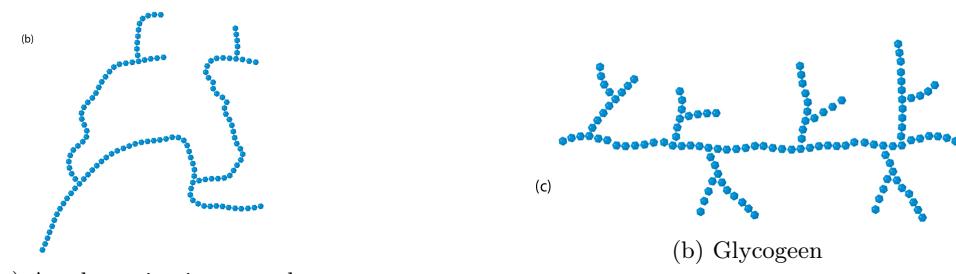
## 1.7 Polysachariden

Polysachariden zijn net zoals disachariden opgebouwd uit monosachariden. Het verschil zit in de hoeveelheid bouwblokken er aanwezig zijn. Grosso modo zullen we spreken over polysachariden als er meer dan 2 monosachariden betrokken zijn bij de opbouw.

Afhankelijk van de onderlinge bindingen, kunnen er zich vertakkingen voor doen in een polysacharide. beide polysachariden in figuur 18 zijn opgebouwd volgens de structuur in figuur 17. Door het aanzienlijke verschil in vertakkingen, maken we een onderscheid tussen deze twee moleculen.



Figuur 17: Verschillende bindingen zorgen voor vertakkingen



(a) Amylopectine in zetmeel

Figuur 18: Het verschil tussen veel en weinig vertakkingen

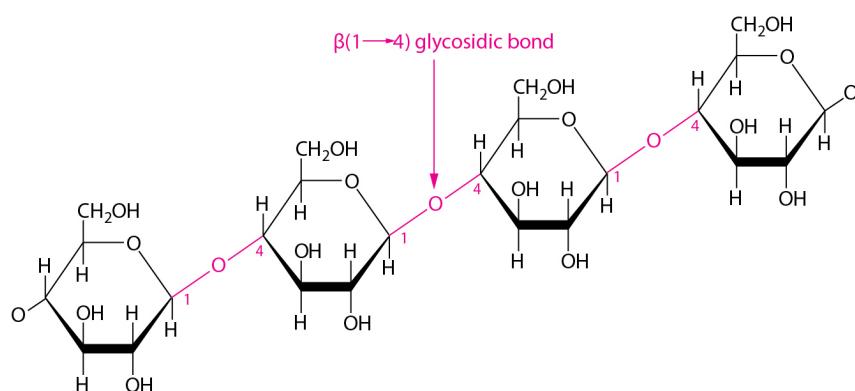
### 1.7.1 Belangrijke polysachariden

#### Zetmeel en glycogeen

Zetmeel en glycogeen lijken sterk op elkaar, ze zijn beiden namelijk opgebouwd volgens figuur 17. Zetmeel vinden we voornamelijk terug in planten, het is een belangrijke nutriënt voor de mens. We gebruiken het namelijk vaak voor het maken van brood en pasta. Een bijkomend voordeel, is dat het gemakkelijk afbreekbaar is tijdens de vertering. Glycogeen komt hoofdzakelijk voor bij dieren. Het is in grote concentraties aanwezig in spierweefsel en de lever. Dit is ook de meer vertakte variant van amylopectine (zie figuur 18).

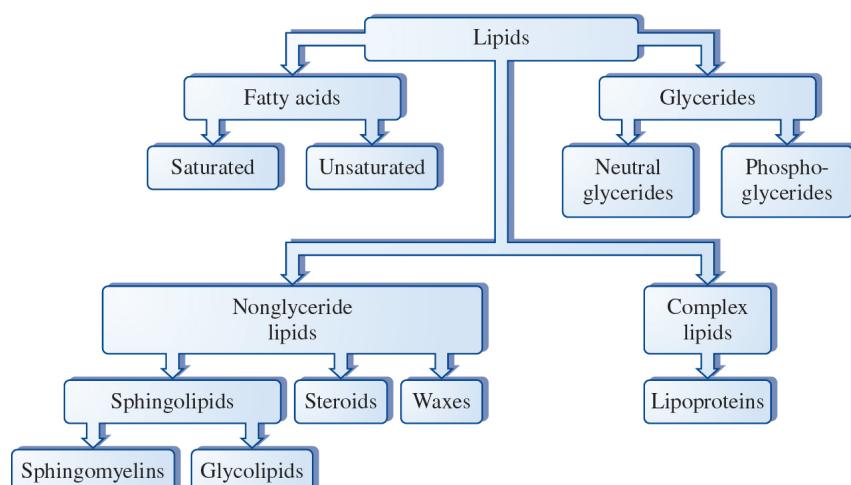
#### Cellulose

Cellulose is vaak aanwezig bij planten. Het is niet verteerbaar door de mens, dit wil zeggen dat er eigenlijk geen calorische inhoud is. Het kan vaak gebruikt worden als een structureel component om een cel op te bouwen omdat het een soort vezel vormt. Dit is ook de reden waarom we cellulose gebruiken om papier te maken. De structuur van cellulose is te zien in figuur 19.



Figuur 19: Cellulose

## 2 Lipiden



Figuur 20: Schema van lipiden

## 2.1 Biologische functies van lipiden

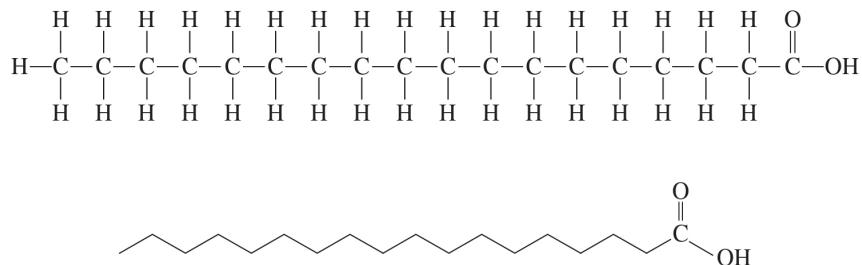
Biologisch gezien zijn vetten extreem belangrijk. De mens gebruikt ze namelijk voor verschillende doelen:

- Energiebron en -opslag
- Structurele componenten van het celmembraan
- Hormonen
- Vitaminen en vitamine-adsorptie
- Bescherming
- Isolatie

## 2.2 Vetzuren

### 2.2.1 Structuur

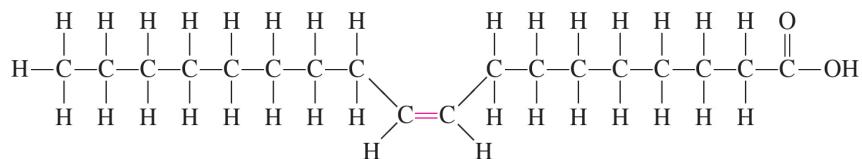
Vetzuren hebben lange ketens van monocarboxylzuren ( $-COOH$ ) met een even aantal koolstofatomen (zie figuur 21).



Figuur 21: Structuur van een vazuur

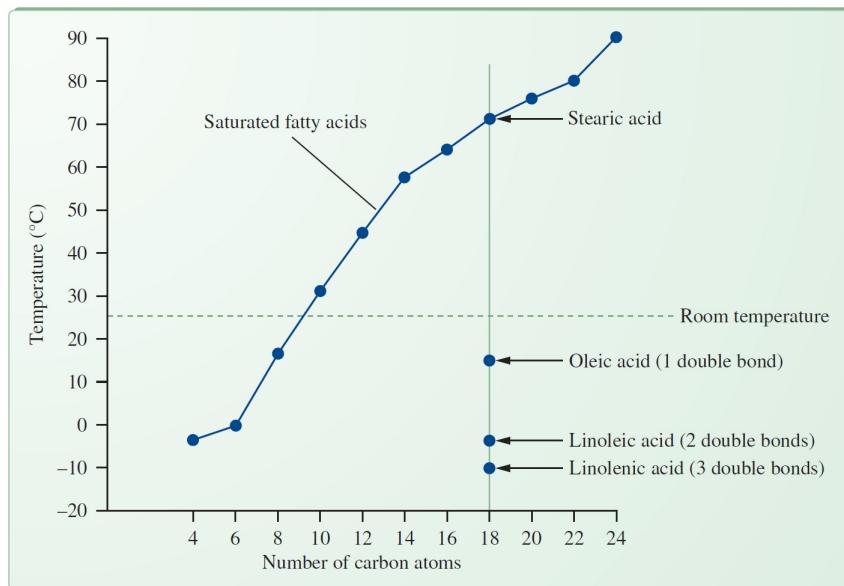
### 2.2.2 (On)Verzadigde vetzuren

Verzadigde vetzuren bestaan uitsluitend uit enkelvoudig gebonden koolstof atomen zoals in figuur 21. We spreken van een onverzadigd vazuur als er een dubbele binding voorkomt tussen de koolstoffen zoals in figuur 22.



Figuur 22: Onverzadigde vetzuren

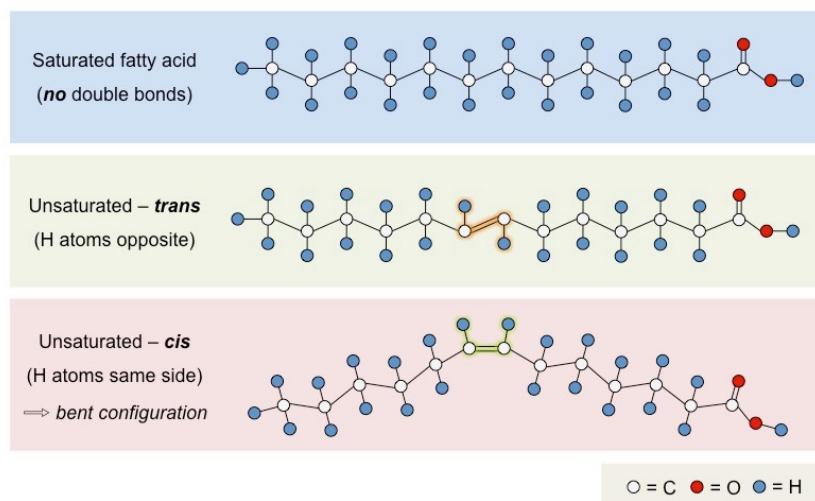
We vinden verzadigde vetzuren vaak bij dieren en onverzadigde vetzuren bij planten. Ook het smeltpunt kent grote verschillen tussen beide soorten (zie figuur 23). Grosso modo kunnen we zeggen dat het smeltpunt van verzadigde vetzuren afhangt van de lengte van de koolstofketen (London krachten). Bij onverzadigde vetzuren is het smeltpunt invers proportioneel aan het aantal onverzadigde bindingen.



Figuur 23: Smeltpunt van verzadigde en onverzadigde vetzuren

### 2.2.3 Cis- en Transvetzuren

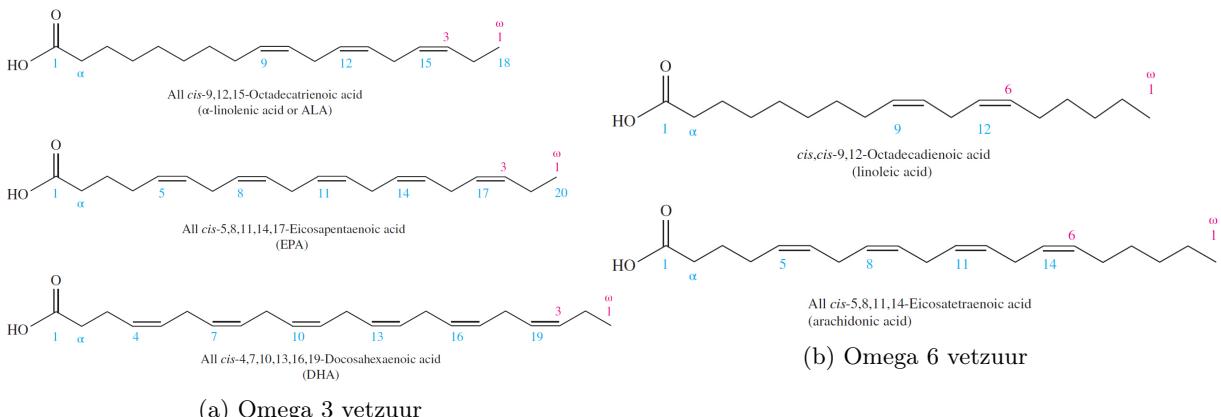
Het verschil tussen cis- en transvetzuren zit in de manier waarop de koolstof atomen onderling georiënteerd zijn (zie figuur 24). Over het algemeen kunnen we zeggen dat transvetzuren slecht zijn voor de mens, ze hebben een negatief effect op zaken zoals cholesterol en hart- en vaatziekten. We vinden ze vaak bij producten gemaakt van herkauwers, en na verhitting van vetzuren. Cisvetzuren daarentegen hebben een positieve invloed op cholesterol.



Figuur 24: Cis- en Transvetzuren

## 2.2.4 Omega vetzuren

We spreken hoofdzakelijk over omega 3 en omega 6 vetzuren. Het zijn onverzadigde vetzuren die hun naam krijgen op basis van het aantal verzadigde bindingen voor de eerste dubbele binding, zie figuur 25.



Figuur 25: Het verschil tussen veel en weinig vertakkingen

We associëren omega 3 vetzuren vaak met positieve gezondheidseffecten, onderzoek wijst namelijk uit dat het hart- en vaatziekten tegenhoudt en een ontstekingsremmend effect heeft. Omega 6 vetzuren komen met ongewenste gezondheidseffecten.

## 2.2.5 Reacties met vetzuren

De belangrijkste reactie van deze cursus is de hydrogenering (zie figuur 26). Het is een additieve reactie waarbij onverzadigde vetzuren omgezet worden in verzadigde vetzuren. Deze reactie wordt sterk gebruikt in de voedingsindustrie.

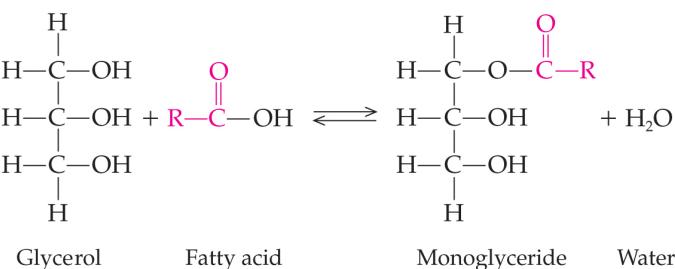


Figuur 26: Hydrogenering

## 2.3 Glyceriden

### 2.3.1 Structuur

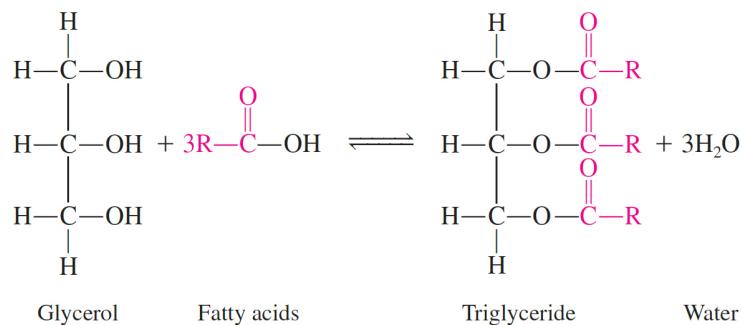
Glyceriden zijn lipide-esters, dit wil zeggen dat de alcoholgroep van glycerol een ester vormt met een vetzuur (zie figuur 27). Deze estervorming kan zich op één, twee of alle 3 de alcoholgroepen van de glycerol voordoen. We spreken van mono-, di-, triglyceriden.



Figuur 27: Structuur glyceriden

### 2.3.2 Triglyceriden

Triglyceriden zijn non-ionische en niet polaire moleculen (zie figuur 28) die dienen als energieopslag in vetcellen. Het zijn de meest voorkomende neutrale glyceriden in de natuur. Ze zijn bij vissen en planten vloeibaar bij kamertemperatuur dankzij de grote hoeveelheid onverzadigde vetzuren die aanwezig zijn. Bij mens en dier zijn de vetzuren hoofdzakelijk verzadigd, en dus zijn de triglyceriden ook vast bij kamertemperatuur.

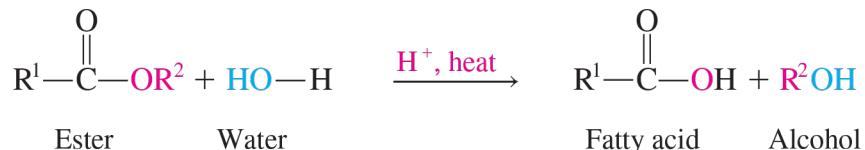


Figuur 28: Triglyceride

### 2.3.3 Reacties

#### Hydrolyse

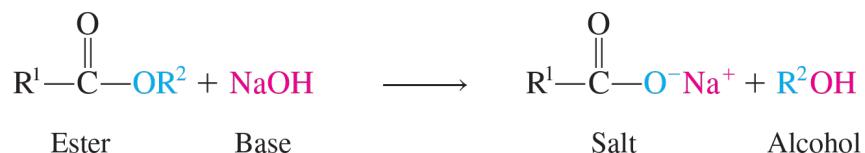
Produceert de vetzuren en glycerol. Het breekt dus eigenlijk een mono-, di-, triglyceride af tot zijn basiscomponenten (zie figuur 29).



Figuur 29: Hydrolyse

#### Verzeping

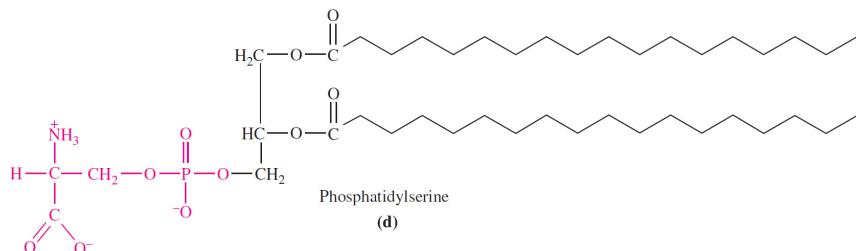
Produceert vetzuurzouten en glycerol (zie figuur 30).



Figuur 30: Verzeping

### 2.3.4 Fosfoglyceriden

Fosfoglyceriden zijn niet-neutrale glyceriden die opgemaakt zijn uit glycerol, vетzuur en een fosfaat-groep waarop eventueel nog andere groepen gebonden zijn zoals in figuur 31. De functie ervan zal later aan bod komen in het hoofdstuk over cellen.

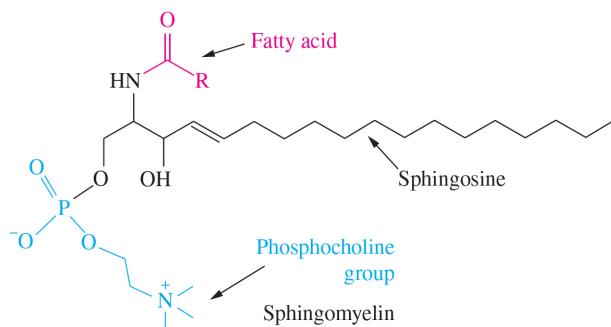


Figuur 31: Fosfoglyceride

## 2.4 Niet-glyceride lipiden

### 2.4.1 Sfingolipide

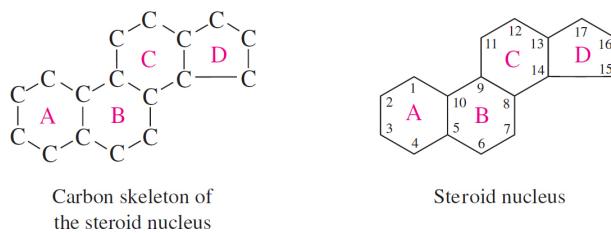
Sfingolipiden worden getypeerd door hun sfingosine ruggengraat (zie figuur 32). Hieraan kunnen verschillende groepen binden, zoals vетzuren, fosfaat of koolhydraten. Men vind deze moleculen vooral terug in het celmembraan.



Figuur 32: Sfingolipide

### 2.4.2 Steroïden

Steroïden volgen de algemene structuur die te zien is in figuur 33.



Figuur 33: Steroïden

Cholesterol is een belangrijke steroïde die we nodig hebben om galzouten, hormonen en vitamines aan te maken. Zoals altijd is een balans wel belangrijk, te veel cholesterol kan leiden tot het dichtslippen van aders.

## 3 Celstructuren

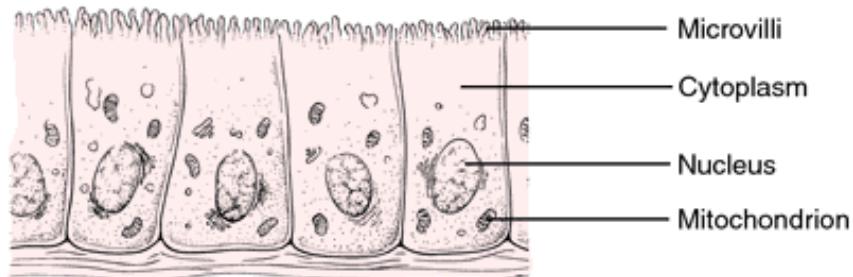
### 3.1 Microscopische observatie van cellen

Cellen zijn bijna altijd te klein om met het blote oog te zien. Om deze levensvormen toch te zien maken we gebruik van microscopen. Hiervoor bestaan 2 varianten: de licht microscoop en de elektronen microscoop.

De licht microscoop is een (relatief) goedkope optie. We maken ook nog onderscheid tussen de klassieke en digitale microscoop. Door de eigenschappen van licht, is er een limiet aan de resolutie waarmee we kunnen observeren. De elektronen microscoop lost dit probleem op door een bundel elektronen te gebruiken. We kunnen opnieuw 2 verschillende soorten onderscheiden, de TEM en de SEM.

### 3.2 Celtheorie

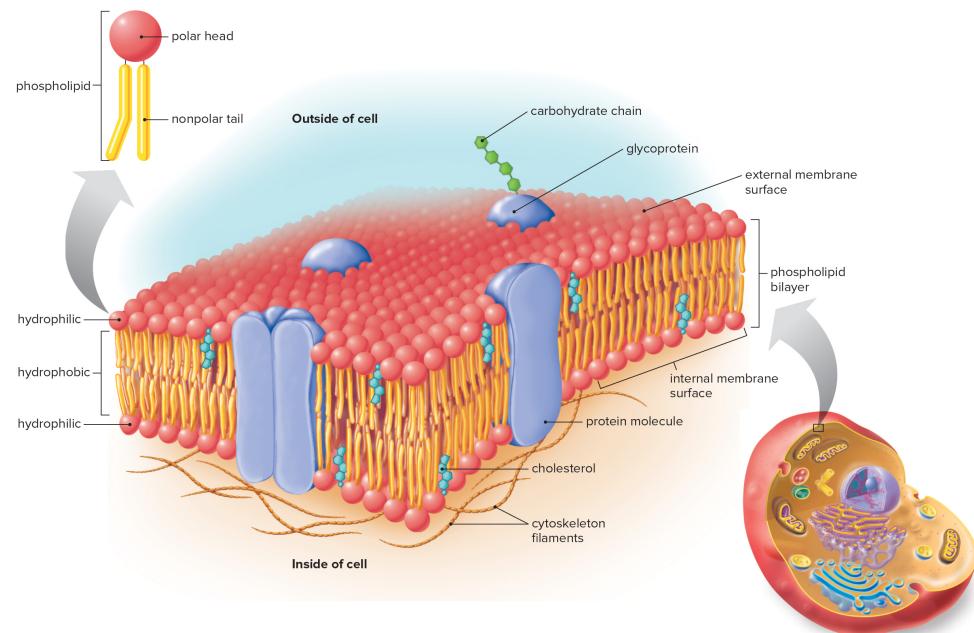
We stellen dat alle organismen zijn samengesteld uit cellen. Deze cellen zijn ook altijd afkomstig van reeds bestaande cellen en zijn erg klein. De reden dat ze microscopisch klein zijn, is de oppervlakte-volume verhouding. Dit wil zeggen dat kleine cellen een relatief grote oppervlakte hebben in vergelijking met hun volume. Aangezien cellen hun wand gebruiken voor het uitwisselen van stoffen, is het dus voordelig om een relatief groot wand oppervlak te hebben. Er zijn nog andere mogelijkheden om de oppervlakte te vergroten, zo maken enkele cellen microvilli aan zoals te zien in figuur 34.



Figuur 34: Microvilli

### 3.3 Plasmamembraan

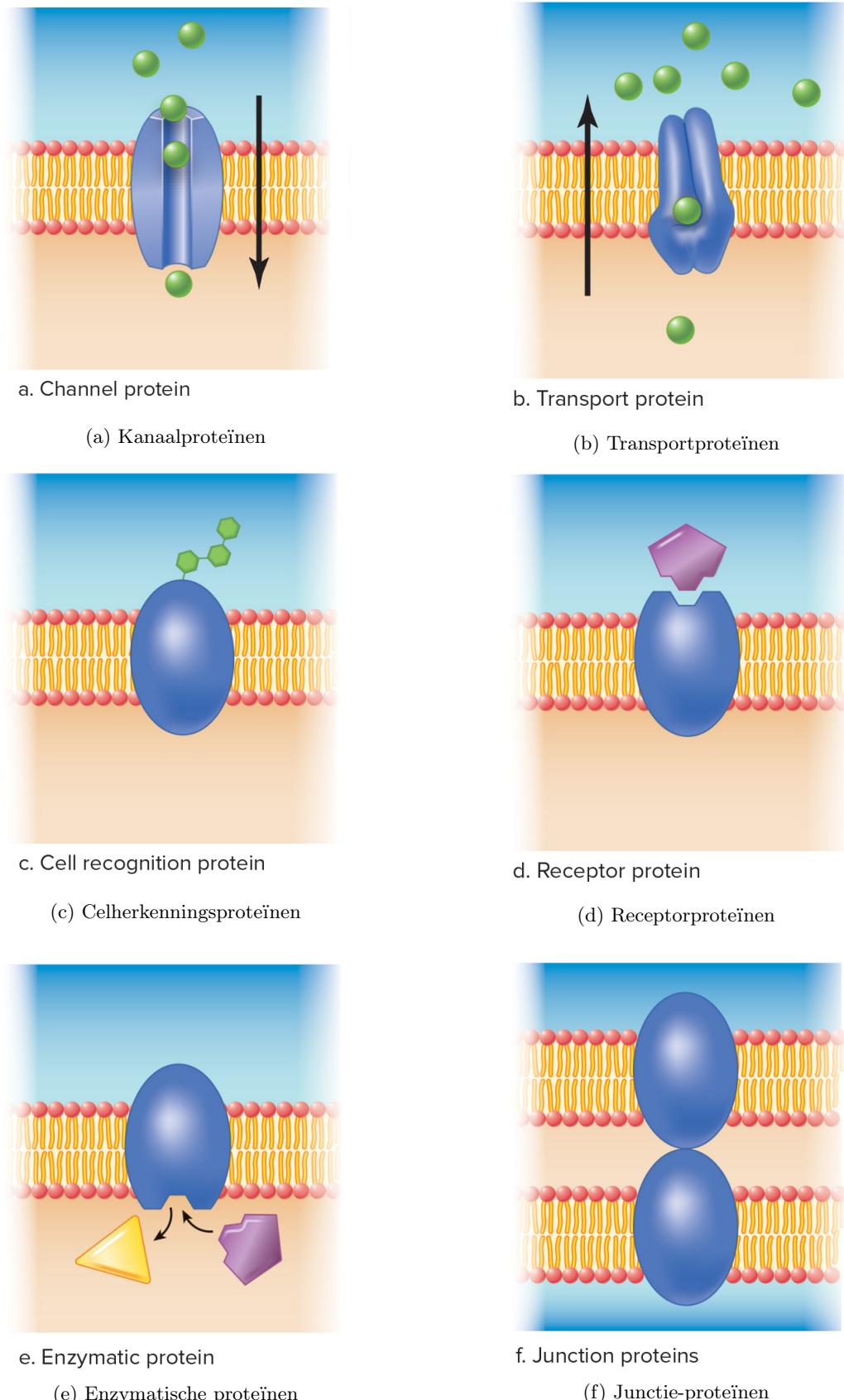
Het plasmamembraan markeert de grens tussen buiten- en binnenkant van een cel. Het is essentieel voor transport van stoffen in en uit de cel. Een plasmamembraan is opgebouwd uit een fosfolipide dubbellaag met ingebouwde eiwitten. Hierbij is de polaire (en dus hydrofiele) zijde van de fosfolipiden gericht naar het waterig medium. De niet-polaire staarten (hydrofoob) staan tegenover elkaar (zie figuur 35). Als geheel vormen ze ook een vloeistofmozaïekmodel. Dit model zorgt ervoor dat het membraan extreem flexibel is.



Figuur 35: Plasmamembraan

Afhankelijk van de omstandigheden waarin de cel zich bevindt, kan de structuur van de vetzuren veranderen. In koude klimaten zullen er meer onverzadigde vetzuren aanwezig zijn, hierdoor dal de vloeibaarheid van het membraan stijgen. Het omgekeerde geldt voor cellen in warme omstandigheden.

Membraan proteïnen zijn niet alleen belangrijk voor de communicatie van de cel, maar ook voor nutriëntenopname en afvalverwijdering. We onderscheiden 6 verschillende soorten proteïnen. Kanaalproteïnen (figuur 36a) worden hoofdzakelijk gebruikt om specifieke moleculen door de celmembraan te looden; transportproteïnen (figuur 36b) zijn dan weer betrokken bij de doorgang van moleculen door het membraan, waarbij soms input van energie nodig is. Celherkenningsproteïnen worden gebruikt om een onderscheid te maken tussen cellen van ons eigen lichaam, en die van andere organismen (figuur 36c). Receptorproteïnen laten signaalmoleculen toe om te binden, hierdoor ontstaat een cellulaire respons (figuur 36d). Enzymatische proteïnen katalyseren metabole reacties (figuur 36e). Tot slot worden junctie-proteïnen gebruikt om verbindingen te vormen tussen cellen, hierbij is cel-tot-cel hechting en communicatie mogelijk (figuur 36f).



Figuur 36: Membraanproteïnen

## 3.4 2 types cellen

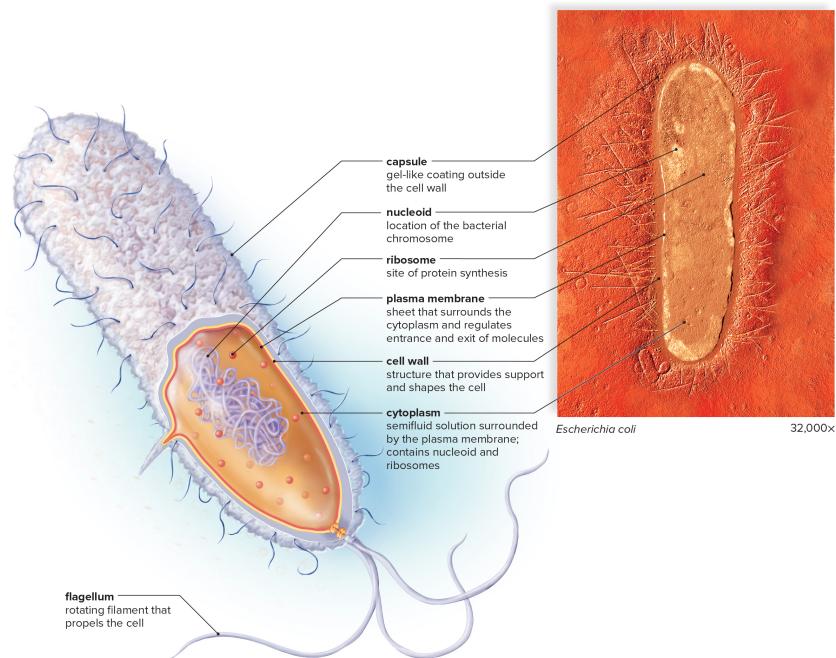
We definiëren twee types cellen op basis van de organisatie van genetisch materiaal. Eukaryote cellen hebben membraanomringd DNA, de celkern. Bij de prokaryote cellen ontbreekt deze structuur.

### 3.4.1 Prokaryote cellen

Het zijn eencellige organismen die uit de bacteria en archaea domeinen komen. Over het algemeen zijn het kleine en vrij eenvoudige organismen. Hierdoor zijn ze wel in staat om snel en effectief te reproduceren. Ze zijn hierdoor ook een zeer diverse groep organismen.

Bacteriën zijn bekende prokaryote cellen. Ze kunnen bij de mens verschillende ziektes veroorzaken, maar ze hebben ook voordelen. We gebruiken ze om chemicaliën, voedsel en geneesmiddelen te produceren.

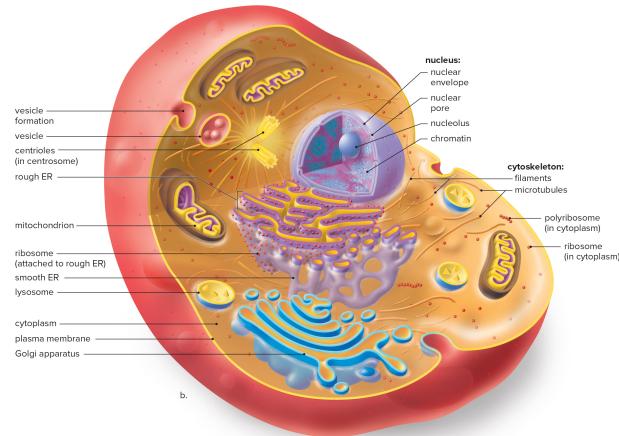
De structuur van prokaryote cellen kan sterk verschillen, hier nemen we het voorbeeld van een bacterie. Zoals te zien is in figuur 37, hebben we cytoplasma dat omringd is door een plasmamembraan en celwand. Bij sommige bacteriën kan deze celwand echter niet aanwezig zijn. Er is ook een mogelijkheid op een beschermende capsule. De celwand is verantwoordelijk voor het behoud van de vorm van de cel. Het cirkelvormig dubbelstrengig DNA bevindt zich in het nucleoid zonder omringend membraan. Er zijn ook andere celstructuren aanwezig die later besproken worden.



Figuur 37: Prokaryote cel

### 3.4.2 Eukaryote cellen

Dit zijn vaak dierlijke cellen, ze maken dus een deel uit van een multicellulair organisme. Soms komen ze ook vaak als micro-organismen, deze kunnen multicellulair zijn, maar kunnen ook unicellulair zijn zoals bijvoorbeeld gist. Ook algen bestaan uit eukaryote cellen. In het algemeen zijn dit complexere levensvormen (zie figuur 38). De aanwezige celstructuren worden besproken in subsectie 3.5.

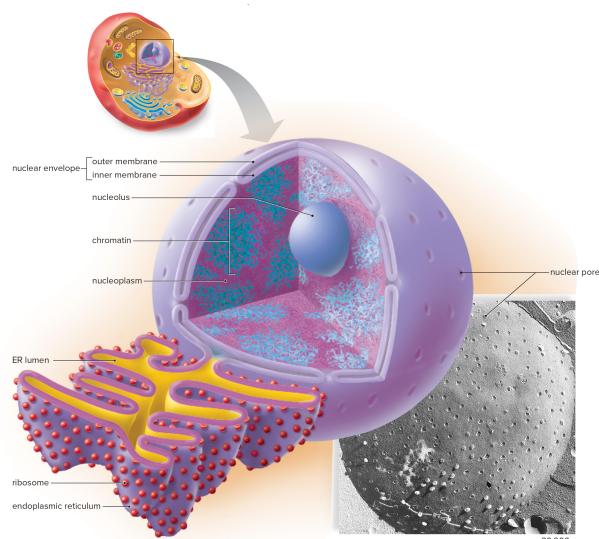


Figuur 38: Eukaryote cel

## 3.5 Intracellulaire structuren

### 3.5.1 Nucleus

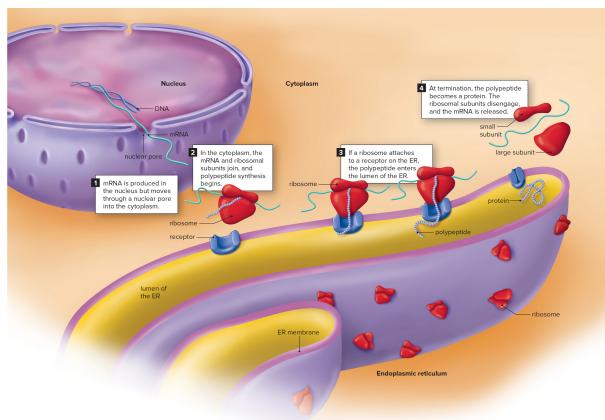
De nucleus (zie figuur 39) oftewel de celkern is een nucleaire envelop gemaakt uit een dubbel membraan. Nucleaire poriën zorgen voor transport van stoffen in en uit de kern. De belangrijkste taak van de celkern is om genetische informatie op te slaan. Dit gebeurt met chromatin, een soort geheel van DNA, proteïne en RNA (Voor celdeling zal het DNA zich condenseren in lineaire chromosomen). DNA met informatie in genen zal een transcriptie krijgen naar messengerRNA oftewel mRNA. Dit proces gebeurt buiten de celkern in het cytoplasma, met behulp van ribosomen wordt mRNA dan vertaald in polypeptiden. De nucleolus is de regio waar ribosomaalRNA oftewel rRNA wordt aangemaakt.



Figuur 39: Nucleus

### 3.5.2 Ribosomen

Ribosomen (figuur 40) zijn verantwoordelijk voor de eiwitsynthese, dit gebeurt in het cytoplasma. We vinden deze structuur in zowel prokaryote als eukaryote levensvormen. Een ribosoom is samengesteld uit twee subeenheden (verdere verduidelijking in sectie TEMP-REF TO DNA-BIO). Het ribosoom ontvangt mRNA en leest dit als instructiereeks van aminozuren in een polypeptide. In eukaryoten bewegen sommige ribosomen vrij rond in het cytoplasma maar de meeste zijn gehecht aan het endoplasmatisch reticulum.



Figuur 40: Ribosoom

### 3.5.3 Endomembraansysteem

Het endomembraansysteem bestaat uit de nucleaire envelop, endoplasmatisch reticulum, het Golgi apparaat en talrijke vesikels. Het zorgt voor compartmentalisering binnen een cel (beperkt tot bepaalde regio's). Vesikels zorgen voor transport van moleculen binnen in de cel.

#### 3.5.3.1 Endoplasmisch reticulum

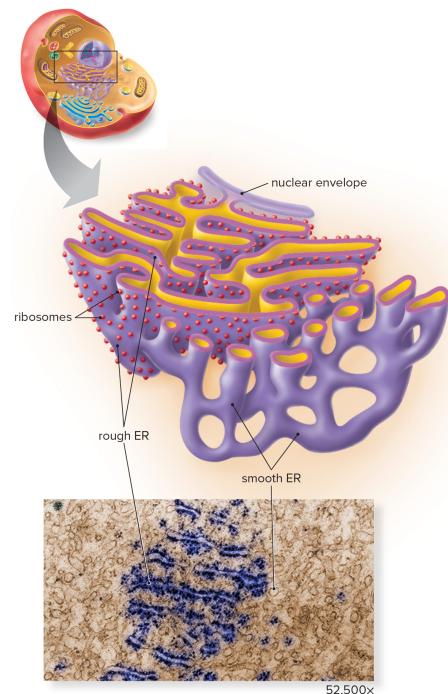
Het endoplasmatisch reticulum (figuur 41) is een complex systeem van membraan-kanalen en ‘zakjes’. Het is fysiek verbonden met de buitenste membraan van het nucleair-membraan. We kunnen 2 soorten reticulum onderscheiden, we beginnen met de ruwe variant. Het is bezaaid met ribosomen, en dient vooral voor de modificatie van eiwitten in lumen en vormt transportvesikels die naar het Golgi apparaat gaan. De gladde variant, is continu met het ruw endoplasmatisch reticulum, het bevat wel geen ribosomen. Het dient vooral om stoffen zoals fosfolipiden en steroïden te synthetiseren. De exacte molecule die geproduceerd wordt is wel afhankelijk van het type cel.

#### 3.5.3.2 Golgi apparaat

Het Golgi apparaat kan het best vergeleken worden met een transfer station: het is verantwoordelijk voor de transfer van moleculen tussen het endoplasmatisch reticulum en andere vesikels (blaasjes). Vesikels worden ontvangen uit het ruwe én gladde endoplasmatisch reticulum, ze worden binnenvoer geactiveerd en verplaatst totdat ze uiteindelijk gesorteerd en weggestuurd worden. De moleculen die het apparaat terug verlaten worden wederom in vesikels verpakt. Ze eindigen terug in het endoplasmatisch reticulum of het plasmamembraan. In dierlijke cellen zijn sommige van de vesikels lysosomen. Qua bouw is het Golgi apparaat een stapel afgeplatte zakjes. Net zoals glad endoplasmatisch reticulum bevat het apparaat geen ribosomen, maar het Golgi apparaat is wel compacter.

#### 3.5.3.3 Lysosomen

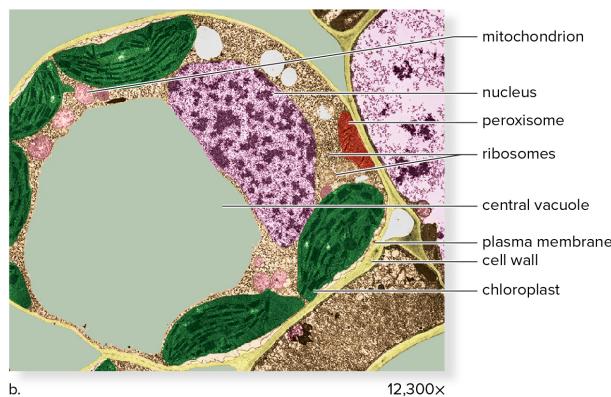
Lysosomen zijn vesikels die moleculen of delen van de cel verteren. Het zijn dus intracellulaire verteringsenzymen.



Figuur 41: Endoplasmatisch reticulum

### 3.5.4 Vacuole

Een vacuole (figuur 42) is een membraanzakje dat een stuk groter is dan vesikels. Het kan meerdere meerdere functies aan nemen binnen de cel: afvoer van overtollig water, vertering en opslag van plantpigmenten of vet.

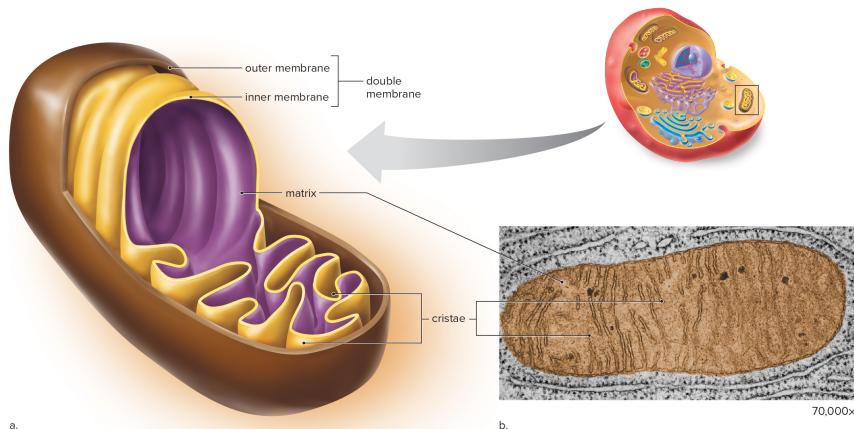


Figuur 42: Vacuole

### 3.5.5 Energie-organelen

#### 3.5.5.1 Mitochondriën

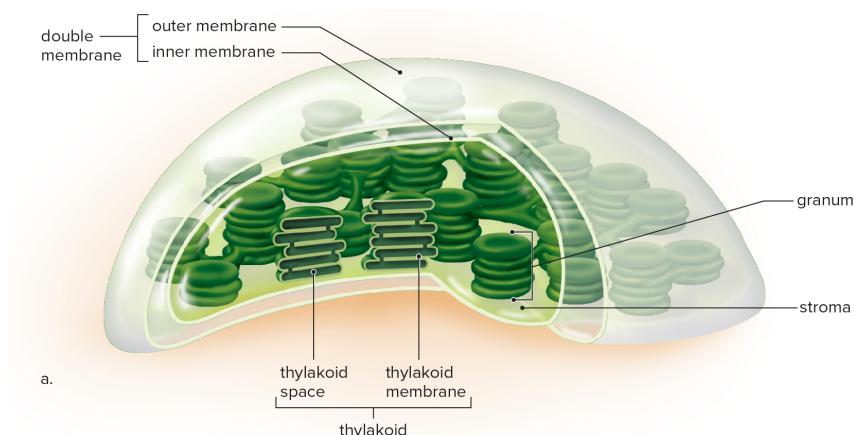
Mitochondriën vinden we zowel in planten als dieren, ze zijn erg klein waardoor ze enkel te zien zijn met een elektronenmicroscoop. Ze hebben een dubbelmembraan waarbij de binnenneste membraan een groter oppervlak heeft dan de buitenste. Dit betekent dat er plooien moeten komen in het binnenneste membraan, deze plooien noemen we cristae. Binnenin zit de matrix, dit bevat enzymen die koolhydraatafbraak ondersteunen, om dan ATP te synthetiseren. Verdere functies van Mitochondriën worden verduidelijkt in sectie 6.



Figuur 43: Mitochondriën: The Powerhouse of The Cel!

#### 3.5.5.2 Chloroplasten

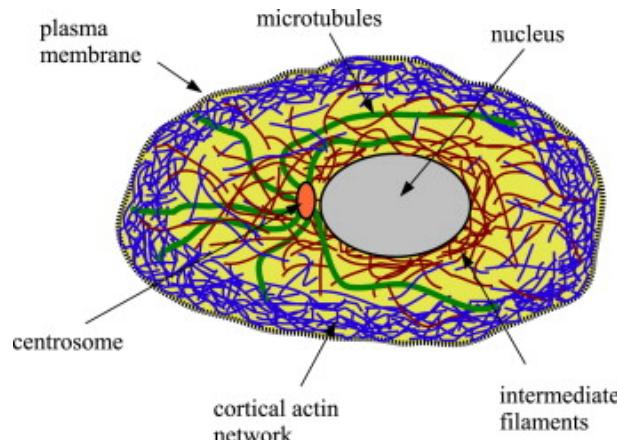
Dit celorganel gebruikt zonne-energie om koolhydraten aan te maken via het fotosynthese-proces. We vinden de chloroplast terug in planten en algen. Het bestaat uit 3 membraansystemen, eerst en vooral hebben we een dubbelmembraan die het stroma omhult. Het derde membraan vormt de thylakoiden. Deze bevatten het pigment om zonlicht op te vangen. Chloroplasten hebben hun eigen DNA en ribosomen.



Figuur 44: Chloroplast

### 3.5.6 Cytoskelet

Het cytoskelet is opgebouwd uit proteïnen en vormt een netwerk van onderling verbonden proteïnenfilamenten. Het strekt zich uit van de kern tot aan het plasmamembraan, en wordt meestal enkel gevonden in eukaryote cellen. Een cytoskelet zorgt voor behoud van vorm in de cel.

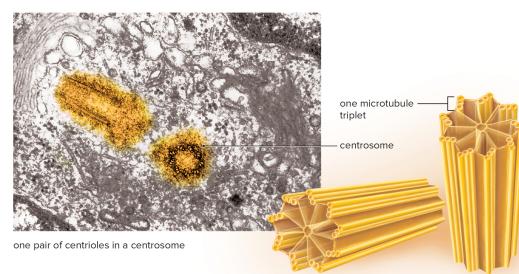


Figuur 45: Cytoskelet

Als we verder inzoomen op het cytoskelet, zien we dat het opgebouwd is uit microtubuli. Het zijn kleine, holle cilinders die de vorm van de cel grotendeels bepalen. De synthese hiervan wordt gecontroleerd door het centrosoom. De microtubuli zorgen voor behoud van de cel-vorm en fungeren als transportbaan voor organellen en andere materialen. Het geheel is dynamisch: de lengte wordt eenvoudig aangepast afhankelijk van waar in de cel stoffen afgeleverd moeten worden. Naast de microtubuli zijn er de intermediaire filamenten en actine filamenten. De intermediaire filament bieden net zoals de microtubuli stevigheid via een netwerk tussen de celkern en de plasmamembraan. Het grootste verschil met microtubuli is dat de intermediaire filamenten veel minder dynamisch zijn. Tot slot zijn er de actine filamenten. Ze vormen een dicht netwerk net onder het plasmamembraan. Door het afbreken aan één kant en terug opbouwen aan de andere kant, zorgen zij voor de bewegelijkhed van een cel.

### 3.5.7 Centriolen

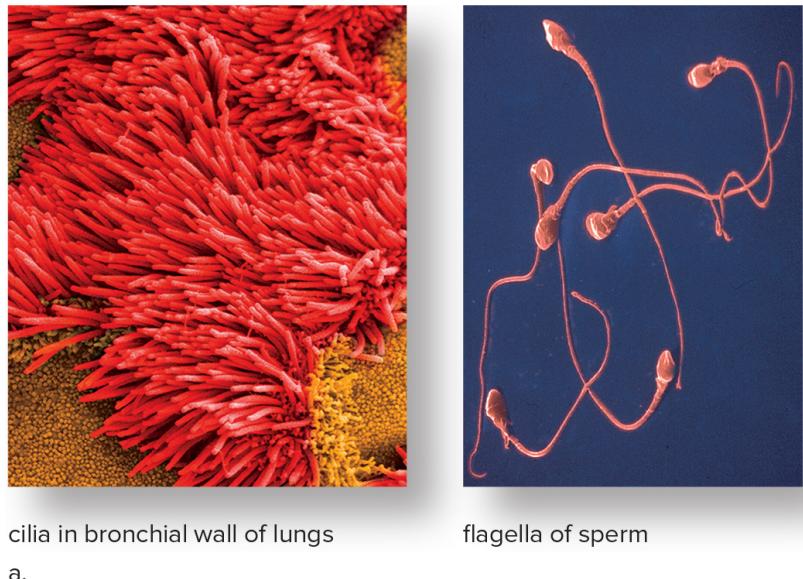
Een centriool is gemaakt van negen sets microtubuli tripletten. In de cel liggen twee centriolen loodrecht op elkaar, zij vormen het centrosoom. We vinden deze structuren enkel in dierlijke cellen, niet in plantencellen. Ze zijn verantwoordelijk voor het organiseren van microtubuli tijdens de celdeling.



Figuur 46: Centriolen

### 3.5.8 Cilia en flagellen

We vinden cilia en flagellen (figuur 47) in eukaryote levensvormen. Ze zijn essentieel voor beweging van de cel of de vloeistoffen rond de cel. Beiden zijn vergelijkbaar in opbouw, namelijk een 9+2 patroon van microtubuli. De cilia zijn wel korter (maar talrijker) dan flagellen.



Figuur 47: Cilia en flagellen

## 3.6 Extracellulaire structuren

### 3.6.1 Celwand

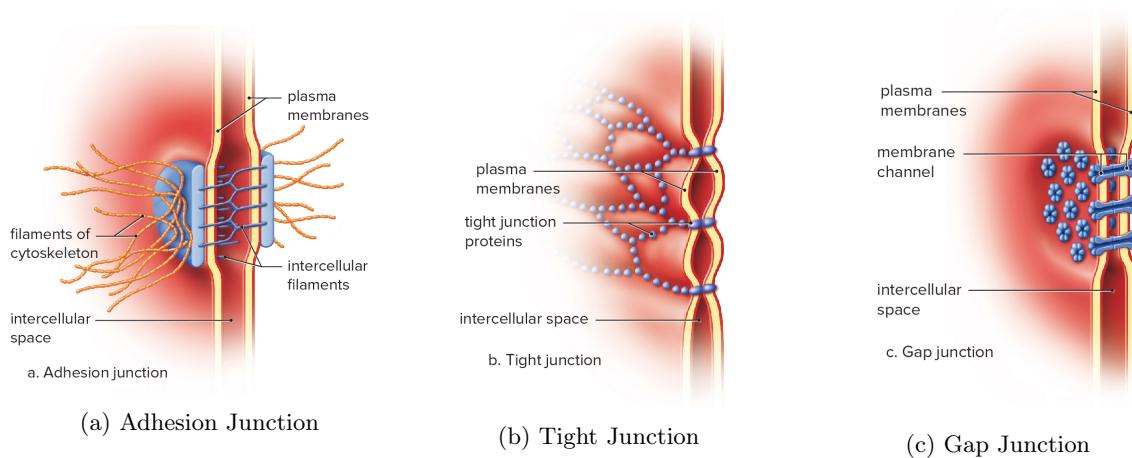
De celwand biedt ondersteuning aan veel niet-dierlijke cellen zoals planten, schimmels en protisten. Er zijn ook bacteriën die een celwand hebben, maar dit is een andere structuur. De planten-celwand kent altijd een primaire celwand. Deze bestaat uit cellulose fibrillen en andere polymeren. Deze wand rekt als de cel groeit. Sommige cellen hebben ook nog een secundaire wand die vormt binnen de primaire celwand. We vinden deze structuur bij houtige planten. De tweede wand voegt lignine toe aan de mix, dit component geeft extra kracht en bescherming. Cellen kunnen verbonden worden door plasmodesmata. Dit zijn kanalen die door de celwand gaan om zo de uitwisseling van water en kleine moleculen mogelijk te maken.

### 3.6.2 Extracellulaire matrix

De extracellulaire matrix (ECM) vinden we in dierlijke cellen, dit te vervangen van de celwand. Het is opgebouwd uit een complex netwerk van proteïnen en polysachariden, voorbeelden hiervan zijn collageen en elastine. Er bestaan meerdere types van deze matrix, zo kunnen we flexibel kraakbeen maken en relatief hard bot.

### 3.6.3 Juncties tussen cellen

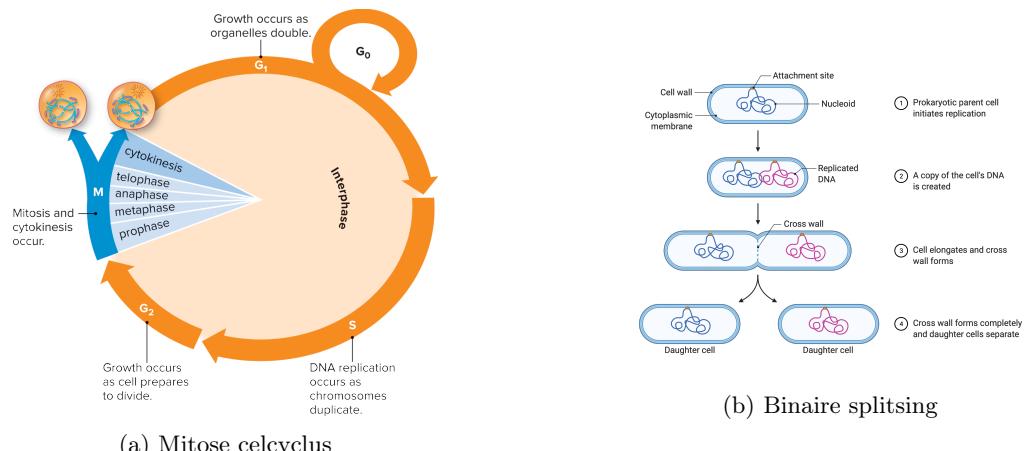
Adhesie juncties (figuur 48a) hebben interne cytoplasmatische structuren verbonden door intercellulaire filamenten. Het zijn stevige maar flexibele verbindingen tussen cellen. ‘Tight’ juncties (figuur 48b) zijn lekdichte verbindingen tussen cellen. Tot slot zijn gap juncties (figuur 48c) de juncties die zorgen voor communicatie tussen twee aanliggende cellen. Het zijn kanalen doorheen de plasmamembranen.



Figuur 48: Verschillende soorten juncties

### 3.7 Cellulaire reproductie

Bij prokaryote cellen kennen we binaire splitsing (figuur 49b). Eukaryote cellen kennen 2 manieren van reproductie, het meiose proces wat meestal bij seksuele reproductie voorkomt. Het mitose proces is veel vaker gebruikt om een kloon te maken van de cel. We zien dat dit in een soort cyclus gebeurt (figuur 49a). Dit proces wordt sterk gecontroleerd in ons lichaam, als er te weinig mitose is worden cellen niet meer vervangen. Te veel mitose zorgt daarentegen voor cellen die ongecontroleerd reproduceren, wat de voorbode is voor tumors en kankers.



Figuur 49: Celreproductie

### 3.8 Wat met virussen?

We zien virussen eigenlijk niet als levende organismen. Dit komt omdat ze niet opgebouwd zijn volgens normale cellen. Het kan zichzelf niet voortbewegen of zelfs voortplanten (een virus heeft een gastheercel nodig om zich voort te planten). Er is zelfs geen metabolisme aanwezig in een virus, we zien ze dus als dood materiaal. Er zijn enkele onderdelen die we herkennen bij alle virussen: we zien altijd een buitenste capsid die samengesteld is uit proteïnen. Binnenin is er DNA of RNA aanwezig, het viraal genoom is zeer klein en kan verschillende vormen aan nemen. We kunnen over het algemeen ook stellen dat ze kleiner zijn dan andere cellen (we hebben een elektronen microscoop nodig om ze te zien). Sommige virussen hebben ook nog spikes voor de aanhechting met de gastheercel, er kan ook een enveloppe aanwezig zijn.

## 4 Cases in rode biotechnologie

### 4.1 Wat is rode biotechnologie

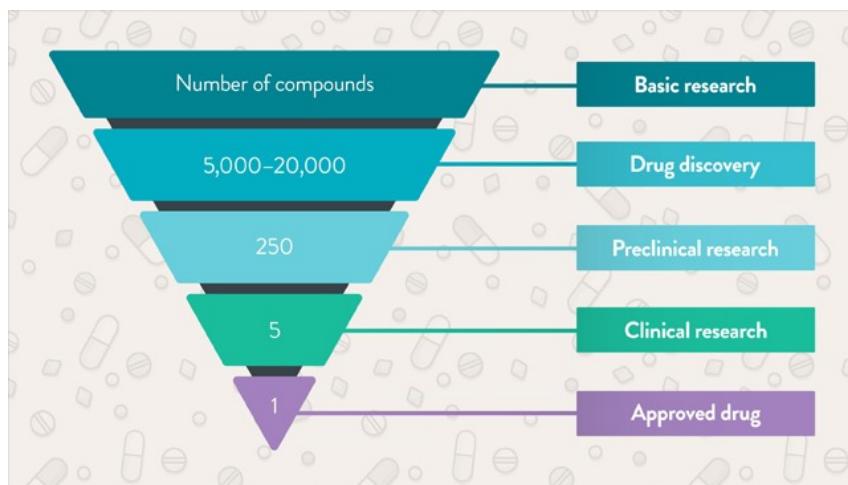
Rode biotechnologie gaat over de medische toepassingen die mogelijk gemaakt worden door onderzoek naar biotechnologie. Enkele voorbeelden zijn tests, ontwikkeling van geneesmiddelen en ontwikkeling van vaccins.

#### 4.1.1 Diagnostische tests

Door ontwikkelingen in diagnostische tests, is het mogelijk om sneller en goedkoper ziektes en aandoeningen op te sporen. Een voorbeeld hiervan is biomarker detectie. Biomarkers zijn moleculen die makkelijk detecteerbaar zijn, en een sterke indicator zijn van een aanwezige ziekte of de gezondheidstoestand van het lichaam. PSA is een voorbeeld van een biomarker die gebruikt wordt bij het opsporen van prostaatkanker. Ook de NIPT test wordt vaak gebruikt bij het detecteren van genetische afwijkingen bij ongeboren baby's, via een simpele bloedafname bij de moeder (risicoloos) kunnen we een schatting maken van de gezondheid van de baby.

#### 4.1.2 Geneesmiddelenontwikkeling en gentherapie

Door het toepassen van de 'High throughput screening' (HTS) methode (figuur 50), is het mogelijk om geneesmiddelen te ontwikkelen. In dit proces beginnen we met onderzoek naar moleculen die potentieel gebruikt kunnen worden om bacteriën te doden. Er wordt een keuze gemaakt om enkele duizenden moleculen te testen. In deze tests worden de bacteriën samengebracht met 1 molecule om te zien of ze zullen sterven, dit is volledig geautomatiseerd. Alle stoffen die erin slagen om de bacterie te doden gaan naar de volgende stap. Hier testen we op toxiciteit bij mensen, dit gebeurd op vrijwel dezelfde manier maar dan met menselijke cellen in plaats van bacteriën. Alle stoffen die niet toxicisch zijn voor menselijk weefsel, kunnen door gaan naar de tests op organismen. Hierbij wordt de stof eerst toe gediened aan gezonde dieren, om te zien wat de effecten zijn. We gaan dan stapsgewijs over naar dieren die besmet zijn met de bacterie. Als deze testen positief zijn, kunnen we over gaan naar menselijke testen. Indien ook deze een gunstig resultaat opleveren, hebben we een werkend medicijn gevonden.



Figuur 50: Hight Throughput screening

Door biotechnologie kunnen we ook bacteriën gebruiken om medicijnen mee te maken. Een voorbeeld hiervan is dat we insuline voor diabeten niet meer halen bij varkens, maar laten produceren door een bacterie. Meer hierover in sectie **TEMP REF TO MOLECULAIRE GENETICA**.

#### 4.1.3 Vaccin ontwikkeling

Bij de ontwikkeling van een klassiek vaccin, is het doel om een verzwakte variant van het virus in kwestie te vinden. Dit verzwakte virus zal dan in contact komen met B-cellen, die op hun beurt antilichamen zullen aanmaken om het virus te herkennen. Dit antilichaam zal dan ook onthouden worden door ons immuunsysteem om dan efficiënter te kunnen reageren als het volwaardige virus ons lichaam binnen komt.

Een RNA vaccin geeft de genetische informatie om het antilichaam te produceren direct aan ons immuunsysteem. Dit kan door het feit dat we de RNA instructies via met een lipidejas tot in de cellen krijgen, hierna zal het ribosoom de instructies herkennen om dan te beginnen met de productie van de nodige proteïnen om de antilichamen aan te maken. Opnieuw krijgen we een soort geheugen van dit antilichaam, waardoor ons lichaam efficiënter reageert als het volwaardige virus ons lichaam binnen komt.

### 4.2 Case study: cellen gebruiken als therapeutisch agens

We gebruiken nu al cellen om mensen te genezen, zo doen we al jaren aan bloed transfusies en orgaan transplantaties. Deze klassieke methoden hebben wel enkele nadelen. Vooral bij orgaan donaties zien we vaak de afstotning van de nieuwe cellen, ook tekorten zijn een groot probleem bij deze technieken.

#### 4.2.1 Welke celtypes

De rode biotechnologie probeert dit op te lossen met behulp van verschillende technieken. In deze case study zullen we dieper ingaan op het gebruik van embryonale-, kiem- en stam-cellen. Dit zijn cellen die over het algemeen nog niet volledig gedifferentieerd zijn, en dus nog hun functie kunnen ‘kiezen’.

##### 4.2.1.1 Volwassen somatische cellen

Het grootste deel van een volwassen menselijk lichaam bestaat uit somatische cellen. Dit zijn de cellen die al gedifferentieerd zijn, omdat ze slechts een beperkte hoeveelheid mitose cycli kunnen ondergaan, gaan deze cellen na een tijdje ‘kapot’. Dit zijn dan ook de cellen die we proberen te vervangen door nieuwe cellen, die nog een langer leven voor zich hebben.

##### 4.2.1.2 Embryonale cellen

Embryonale cellen zijn cellen die aanwezig zijn bij in de blastula fase van de ontwikkeling van een embryo. Deze cellen zien we in drie verschillende soorten: totipotent, pluripotent en multipotent. Deze cellen kunnen respectievelijk differentiëren tot alle, veel of slechts bepaalde celtypen. In een ideaal geval gebruikt men dus het best totipotente cellen. In de praktijk zien we echter dat het vlotter is om met pluri- en multipotente cellen te werken. Deze celtypen hebben nog altijd een groot potentieel, maar zijn makkelijker om mee te werken dan totipotente cellen.

##### 4.2.1.3 Kiemcellen

Kiemcellen zijn cellen die meiose kunnen ondergaan. Bij de mens gaat dit dus om sperma en eicellen. In een volwassen lichaam zijn er relatief weinig cellen van dit soort aanwezig. We kunnen ze wel gebruiken om embryonale cellen te maken.

##### 4.2.1.4 Stamcellen

Stamcellen zijn in kleine mate aanwezig in een volwassen menselijk lichaam. We definiëren ze als cellen die zichzelf vernieuwen, niet gespecialiseerd zijn en hebben nog de mogelijkheid om te differentiëren naar een groot aantal verschillende celtypen. We maken ook een onderscheid tussen volwassen en embryonale stamcellen. Stamcellen zijn tevens de meest interessante cellen om mee te experimenteren.

Omdat stamcellen zo'n groot potentieel kennen, is er een grote vraag. Dit vormt een probleem omdat volwassen stamcellen vrij beperkt voorkomen in ons lichaam. Het gebruik van embryonale stamcellen komt dan weer met ethische problemen. Deze problemen kunnen echter opgelost worden door het modificeren van normale somatische cellen. Door vier specifieke genen te modificeren verkrijgen we een geïnduceerde pluripotente stamcel (iPSC). Deze stamcellen kunnen we dan zonder problemen gebruiken als substitutie voor een normale stamcel.

Over het algemeen verloopt het proces om iPSC's te maken als volgt: We nemen eerst enkele cellen van de patiënt. Deze cellen zullen we dan in vitro modificeren tot een iPSC. Deze laten we dan met specifieke moleculen differentiëren tot het gewenste celtype. Hierna kunnen we de cellen terug bij de patiënt inbrengen. Dit proces biedt enkele voordeelen, het is patiënt specifiek dus de risico's op afstorting dalen sterk. Het type cel waarmee men het proces start maakt niet uit, waardoor we gezonde cellen uit een willekeurig deel van het lichaam kunnen gebruiken om een beschadigd of ziek deel te genezen.

#### 4.2.2 Cellen als therapeutica

Cellen gebruiken als behandeling voor een ziekte is een vrij nieuwe ontwikkeling. Als voorbeeld kunnen we kijken naar de chemo behandeling voor kanker-patiënten. Traditioneel wordt chemo toegediend door de stof rechtstreeks in de bloedstroom te brengen. Hierdoor kan de chemo niet enkel de kankercellen aanvallen, maar ook gezonde cellen. We kunnen chemo op een specifieke plaats in het lichaam laten inwerken door gebruik te maken van cellen. Dit doet men door de chemo in te brengen bij een cel, die op zijn beurt enkel zijn inhoud vrijlaat bij een specifieke plaats in het lichaam zoals kankercellen. Deze methode heet targeted drug delivery.

Een tweede voorbeeld vinden we bij diabetisch patiënten. Door nieuwe  $\beta$ -cellen te maken uit de vooraf beschreven procedure, geven we een patiënt opnieuw de kans om op zichzelf insuline te produceren. Hier komt wel een belangrijk probleem naar boven, er zijn cellen die we makkelijk kunnen maken zoals huidcellen. Maar er zijn ook enkele celtypes die vrij lastig zijn om efficiënt te produceren zoals de cellen die nodig zijn om diabetisch te behandelen.

#### 4.2.3 Van cellen naar weefsels

Het is ook mogelijk om weefsels te maken met stamcellen. Deze weefsels zijn eigenlijk een groep cellen met een gelijkaardige functie die aan het samenwerken zijn. Voorbeelden hiervan zijn zenuwweefsel of spierweefsel. Opnieuw zijn er enkele weefsels die makkelijker te produceren zijn dan andere. Op dit moment is het nog onmogelijk om organen (wat een groep weefsels is) te maken met deze methoden.

### 4.3 Verschillende rollen van ingenieurs in rode biotechnologie

We hebben ingenieurs nodig om deze doorbraken mogelijk te maken. Om vooruitgang te maken op deze vlakken, moet er een enorme hoeveelheid data verwerkt worden. Dit noemt datamining. Hiervoor hebben we niet alleen ingenieurs nodig met verstand van biologie, maar ook van elektronica en software om alles zo efficiënt mogelijk te laten verlopen.

## 5 De dynamische cel

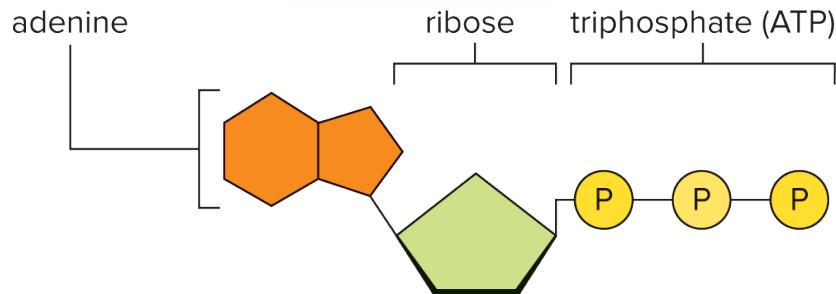
### 5.1 Wat is energie?

We kennen 2 vormen van energie: potentiële en kinetische energie. We kunnen altijd vormen van energie omzetten in elkaar, er komt wel een verlies kijken bij deze omzetting onder de vorm van warmte. Onze biosfeer haalt zijn energie uit de zon.

In de biologie zullen energie vaak uitdrukken in calorieën. Een calorie wordt gedefinieerd als de energie die nodig is om 1 gram zuiver water met 1 kelvin te laten toenemen. De energie waarden van onze voeding is vaak uitgedrukt in kilocalorieën oftewel 1000 calorieën.

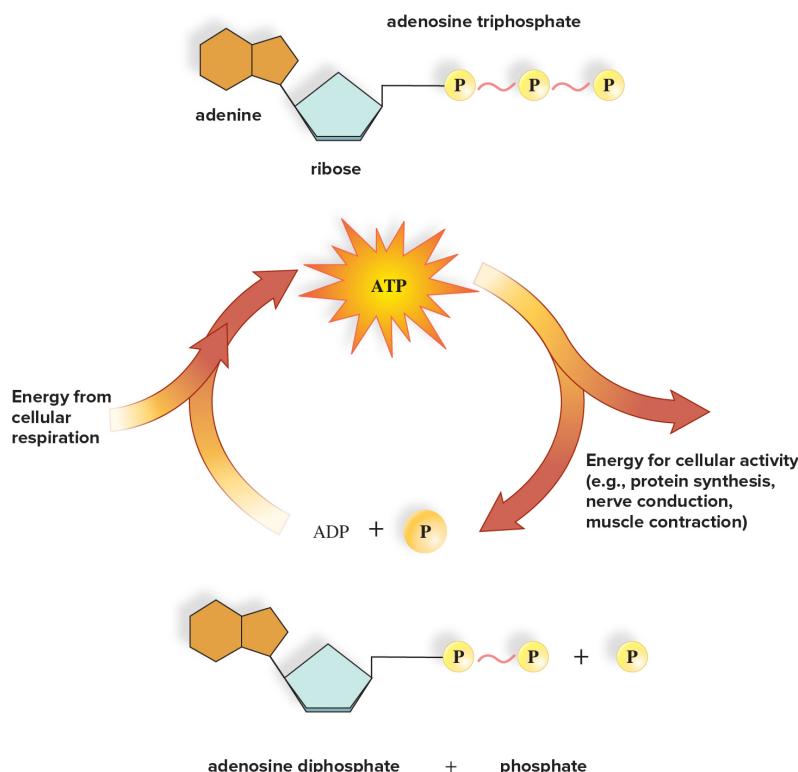
## 5.2 ATP: energie voor cellen

Adenosinetrifosfaat oftewel ATP (zie figuur 51) is een molecule dat als universele ‘energiemunt’ dient in cellen. ATP wordt dan ook bij enorm veel reacties gebruikt.



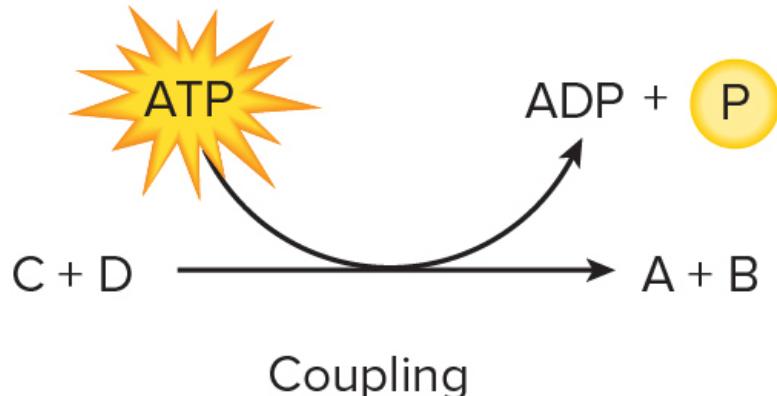
Figuur 51: Adenosinetrifosfaat

ATP kan makkelijk als energie bron dienen omdat het instabiel is, het is namelijk gemaakt uit één nucleotide samen met drie fosfaatgroepen. Door deze onstabiliteit, verliest ATP graag een fosfaatgroep om ADP oftewel adenosinedifosfaat te vormen. Bij dit proces komt heel wat energie vrij. Om terug te gaan naar ATP wordt er energie van de cellulaire ademhaling gebruikt om ADP en de overgebleven fosfaatgroep terug samen te zetten. Deze cyclus van afbraak en regeneratie blijft zich constant herhalen (zie figuur 52).



Figuur 52: ATP cyclus

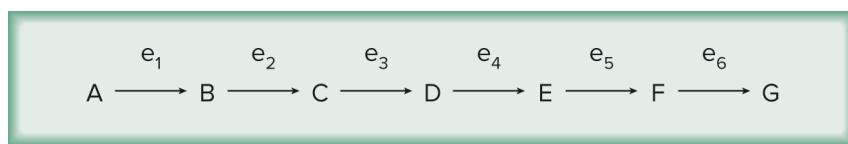
Reacties die ATP gebruiken als energiebron, gebruiken vaak het gekoppeld reactie mechanisme. Dit houdt in dat de energie die nodig is om de reactie uit te voeren geleverd wordt door een parallel lopende afbraak van ATP tot ADP (Zie figuur 53). ATP wordt op zijn beurt gemaakt door de activiteiten van chloroplasten en mitochondriën. Deze zetten respectievelijk via fotosynthese en cellulaire ademhaling, zonnelicht om in ATP.



Figuur 53: ATP koppeling

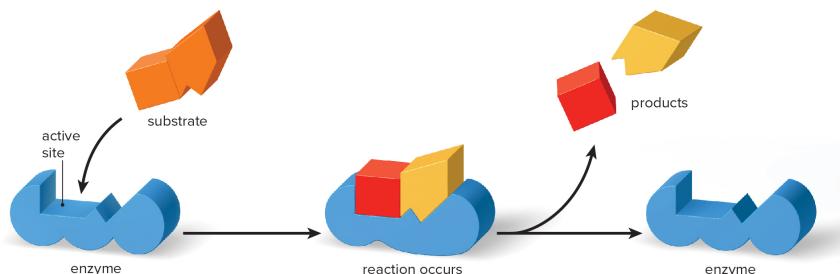
### 5.3 Metabolische pathways en enzymen

De meeste biologische processen verlopen traag en met veel tussenstappen, dit is natuurlijk niet wenselijk voor de dagelijkse werking van ons lichaam. Om elk van deze deelprocessen te versnellen maakt de natuur gebruik van enzymen (zie figuur 54), dit zijn een soort biologische katalysatoren.



Figuur 54: Reactiestappen ondersteund door enzymen

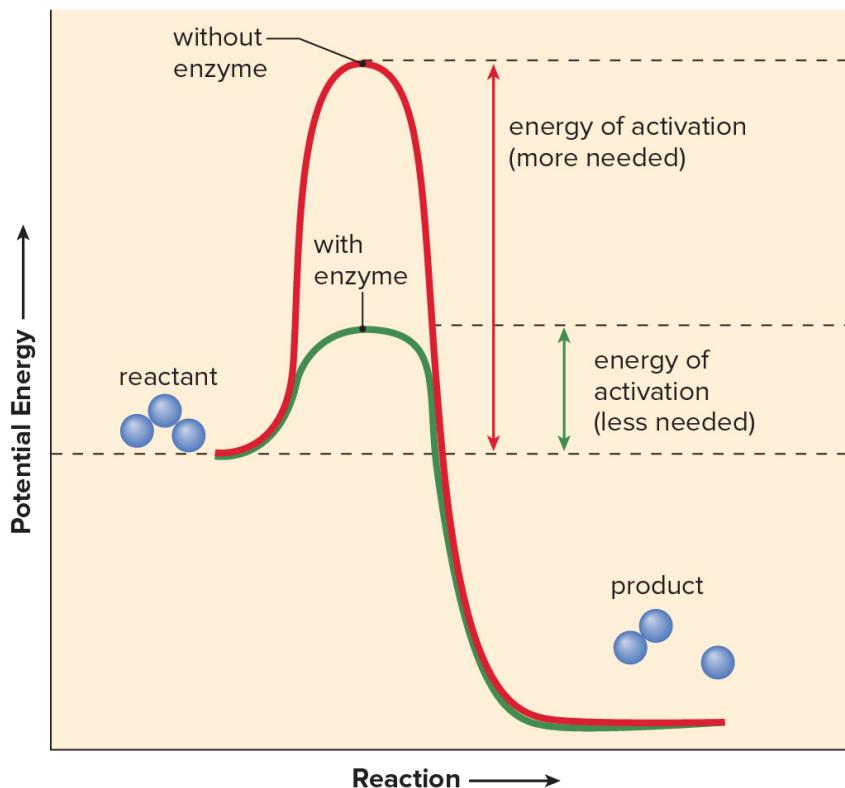
Een enzym heeft een actieve site waarop de echte reactie kan gebeuren. Deze site heeft een specifieke vorm zodat enkel het gewenste substraat gebruik kan maken van het enzym (zie figuur 55). Een belangrijke eigenschap is dat enzymen hergebruikt kunnen worden, dit wil zeggen dat we niet telkens onze energie moeten gebruiken om katalysatoren te produceren.



Figuur 55: Sleutel Slot model

Er is echter wel een probleem met de recyclage van enzymen. Het is mogelijk dat de reactie te veel door gaat, zodat er te veel eindproduct gevormd wordt. Een oplossing is feedbackinhibitie, dit wil zeggen dat het eindproduct ervoor zal zorgen dat één van de eerste enzymen in het reactiemechanisme zijn werk niet meer kan doen, waardoor dat de reactie ook niet meer wordt verdergezet.

Enzymen verlagen de activeringsenergie  $E_a$  van de reactie. Deze lagere activatie-energie zorgt ervoor dat het proces exponentieel sneller zal verlopen (zie figuur 56).



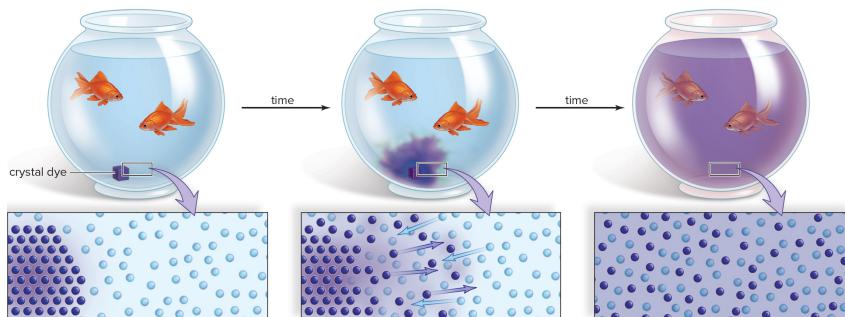
Figuur 56: Activatie energie

## 5.4 Cellulaire transportsystemen

Cellulaire transportsystemen zijn systemen die het transport door de plasmamembraan regelen. Het membraan is selectief doorlaatbaar: sommige stoffen passeren vrij, andere worden tegengehouden. We kunnen grosso modo drie verschillende manieren onderscheiden: passief, actief en bulk transport.

### 5.4.1 Passief transport

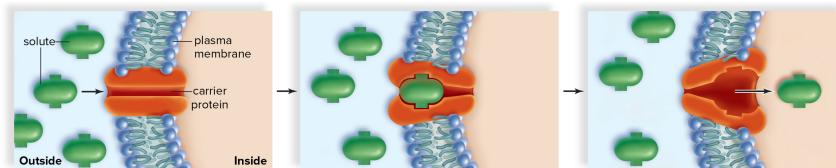
Passief transport is gewone eenvoudige diffusie, er is geen energie nodig voor dit proces. De moleculen bewegen namelijk volgens hun concentratiegradiënt (van hoge concentratie naar lage concentratie), het proces stopt pas als er evenwicht bereikt wordt. De energie die nodig is voor deze beweging komt niet van de cel, maar is een gevolg van het feit dat moleculen op zichzelf al in beweging zijn. Sommige moleculen zijn zelfs in staat om tussen de fosfolipiden van de celmembraan te geleiden.



Figuur 57: Diffusie

### 5.4.1.1 Facilitated diffusion

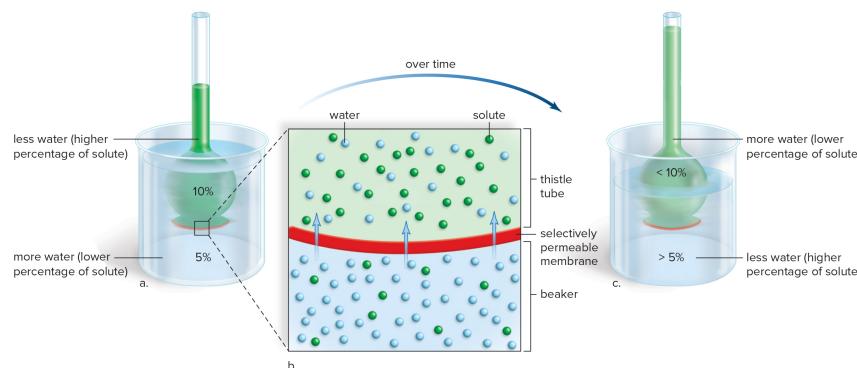
Opnieuw gaat het hier om diffusie, waarbij dat stoffen van een hoge concentratie naar een lage concentratie vloeien. Maar bij facilitated diffusion krijgen de moleculen hulp van een membraanproteïne om op een efficiëntere manier door het celmembraan te gaan.



Figuur 58: Facillitated diffusion

### 5.4.2 Osmose

Osmose is diffusie van water door een semipermeabel membraan. Hierbij bewegen watermoleculen van een lage concentratie opgeloste stof naar een hoge concentratie opgeloste stof. Bij cellen zal dit transport vaak gaan via aquaporines, dit zijn proteïnen in de kernmembraan die de passage van water mogelijk maken.



Figuur 59: Osmose

#### 5.4.2.1 Isotone omstandigheden

We spreken over isotone omstandigheden als de concentratie van opgeloste stoffen binnen en buiten de cel gelijk zijn. Dit zorgt ervoor dat er netto geen watertransport plaats vindt. Rode bloedcellen bevinden zich in een isotone situatie als ze zich in een 0.9% zoutoplossing (saline) bevinden.

#### 5.4.2.2 Hypotone omstandigheden

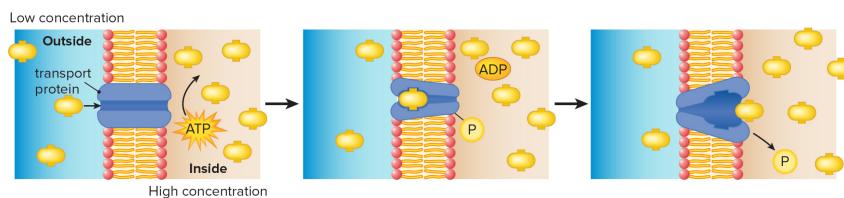
We spreken over hypotone omstandigheden als de concentratie van de opgeloste stoffen binnen de cel groter is dan de concentratie opgeloste stoffen buiten de cel. Deze omstandigheden zorgen ervoor dat water zich zal begeven naar de cel, en die zal als gevolg ook opzwollen. In extreme gevallen kan een cel hierdoor zelfs barsten. Planten gebruiken hypotone omstandigheden om hun vacuole te vullen met water, hierdoor is er wat extra stevigheid.

#### 5.4.2.3 Hypertone omstandigheden

We spreken over hypertone omstandigheden als de concentratie van de opgeloste stoffen binnen de cel kleiner is dan de concentratie opgeloste stoffen buiten de cel. Deze omstandigheden zorgen ervoor dat water zich zal begeven naar de buitenkant van de cel. Dit zal zorgen voor het inkrimpen van de cel in kwestie. In extreme gevallen verliest de cel hierdoor de mogelijkheid om te functioneren.

### 5.4.3 Actief transport

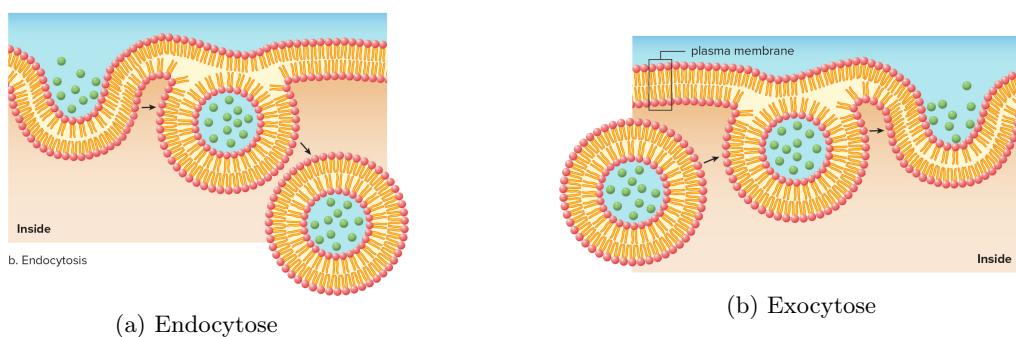
Bij actief transport gebruikt de cel energie om moleculen te bewegen tegen de concentratiegradiënt. Dit proces verloopt opnieuw via transportproteïnen in de celmembraan.



Figuur 60: Actief transport

### 5.4.4 Bulktransport

Bulktransport wordt meestal gebruikt om macromoleculen te transportereren. Deze zijn namelijk vaak te groot om via normale transportmoleculen vervoerd te worden. Dit proces werkt door de vorming van vesikels waardoor het transport door het cilmembraan mogelijk wordt. We spreken van endocytose (figuur 61a) waarbij we een molecule of partikels naar binnen bewegen, of van exocytose (figuur 61b) waarbij moleculen of partikels naar buiten bewegen.



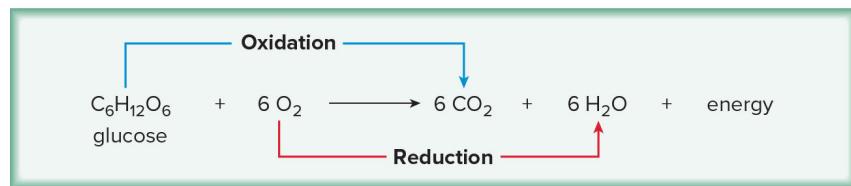
Figuur 61: Bulktransport

## 6 Energie voor cellen

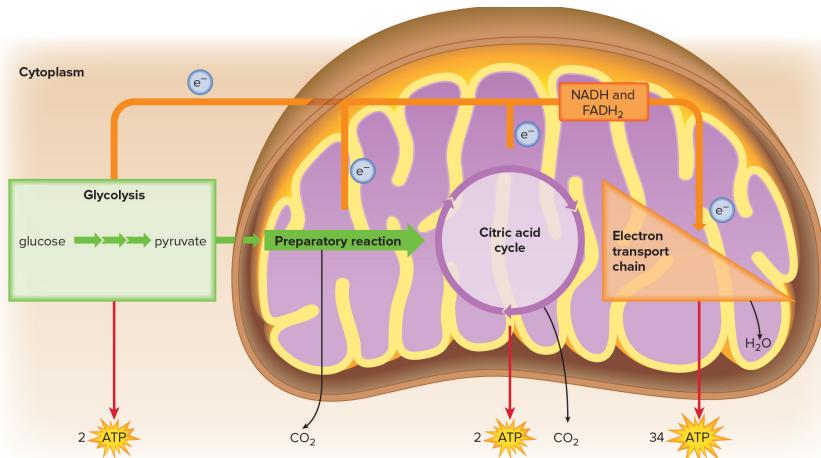
### 6.1 Cellulaire respiratie

Cellulaire respiratie is het proces om ATP moleculen te produceren. Dit gebeurt in de mitochondriën door glucose te oxideren tot  $CO_2$  en  $H_2O$ . De zuurstof die nodig is om dit alles tot een goed einde te brengen, wordt geleverd door onze ademhaling. Vanuit een zuiver biochemisch standpunt is dit het omgekeerde van fotosynthese.

De afbraak van glucose gebeurt stapsgewijs zoals beschreven in sectie 5.3 (zie figuur 62). De energie die vrij komt wordt gebruikt om ATP mee te produceren. De aanwezige co-enzymes (niet-proteïne moleculen die enzymwerking ondersteunen) worden gereduceerd ( $+H^+$ ) zoals bijvoorbeeld  $NAD^+ \rightarrow NADH$ .

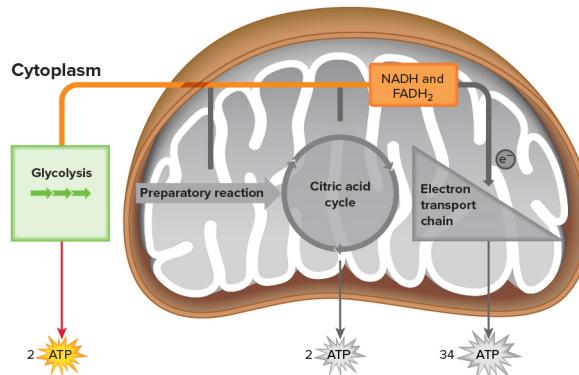


Figuur 62: Oxidatie suiker



Figuur 63: ATP productie

## 6.2 Buiten de mitochondriën: glycolyse

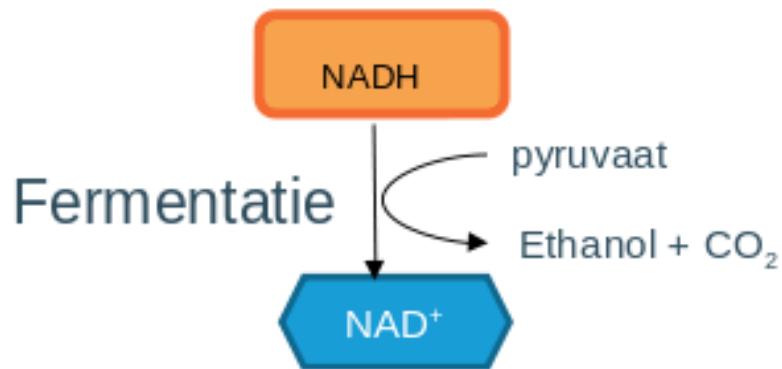


Figuur 64: Glycolyse

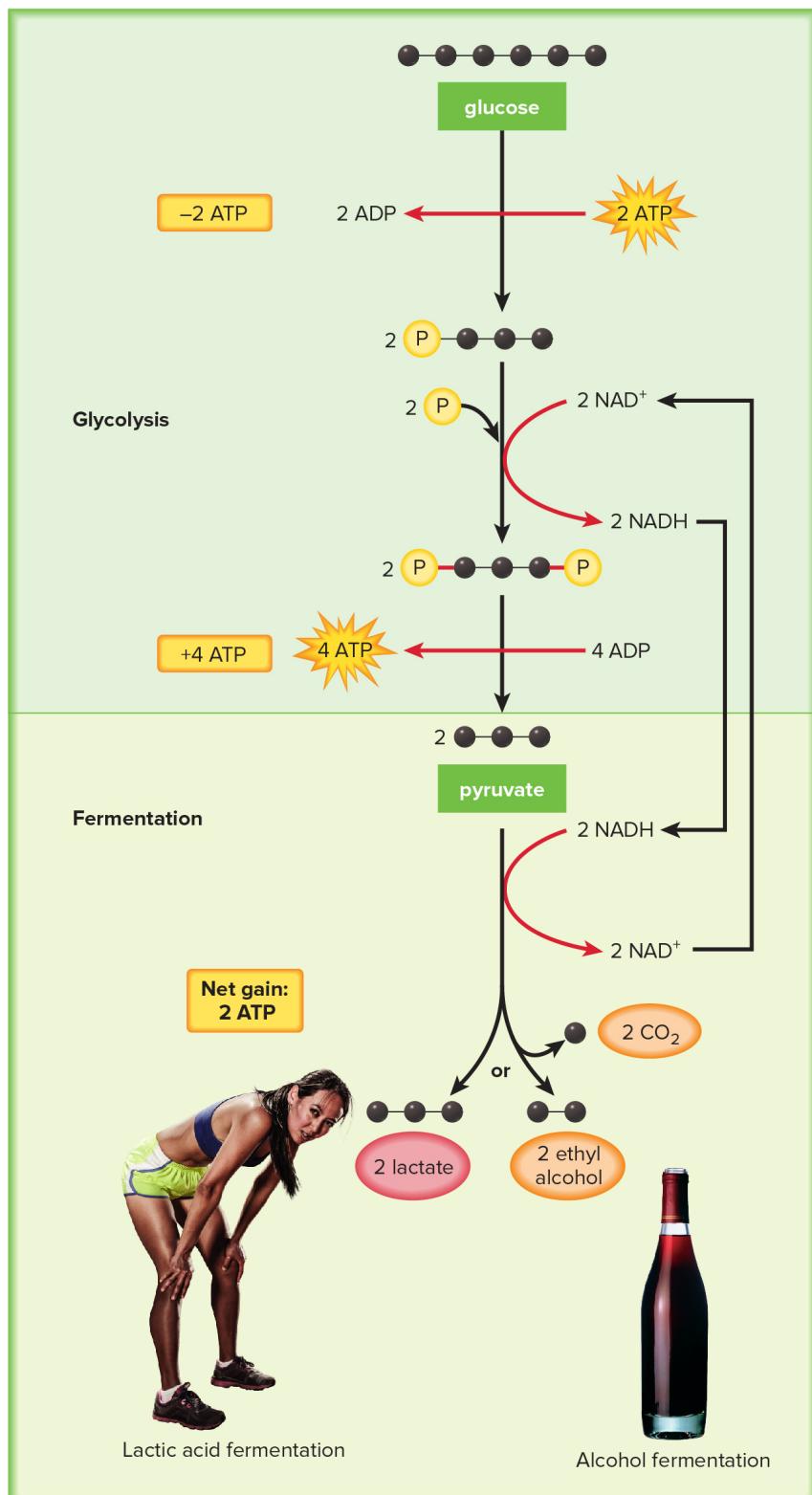
Glycolyse gebeurt vooral in eukaryote cellen. Het proces vindt plaats in het cytoplasma van de cel. Hierbij wordt glucose afgebroken tot twee moleculen pyruvaat. Hierbij komt ATP en NADH vrij. zie figuur 64.

## 6.3 Buiten de mitochondriën: fermentatie

Fermentatie is een anaeroob proces, dit wil zeggen dat er geen zuurstof wordt gebruikt bij het de productie van energie moleculen (zie figuur 65). Afhankelijk van de cel waarin fermentatie plaats vindt, zullen de reactie producten verschillen. In de mens zullen we vooral pyruvaat omzetten naar lactaat/melkzuur, maar gisten kunnen pyruvaat omzetten naar ethanol en  $CO_2$ .



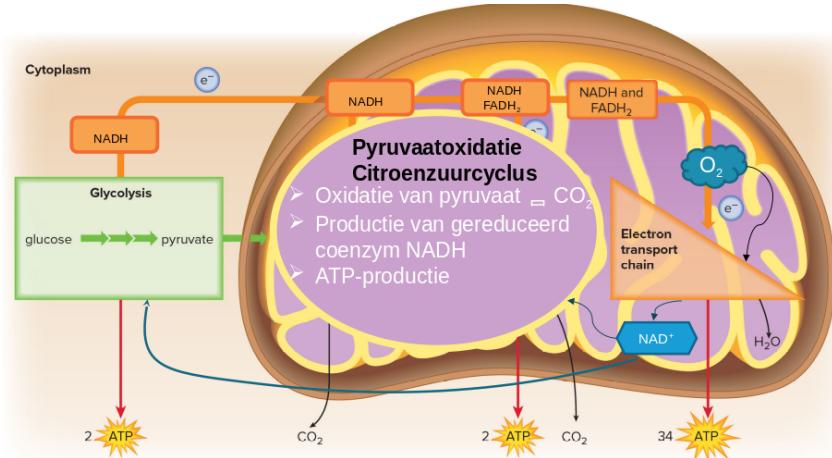
Figuur 65: Fermentatie



Figuur 66: Het volledige energie productie proces buiten de mitochondriën

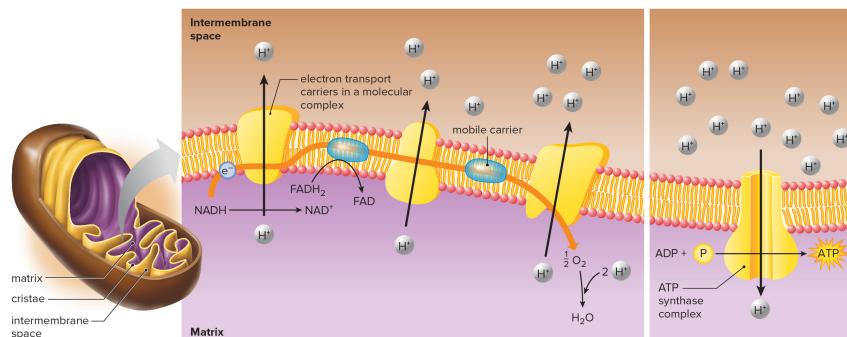
## 6.4 In de mitochondriën

Binnen de mitochondriën vindt de pyruvaatoxidatie en citroenzuurcyclus plaats. De productie van ATP loopt aan de hand van het schema in figuur 67.



Figuur 67: Mitochondriën energieproductie

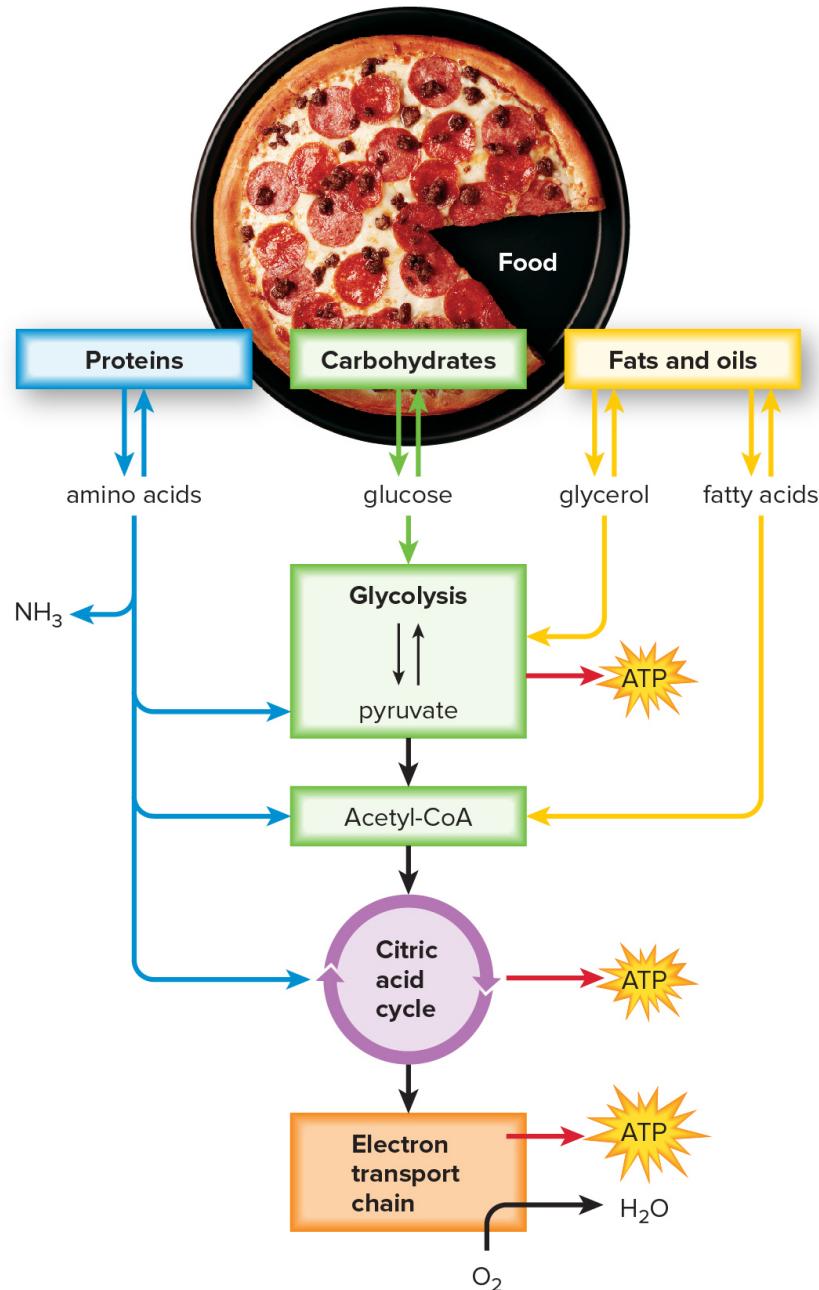
De elektronentransportketen ETC binnen de mitochondriën volgt het schema uit figuur 68. Hierbij stelt de oranje pijl de ‘flow’ van elektronen aan via ‘carriers’ in de ETC. H<sup>+</sup> ionen accumuleren in de intermembraanruimte van het mitochondrium, deze gradiënt wordt gebruikt in het ATP-synthasecomplex om ATP aan te maken.



Figuur 68: Elektronentransportketen

## 6.5 Metabolisme van voeding

Cellen gebruiken ook andere energiebronnen zoals proteïnen en vetten. Dit proces loopt volgens het schema in figuur 69.



Figuur 69: Energie in voeding

## 7 Constructie-biotechnologie

### 7.1 Wat is constructie-biotechnologie

Bouw-biotechnologie is een interdisciplinair gebied met toepassingen van milieu- en industriële microbiologie en biotechnologie in de geo-technische en civiele techniek. In dit hoofdstuk zullen we ons focussen op beton.

### 7.2 Beton

De samenstelling van beton is als volgt:

- Cement
  - tricalciumsilicaat ( $3CaO \cdot SiO_2$ )
  - dicalciumsilicaat ( $2CaO \cdot SiO_2$ )
  - tricalciumaluminaat ( $3CaO \cdot Al_2O_3$ )
  - tetra-calciumaluminofierriet ( $4CaO \cdot Al_2O_3Fe_2O_3$ )
- Water
- Aggregaat: Zand / grind - vermalen steen

Als men dit initieel mengt, vormt er een soort amorf gel. Als deze substantie uit hard, krijgen we beton. Afhankelijk van de onderlinge percentuele aanwezigheid van de verschillende ingrediënten, krijgen we beton voor specifieke toepassingen.

Omdat beton zo frequent gebruikt wordt als bouw materiaal, is het essentieel dat we de faal-karakteristieken goed in kaart brengen. In dit hoofdstuk focussen we vooral op het kraak gedrag van beton. We kiezen hier bewust om kraken omdat het de belangrijkste reden voor het falen van beton is, daarnaast bestaan er al enkele technieken om dit gedrag te vermeiden dankzij biotechnologie.

#### 7.2.1 Scheuren herstellen in beton

Als men een scheur opmerkt in een constructie gemaakt uit beton, is het aangeraden om deze onmiddellijk op te vullen. Idealiter is er geen tussenkomst nodig van een persoon om dit op te merken, maar wordt de scheur zonder meer op zichzelf hersteld. Voor we het kunnen hebben over biologische oplossingen bespreken we kort even de niet-biologische methoden.

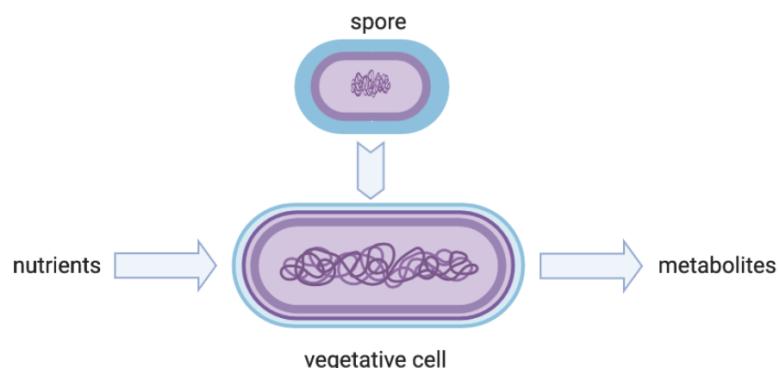
Het autogeen proces gebruikt enkel de originele componenten van het materiaal om aan zelf-herstelling te doen. Dit wordt mede mogelijk gemaakt door de specifieke chemische samenstelling van het beton. Onder gunstige toestanden (temperatuur, ...) kan dit proces zelfs versneld worden. Een autonoom proces werkt met (niet-biologische) additieven om het herstel mogelijk te maken. Er worden twee verschillende componenten gebruikt: een omhulsel (ureum-formaldehyde, glas, silica) en een opvulmiddel (calciumnitraat, epoxyresin, ...).

#### 7.2.2 Biologisch zelf-herstellend beton

Een biologisch proces om het zelf-herstel van beton mogelijk te maken is het ‘autonom’ proces. Het lijkt sterk op de autonome aanpak uit de niet-biologische technieken, met als verschil dat de additieven ditmaal van biologische aard zijn.

De organismen die verantwoordelijk zijn voor het opvullen van de scheuren moeten voldoen aan bepaalde vereisten om zo de stabiliteit van het beton op lange termijn te garanderen. De organismen moeten namelijk levend kunnen blijven in extreem uitdagende omstandigheden. Daarbij mogen ze enkel actief worden als er een scheur aanwezig is. Tot slot moeten ze moleculen produceren die het herstel bevorderen.

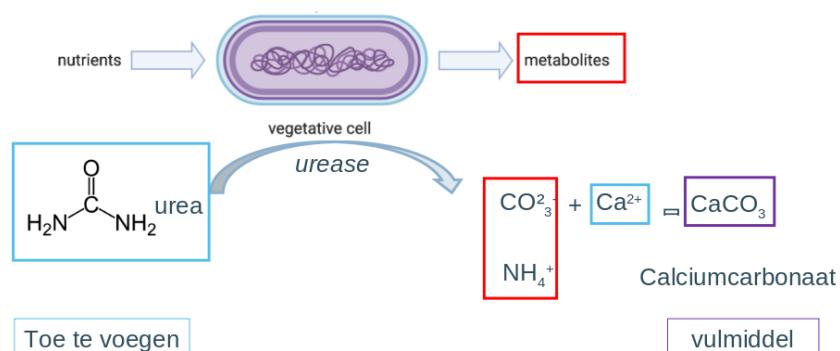
De eerste vooropgestelde voorwaarde is om levend te blijven in de extreme omgeving waarin het organisme terecht zal komen. Beton is namelijk een basische omgeving ( $\pm pH 13$ ), heeft een relatief lage temperatuur en kent weinig tot geen aanwezigheid van nutriënten. Hierdoor kiezen we een spore uit als micro-organisme (zie figuur 70). Een spore is namelijk een staat waarin een bacterie zich kan bevinden, we kunnen deze staat vergelijken met een soort ‘winterslaap’. Er is geen detecteerbaar metabolisme, de cel is extreem resistent en kan jaren overleven in deze staat.



Figuur 70: Spore

Deze spore kan dan terugkeren naar een vegetatieve (normale) staat als er een scheur optreedt. Dit kan door het contact met zuurstof of water geïnitieerd worden.

We eisen ook dat de bacterie stoffen aan maakt die het herstel van de scheur bevorderd. Hierbij maakt het niet uit of de metabolieten van de cel direct gebruikt worden om de scheur te vullen, of dat geproduceerde enzymen het vullen van de scheur vooruit helpt (Zie figuur 71).



Figuur 71: Biologisch herstellen van een scheur

## 8 Witte biotechnologie: case biobrandstoffen

### 8.1 Wat is witte biotechnologie

Witte biotechnologie is industriële biotechnologie. Het is de aanwending van hernieuwbare grondstoffen of biomassa voor duurzame productie van chemicaliën, biomaterialen en biobrandstoffen met behulp van micro-organismen en/of enzymen. We combineren dit vaak ook met duurzame processen, waarbij we het energieverbruik en de afvalproductie tot een minimum beperken.

#### 8.1.1 Fermentatie en bioconversie

Witte biotechnologie is gebaseerd op twee technieken: fermentatie en biokatalyse/bioconversie. Bij fermentatietechnologie gebruiken we micro-organismen zoals gisten of schimmels om producten te produceren onder gecontroleerde omstandigheden. Biokatalyse betekent dat we processen zullen katalyseren met enzymen. Opnieuw zorgen we ervoor dat de omstandigheden onder controle zijn.

#### 8.1.2 Biomassa

Er bestaan veel verschillende definities van biomassa. In deze case gebruiken we de volgende: ‘De biologisch afbreekbare fractie van producten, afvalstoffen en residuen van de landbouw (met inbegrip van plantaardige en dierlijke stoffen), de bosbouw en aanverwante bedrijfstakken, alsmede de biologisch afbreekbare fractie van industrieel en huishoudelijk afval’. We gebruiken deze biomassa om verschillende producten mee te maken. In deze case zullen we het hebben over biobrandstoffen.

## 8.2 Biobrandstoffen

In 2006 werd de huidige versie van biobrandstof op de markt gebracht. Deze brandstof is bio-ethanol afgeleid van cellulosehoudende biomassa. Dit is een enorme stap vooruit tegenover de voorganger die gemaakt werd uit suiker- en zetmeelhoudende biomassa. Dit had een potentieel voedingstekort als gevolg.

#### 8.2.1 Bio-ethanol van lignocellulose

Bio-ethanol kent enkele voordeelen tegenover aardolie. Het heeft een hoger octaangetal wat zorgt voor een betere verbranding in de motor. Het is ook een koolstofneutrale hernieuwbare brandstof, het heeft dus een gunstige invloed op het klimaat. We kunnen bio-ethanol ook toe voegen aan benzine, dit zorgt voor een schonere verbranding met minder uitstoot van broeikasgassen.

##### 8.2.1.1 Lignocellulose

Lingocellulose is biomassa die hoofdzakelijk bestaat uit cellulose, hemicellulose en lignine. Afhankelijk van de originele grondstof kunnen deze drie componenten in verschillende verhoudingen aanwezig zijn. Het is dus belangrijk om rekening te houden met de origine van de gebruikte biomassa.

Cellulose is een onvertakt lineair polymeer opgebouwd uit D-glucose eenheden met  $\beta$ -1,4 verbindingen. We vinden deze moleculen vooral in de planten-celwand samengepakt in microfibrillen die onderling gestabiliseerd worden door waterstofbruggen. Het heeft een kristallijne structuur die oplosbaarheid in water onmogelijk maakt. We associëren dit molecuul ook vaak met hemicellulose en lignine.

Hemicellulose is een vertakt heteroogeen polysacharide bestaande uit  $C_5$  en  $C_6$  suikers. De hoofdketen is gemaakt uit  $\beta$ -1,4 gebonden D-xylose eenheden, de zij-ketens daarentegen worden uit verschillende types suiker opgebouwd (D-xylose, L-arabinose, D-galactose, D-mannose + uronzuren). De vertakkingsmate van deze amorfse structuur is sterk afhankelijk van de originele grondstof.

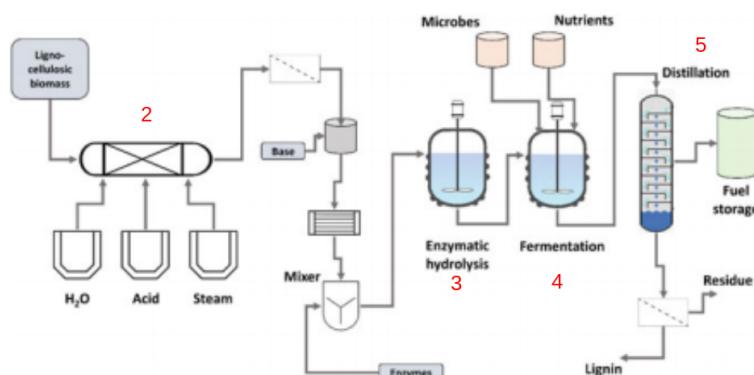
Lignine is een aromatisch en een sterk bio-polymeer, dat covalent gebonden is aan hemicellulose. Het is een belangrijk molecuul om de rigiditeit van een planten-celwand te garanderen. Lignine is opgebouwd uit p-hydroxyfenylpropan-eenheden. Het is resistent tegen chemische en enzymatische afbraak; biologische afbraak gebeurt vaak door schimmels. Door deze resistentie is het aangeraden om geen hoge concentratie Lignine te hebben in biomassa die men wil gebruiken voor de productie van biobrandstof.

### 8.2.1.2 Productie

De productie van bio-ethanol verloopt in vijf stappen:

1. Vermalen van plantenmateriaal (Reductie deeltjesgrootte)
2. Voorbehandeling (Waarbij cellulose en eventueel hemicellulose worden vrijgesteld)
3. Hydrolyse (Afbraak van carbohydraatpolymeren tot monomere suikers)
4. Fermentatie (Suikers worden door micro-organismen omgezet in ethanol)
5. Opzuivering (Destilleren van de bekomen ethanol)

We kunnen dit als volgt schematisch voorstellen:



Production of ethanol from lignocellulosic biomass feedstock. A simplified scheme

Figuur 72: Productie van bio-ethanol

### 8.2.1.3 Voorbehandeling

De doelstelling van de voorbehandeling is om de cellulose beter toegankelijk te maken voor de daaropvolgende hydrolysestap. De materialen die men hiervoor gebruikt zijn van groot belang voor de hoeveelheid afval alsook de kosten van deze stap.

### 8.2.1.4 Hydrolyse

De doelstelling van de hydrolyse is de conversie van hemicellulose en cellulose in monomere suikers. Dit kan doorgaan door middel van zuur of enzymen. Vaak zal men kiezen voor een enzymatische hydrolyse omdat het bij lagere temperaturen en druk kan, er bijna geen afbraak producten gevormd worden, er geen extra chemicaliën nodig zijn, er geen nood is aan recuperatie en neutralisatie, en er meestal een hogere glucose opbrengst is door de lagere vorming van toxiche producten.

### 8.2.1.5 Fermentatie

De doelstelling van de fermentatie is om voor de conversie van hexose en pentose naar ethanol te zorgen. Dit gebeurt door middel van bacteriën, gisten of schimmels onder anaerobe omstandigheden. De theoretische opbrengst hierbij is ongeveer een halve kilogram ethanol per kilogram suiker.

De micro-organismen die men gebruikt voor deze stap moeten voldoen aan volgende voorwaarden om een degelijke efficiëntie te bereiken:

- Breed substraatgebruik
- Hoge ethanolopbrengst en productiviteit
- Tolerant voor hoge glucose- en ethanolconcentraties
- Tolerant voor inhibitoren
- Tolerant voor lage pH

Er zijn twee voornaamste technieken om de fermentatie toe te passen:

Fermentation process	Features and advantages	Limitations
Simultaneous saccharification and fermentation	Low costs Higher ethanol yields due to removal of end product inhibition of saccharification step	Difference in optimum temperature conditions of enzyme for hydrolysis and fermentation.
Separate hydrolysis and fermentation	Reduces the number of reactors required Each step can be processed at its optimal operating conditions Separate steps minimize interaction between the steps	End product inhibition minimizes the yield of ethanol. Chance of contamination due to long period process

Figuur 73: Fermentatie technieken

#### 8.2.1.6 Opzuiveren

Het doel van de opzuivering is om de bio-ethanol af te zuiveren van alle andere aanwezige componenten. Dit gebeurt via destillatie.

#### 8.2.2 Productie van biodiesel

We richten ons hier op het omzetten van plantaardige oliën in een mengsel van methylesters door verestering van de triglyceriden met laag-moleculaire alcoholen (veelal methanol). De trans-verestering genereert een product met vergelijkbare fysicochemische eigenschappen als conventionele diesel.

Het proces kan beschreven worden als een base-gekatalyseerde reactie met natrium- of kalium-hydroxide. Dit heeft als voordelen dat er geen hoge temperatuur of druk nodig is, en dat de vrijstelling van glycerol in de reactie een potentieel verkoopbaar bijproduct genereert. Om deze reactie te optimaliseren kunnen we kijken naar de temperatuur, reactietijd, molaire verhouding olie/alcohol en het type katalysator.

## 9 Proteïnen

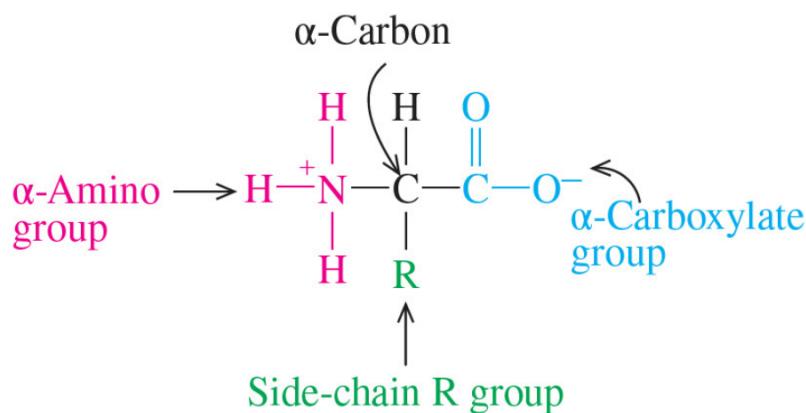
### 9.1 Inleiding

Eiwitten worden overal gebruikt in ons lichaam, van structurele doeleinden tot biologische katalyse met enzymen. Dit wordt mogelijk gemaakt door de grote diversiteit in (3D-)structuur bij proteïnen.

### 9.2 Aminozuren

#### 9.2.1 Structuur en eigenschappen

In deze sectie zullen we vooral spreken over de structuur van  $\alpha$ -aminozuren. Deze bestaan uit een carboxylgroep (organisch zuur) en een aminogroep (organische base) gekoppeld aan een  $C_\alpha$  atoom. Dit is een chirale koolstof die voor twee enantiomeren zorgt (behalve bij glycine) (zie sectie 1.3.1). We spreken pas van proteinogene aminozuren als ze in een L-configuratie voorkomt.



Figuur 74: Structuur aminozuur

De eigenschappen van een aminozuur hangen deels af van de pH van de omgeving waarin het zich bevindt. Bij een lage pH zal het aminozuur een kation vormen, bij een hoge pH daarentegen zal er een anion gevormd worden. Tot slot zal er bij een neutrale pH een zwitterion gevormd worden. De grootste impact op de eigenschappen komt van de R-groep die onderaan gebonden is in figuur 74. We onderscheiden hier vier verschillende subgroepen in:

- hydrofoob
- hydrofiel (met polaire R-groepen)
- hydrofiel (met positief geladen R-groepen)
- hydrofiel (met negatief geladen R-groepen)

Het is vooral belangrijk dat men deze subgroepen kan herkennen. Het is niet de bedoeling dat alle namen en structuren uit het hoofd geleerd worden.

#### 9.2.2 Aminozuren in voeding

Aminozuren zijn een uitstekende bron van koolstof, stikstof en zwavel. Eiwit-rijke voeding zoals vis, vlees of een goede mix aan groenten zijn dus perfect om deze stoffen op te nemen. Bovendien kennen deze bronnen ook de aanwezigheid van essentiële aminozuren, dit zijn aminozuren die ons lichaam niet zelf kan aanmaken maar wel nodig heeft om correct te functioneren.

### 9.2.3 Niet-proteïnogene aminozuren

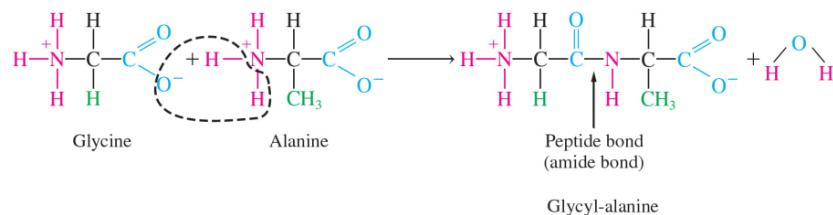
Niet-proteïnogene aminozuren die geen deel uitmaken van proteïne. Voorbeelden hiervan zijn:

- Thyroxine: schildklierhormoon
- $\gamma$ -aminoboterzuur (GABA): neurotransmitter
- $\beta$ -Alanine: celwand

## 9.3 Peptidebinding

### 9.3.1 Peptiden en Polypeptiden

Peptiden worden opgebouwd door verschillende aminozuren aan elkaar te koppelen. Het gaat hierbij zoals in figuur 75 te zien is, om een reactie tussen de carboxylgroep van één aminozuur en de aminogroep van een ander aminozuur. Hierbij verdwijnen de ladingen van de carboxyl- en aminogroep.



Figuur 75: Koppeling van aminozuren

De algemene naamgeving van peptiden is gebaseerd op het aantal gebonden aminozuren. We spreken over oligopeptiden als er minder dan 20 aminozuren aanwezig zijn, polypeptiden als er minder dan 50 aanwezig zijn en tot slot over proteïnen als er meer dan 50 aanwezig zijn. We kunnen natuurlijk ook praten over dipeptiden zoals glycylalanine. Als we de chemische structuur willen tekenen, oriënteren we de molecule van N-terminaal naar C-terminaal.

### 9.3.2 Chemische en biologische synthese van peptiden

## 9.4 Structuur van proteïnen

### 9.4.1 Primaire, secundaire tertiaire en quaternaire structuur

### 9.4.2 Denaturatie

## 9.5 Voorbeelden en toepassingen