

# BOUWSTENEN VAN HET LEVEN



## LEERDOELEN

In dit hoofdstuk leer je:

- ▶ de belangrijkste scheikundige begrippen die in de biologie gebruikt worden;
- ▶ wat de structuur en functie van koolhydraten is;
- ▶ wat de structuur en functie van lipiden is;
- ▶ hoe eiwitten opgebouwd zijn en welke rollen ze vervullen;
- ▶ hoe de nucleïnezuren DNA en RNA opgebouwd zijn.

## 1.1 Scheikundige begrippen

Om te kunnen begrijpen hoe levende wezens functioneren, zijn er een aantal scheikundige begrippen nodig. Deze zullen hieronder besproken worden.

Alle stoffen bestaan uit **atomen**. Dat zijn de bouwstenen waaruit alle materie is opgebouwd. Er bestaan ongeveer honderd verschillende soorten atomen. Elk soort atoom noemen we een **element**, en elk element heeft een eigen naam en afkorting (▶ Bijlage A). Levende wezens maken maar van een paar elementen gebruik. Het grootste deel van het menselijk lichaam (96%) bestaat uit vijf soorten atomen: waterstof (H), koolstof (C), stikstof (N), zuurstof (O) en fosfor (P). Verder bevat een menselijk lichaam ook nog wat calcium (Ca), kalium (K), zwavel (S), natrium (Na), chloor (Cl) en magnesium (Mg). Zeer recent (december 2010) is er in een zoutmeer in Californië een bacterie ontdekt die misschien wel het giftige arsenicum (As) gebruikt in plaats van fosfor. Of deze arsenicumatomen daadwerkelijk ingebouwd worden als onderdeel van het DNA van deze bacterie, zal nader onderzoek nog moeten uitwijzen.

Atomen kunnen zich met elkaar verbinden tot **moleculen**. Een molecuul is de kleinste eenheid van een stof die alle eigenschappen van die stof nog heeft. Elk molecuul is een groepje atomen met een vaste samenstelling. Omdat die samenstelling kan variëren, kunnen oneindig veel verschillende soorten moleculen gevormd worden. Zo ontstaan alle stoffen die je om je heen ziet en waaruit je lichaam bestaat. Moleculen worden weergegeven met een molecuulformule. Zo bestaat een watermolecuul uit twee H-atomen en één O-atoom, en dat schrijven we als H<sub>2</sub>O.

De chemische bindingen tussen de atomen in een molecuul (covalente bindingen) zijn sterke bindingen die de atomen permanent bij elkaar houden. Zwakkere bindingen tussen atomen zijn ook van levensbelang. De meeste biologische moleculen blijven in de juiste vorm gevouwen via dit soort bindingen. De zwakke bindingen zijn reversibel, wat betekent dat ze relatief makkelijk verbroken en opnieuw gevormd kunnen worden. Hierdoor kunnen biologische moleculen tijdelijk aan elkaar binden en daarna weer uiteengaan.

Een voorbeeld van een zwakke binding is de **waterstofbrug**. Hierbij trekt een waterstofatoom van een molecuul aan een zuurstof- of stikstofatoom van een ander molecuul waardoor ze een zwakke binding met elkaar vormen. Biologische moleculen hebben over het algemeen veel groepen die waterstofbruggen kunnen vormen, zoals  $-OH$  groepen. Waterstofbruggen zijn belangrijke bindingen; ze zijn bijvoorbeeld essentieel voor de structuur van eiwitten (► 1.4) en DNA (► 1.5). Stoffen die waterstofbruggen kunnen vormen, lossen meestal ook makkelijk op in water. Dit komt doordat ze waterstofbruggen met de watermoleculen kunnen vormen. Zulke stoffen worden **polaire** moleculen genoemd. Stoffen die dat niet kunnen, heten **apolaire** stoffen en lossen slecht op in water.

Atomen of moleculen zijn meestal neutraal, maar soms zijn ze elektrisch geladen. In dat geval noemen we het een **ion**. Hoeveel lading er op het atoom of molecuul zit, kun je zien aan de molecuulformule. Ionen kunnen positief geladen zijn, zoals een natriumion ( $Na^+$ ), of negatief geladen zoals een fosfaat ion ( $PO_4^{3-}$  – dit ion heeft zelfs drie negatieve ladingen). Aangezien positieve en negatieve ladingen elkaar aantrekken, kunnen positieve en negatieve ionen samen een **zout** vormen. Het bekendste voorbeeld daarvan is keuzenzout, met als formule  $NaCl$ . Dit is een verbinding van  $Na^+$ - en  $Cl^-$ -ionen. Als zouten in water oplossen, vallen ze uit elkaar en verspreiden de losse ionen zich tussen de watermoleculen.

Bijna alle processen in levende wezens spelen zich af in een waterige omgeving. Zulke processen kunnen alleen goed verlopen als de samenstelling van die omgeving gunstig is. De **zuurgraad** van die waterige omgeving is bijvoorbeeld uiterst belangrijk. De zuurgraad is een maat voor de concentratie  $H^+$ -ionen in een oplossing. Watermoleculen kunnen namelijk uiteenvallen in een  $H^+$ -ion en een  $OH^-$ -ion:  $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ . In puur water zijn de concentraties  $H^+$  en  $OH^-$  aan elkaar gelijk. We noemen dit een neutrale oplossing. In water kunnen echter allerlei moleculen opgelost worden die invloed hebben op de zuurgraad van dat water. Afhankelijk van het effect op de zuurgraad noemen we die stoffen zuren of basen:

- Een molecuul is een **zuur** als het een  $H^+$ -ion kan afstaan. Er ontstaat in de waterige oplossing dus een overmaat aan  $H^+$ -ionen, en we noemen de oplossing dan zuur. Een voorbeeld is  $HCl$  (waterstofchloride). Als dit in water oplost, ontstaan er  $H^+$ - en  $Cl^-$ -ionen:  $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$ . Een oplossing van  $HCl$  in water heet overigens zoutzuur, en dit zorgt er bijvoorbeeld voor dat je maagsap zo zuur is (► 5.2). Een ander voorbeeld is  $H_2CO_3$  (koolzuur), dat ontstaat als  $CO_2$  in water oplost. Dit is een zuur omdat het  $H^+$  afstaat:  $H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^- + H^+$ .
- Een molecuul is een **base** als het een  $H^+$ -ion kan opnemen. Er ontstaat in de waterige oplossing dan een overmaat aan  $OH^-$ -ionen, en zo'n oplossing noemen we basisch. Een voorbeeld is  $NaOH$  (natriumhydroxide). Als dit in water oplost, ontstaan er  $Na^+$ - en  $OH^-$ -ionen:  $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$ . Dit zorgt direct voor een overmaat  $OH^-$ -ionen, maar je kunt het ook opschrijven alsof elk  $OH^-$ -ion een  $H^+$ -ion opneemt waarbij water ontstaat:  $NaOH + H^+ \rightarrow Na^+ + H_2O$ . Een ander voorbeeld is  $NH_3$  (ammoniak). Dit is een base omdat het een  $H^+$  opneemt:  $NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$  (dit heet ammonia).

De zuurgraad kun je meten en uitdrukken in een getal. Dit noemen we de **pH** en deze kan waarden hebben van 0 tot 14. De pH van een oplossing is de negatieve logaritme van de concentratie  $H^+$ -ionen in die oplossing ( $pH = -\log[H^+]$ ). In een neutrale oplossing zijn de concentraties  $H^+$  en  $OH^-$  aan elkaar gelijk, beide zijn dan  $10^{-7}$  M (mol/liter; bij 25 °C). De pH van een neutrale oplossing is dus gelijk aan 7 (want  $-\log 10^{-7} = -(-7) = 7$ ). Een zure oplossing heeft een hogere concentratie  $H^+$ -ionen en dus een pH die kleiner is dan 7 (de  $-\log$  is lager). Een oplossing met een hoge zuurgraad heeft dus een lage pH. Een basische oplossing heeft een lagere concentratie  $H^+$ -ionen en dus een pH die hoger is dan 7 (de  $-\log$  is hoger). Het zure maagsap heeft bijvoorbeeld een pH van 2 en de basische sappen uit de alvleesklier hebben een pH van 8.

Als een zure en een basische oplossing bij elkaar gevoegd worden, kunnen beide vloeistoffen elkaar **neutraliseren**. De overmaat  $H^+$  in de zure oplossing heft dan de overmaat  $OH^-$  in de basische oplossing op en beide ionen houden elkaar weer in evenwicht. In plaats van een lage of een hoge pH heeft de oplossing weer een pH van 7 en is dus neutraal. Dit gebeurt bijvoorbeeld als de zure voedselbrij die uit de maag komt, vermengd wordt met basische sappen uit de alvleesklier (► 5.3).

De meeste biologische vloeistoffen zijn niet erg zuur of erg basisch en hebben een pH rond de 7. Deze pH wordt constant gehouden, want een te hoge of te lage pH zou ernstige effecten hebben voor het verloop van biologische processen. Het constant houden van de pH gebeurt door stoffen die als een **buffer** werken. Deze stoffen kunnen  $H^+$ -ionen opnemen of afstaan als dat nodig is, en op die manier stabiliseren ze de pH zelfs als er zuur of base toegevoegd wordt. Een voorbeeld van zo'n bufferende stof is koolzuur ( $H_2CO_3$ ). Dit molecuul kan reageren tot waterstofcarbonaat ( $HCO_3^-$ ) en een  $H^+$  afstaan, maar deze reactie kan ook de andere kant op verlopen als de omgeving zuur is:  $H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$ . Andere voorbeelden van bufferende moleculen zijn aminozuren en eiwitten (► 1.4) zoals hemoglobine (► 6.6) en andere plasma-eiwitten. Losse aminozuren bevatten namelijk zowel een aminogroep ( $-NH_2$ ) die een  $H^+$ -ion kan opnemen ( $-NH_3^+$ ) als een carboxylgroep ( $-COOH$ ) die een  $H^+$ -ion kan afstaan ( $-COO^-$ ) en sommige aminozuren hebben ook zijketens die  $H^+$ -ionen kunnen opnemen of afstaan.

Er wordt vaak een onderscheid gemaakt tussen **anorganische moleculen** en **organische moleculen**. Anorganische stoffen komen uit de levenloze natuur en bevatten nauwelijks koolstofatomen. Het zijn over het algemeen kleine en simpele moleculen. Voorbeelden van anorganische stoffen zijn ammoniak ( $NH_3$ ), stikstof ( $N_2$ ) en zuurstof ( $O_2$ ). Ook koolstofdioxide ( $CO_2$ ) en koolzuur ( $H_2CO_3$ ) worden tot de anorganische stoffen gerekend. Organische stoffen zijn moleculen die afkomstig zijn van levende wezens, al kunnen tegenwoordig ook veel organische stoffen in het laboratorium gemaakt worden. Organische stoffen bevatten altijd koolstofatomen en zijn vaak groot en ingewikkeld van samenstelling. Zonder organische stoffen zou het leven niet mogelijk zijn. In de volgende paragrafen wordt een aantal verschillende soorten organische moleculen besproken.

Veel biologische moleculen zijn **polymeren**. Dit zijn lange ketens die bestaan uit vele gelijksoortige eenheden, de **monomeren**, die aan elkaar gekoppeld zijn. Zo bestaan er polymeren van suikers (► 1.2), van aminozuren (► 1.4) en van nucleïnezuuren (► 1.5).

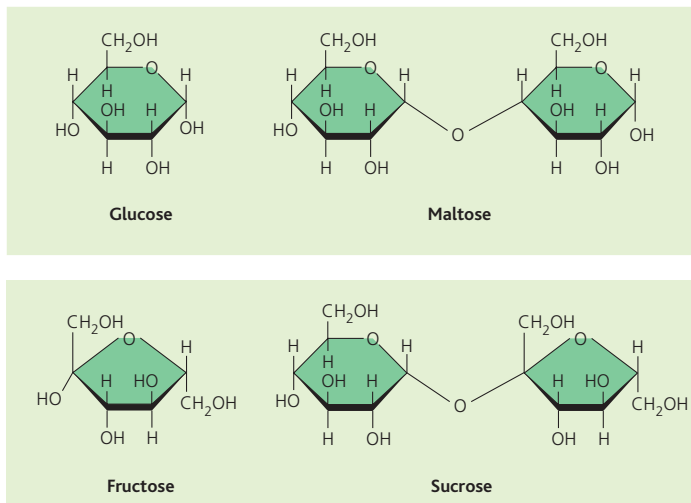
## 1.2 Koolhydraten

De moleculen die de belangrijkste bouwstenen van het leven vormen, kunnen verdeeld worden in vier groepen: koolhydraten, lipiden, eiwitten en nucleïnezuren. Deze moleculen zullen in deze en de volgende paragrafen besproken worden.

**Koolhydraten** worden ook wel **sachariden** (dit betekent ‘suikerachtige stoffen’) genoemd. Ze zijn namelijk opgebouwd uit suikers, oftewel sacharide-eenheden. Een suiker bestaat uit een keten van koolstofatomen die een ringstructuur vormen, met één zuurstofatoom als onderdeel van deze ring. De meest voorkomende suikers bevatten een vijfhoekige ring of een zeshoekige ring. Een suiker bevat bovendien meerdere hydroxylgroepen (–OH) (Figuur 1.1).

De eenvoudigste koolhydraten zijn de **monosachariden**, deze bestaan uit één enkele suiker. Monosachariden zijn belangrijke voedingsstoffen voor cellen. Vooral **glucose**; dit is de belangrijkste brandstof in alle levende wezens. Glucose is namelijk het startpunt van een serie reacties waar cellen hun energie uit halen, een proces dat dissimilatie (afbraak) heet (► 2.4). Glucose is bovendien een van de belangrijkste bouwstenen van di- en polysachariden (zie hieronder). Een andere naam voor glucose is druivensuiker. Glucose heeft zes koolstofatomen en vormt een zesring (Figuur 1.1). Een andere belangrijke suiker is **fructose**, een bestanddeel van vruchtsuiker. Fructose heeft net als glucose zes koolstofatomen, maar vormt een vijfring (Figuur 1.1). Zoals je aan deze twee suikers kunt zien, eindigen de namen van de meeste suikers op –ose.

Suikers zijn niet alleen belangrijk voor cellen omdat ze als brandstof dienen. Hun koolstofatomen worden namelijk ook gebruikt om andere organische moleculen van te maken zoals vetzuren (► 1.3) en aminozuren (► 1.4). Dit proces heet assimilatie (opbouw; ► 2.4). Suikers die niet direct gebruikt worden, worden over het algemeen ingebouwd in disachariden en polysachariden.



**Figuur 1.1** Ringstructuren van glucose, fructose, maltose en sucrose.

**Disachariden** bestaan uit twee monosacharide-eenheden die aan elkaar gekoppeld zijn. Dit kunnen dezelfde suikers zijn, zoals bijvoorbeeld bij **maltose**, dat bestaat uit twee glucose-eenheden (Figuur 1.1). Maltose heet ook wel moutsuiker, en is een ingrediënt bij het brouwen van bier. Maar een disacharide kan ook gevormd worden uit twee verschillende suikers, zoals **sucrose**, dat bestaat uit een glucose- en een fructose-eenheid (Figuur 1.1). Sucrose is de suiker die je in je thee of koffie doet. Een andere belangrijke disacharide is **lactose**, oftewel melksuiker, dat bestaat uit een glucose- en een galactose-eenheid.

**Polysachariden** zijn polymeren van suikers. Het aantal suikergroepen in zo'n keten varieert van een paar honderd tot enige duizenden. Sommige polysachariden dienen als opslag van suikereenheden die weer vrijgemaakt kunnen worden als de cel ze nodig heeft. Omdat suikers als brandstof dienen, zijn zulke polysachariden dus een manier om energie op te slaan. Planten doen dit in de vorm van **zetmeel**. Dat is een polymeer van glucose-eenheden dat opgeslagen wordt in zetmeelkorrels (► 2.2), bijvoorbeeld in aardappels en granen. Dieren zetten glucose om in **glycogeen**, dat wordt opgeslagen in de lever en in spiercellen (► 5.1). Glycogeen is net als zetmeel een polymeer van glucose-eenheden, maar is meer vertakt.

Andere polysachariden dienen als bouw materiaal en vormen de basis van structuren die een cel of zelfs een compleet organisme vorm geven en beschermen. **Cellulose** is een bestanddeel van de celwanden van plantencellen (► 2.2). Het is een polymeer van glucose-eenheden, maar deze zijn op een andere manier met elkaar verbonden dan in zetmeel of glycogeen. Cellulose vormt microvezels, die planten hun stevigheid geven. De meeste organismen (inclusief mensen) kunnen zetmeel en glycogeen vrij gemakkelijk afbreken, maar zijn niet in staat om cellulose af te breken. Zelfs de meeste planteneters hebben hierbij de hulp nodig van bepaalde bacteriën die in hun ingewanden leven. Andere polysachariden gemaakt door planten zijn pectine, houtstof en kurkstof. Dit zijn complexe polysachariden, bestaande uit verschillende suikers die op diverse manieren aan elkaar verbonden zijn. Het uitwendige skelet van insecten en kreeftachtigen bevat het polysacharide **chitine**.

## 1.3 Lipiden

Lipiden vormen een diverse klasse moleculen die met elkaar gemeen hebben dat ze **hydrofoob** zijn. Dit betekent dat ze niet of slechts heel moeilijk in water kunnen oplossen. Dat komt doordat ze voornamelijk bestaan uit koolstofketens en weinig polaire groepen hebben. We behandelen hieronder drie verschillende soorten lipiden: vetten, fosfolipiden en steroïden.

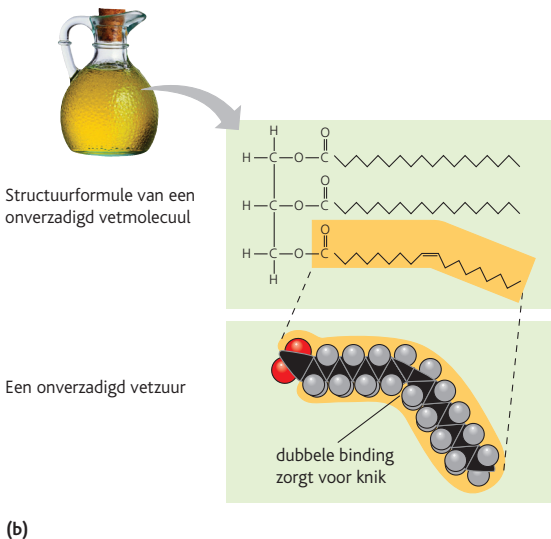
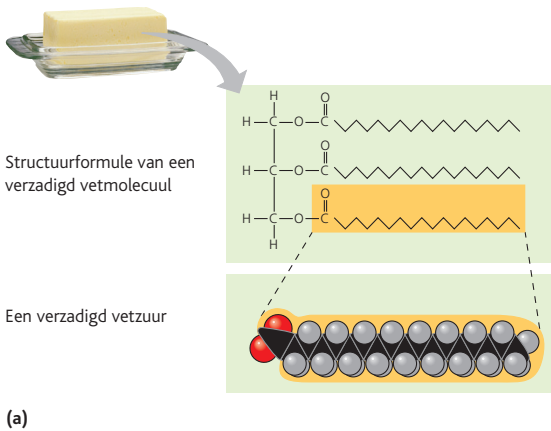
Een **vet** is opgebouwd uit een glycerolmolecuul en drie vetzuren. Glycerol is een molecuul dat bestaat uit drie koolstofatomen en drie  $-OH$  groepen (Figuur 1.2). Een vetzuur heeft een lange keten van koolstofatomen, meestal 16 of 18. Omdat deze keten alleen maar  $C-H$  bindingen heeft, die niet polair zijn, is de keten hydrofoob. De vetzuurketen eindigt met een carboxylgroep ( $-COOH$ ). Dit is een zure groep, vandaar de naam vetzuur. Via deze groepen kunnen in totaal drie vetzuren met glycerol reageren om een vet te vormen (Figuur 1.2). Dit kunnen dezelfde, maar ook twee of drie verschillende soorten vetzuren zijn. Vetzuren variëren in lengte en in het aantal en de plaats van dubbele bindingen en kunnen ingedeeld worden in twee groepen:

- **Verzadigde vetzuren** hebben geen dubbele bindingen tussen de C-atomen. Elk koolstofatoom is dus gebonden aan het maximale aantal waterstofatomen en is als het ware verzadigd (vol) met H-atomen (Figuur 1.2).
- **Onverzadigde vetzuren** hebben een of meer dubbele bindingen tussen de C-atomen. Men spreekt ook wel van enkelvoudig en meervoudig onverzadigde vetzuren. Op de plek van de dubbele binding zit er een knik in de koolstofketen (Figuur 1.2).

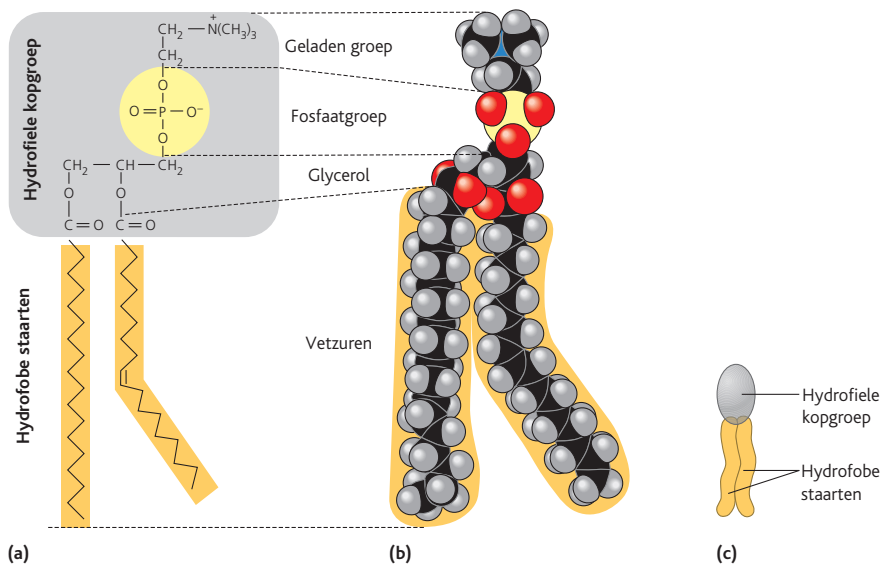
Vetten die zijn opgebouwd uit verzadigde vetzuren heten **verzadigde vetten**. Aangezien ze geen dubbele bindingen hebben, zijn de vetzuurketens recht en kunnen ze dicht tegen elkaar pakken. Verzadigde vetten smelten daardoor moeilijk en hebben bij kamertemperatuur een vaste vorm, denk bijvoorbeeld aan boter. De meeste vetten afkomstig van dieren zijn verzadigde vetten. Vetten uit planten zijn daarentegen over het algemeen **onverzadigde vetten**.

Doordat de vetzuurketens geknikt zijn, kunnen deze vetten niet dicht genoeg tegen elkaar aangepakt zitten om bij kamertemperatuur een vaste vorm te behouden. Het zijn dan ook vloeibare vetten, oftewel oliën, zoals bijvoorbeeld olijfolie. Een voedingspatroon met veel verzadigde vetten wordt beschouwd als een risico voor het krijgen van hart- en vaatziekten.

Vetten hebben een belangrijke functie. Ze worden namelijk gebruikt om energie in op te slaan, net als polysachariden. Bij de afbraak van vetten komt twee keer zo veel energie vrij als bij de afbraak van suikers. Dieren slaan vetten op in vetcellen in het bindweefsel (> 2), vooral onderhuids, waar het als een isolerende laag kan dienen. Planten bewaren oliën vooral als energievoorraad in zaden.



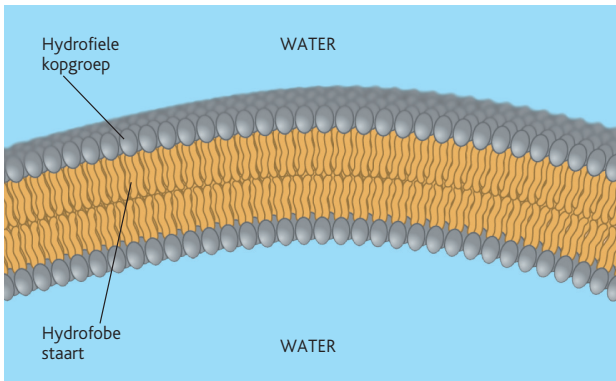
**Figuur 1.2** De structuur van vetten. De glyceroleenheid bevindt zich links. In de structuur zijn de C-atomen van de vetzuren aangegeven met een zigzaglijn en zijn de H-atomen weggelaten. Daaronder staat een ruimtelijk model van één van de vetzuurketens weergegeven. a) Verzadigd vet, b) Onverzadigd vet.



**Figuur 1.3** De structuur van een fosfolipide. a) Structuurformule, b) Ruimtelijk model, c) Vereenvoudigde weergave.

**Fosfolipiden** zijn essentieel voor alle cellen, omdat ze de bouwsteen vormen voor celmembranen (► 2.3). Fosfolipiden lijken op vetten, maar hebben maar twee vetzuren aan het glycerolmolecuul in plaats van drie. Aan de overgebleven hydroxylgroep van glycerol zit een fosfaatgroep gebonden. Deze fosfaatgroep is negatief geladen. Aan deze fosfaat kan weer een ander klein molecuul verbonden zijn, meestal een geladen of polaire groep. Op deze manier ontstaat er een grote variatie aan fosfolipiden (Figuur 1.3). De twee uiteinden van fosfolipiden gedragen zich verschillend ten opzichte van water: de vetzuurstaarten zijn hydrofoob en keren zich van water af. Hierdoor hebben ze geen andere keuze dan interactie met elkaar aan te gaan en wijzen de vetzuurstaarten dus naar elkaar toe. De fosfaatgroep en de groep die daaraan vast zit, vormen een **hydrofiële** kopgroep: ze gaan makkelijk interacties aan met watermoleculen. Doordat de staarten naar elkaar toewijzen en de kopgroepen zich goed in water thuisvoelen, groeperen fosfolipiden zich spontaan in een dubbele laag. Hierbij worden de hydrofobe vetzuurstaarten van het water afgeschermd terwijl de kopgroepen in de waterige omgeving zitten (Figuur 1.4). Als deze dubbellaag een plat vlak zou zijn, dan zouden de vetzuurstaarten aan de randen van zo'n dubbellaag nog steeds blootgesteld zijn aan water. Daarom organiseert een lipide dubbellaag zich in een bolvorm; er zijn dan geen randen en alle vetzuurstaarten zijn afgeschermd van water. Zulke dubbellaagen van fosfolipiden vormen zo de membranen die de afscheiding vormen tussen een cel en zijn omgeving (► 2.2). Zonder fosfolipiden zouden cellen niet kunnen bestaan.

**Steroïden** zijn lipiden die een structuur hebben met vier aan elkaar gekoppelde koolstofringen (Figuur 1.10). Veel hormonen behoren tot de steroïden (► 9.1), bijvoorbeeld de geslachtshormonen en de hormonen van de bijnierschors (cortisol). Een ander belangrijk steroïde is **cholesterol**. Dit is een essentieel bestanddeel van celmembranen van dierlijke cellen. Een teveel aan cholesterol in het bloed kan echter leiden tot atherosclerose (vetafzetting in de bloedvaten, in de volksmond aderverkalking genoemd).



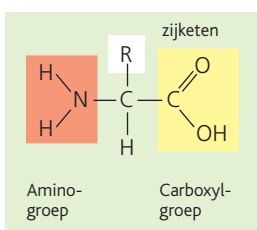
**Figuur 1.4** De opbouw van een lipide dubbellaag.

## 1.4 Eiwitten

Elk organisme heeft duizenden verschillende soorten **eiwitten**, elk met een unieke structuur en functie. Eiwitten (ook wel proteïnen genaamd) vormen meer dan 50% van de droge massa van de meeste cellen, en ze zijn essentieel voor bijna alles wat organismen doen. Vrijwel alle processen in levende wezens hangen af van eiwitten. Hieronder staat een aantal functies van eiwitten.

- **Plasma-eiwitten** zijn eiwitten die hun functie vervullen in het bloedplasma (► 7.2). Dit zijn bijvoorbeeld de **immunoglobulinen** die de antistoffen van het afweersysteem vormen, **stollingsfactoren** zoals protrombine en fibrinogeen, die bloed laten stollen, en **albumine**, dat stoffen in het bloed transporteert.
- **Receptoreiwitten** bevinden zich in de celmembranen en zorgen voor de communicatie van cellen met de buitenwereld (► 2.3).
- Sommige **hormonen** (► 9.1) zijn eiwitten, zoals bijvoorbeeld insuline.

Een erg belangrijke groep eiwitten zijn de **enzymen** (► 2.4.3). Enzymen laten chemische reacties sneller verlopen, en je zou ze daarom ook biokatalysatoren kunnen noemen. Ze verzorgen alle opbouw- en afbraakprocessen in organismen. Voorbeelden zijn de enzymen amylase en pepsine, die verantwoordelijk zijn voor de spijsvertering door voedingsstoffen af te breken (► 5.2).



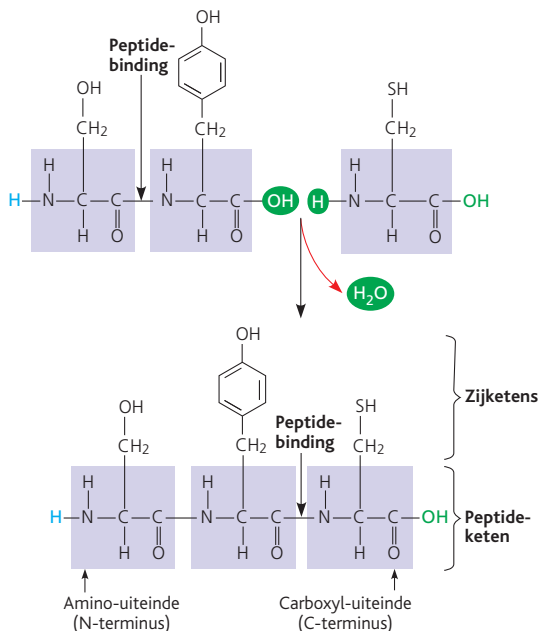
**Figuur 1.5** De algemene structuur van een aminozuur.

Eiwitten zijn opgebouwd uit aminozuren. Elk **aminozuur** heeft dezelfde basisstructuur, bestaande uit een aminogroep (NH<sub>2</sub>-), gevolgd door een koolstofatoom waar een variabele groep aan zit (CH-R) en een carboxylgroep (-COOH) (Figuur 1.5). De variabele R-groep heet ook wel de zijketen, en deze is voor elk aminozuur verschillend. In levende wezens worden 20 verschillende aminozuren gebruikt, die door hun verschillende zijketens een verscheidenheid aan eigenschappen hebben (► Bijlage B). Zoals je daar kunt zien, zijn er onder de 20 aminozuren grote en kleine aminozuren, apolaire aminozuren, polaire aminozuren en positief en negatief geladen aminozuren, aminozuren met een ringstructuur, en aminozuren



met een hydroxylgroep, een aminogroep of een zwavelatoom.

Aminozuren kunnen ketens vormen door een reactie tussen de carboxylgroep van het ene aminozuur en de aminogroep van het andere. Er komt water vrij en er ontstaat dan een peptidebinding (C=O gevolgd door N-H) (Figuur 1.6). Op deze manier vormen aminozuren polymeren. Deze kunnen bestaan uit slechts een paar aminozuren (di- en tripeptiden), maar kunnen ook duizenden aminozuren lang zijn. Een lange keten van aminozuren heet een **poly-peptide**. Elk polypeptide heeft uiteindelijk een amino-uiteinde, de N-terminus, en een carboxyl-uiteinde, de C-terminus.



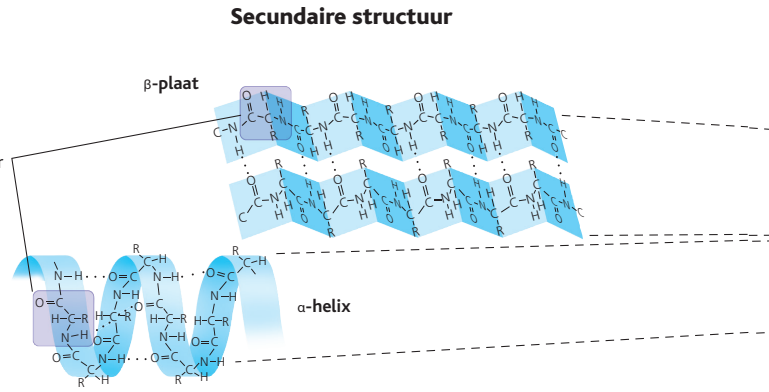
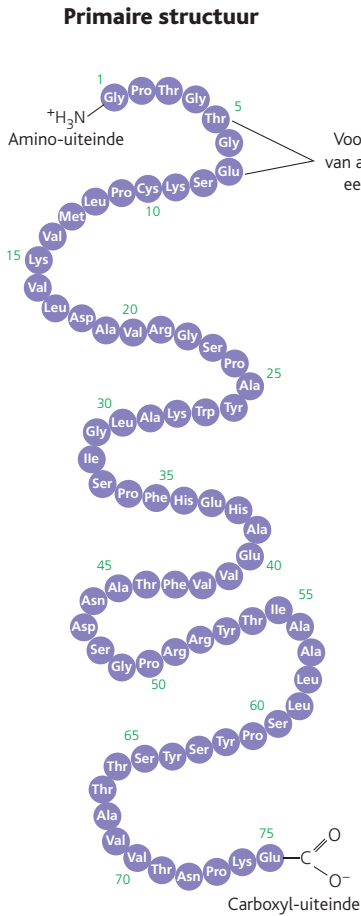
**Figuur 1.6** Vorming van een polypeptide.

Elk eiwit bestaat uit polypeptiden.

Omdat op elke plek in een eiwitketen 20 verschillende aminozuren kunnen voorkomen, kan er een enorme variëteit aan eiwitten gemaakt worden. Elk eiwit vouwt zich uiteindelijk op tot een unieke driedimensionale structuur. Deze driedimensionale structuur bepaalt de functie van het eiwit.

Er zijn vier verschillende niveaus te onderscheiden in de structuur van eiwitten (Figuur 1.7).

- De **primaire structuur** is de aminozuurvolgorde van het eiwit. Deze ligt opgeslagen in de erfelijke informatie van elk organisme, in het DNA (► 1.5).
- De **secundaire structuur** is de plaatselijke ruimtelijke structuur die een bepaalde volgorde van aminozuren in een polypeptideketen aanneemt. Er zijn twee belangrijke basisstructuren, die veroorzaakt worden door waterstofbruggen tussen de bestanddelen van de peptidebindingen (dus niet tussen de zijketens van de aminozuren). De zuurstofatomen (C=O) in de peptidebindingen zijn gedeeltelijk negatief geladen, terwijl het aan de stikstof gebonden waterstofatoom (N-H) gedeeltelijk positief geladen is. Hiertussen kunnen waterstofbruggen ontstaan. De  **$\alpha$ -helix** is een spiraalvormige structuur, met waterstofbruggen tussen aminozuren in opeenvolgende windingen. De  **$\beta$ -plaat** is een plaatvormige structuur, gevormd door waterstofbruggen tussen parallel liggende aminozuurketens. Delen waar geen  $\alpha$ -helix of  $\beta$ -plaat zit, vormen knikken en lussen die de verschillende secundaire structuren met elkaar verbinden.
- De **tertiaire structuur** van een eiwit is de uiteindelijke driedimensionale vouwing die ontstaat als verschillende delen van het eiwit, elk met hun eigen secundaire structuur, bij elkaar komen. Hierbij zijn interacties tussen de zijketens van de aminozuren belangrijk, zoals waterstofbruggen, ionbindingen en zwavelbruggen (S-S-bindingen). Eiwitten kunnen zich in allerlei vormen opvouwen. Enzymen zijn meestal min of meer bolvormig (globulair), maar eiwitten met een structurele functie (bijvoorbeeld keratine in haar of collageen in huid en kraakbeen) kunnen lange vezels vormen.



**Figuur 1.7** De vier niveaus van eiwitstructuur.

- Sommige eiwitten bestaan uit meerdere polypeptideketens, en dan is er ook nog sprake van een **quaternaire structuur**. Dit is de manier waarop de verschillende gevouwen polypeptideketens bij elkaar komen in de uiteindelijke eiwitstructuur. Een voorbeeld is hemoglobine; dit eiwit bestaat uit vier polypeptideketens (twee  $\alpha$ -ketens en twee  $\beta$ -ketens, die elk een ijzeratoom bevatten).

Voor de goede vouwing van eiwitten is veelal een helpereiwit nodig. Dit helpereiwit (of chaperonne-eiwit) zorgt ervoor dat het langgerekte polypeptide niet in de knoop raakt en dat deze geordend en op het juiste tijdstip overgaat in de correcte secundaire en tertiaire structuur. Ook de temperatuur, pH en zoutconcentratie van de omgeving heeft invloed op de vouwing van eiwitten. Als deze omstandigheden veranderen, kan een eiwit zich ontvouwen (denaturatie  $\blacktriangleright$  2.4.3) en daarmee zijn functie verliezen. Bepaalde ziekten worden veroorzaakt door het verkeerd vouwen van eiwitten, bijvoorbeeld de ziekte van Alzheimer en de ziekte van Parkinson. Andere ziekten worden veroorzaakt door veranderingen in de primaire structuur van eiwitten ( $\blacktriangleright$  3.2.3) die veranderingen in de tertiaire structuur tot gevolg hebben. De manier waarop cellen eiwitten maken, wordt verderop in dit boek besproken ( $\blacktriangleright$  3.2).

## 1.5 Nucleïezuren

De twee verschillende nucleïezuren **DNA** (deoxyribo nucleic acid, in het Nederlands desoxyribonucleïezuur) en **RNA** (ribo nucleic acid, in het Nederlands ribonucleïezuur) zijn de moleculen waarmee organismen hun erfelijke informatie bewaren en doorgeven. DNA is het genetische materiaal dat organismen van hun ouders meekrijgen in de vorm van **chromosomen**. Hierin ligt de informatie gecodeerd voor alle activiteiten van een cel. Deze activiteiten kan een cel uitvoeren met behulp van eiwitten, en het bouwplan van elk eiwit ligt beschreven op een chromosoom. Zo'n coderend stukje DNA heet een **gen**. Elk