

Radboud Universiteit Nijmegen
Faculteit der Sociale Wetenschappen
DCC / Biologische Psychologie

Syllabus Biologie

ter aanvulling op de cursus Inleiding Brein

E.L.J.M. van Luijtelaar

A.M.L. Coenen

M.D. Leiblum

R.L.J.M. Op 't Veld

C.M. Milne-Elands

Inhoud

Voorwoord	4
Hoofdstuk 1 Elementaire biochemie	6
1.1 <i>Moleculen en atomen</i>	6
1.2 <i>Ionen</i>	7
1.3 <i>Zuurgraad (pH)</i>	8
1.4 <i>Organische- en anorganische stoffen</i>	8
1.5 <i>Autotroof en heterotroof</i>	8
1.6 <i>Dissimilatie en assimilatie</i>	9
1.7 <i>Organische stoffen</i>	9
1.8 <i>Energie</i>	11
Hoofdstuk 2 Cellen.....	13
2.1 <i>Bouw van de menselijke cel</i>	13
2.2 <i>Het celmembraan</i>	15
2.2.1 <i>Transport van stoffen door het celmembraan</i>	15
2.3 <i>De celcyclus</i>	20
Hoofdstuk 3 Voortplanting en embryonale ontwikkeling	27
3.1 <i>Meiose</i>	27
3.2 <i>De vorming van zaadcellen en eicellen</i>	28
3.3 <i>Het voortplantingsstelsel van de vrouw</i>	29
3.4 <i>Embryonale ontwikkeling</i>	31
3.5 <i>Embryogenese</i>	33
3.6 <i>Embryologie van de hersenen</i>	34
3.7 <i>Voortplanting en hormonen</i>	36
Hoofdstuk 4 Genetica	39
4.1 <i>Chromosomen, fenotype en genotype</i>	39
4.2 <i>Monohybride kruisingen</i>	41
4.3 <i>Dihybride kruisingen</i>	43
4.4 <i>Geslachtschromosomen</i>	45
4.4.1 <i>Chromosomale overerving</i>	46
4.5 <i>Genetische modificatie</i>	47
4.6 <i>Stambomen</i>	48

4.7 Tweelingen.....	48
Hoofdstuk 5 Moleculaire genetica	49
5.1 DNA	49
5.2 Van DNA tot eiwit.	50
5.3 Mutaties.....	54
5.4 Typen <i>mutaties</i>	55
Hoofdstuk 6 Het zenuwstelsel	58
6.1 Bouw van het <i>zenuwstelsel</i>	58
6.2 Functie van het zenuwstelsel.....	59
6.3 <i>Zenuwcellen</i>	59
6.4 De werking van zenuwen.	60
6.5 Impulsoverdracht door <i>synapsen</i>	64
6.6 Het <i>ruggenmerg</i>	67
6.7 De hersenen.....	68
6.8 Het <i>autonome zenuwstelsel</i>	70
6.9 Reflexen.	71
Hoofdstuk 7 Zintuiglijke waarneming	73
7.1 Het zintuigstelsel.....	73
7.2 Anatomie van het oog.....	74
7.3 Werking van het oog.....	74
7.4 Bouw en werking van het <i>netvlies</i>	76
7.5 Het gehoor	78
7.6 De werking van het gehoororgaan.	79
7.7 De evenwichtsorganen.	80
7.8 <i>Reuk en smaak</i>	81
Hoofdstuk 8 Hormonen en hormoonstelsel	82
8.1 Het hormoonstelsel.	82
8.2 De werking van hormonen.....	82
8.3 Feedbackmechanismen	84
8.4 Hormonen en hormoonspiegels.	84
8.5 De <i>schildklier (thyroid)</i>	86
8.6 De <i>bijnieren</i>	87
Hoofdstuk 9 Homeostase.....	89
9.1 Glucosegehalte van het bloed.	89

9.2 De <i>osmotische balans</i> van het lichaam.....	92
9.3 De regeling van de <i>lichaamstemperatuur</i>	95
Hoofdstuk 10 Stevigheid en beweging	97
10.1 Het <i>skelet</i>	97
10.2 De spieren.	98
10.3 Houding en beweging.	101
Hoofdstuk 11 Gedrag	103
11.1 Organisatie van gedrag.	104
11.2 Gedragsbepalende factoren.	105
11.3 <i>Sleutelprikkels en supranormale prikkels</i>	106
11.4 Aangeleerd of aangeboren?.....	107
11.5 Vormen van sociaal gedrag.....	110
11.6 Gedrag bij de mens.	112
Hoofdstuk 12 Evolutie.....	114
12.1 De aarde en het ontstaan van leven.	115
12.2 <i>Evolutie</i> of fantasie?.....	118
12.3 <i>Evolutie</i> van de mens.	120
Vragen.....	123
Antwoorden	208
Trefwoorden	218
Literatuurlijst en bronvermelding.....	222

Voorwoord

Deze syllabus is geschreven voor studenten psychologie. Gebleken is dat voor het succesvol afsluiten van het vak 'Biologische Psychologie' kennis van de biologie van de mens vereist is. Dit zelfstudiepakket is dan ook primair bedoeld voor studenten die geen biologie (VWO-niveau) in het vakkenpakket hebben gehad. De stof die in de syllabus behandeld wordt, sluit nauw aan op de collegestof en het leerboek dat gebruikt wordt in de cursus Biologische Psychologie (An introduction to Brain and Behaviour, Kolb & Whishaw). Andere biologische onderwerpen worden niet behandeld. Als leidraad voor de syllabus is de eindexamenstof biologie op VWO-niveau gehanteerd. Deze syllabus volgt grotendeels de indeling zoals toegepast in 'Biologie voor jou (Malmberg) voor 4,5 en 6 VWO, een landelijk veelvuldig gebruikt leerboek in het VWO. De hoofdstukken zijn dusdanig ingedeeld dat het aan te bevelen is deze in chronologische volgorde door te nemen. Begrippen worden maar eenmaal uitgelegd. Daarnaast worden in elk hoofdstuk onderwerpen behandeld die noodzakelijk zijn om daarop volgende hoofdstukken te begrijpen. De hoofdstukindeling van de syllabus loopt niet parallel met de hoofdstukindeling van het leerboek. Begrippen zijn *cursief* gedrukt en aan het eind van elk hoofdstuk zijn kort de kernpunten gegeven. In de trefwoordenlijst staat op welke pagina een begrip wordt uitgelegd. Naast de leerstof omvat dit zelfstudiepakket ook een groot aantal testvragen met antwoorden waarin de student de kennis van de behandelde stof kan toetsen.

Het wordt studenten die de vereiste biologische kennis niet bezitten aangeraden om deze syllabus vóór aanvang van de cursus 'biologische psychologie' te bestuderen.

Het zelfstudiepakket 'Syllabus Biologie' is ontwikkeld door:

- Prof. Dr. E.L.J.M. van Lijstelaar
- Prof. Dr. A.M.L. Coenen
- Dr. M.D. Leiblum
- Drs. R.L.J.M. Op 't Veld

Voor informatie over de externe distributie van dit zelfstudiepakket, neemt u contact op met: Prof. Dr. E.L.M. van Lijstelaar, adres: Montessorilaan 3, Radboud Universiteit Nijmegen, tel: 024-3615621, e-mail: g.vanlijstelaar@donders.ru.nl.

Diverse personen hebben medewerking verleend aan de verbetering van de originele versie van deze syllabus. In het bijzonder dienen hier Esther Quatfass en Errez Bar, Erica Heesen, Dory Janssen en Cristyl Milne-Elands genoemd te worden. De auteurs houden zich aanbevolen voor eventuele verdere correcties.

Wij wensen u veel succes met uw studie,

Nijmegen, oktober 2013

Het beknopte karakter van de syllabus brengt met zich mee dat er een beperking is in diepgang van enkele onderwerpen. Hoewel getracht is een zo verantwoordelijk mogelijke keuze te maken zijn de auteurs er zich van bewust dat sommigen de beperking in de diepgang van onderwerpen als een gemis ervaren.

Hoofdstuk 1 Elementaire biochemie

Om bepaalde hoofdstukken van deze syllabus te begrijpen, is een elementaire voorkennis van enkele scheikundige begrippen en principes gewenst. In dit hoofdstuk worden die vereiste basisprincipes beknopt uitgewerkt. Daarnaast komen er nog enkele biologische termen aan bod.

1.1 Moleculen en atomen.

Stoffen (zoals zuurstof, ijzer en water) zijn opgebouwd uit kleine eenheden, die vervolgens weer op te splitsen zijn in nog kleinere onderdelen. De kleinste deeltjes van een stof waarin die stof kan worden opgedeeld zonder dat de chemische eigenschappen verloren gaan, zijn de *moleculen*.

Moleculen kunnen weer verder opgesplitst worden tot *atomen*. Er ontstaat dan een stof dat andere chemische eigenschappen heeft dan het *molecuul* waarvan het afkomstig is. Er zijn thans 118 soorten *atomen* bekend (tabel I). *Atomen* zijn de bouwstenen van *moleculen*, en er zijn talloze combinaties mogelijk. Stoffen die uit één soort atoom bestaan worden *elementen* genoemd.

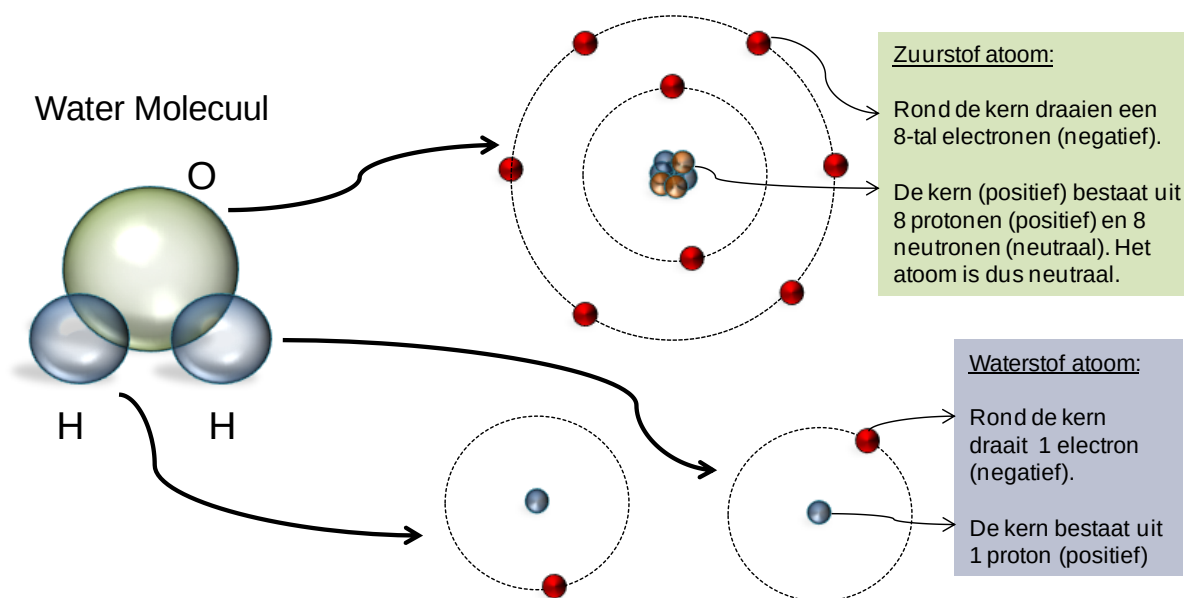
De meeste *moleculen* (stoffen) bestaan uit "combinaties" van verschillende *atomen* en worden *verbindingen* genoemd. De verschillende *atomen* zijn immers met elkaar verbonden tot één *molecuul*. Die *verbindingen* kunnen verschillend zijn in sterkte. Sommige stoffen zijn daardoor makkelijker af te breken dan anderen. De *verbindingen* tussen verschillende *atomen* kunnen ontstaan, doordat de *atomen* een bepaalde waarde hebben. *Atomen* hebben namelijk een positieve, negatieve of neutrale *lading*. Een atoom bevat positieve deeltjes (*protonen*), negatieve deeltjes (*elektronen*) en eventueel neutrale deeltjes (*neutronen*). In principe zijn alle *atomen* neutraal; er zijn dan evenveel *protonen* (positieve deeltjes) als *elektronen* (negatieve deeltjes). De *protonen* en *neutronen* vormen de kern van een atoom. De *elektronen* draaien hier in banen omheen (figuur 1.1). Sommige *elementen* (*atomen*) hebben de neiging *elektronen* van andere *elementen* "op te nemen". Daardoor worden ze negatief geladen. Het atoom heeft dan immers meer negatieve deeltjes dan positieve deeltjes. Andere *elementen* staan gemakkelijk *elektronen* af en zijn dan positief geladen.

Tabel I: Naam en (chemisch) symbool van enkele atomen.

Naam	Symbool
Waterstof	H
Koolstof	C
Stikstof	N
Zuurstof	O
Natrium	Na
Fosfor	P
Kalium	K
Calcium	Ca
Ijzer	Fe
Jodium	I

Verbindingen.

Moleculen zijn dus opgebouwd uit (verschillende) *atomen*. In tabel I staan enkele *elementen* met het scheikundig symbool vermeld. *Verbindingen* worden meestal weergegeven middels een chemische formule (structuurformule). In die formule is weergegeven uit welke *elementen* een verbinding bestaat en hoe groot het aandeel van elk element in die verbinding is.



Figuur 1.1: Links is een molecuul water te zien. Dit molecuul is opgebouwd uit één zuurstof atoom (O) en twee waterstof (H) atomen. De binding ontstaat doordat waterstof haar elektron makkelijk afgeeft. Zuurstof neemt echter makkelijk 2 elektronen op (van elk waterstof molecuul één). In het watermolecuul heeft zuurstof dan 8 protonen en 10 elektronen. De beide waterstof atomen hebben dan geen elektron(en) meer. De atomen van zuurstof en waterstof zijn hierboven afgebeeld.

Water bestaat bijvoorbeeld uit twee waterstof *elementen* (H) en een zuurstof element (O). De structuurformule voor water is dan ook H_2O . Er zijn regels die bepalen welk element als eerste moet worden vermeld (OH_2 , zou ook kunnen). Het voert echter te ver om die regels hier te bespreken. Het cijfer (2) na het element (H) heeft betrekking op het element waar het achter is geplaatst.

Als een *molecuul* een positieve of negatieve *lading* heeft wordt dit weergegeven door respectievelijk een + of een - achter de structuurformule te plaatsen.

1.2 Ionen.

Ionen zijn *elementen* met een bepaalde *lading*. *Ionen* kunnen ontstaan doordat *verbindingen* in aanraking komen met water. Salpeterzuur (HNO_3) valt uiteen in H^+ en NO_3^- . Het valt niet uiteen in H, N, O, O en O omdat de binding tussen N en de drie zuurstofatomen (O_3) te sterk is. H^+ is positief geladen omdat het een elektron aan NO_3^- heeft afgestaan, waardoor NO_3^- negatief wordt. Het salpeterzuur is dus uiteengevallen in een H^+ -ion en een NO_3^- -ion. *Ionen*, hun transport over membranen

en hun bewegingen door gespecialiseerde ionenkanalen staan centraal in de werking van de normale en pathologische hersenen.

1.3 Zuurgraad (pH).

Doordat stoffen positieve of negatieve *ionen* kunnen afstaan aan hun omgeving, wordt de *zuurgraad* van een vloeistof beïnvloed. Als een element veel positieve H^+ *ionen* afstaat wordt een vloeistof zuur. Een element dat negatieve OH^- deeltjes afstaat maakt een vloeistof *basisch* (niet *zuur*). De *pH* is de eenheid waarmee de *zuurgraad* van een oplossing wordt aangegeven. De schaalverdeling loopt van 0 tot en met 14. Er zijn *basische* en *zure* oplossingen. Bij *basische* (niet-zure) stoffen (*pH* 8 tot en met 14) zijn er meer OH^- ionen dan H^+ ionen in de vloeistof aanwezig. Bij zure stoffen (*pH* lager dan 7) zijn er meer H^+ dan OH^- ionen. Hoe groter het verschil in verhouding tussen H^+ en OH^- , hoe hoger of lager de *pH*. Bij een *pH* van 7 zijn er evenveel H^+ als OH^- ionen. Een oplossing is dan neutraal.

1.4 Organische- en *anorganische stoffen*.

Organische stoffen zijn afkomstig van organismen of producten van organismen. *Organische stoffen* hebben vaak een ingewikkelde moleculestructuur. De *moleculen* bevatten altijd één of meer koolstofatomen (C). Andere *atomen* zoals waterstof (H), zuurstof (O) en stikstof (N) zijn vaak aanwezig in organische *verbindingen*. *Vetten*, *eiwitten* en *koolhydraten* zijn voorbeelden van *organische stoffen*.

Anorganische stoffen komen voor in levende organismen maar ook in de levenloze natuur. Ze zijn vaak eenvoudig van bouw en bestaan vaak uit kleine moleculen. Water, ijzer en zuurstof zijn hier voorbeelden van.

1.5 Autotroof en heterotroof.

Organische stoffen zijn gemaakt door organismen. Sommige organismen zijn in staat om uit *anorganische stoffen* *organische stoffen* te maken. Deze organismen zijn *autotroof* (*autos* = zelf; *trophein* = voeden). Autotrofe organismen nemen *anorganische stoffen* op uit hun omgeving en maken daaruit de *organische stof* waaruit ze bestaan. Planten en de meeste bacteriën zijn *autotroof*. Sommige bacteriën zijn chemo-*autotroof* dat wil zeggen dat ze door chemische processen uit anorganische stoffen *organische stoffen* maken. Planten zijn echter foto-*autotroof*. Door licht kunnen ze van *anorganische stoffen* *organische stoffen* maken

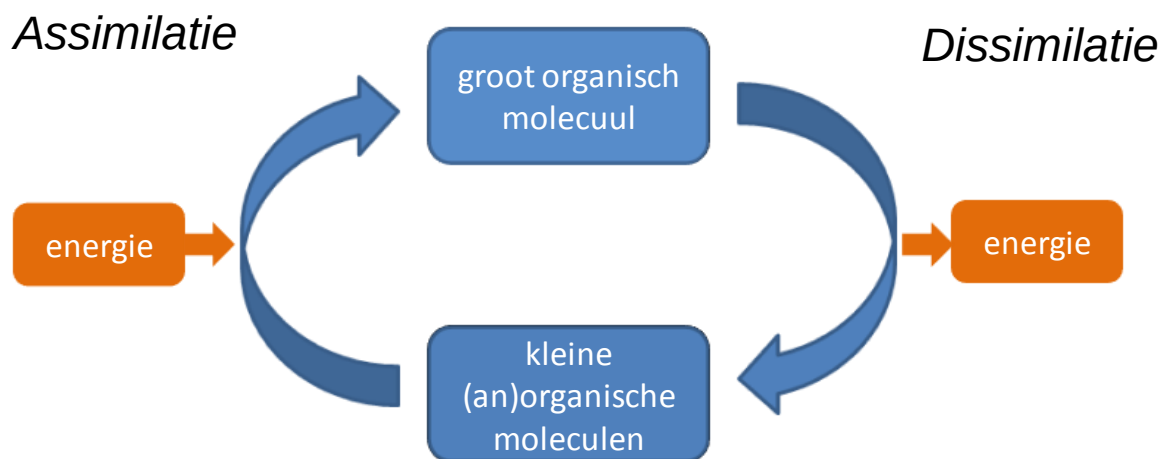
(fotosynthese),

Mensen en andere dieren (zoals kwallen, vogels en insecten) zijn *heterotroof* (*heteros* = ander). Heterotrofe organismen kunnen zelf geen *organische stoffen* uit *anorganische stoffen* vormen. Zij zijn dus afhankelijk van autotrofe organismen om aan *organische stoffen* te komen. Heterotrofe organismen kunnen wel een bepaalde *organische stof* "ombouwen" tot een andere *organische stof*. Daarvoor hebben ze vaak *anorganische stoffen* nodig.

1.6 Dissimilatie en assimilatie.

De door een organisme opgenomen *organische stoffen* kunnen worden afgebroken tot kleinere eenheden. Het afbreken van organische *moleculen* wordt *dissimilatie* genoemd. Tijdens de afbraak komt *energie* vrij. Die *energie* wordt vervolgens gebruikt voor de talloze processen die in een organisme plaatsvinden.

Het opbouwen (maken) van *organische stoffen* uit 'kleinere *moleculen* is *assimilatie*. Dit proces kost *energie*. De chemische processen die plaatsvinden in een organisme (*assimilatie* en *dissimilatie*) wordt de *stofwisseling* of *metabolisme* genoemd (figuur 1.2).



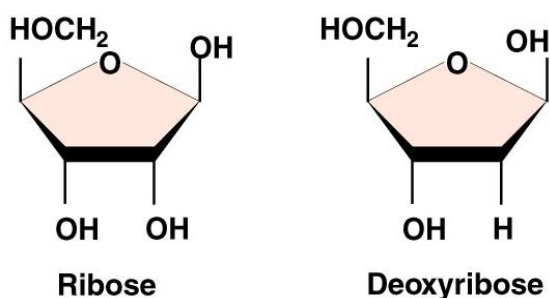
Figuur 1.2: Schematische weergave van metabolische processen.

1.7 Organische stoffen.

Mensen zijn opgebouwd uit *organische stoffen* en alle processen in het lichaam hangen samen met het opbouwen en afbreken van *organische stoffen*. De voornaamste *organische stoffen* (*koolhydraten*, *vetten* en *eiwitten*) worden daarom in deze paragraaf besproken.

Koolhydraten.

Koolhydraten staan beter bekend als *suikers*, ze zijn een belangrijk voedingsmiddel voor het lichaam. Koolhydraten hebben tal van rollen in levende organismen. Polysacchariden dienen voor de opslag van *energie* en structurele componenten. Ribose, een suiker, is een belangrijk onderdeel van co-enzymen en de ruggengraat van RNA. De gerelateerde deoxyribose is een component van DNA (figuur 1.3).

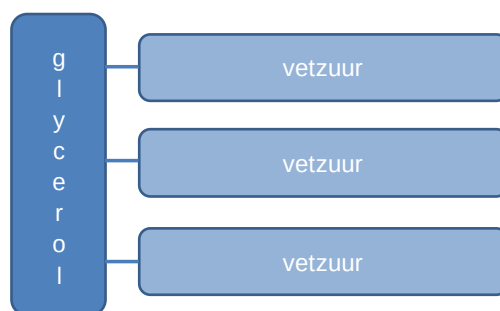


Figuur 1.3: Schematische afbeelding van een ribose en deoxyribose molecuul.

De algemene molecuulformule voor koolhydraten is $C_n(H_2O)_n$. Dit betekent dat alle koolhydraten zijn opgebouwd uit C-atomen (koolstof), H-atomen (waterstof) en O-atomen (zuurstof). Het aantal en de verhouding tussen deze drie elementen bepaalt de vorm en type van het koolhydraat (figuur 1.3). Glucose heeft als formule $C_6H_{12}O_6$, terwijl de formule van bijvoorbeeld deoxyribose, $C_5H_{10}O_4$ is.

Vetten.

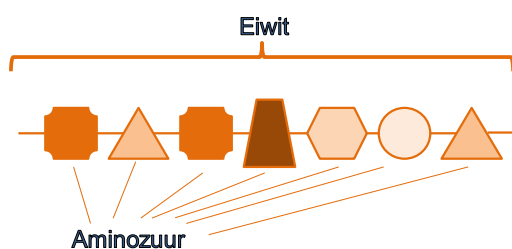
Vetten worden in de biologie meestal *lipiden* genoemd. Vetten lossen niet op in water maar wel in alcohol. Er zijn verschillende soorten lipiden, zoals fosfolipiden die een belangrijke rol hebben in celmembranen (hoofdstuk 2) en triglyceriden. Triglyceriden zijn de vetten die in plantolie en dierlijke vetten voorkomen, ze zijn opgebouwd uit een glycerol (alcohol)-molecuul en drie vetzuurmoleculen (figuur 1.4). Het glycerolmolecuul bestaat uit drie C-atomen waaraan drie OH-groepen zijn gebonden. Deze OH-groepen zijn gebonden aan de zuurgroepen (COOH) van de vetzuurmoleculen, die uit lange ketens van CH_2 groepen bestaan.



Figuur 1.4: Schematische afbeelding van een vet. Vetten zijn opgebouwd uit vetzuren en glycerol.

Eiwitten.

Eiwitten voeren vele functies in levende organismen uit. Ze katalyseren metabole reacties, ze repliceren DNA, ze zijn betrokken bij het reageren op prikkels en bij het



Figuur 1.5: Schematische afbeelding van een eiwit. Eiwitten zijn opgebouwd uit aminozuren.

transport van moleculen van de ene locatie naar de andere. Eiwitten zijn een aaneenschakeling van aminozuren (figuur 1.5). Deze aminozuurketen kan kort (enkele tientallen) of erg lang (duizenden) zijn. In de mens komen 22 soorten aminozuren voor. Aminozuren bestaan uit een C-atoom met daaraan een aminogroep ($-NH_2$), een

zuurgroep (-COOH), een H-atoom en een restgroep. De laatste is kenmerkend voor het aminozuur. In de restgroep kunnen onder andere stikstof en zwavel voorkomen. 13 aminozuren kan de mens zelf maken uit (an)organische verbindingen. 9 aminozuren kan de mens niet zelf maken, dit zijn de essentiële aminozuren.

1.8 Energie.

Voor alle processen in het lichaam is *energie* nodig. Zoals eerder besproken levert *dissimilatie* die benodigde *energie*. Vooral de *dissimilatie* van glucose is een belangrijke *energie* leverancier. De *dissimilatie* van glucose kan met zuurstof (*aeroob*) of zonder *zuurstof* (*anaeroob*) plaatsvinden. Tijdens de *dissimilatie* wordt glucose omgezet tot kooldioxide, water en *energie*. Die *energie* is vastgelegd als ATP (Adeninetriphosfaat) of NAD (nicotinamideAdeninedinucleotide).

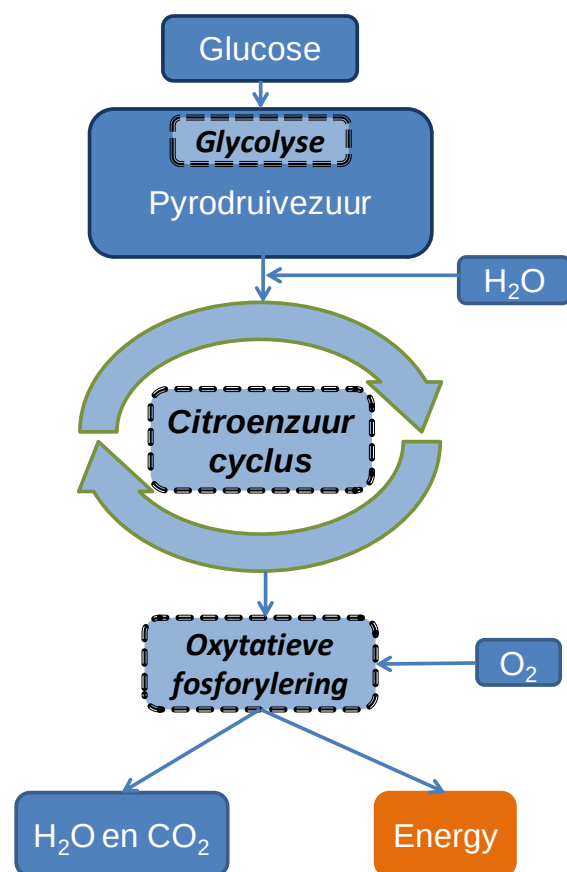
De *dissimilatie* van glucose verloopt volgens een aantal stappen. In het schema hiernaast (figuur 1.6) zijn de opeenvolgende stappen afgebeeld.

Als eerste vindt er *glycolyse* plaats. Tijdens dit proces wordt glucose omgezet in pyrodruivenzuur. Vervolgens wordt het pyrodruivenzuur omgezet tot citroenzuur. Dat *zuur* wordt in de zogenaamde *citroenzuurcyclus* omgezet tot *energie* met als afvalstoffen CO_2 en water. *Energie* ontstaat bij de *glycolyse* en de *citroenzuurcyclus* in de vorm van NADH_2 . In deze vorm is de *energie* nog niet bruikbaar; het moet worden omgezet tot NAD of ATP. Dit gebeurt in de laatste stap, de *oxidatieve fosforylering*. Dit proces kost zuurstof en is gebaseerd op het uitwisselen van *atomen*. De H_2 wordt "gekoppeld" aan zuurstof waardoor water ontstaat (H_2O).

Het eindresultaat van de *oxidatieve fosforylering* is dus water, ATP en NAD.

Niet alleen glucose wordt gedissimileerd.

Ook *vetten* en *eiwitten* kunnen worden afgebroken tot producten die in de *citroenzuurcyclus* worden gedissimileerd. Onder zuurstofloze omstandigheden kan ook *energie* uit glucose worden gegenereerd. Tijdens dit proces, de *anaerobe dissimilatie*, ontstaat, na *glycolyse*, uit pyrodruivenzuur NAD en melkzuur. Daardoor kan bij langdurige inspanning (sport) "verzuring" van de spieren ontstaan.



Figuur 1.6: Sterk vereenvoudigde weergave van de citroenzuurcyclus.

Kernpunten van dit hoofdstuk:

- *Alle stoffen zijn opgebouwd uit moleculen.*
- *Er zijn organische en anorganische stoffen.*
- *Organische stoffen zijn stoffen die gemaakt zijn door autotrofe organismen.*
- *Heterotrofe organismen kunnen zelf geen organische stoffen maken en zijn daarvoor afhankelijk van autotrofe organismen.*
- *Alle processen in het lichaam zijn gebaseerd op het opbouwen (assimileren) en afbreken (dissimileren) van stoffen: stofwisseling of metabolisme.*

Hoofdstuk 2 Cellen

De cel is de basale bouwsteen van alle organismen. Virussen vormen hierop een uitzondering. Cellen werden voor het eerst ontdekt en beschreven door *Robert Hooke* in 1665. Pas in 1839 poneerden *Schleiden* en *Schwann* dat alle levende dingen bestaan uit cellen. Er zijn vele celtypen te onderscheiden zoals spiercellen, *zaadcellen*, kraakbeencellen etc. Ondanks het feit dat de vorm en functie per celtype verschilt, is het basale bouwplan hetzelfde. In dit hoofdstuk wordt de bouw en werking van cellen behandeld.

2.1 Bouw van de menselijke cel.

Dierlijke cellen zijn omgeven door een *celmembraan* en gevuld met *cytoplasma*, een waterige vloeistof waarin *ionen* en kleine *moleculen* zijn opgelost. Grote *moleculen* zijn aanwezig in de vorm van colloïden. Dit is een soort samenklontering van *moleculen*. Daarnaast bevinden zich in het *cytoplasma* de *celorganellen*.

Celorganellen:

Dit zijn structuren die binnen de cel een bepaalde functie hebben. In de menselijke cel zijn verschillende *celorganellen* te onderscheiden (figuur 2.1) De voornaamste organellen zullen in dit hoofdstuk behandeld worden.

Celkern:

Kenmerkend voor dierlijke cellen is de aanwezigheid van een *celkern* (nucleus). Dit organel is omgeven door een dubbel membraan (kernmembraan) waarin zich poriën bevinden. Middels deze poriën staat de *celkern* in verbinding met het *cytoplasma* van de cel. Binnen het membraan bevindt zich het *kernplasma* (protoplasma) met daarin het *DNA* en de kernlichaampjes, die zijn betrokken bij de eiwitproductie. De *celkern* stuurt alle processen die plaats vinden binnen een cel.

Mitochondriën:

Dit zijn boonvormige organellen die bestaan uit een dubbel membraan waarvan het binnenste sterk geplooid is. In de *mitochondriën* wordt middels aerobe *dissimilatie ATP* geproduceerd (zie hoofdstuk 1). Het aantal *mitochondriën* per cel is afhankelijk van de celactiviteit.

Ribosomen:

Deze bolvormige organellen bevinden zich meestal op de membranen van het *endoplasmatisch reticulum*. De *ribosomen* zijn uitermate belangrijk voor de *eiwitsynthese*. In hoofdstuk 5 wordt verder ingegaan op de *eiwitsynthese* door *ribosomen*.

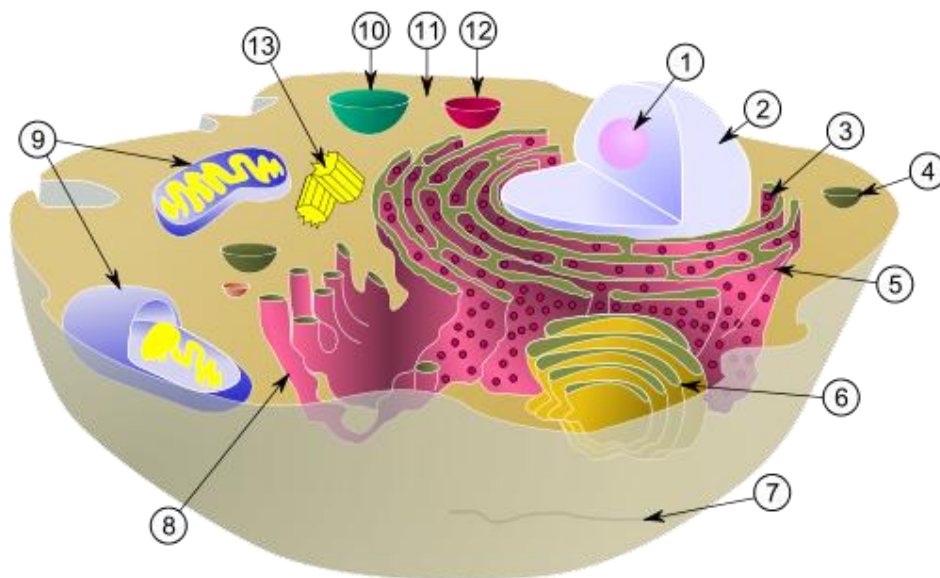
Endoplasmatisch reticulum (e.r.):

Dit is een complex netwerk van dubbele membranen in het *cytoplasma*. De beide membranen liggen dicht tegen elkaar aan waardoor afgeplatte holten en kanaaltjes ontstaan. Het e.r. transporteert de in de *ribosomen* gemaakte *eiwitten* naar andere

delen van de cel.

Golgi-systeem:

Het *Golgi-systeem* bestaat uit opeengestapelde platte blaasjes welke omgeven zijn door een membraan. Het hangt nauw samen met het e.r. Stoffen die gevormd zijn door de *ribosomen* in het e.r. worden naar het *Golgi-systeem* getransporteerd. Het *Golgi-systeem* zorgt vervolgens voor de *secretie* (uitscheiding) van die stoffen door de cel. Het *Golgi-systeem* is dus het centrum waarvan uit de afscheiding van stoffen wordt geregeld. Vooral kliercellen hebben een zeer uitgebreid *Golgi-systeem*. Aan de rand van het membraan worden de geproduceerde stoffen afgesnoerd en naar het *celmembraan* getransporteerd. Het soort stof dat in de cel wordt gesynthetiseerd is afhankelijk van het celtype. In speekselklieren is dit speeksel.



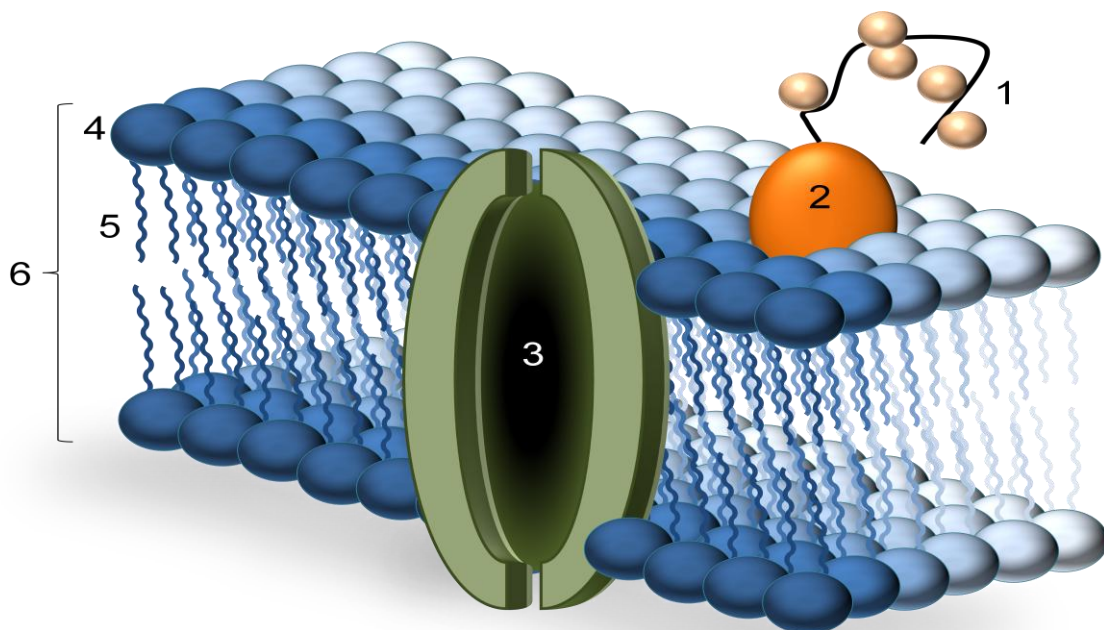
Figuur 2.1: Schematische weergave van een menselijke cel. De verschillende onderdelen zijn genummerd. 1=nucleolus (kernlichaampje), 2=celkern of nucleus, 3=ribosomen, 4=vesikel of blaasje, 5=ruw endoplasmatisch reticulum (RER, R van rough), 6=golgi-apparaat, 7=cytoskelet, 8=glad endoplasmatisch reticulum (SER, S van smooth), 9=mitochondriën, 10=peroxisoom, 11=cytoplasma, 12=lysosoom, 13=centriolen

2.2 Het celmembraan.

De voornaamste bouwstof, de *fosfolipiden*, zijn vetzuurketens met een fosfaatgroep. De fosfaatkant, de kant van een fosfolipide waar de fosfaatgroep zit, is *hydrofiel* (wateraantrekkend) terwijl de vetzuurkant, de kant van een fosfolipide waar de vetzuurketens zitten, *hydrofoob* (waterafstotend) is. De *fosfolipiden* zijn zo gerangschikt dat de hydrofobe zijden naar elkaar toewijzen. Hierdoor ontstaat een dubbele fosfolipidenlaag waarin de *eiwitten* zijn ingebed. Grote *eiwitten* steken aan de binnen- en buitenzijde uit, kleinere bevinden zich aan de buiten- of binnenzijde van het membraan; weer andere vormen poriën. De meeste *eiwitten* hebben koolhydraatketens die naar de buitenzijde uitsteken (figuur 2.2). De manier waarop het celmembraan is samengesteld is cruciaal, zoals later zal worden uitgelegd, in het transport van stoffen van binnen naar buiten de cel en omgekeerd van buiten naar binnen de cel.

2.2.1 Transport van stoffen door het celmembraan.

Er zijn een tweetal transportmechanismen te onderscheiden: passief en actief transport. Passief transport kost geen *energie* en berust op *diffusie* en *osmose*, terwijl bij actief transport wel *energie* verbruikt wordt. Bij transport van stoffen door het celmembraan is het begrip *concentratie* essentieel.



Figuur 2.2: Schematische afbeelding van een celmembraan. De verschillende onderdelen zijn genummerd. 1=koolhydraatketen, 2=eiwit, 3=porie-eiwit, 4=fosfaatgroep, 5=vetzuurgroep, 6=dubbele fosfolipiden laag.

Concentratie.

Elke willekeurige oplossing bestaat uit een *oplosmiddel* en *opgeloste stoffen*. De *concentratie* van een oplossing is de verhouding tussen de hoeveelheid oplosmiddel en de opgeloste stof(fen). Bij organismen is water het belangrijkste oplosmiddel. De *concentratie* van een stof wordt uitgedrukt in mol per liter (mol/l), gram per liter (g/l) of in procenten.

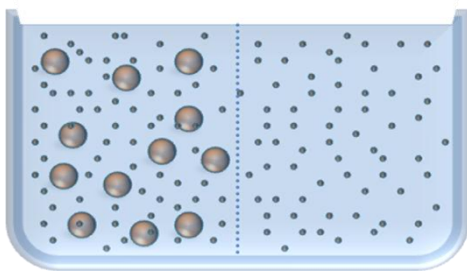
- Als je in 95 gram water 5 gram suiker oplost heb je een oplossing van 100 gram. De *concentratie* van de oplossing is 5% (ze bestaat immers voor 5/100 deel uit suiker).

Diffusie.

Diffusie is de verplaatsing van een stof van een plaats met een hoge *concentratie* naar een lage *concentratie*. *Diffusie* ontstaat doordat de *moleculen* in een vloeistof of gas bewegen. Deze ongerichte bewegingen leiden tot een meer homogene verdeling van de *moleculen*. De diffusiesnelheid is de netto-verplaatsing van een stof per tijdseenheid.

Een voorbeeld van *diffusie* is dat als je een flesje parfum open in een kamer neerzet, je het parfum na verloop van tijd in de hele kamer ruikt.

Osmose.

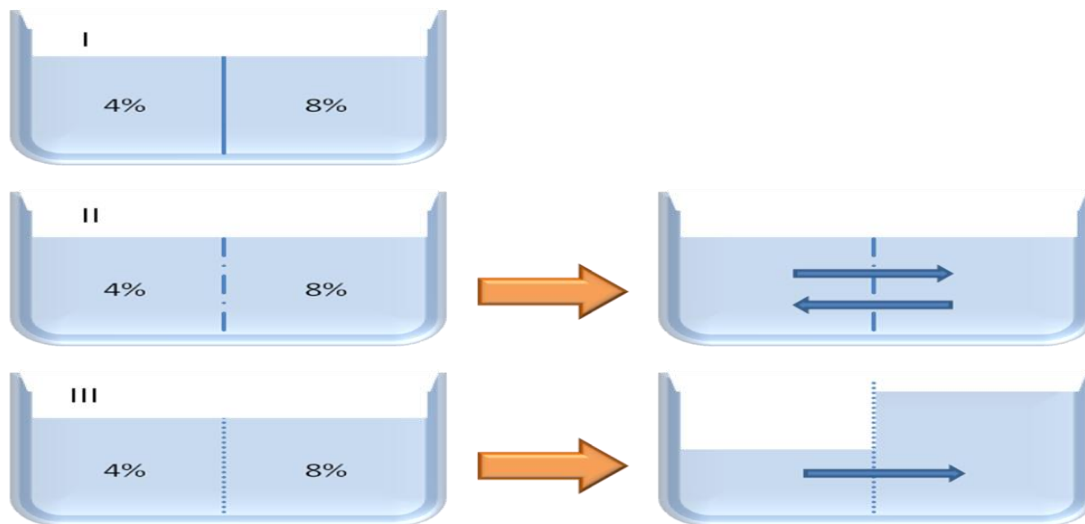


Figuur 2.3: Het principe van een semipermeabel membraan

Diffusie komt ook voor als de gassen of vloeistoffen door een membraan zijn gescheiden. Een dergelijk membraan is *permeabel* (doorlatend). Bij *semipermeabele* membranen wordt wel het oplosmiddel maar niet de opgeloste stof doorgelaten (figuur 2.3). De poriën in het membraan zijn namelijk zo klein dat ze alleen de *moleculen* van het oplosmiddel doorlaten. *Osmose* kan plaatsvinden bij

semipermeabele membranen. *Osmose* is de *diffusie* van water uit een oplossing door een *semipermeabel membraan* naar een oplossing met een hogere *concentratie*. Het principe achter *osmose* is het feit dat *moleculen* water aantrekken. Door deze aantrekkingskracht "zuigen" ze als het ware water naar zich toe (figuur

In figuur 2.4 staan de processen *diffusie* en *osmose* afgebeeld. Als je een bak met water met een ondoorlaatbaar membraan door midden deelt (I), en je voegt verschillende de *concentraties* suiker toe, dan zullen de *concentraties* verschillend blijven. De vloeistofspiegels blijven even hoog. Als het membraan dat de bak door midden deelt permeabel is (II), dan kunnen zowel suiker als watermoleculen door het membraan gaan. De vloeistofspiegel blijft gelijk, maar de *concentraties* zullen hetzelfde worden aan beide zijden van het membraan. Dit proces heet *diffusie*. In het voorbeeld in figuur 2.4 zal deze 6% worden. Als de bak door een *semipermeabel membraan* verdeeld wordt (III), dan kunnen alleen watermoleculen door het



Figuur 2.4: Weergave van het proces van diffusie (I en II) en osmose (III), door verschillende typen membraan. De bakken links zijn gevuld met een suikeroplossing van 4% en 8%.

membraan gaan. De *concentraties* zullen uiteindelijk hetzelfde worden (6%), maar door de verplaatsing van water zal de waterspiegel stijgen aan de kant waar de suikerconcentratie in het begin het hoogst was, en dalen aan de kant waar de suikerconcentratie in het begin het laagst was. Dit proces heet *osmose*.

De *concentratie* van opgeloste stoffen zorgt ervoor dat een oplossing een bepaalde *osmotische waarde* heeft. Als de *concentraties* van twee oplossingen gelijk zijn, spreekt men van een *isotone* oplossing. Een hogere *concentratie* is *hypertonisch* ten opzichte van een vloeistof met een lagere *osmotische waarde*, welke dan *hypotonisch* is.

- Lichaamscellen die in een *hypertone* vloeistof worden gebracht, zullen inkrimpen. De *concentratie* opgeloste stoffen in de cel is lager dan die van de omgeving. Water zal zich daarom vanuit de cel verplaatsen naar de omringende vloeistof. Hierdoor ontstaat in de cel een tekort aan water. Een cel in een *hypotone* vloeistof zal echter zoveel water opzuigen dat ze uit elkaar knapt. Alleen in een isotone oplossing blijft de vorm en volume van een cel gehandhaafd.

Passief transport door het celmembraan.

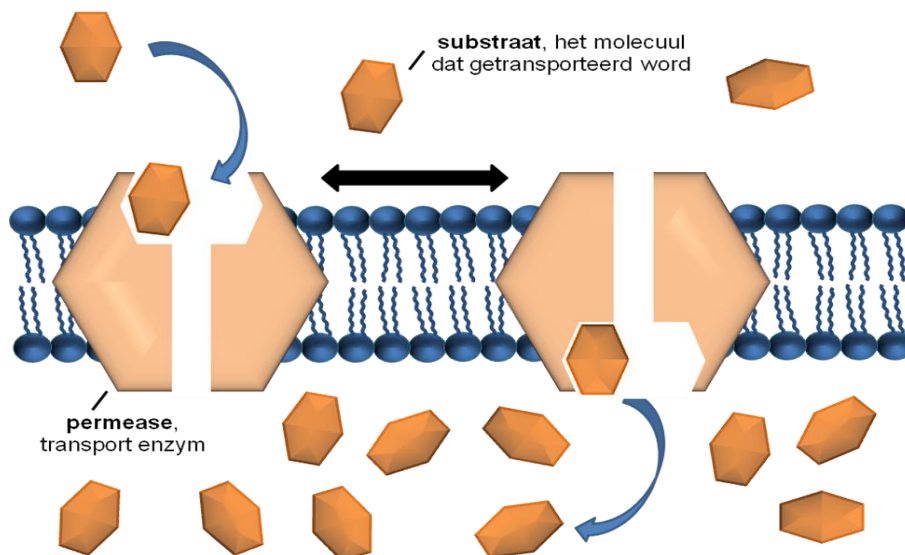
Het *celmembraan* vormt een selectieve barrière tussen de cel en haar omgeving; het laat bepaalde stoffen door en houdt anderen tegen. Het membraan is daarom selectief permeabel. De hydrofobe vetzuurketens, zoals eerder besproken en afgebeeld in figuur 2.2, vormen een barrière voor water en de daarin opgeloste stoffen, ze zijn echter permeabel voor *vetten* en daarin oplosbare stoffen. Celmembranen zijn vrijwel ondoorlaatbaar voor grote *eiwitten* en *koolhydraten* (zie figuur 2.2).

Watertransport wordt veroorzaakt door *osmose*, het transport van gassen door

diffusie. Passief transport kost geen *energie* en gaat met de *concentratiegradiënt* mee. Dit impliceert dat stoffen zich verplaatsen van een plek met een hogere *concentratie* naar een plek met een lagere *concentratie* opgeloste stoffen.

Actief transport door het celmembraan.

Voor het transport van *ionen*, *aminozuren* en glucose is actief transport nodig. Dit type transport kost *energie* en vindt meestal plaats tegen de *concentratiegradiënt* in. Stoffen worden dan van een plaats met een lage *concentratie* naar een plaats met een hoge *concentratie* getransporteerd (figuur 2.5). De *energie* benodigd voor dit transport wordt geleverd door de *mitochondriën*. Bij het actief transport zijn bepaalde *eiwitten* betrokken die werkzaam zijn als transportenzymen (*permeasen*). Buiten de cel vormen het te transporteren *molecuul* (*substraat*) en het permease een verbinding. Dit *enzym-substraat complex* wijzigt de vorm van het permease (eiwit) waardoor het *substraat* naar de binnenzijde van het membraan wordt verplaatst.



Figuur 2.5: Schematische weergave van het actief transport van moleculen door het celmembraan. Het transport gaat tegen de concentratiegradiënt in. Dus van een plaats met een lage concentratie naar een plaats met een hoge concentratie.

2.3 Enzymen.

De chemische reacties die in cellen plaatsvinden, berusten op de beweging van moleculen en het tegen elkaar botsen van *moleculen*. Hierdoor worden *verbindingen* tussen *atomen* verbroken en ontstaan er nieuwe *verbindingen* (m.a.w. tijdens een chemische reactie worden stoffen afgebroken en ontstaan er nieuwe stoffen). De beperkende factor bij chemische reacties is de temperatuur. Bij een lage temperatuur bewegen *moleculen* minder snel waardoor de kans op een reactie verkleint.

- Bij kamertemperatuur zal een bekglas met benzine niet spontaan in brand vliegen. Pas als er een vonk bijkomt, zal dat gebeuren. De verbranding vindt pas plaats als de *energie drempel* wordt overschreden, de vonk in dit voorbeeld is de benodigde *activeringsenergie*.

Enzymen zijn stoffen die een chemische *reactie versnellen (katalyseren)* zonder daarbij zelf verbruikt te worden. De stof waarmee een reactie wordt aangegaan wordt *substraat* genoemd. De naam van *enzym* is veelal afgeleid van het *substraat*, met '-ase' als achtervoegsel.

- *Acetylcholine-esterase* is het *enzym* dat *Acetylcholine* afbreekt. *Acetylcholine* is een bekende *neurotransmitter* die betrokken is bij de werking van het *zenuwstelsel* (hoofdstuk 6).

Een enzymmolecuul heeft een complexe ruimtelijke structuur die aangepast is aan een bepaald *substraat*. Hierdoor zijn *enzymen* specifiek: ze "binden" alleen aan een type *substraat*. Dit is het beste te vergelijken met een sleutel en bijbehorend slot. De plaats in het enzymmolecuul waar de binding plaats vindt, is het *actief centrum*. Na binding ontstaat er een *enzym-substraat complex (E-S-complex)*. Door deze binding wordt het *substraat* in een bepaalde positie gebracht waardoor *verbindingen* tussen *atomen* kunnen worden verbroken en andere worden gemaakt. Na de reactie wordt het *E-S-complex* opgeheven en kan het *enzym* opnieuw gebruikt worden. Naast het substraatspecifieke karakter van een enzymmolecuul zijn deze ook reactiespecifiek: elk *enzym* katalyseert een bepaalde reactie.

Enzymen zijn betrokken bij de *assimilatie* (opbouw) en *dissimilatie* (afbraak) van stoffen. De snelheid waarmee een *enzym* een stof omzet is de omzettingssnelheid. De omzettingssnelheid van *enzymen* is afhankelijk van een aantal factoren die van invloed zijn op de effectiviteit van het *enzym*:

1: pH (zuurgraad), ieder *enzym* werkt het beste bij een bepaalde *pH*. Bij een *zuurgraad* die afwijkt van de optimale *pH* (het zogenaamde optimum) verandert de ruimtelijke structuur van het *enzym*, hierdoor is de vorming van een *E-S-complex* niet meer mogelijk.

2: Temperatuur, menselijke *enzymen* werken het beste bij een temperatuur van 37°C. Beneden de minimumtemperatuur bewegen *moleculen* te langzaam om een *E-S-complex* te kunnen vormen. Bij het overschrijden van de maximumtemperatuur verliezen de *enzymmoleculen* hun specifieke structuur: ze denatureren. De eiwitcomponent van het *enzym* "stolt", dit proces is onomkeerbaar.

3: Enzymconcentratie, hoe meer *enzymen* hoe hoger de omzettingssnelheid.

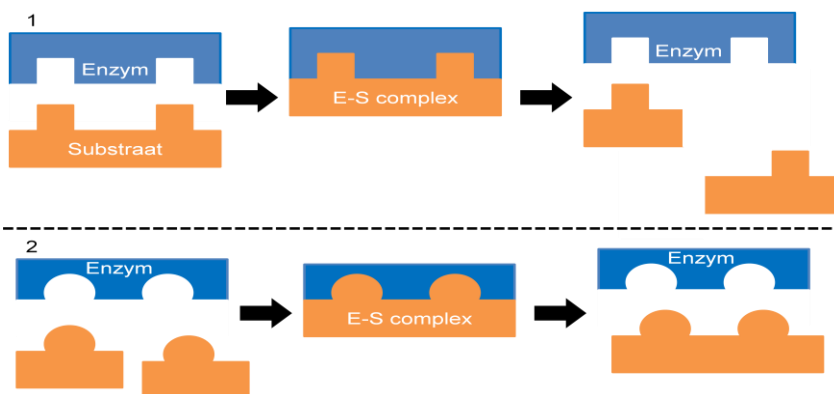
4: Activatoren, dit zijn stoffen die de enzymactiviteit verhogen zoals bepaalde medicijnen. Deze stoffen binden zich aan een enzymmolecuul dat daardoor van structuur verandert waardoor er makkelijker een *E-S-complex* kan worden gevormd.

5: Inhibitoren, stoffen die de enzymactiviteit remmen. Er zijn een tweetal typen te onderscheiden namelijk *concurrerende remming* en *niet-concurrerende remming*. Concurrerende remmers (figuur 2.6) hebben een moleculaire structuur die erg veel lijkt op die van het *substraat*. Het eigenlijke *substraat* kan geen complex vormen met

het *enzym* omdat de remmer het actief centrum "bezet". Deze binding is echter omkeerbaar. De werking van bepaalde psychofarmaca zoals *disulfiram* is hierop gebaseerd. *Disulfiram* is een ontwenningmiddel dat wordt gebruikt bij de behandeling van alcoholisme. Het is een concurrerende remmer die de activiteit van acetaldehyde dehydrogenase remt. Het zorgt er voor dat de patiënt na alcoholinname geconfronteerd wordt met onaangename effecten zoals braken, hoofdpijn, versnelde hartslag, hevige transpiratie en rood aanlopen.

Niet-concurrerende remstoffen (figuur 2.6) bezetten niet het actief centrum, maar binden zich aan het *enzym* waardoor deze van structuur verandert. Zware metalen als cadmium, lood en zink zijn hier voorbeelden van.

In een cel zijn *enzymen* actief in de *mitochondriën* (*citroenzuurcyclus*, zie hoofdstuk 1), kern (*DNA* en *mRNA* productie), *ribosomen* (*eiwitsynthese*) en het *cytoplasma* (*glycolyse*, zie hoofdstuk 1). *Enzymen* zijn dus niet alleen betrokken bij



Figuur 2.7: Schematische weergave van (1) een enzym betrokken bij afbraakprocessen (*dissimilatie*) en (2) een enzym betrokken bij opbouw van stoffen als eiwitten (*assimilatie*).

afbraakprocessen. Bij de *eiwitsynthese* koppelen *enzymen* *aminozuren* aan elkaar. *Enzymen* zijn dus zowel bij de *assimilatie* als bij de *dissimilatie* betrokken (Figuur 2.7).

2.3 De *celcyclus*.

Tijdens de groei van een organisme komen er steeds nieuwe cellen bij. Ook nadat de groei gestopt is, worden er nieuwe cellen gemaakt bijvoorbeeld ter vervanging van afgestorven cellen of bij het herstel van wonden. Nieuwe cellen ontstaan door *mitose* (kerndeling) en *celdeling*. De cel die gaat delen is de *moedercel*, het eindresultaat van de *mitose* zijn twee *dochtercellen* met identieke (erfelijke) eigenschappen.

De verschillende fasen die een cel doorloopt tussen twee opeenvolgende delingen wordt de *celcyclus* genoemd. De benodigde tijd voor een volledige *celcyclus* is verschillend voor de verschillende weefsels. Darmepitheelcellen (darmwandcellen) kunnen zich elke 8 tot 10 uur delen. Hersencellen delen zich echter niet.

Zoals hierboven vermeld is, bestaat de *celcyclus* uit een aantal fasen. De *interfase*

is het tijdsinterval tussen twee kerndelingen in. Voor darmepitheelcellen is deze fase betrekkelijk kort.

De *interfase* is opgedeeld in een drietal andere fasen (figuur 2.8);

1) G_1 -fase

Deze fase bevindt zich tussen het einde van de voorafgaande *mitose* en het begin van de *DNA* verdubbeling die nodig is voor de volgende deling. Deze fase is dus de fase direct na de *celdeling*. In de jonge cel neemt de hoeveelheid *cytoplasma* toe (*plasmagroei*) evenals het aantal *celorganellen*. Cellen die zich niet meer gaan delen blijven in deze fase "hangen" totdat ze afsterven.

2) S-fase

Tijdens deze fase, ook wel synthesefase genoemd, wordt het *DNA* verdubbeld. Zodra een cel zich gaat delen, belandt de cel in deze fase.

3) G_2 -fase

Deze fase vormt de directe voorbereiding op de *mitose*, het *DNA* is nu verdubbeld, ieder chromosoom bestaat nu uit twee *chromatiden*. Een chromatide is één helft van twee identieke kopieën van een gerepliceerd chromosoom. De cel is nu eigenlijk tetraploïd. Elk van de 23 verschillende *chromosomen* is nu in viervoud aanwezig.

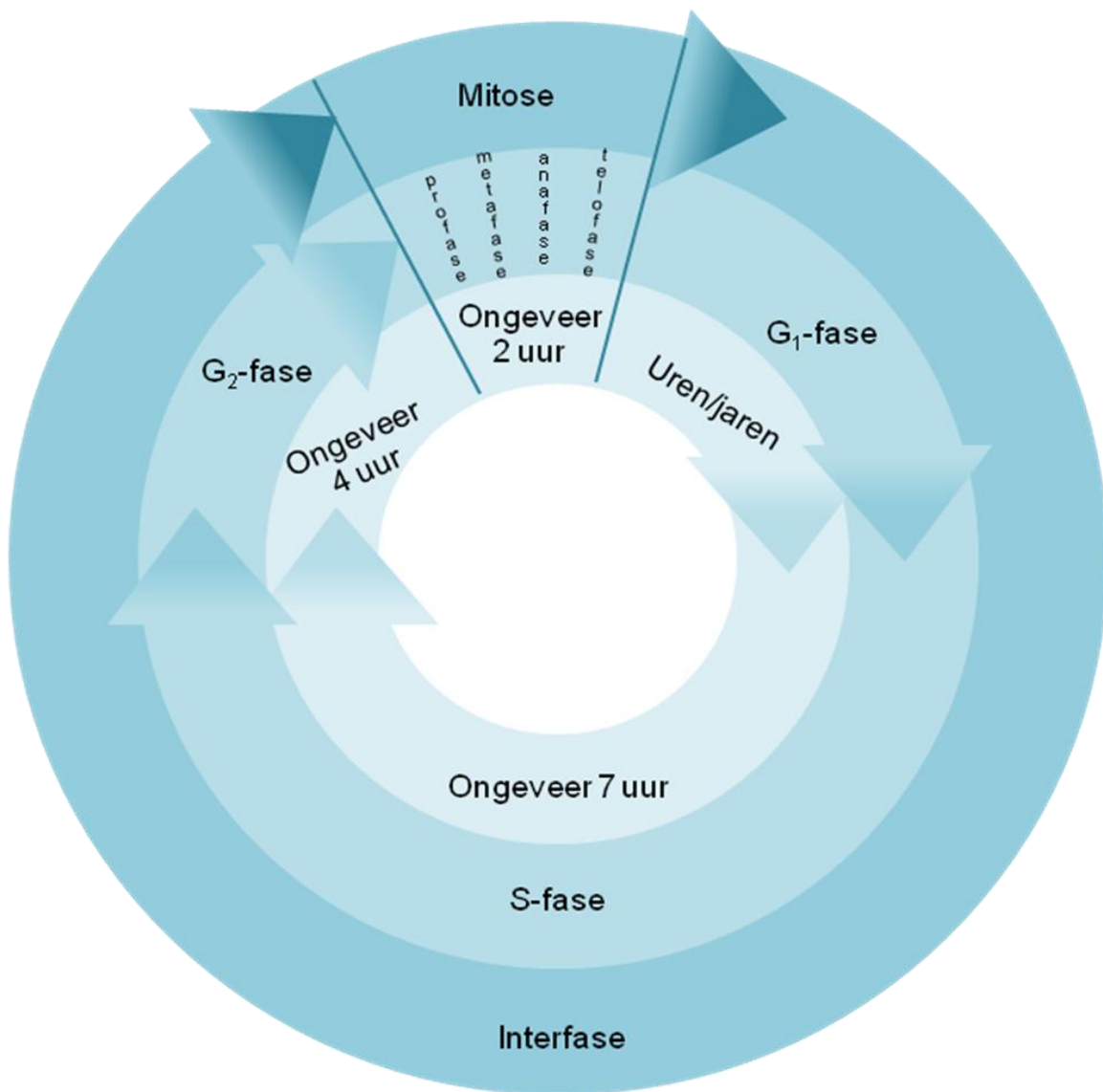
Na de *interfase* volgt de m-fase (de *mitose*) waarin door *mitose* het kernmateriaal wordt opgedeeld over de twee celhelften. Ten slotte volgt de echte *celdeling* waarbij het *celmembraan* wordt afgesnoerd zodat er twee individuele *dochtercellen* ontstaan.

Mitose.

In het figuur 2.9 zijn de verschillende fasen van de *mitose* weergegeven. De leesrichting is van links naar rechts.

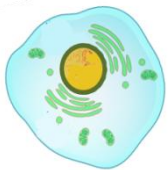
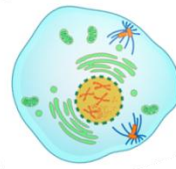
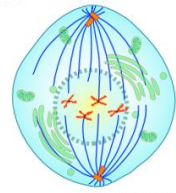
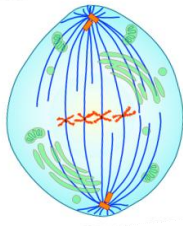
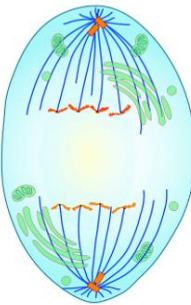
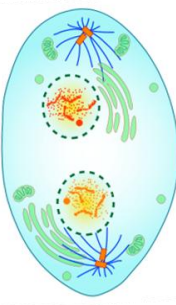
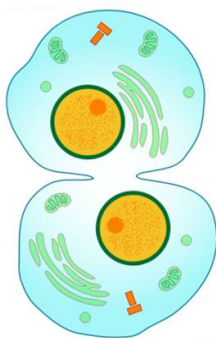
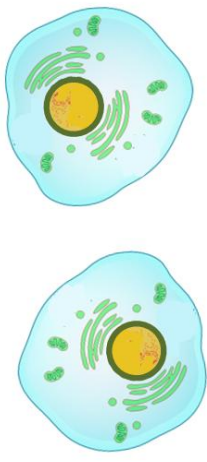
Chromosomen.

In de *celkern* bevindt zich het erfelijk materiaal in de vorm van *chromosomen*. *Chromosomen* zijn normaliter aanwezig als lange dunne draden. Zodra een cel zich gaat delen gaan de *chromosomen* spiraliseren, ze worden korter en dikker (figuur 2.8). *Chromosomen* zijn opgebouwd uit *DNA-moleculen* en *eiwitten*. Er wordt verondersteld dat elk chromosoom uit een *DNA-molecuul* bestaat.



Figuur 2.8: Schematische weergave van de celcyclus. De interfase bestaat uit de G₁, S en G₂ fasen.

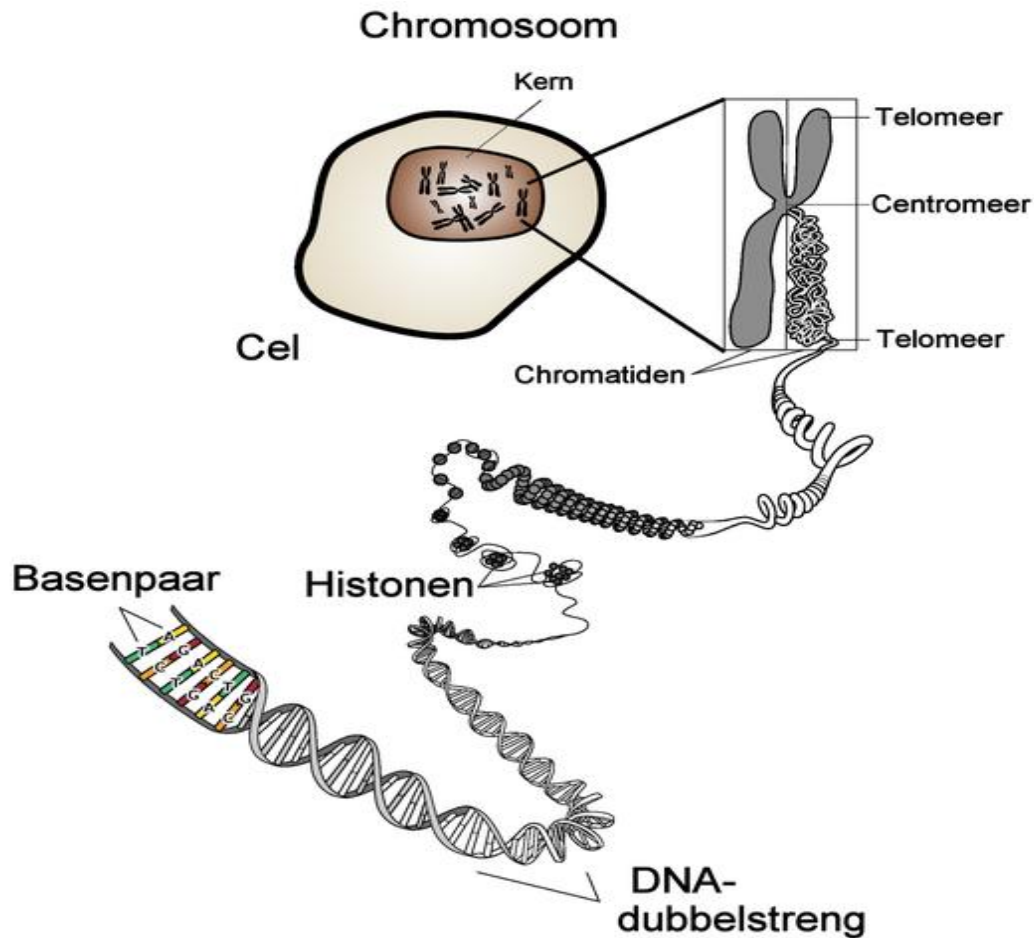
Het aantal *chromosomen* verschilt per organisme, een mens heeft 46 *chromosomen*. Deze komen in paren voor, van elk chromosoom zijn er twee. Een mens heeft dus 23 verschillende *chromosomen*. Een set bij elkaar horende *chromosomen* zijn homolog, gelijk in lengte en vorm. Het aantal *chromosomen* in een *celkern* wordt aangegeven met n , bij de mens is $n = 23$. Omdat de *chromosomen* in paren voorkomen (van elk type zijn er 2) spreekt men van een *diploïde* cel. Dit geef je weer als $2n$. Een enkele menselijke cel (*zaadcel* en *eicel*) heeft 23 ongepaarde *chromosomen* $n=23$, de cel is echter niet diploïd maar *haploïd* (n).

			
-Interfase is de periode tussen twee celdelingen -Chromosomen zijn draadvormig en niet zichtbaar -De DNA replicatie begint	-In de profase zijn de gespiraliseerde chromosomen zichtbaar -Elk chromosoom bestaat nu uit twee chromatiden -Het kernmembraan verdwijnt in deze fase	-In de metafase is het kernmembraan verdwenen -De chromosomen liggen in het midden van de cel, het equatoriaal vlak -In de celpolen ontstaat een spoelfiguur van trek- en steundraden richting de centromeer. De centromeer is het deel van een chromosoom dat zusterchromatiden koppelt.	-In de anafase worden de chromatiden van elk chromosoom uit elkaar getrokken -De trekdraden zitten vast aan de centromeer van het chromosoom
			
-De chromatiden worden naar de polen van de cel getrokken -In beide polen bevindt zich nu een gelijke set chromatiden	-In de telofase vormen de chromosomen twee celkernen -De chromosomen bestaan dus niet meer uit chromatiden	-Vervolgens despiraliseren de chromosomen: het worden weer lange, dunne draden -Er ontstaan kernmembranen en celmembranen. Het cytoplasma wordt over beide helften verdeeld	-De chromosomen zijn draadvormig -Er zijn twee diploïde dochtercellen ontstaan met dezelfde genetische kenmerken als de moedercel

Figuur 2.9: Overzicht van de verschillende fasen van mitose.

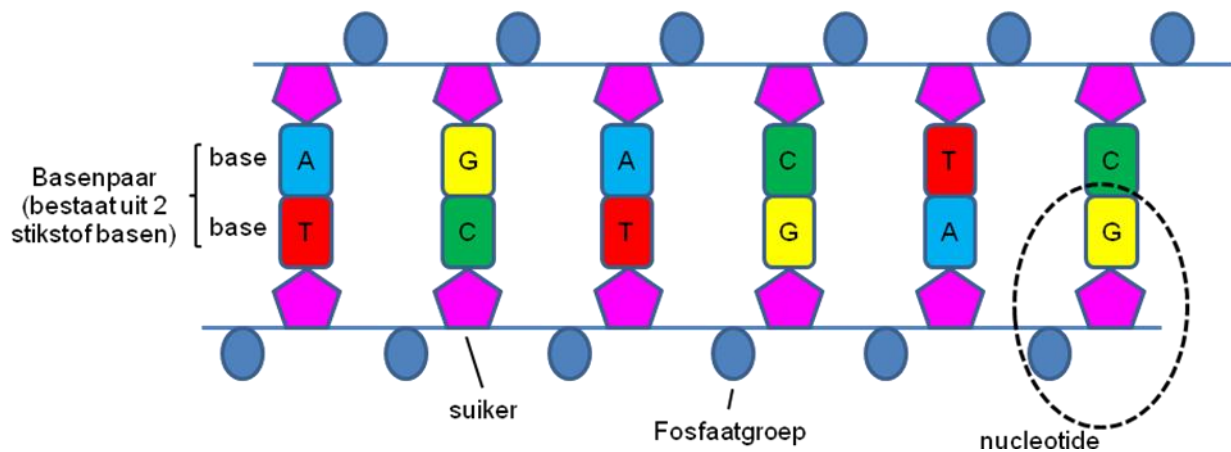
DNA.

DNA is de afkorting van het woord **deoxyribose nucleïne zuur (acid)**. Het is een langgerekt, spiraalvormig molecuul. Een DNA-molecuul is opgebouwd uit een tweetal ketens waarin telkens een fosfaatgroep wordt afgewisseld met een suiker



Figuur 2.10: Grafische decompositie van een chromosoom (gevonden in de celkern), tot het basenpaar in het DNA.

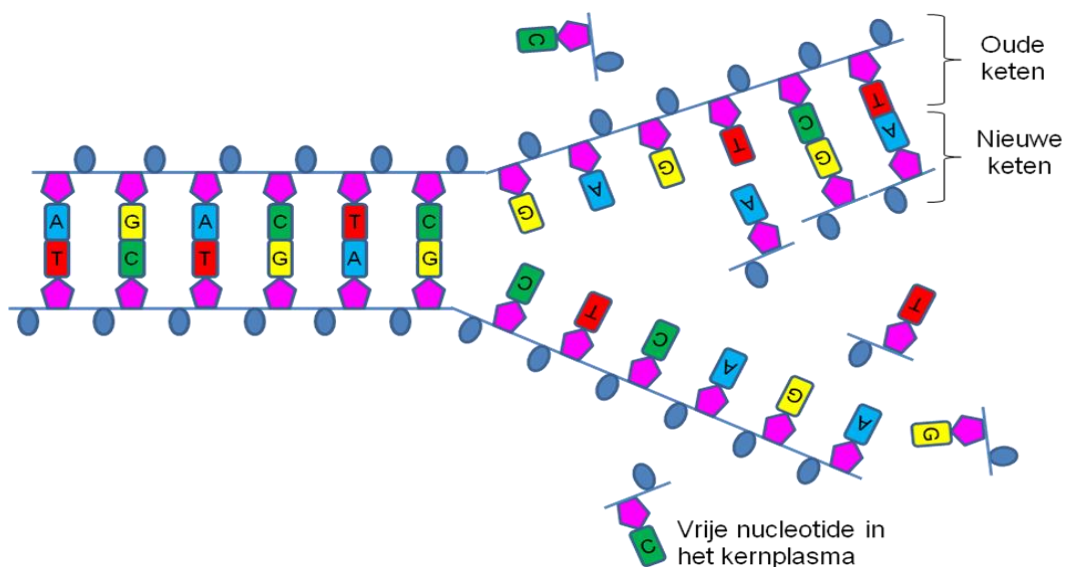
(deoxyribose). Aan de suikercomponent zijn via de fosfaatgroep *stikstofbasen* gekoppeld welke onderling verbonden zijn en die de twee ketens bij elkaar houden (figuur 2.10). Er zijn een viertal *stikstofbasen*: *Adenine* (A), *thymine* (T), *guanine* (G) en *cytosine* (C). *Adenine* en *thymine* vormen onderling een binding, evenals *guanine* en *cytosine*. Een fosfaatgroep, een suiker en een stikstofbase vormen samen een *nucleotide* (figuur 2.11). De miljoenen nucleotidenketens zijn spiraalsgewijs om elkaar gewonden (figuur 2.10).



Figuur 2.11: Deel van een DNA molecuul. In het ovaal is een nucleotide afgebeeld.

DNA replicatie.

Voordat de *mitose* begint, vindt er eerst *DNA* replicatie plaats. Tijdens dit proces wordt het chromosomaal materiaal verdubbeld. Als eerste gaan de ketens uit elkaar doordat respectievelijk de A en T en de C en G *verbindingen* van de basen worden verbroken. De "lege" plekken worden door in het celplasma aanwezige *nucleotiden* opgevuld (figuur 2.12). Het eindresultaat is twee identieke *DNA-moleculen*, de *chromatiden* (het chromosoom bestaat nu uit twee dezelfde delen). Tijdens de *mitose* gaan de *chromatiden* van het chromosoom uit elkaar; elke dochtercel heeft zo weer een complete set *chromosomen* ($2n \rightarrow 2n + 2n$).



Figuur 2.12: Schematische weergave van DNA replicatie.

Kernpunten van dit hoofdstuk.

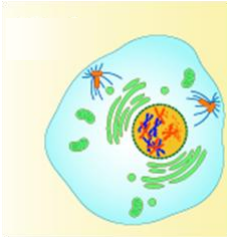
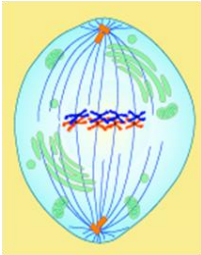
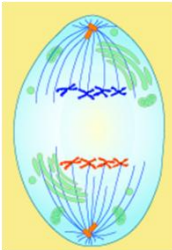
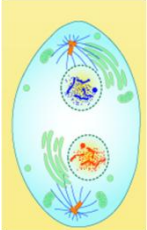
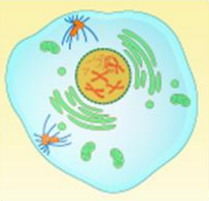
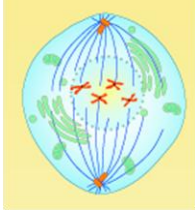
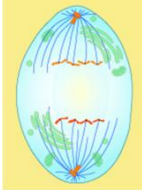
- *Cellen zijn de basale bouwstenen van alle organismen.*
- *In de cel bevinden zich celorganellen die elk een bepaalde functie hebben.*
- *Menselijke cellen worden omgeven door een celmembraan.*
- *Door middel van actief en passief transport kunnen stoffen door cellen worden opgenomen of afgegeven. Bij alle metabole processen die in een cel plaatsvinden zijn enzymen betrokken.*
- *Het erfelijk materiaal bevindt zich in de vorm van DNA in de celkern. Voor de celdeling wordt het DNA verdubbeld. Dit is de DNA replicatie. Tijdens de mitose wordt het kernmateriaal verdeeld. Door celdeling ontstaan uit een cel twee identieke dochtercellen.*

Hoofdstuk 3 Voortplanting en embryonale ontwikkeling

In dit hoofdstuk worden de bouw en werking van het voortplantingsstelsel behandeld. Daarnaast worden ook de embryonale ontwikkeling en hormonale processen toegelicht.

3.1 Meiose.

Bij de geslachtelijke voortplanting versmelten de *geslachtscellen* (zaadcel en eicel). De *zygote* die hieruit ontstaat, heeft dus genen van de man en de vrouw. Aangezien menselijke cellen diploïde zijn, zou er bij versmelting een tetraploïde *zygote* ontstaan ($2n + 2n = 4n$). Om dit te voorkomen is er naast *mitose* nog een ander type *celdeling*:

Profase I	Metafase I	Anafase I	Telofase I
			
-In de profase zijn de gespiraliseerde chromosomen zichtbaar -De homologe chromosomen vormen paren -Elk chromosoom bestaat uit 2 chromatiden -Het kernmembraan verdwijnt in deze fase	-In de metafase I is het kernmembraan verdwenen -De chromosomen liggen in het midden van de cel, het equatoriaal vlak.	-In de anafase I worden de chromosomen richting celpolen getrokken -Van elk chromosoom gaat een paar naar elke pool	-In de telofase I ontstaan twee haploïde cellen
Profase II	Metafase II	Anafase II	Telofase II
			
-In de profase II gaan in beide cellen de chromosomen op het equatoriale vlak liggen	-In beide cellen ontstaan spoelfiguren van trek- en steundraden. Deze lopen van de polen naar de centromeer	-In de anafase II worden de chromatiden uit elkaar getrokken -De chromatiden verplaatsen zich richting celpool	-In te telofase II ontstaan weer kernmembranen -Uit elke cel ontstaan twee nieuwe cellen -Vervolgens despiraliseren de chromosomen -Het eindresultaat van de meiose zijn 4 haploïde cellen

Figuur 2.13: Overzicht van de verschillende fasen van meiose.

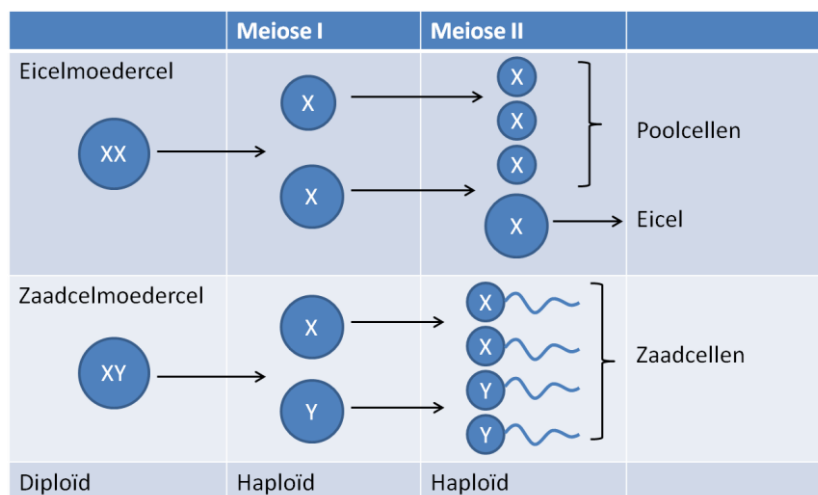
de *meiose*. Bij de mens vindt *meiose* plaats in de *teelballen* van de man en in de *eierstokken* van de vrouw.

De *meiose* bestaat uit een tweetal stadia te weten *meiose I* en *meiose II*. Bij *meiose I* ontstaan door deling uit één diploïde cel, twee *haploïde* cellen. Omdat het aantal *chromosomen* wordt gehalveerd van 46 naar 23 wordt *meiose I* ook wel reductie-deling genoemd. In de tweede fase, *meiose II*, ontstaan uit de twee *haploïde* cellen, vier *haploïde* cellen. Net als bij de *mitose* zijn zowel *meiose I* als *meiose II* op te delen in een aantal fasen. In het schema de vorige pagina, zijn de verschillende stadia van de *meiose* weergegeven.

3.2 De vorming van zaadcellen en eicellen.

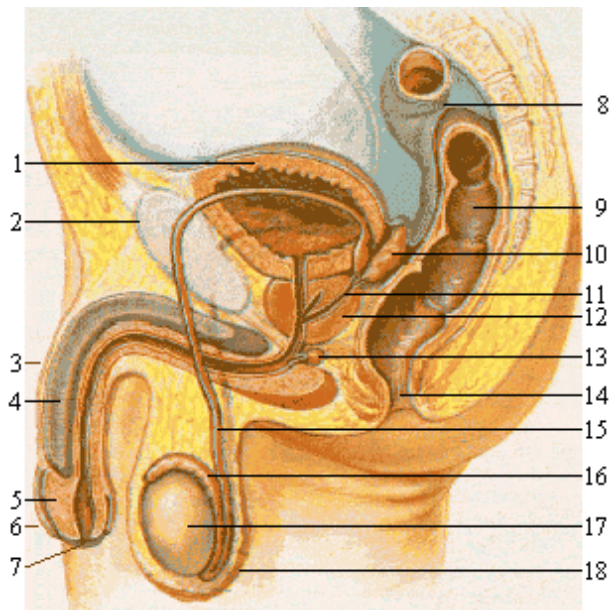
Bij de man ontwikkelt zich uit de zaadcelmoedercel een viertal *haploïde* cellen. Dit zijn de *zaadcellen*. Echter, bij de vrouw zijn na *meiose I* de cellen van ongelijke grootte (een grote en een kleine cel). Dit komt omdat vrijwel al het *cytoplasma* in een dochtercel terecht is gekomen. Beide cellen ondergaan *meiose II*, weer gaat het meeste *cytoplasma* naar één cel; de *eicel*: De overige drie cellen zijn de zogenaamde *poolcellen*, welke te gronde gaan (figuur 3.1).

De *eicel* bevat vrijwel al het *cytoplasma*, dat dient als reservevoedsel voor de eerste ontwikkeling van het *embryo*. Na *meiose* vindt geen *plasmagroei* plaats, vandaar ook dat *eicellen* veel groter zijn dan *zaadcellen*.



Figuur 3.1: Schematische weergave van de vorming van zaadcellen en eicellen bij de mens

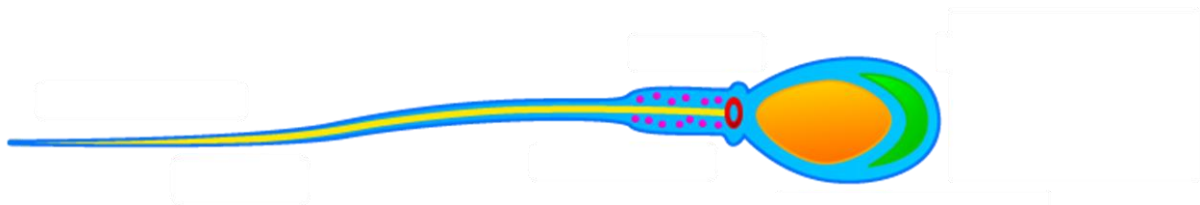
In figuur 3.2 is een afbeelding van het mannelijk voortplantingsstelsel te zien. De twee *teelballen* produceren miljoenen *zaadcellen* en liggen in het *scrotum*. De temperatuur in het *scrotum* is gemiddeld twee graden lager dan in de rest van het lichaam. In de *teelballen* bevinden zich sterk gekronkelde *zaadkanaaltjes* waarvan de wandcellen zich voortdurend delen. Uit deze *zaadcelmoedercellen* ontwikkelen zich door *meiose* *zaadcellen* die via de *zaadkanaaltjes* naar de *bijballen* worden getransporteerd. Hier worden de *zaadcellen* tijdelijk opgeslagen: door de lage *pH* in de *bijbal* zijn ze immobiel. Tijdens de ejaculatie worden de *zaadcellen* door



Figuur 3.2: Zijaanzicht van het mannelijk voortplantingsstelsel. 1. Blaas, 2. Schaambeent, 3. Penis, 4. Zwellichaam, 5. Eikel, 6. Voorhuid, 7. Urinebuis opening, 8. Dunne darm, 9. Endeldarm, 10. Zaadblaasjes, 11. Afvoerbuis, 12. Prostaat, 13. Klieren van Cowper, 14. Anus, 15. Zaadleider, 16. Bijbal, 17. Teelbal, 18. Scrotum

peristaltische bewegingen van de zaadleider richting urinebuis gestuwd. Vanuit de *zaadblaasjes* wordt een *basische* vloeistof toegevoegd die de *zaadcellen* beweeglijk maakt. De prostaat voegt ten slotte vocht en voedingsstoffen voor de *zaadcellen* toe. Het mengsel van *zaadcellen* en vocht is het *sperma* dat via de urinebuis het lichaam verlaat.

In figuur 3.3 is een afbeelding van een *zaadcel* te zien. De kop van een *zaadcel* is vrijwel geheel gevuld met kernmateriaal, de hals bevat veel *mitochondriën*. De zweepstaart zorgt ervoor dat de *zaadcel* zich kan voortbewegen.



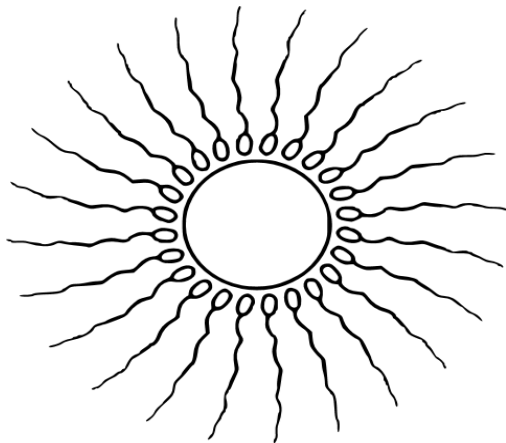
Figuur 3.3: Schematische weergave van een zaadcel

3.3 Het voortplantingsstelsel van de vrouw.

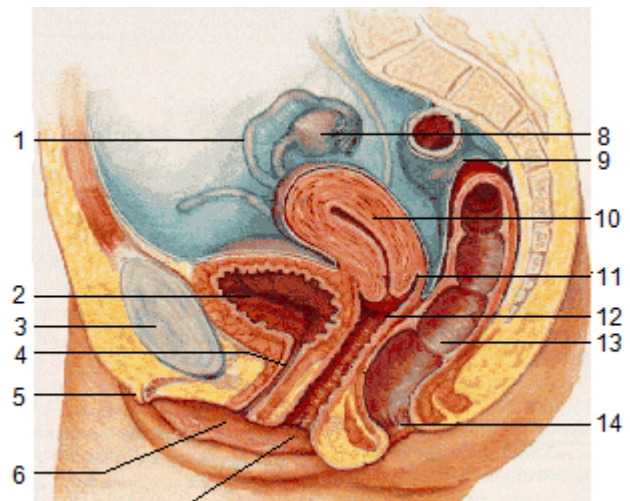
Figuur 3.4 en 3.6 laten het voortplantingsstelsel van de vrouw zien. De *baarmoeder* is in principe een holle ruimte omgeven met een dikke doch flexibele spierwand. Aan de binnenzijde van de *baarmoederwand* bevinden zich vele cellen die het *baarmoederslijm* produceren. Normaliter buiten de *zwangerschap* is de *baarmoeder* ongeveer zo groot als een peer. Tijdens de ontwikkeling en groei van het *embryo* rekken de spieren van de *baarmoederwand* op.

De *eileiders* lopen vanaf de *eierstokken* naar de *baarmoeder*. Aan het begin zijn de *eileiders* trechtervormig en versmallen zich richting *baarmoeder*. De beide *eierstokken* (*ovaria*) liggen los van de eileider. De trechtervormige uiteinden van de *eileiders* dienen als "opvangbeker". De wanden van de *eileiders* zijn bezet met vele trilhaartjes die de *eicel* richting *baarmoeder* transporteren.

In de *eierstokken* zijn al vanaf de geboorte tienduizenden cellen aanwezig die zich tot *eicel* kunnen ontwikkelen. Deze cellen zijn in rusttoestand aan het begin van *meiose* I. Ze zijn omgeven door een laagje andere cellen, samen vormt dit de *follikel*. Tot de menopauze kunnen de *follikels* rijpen, er ontstaat dan een met vocht gevulde holte in de *follikel* en de *meiose* komt op gang. Een uitgerijpt *follikel* puilt buiten de eierstok uit en



Figuur 3.5: Afbeelding van de bevruchting



Figuur 3.4: Zijaanzicht van het vrouwelijk voortplantingsstelsel. 1. Eileider, 2. Blaas, 3. Schaambeek, 4. G-spot, 5. Clitoris, 6. Urine buis, 7. Vagina, 8. Eierstok, 9. Dikke darm, 10. Baarmoeder, 11. Fornix, 12. Cervix, 13.

neemt veel vocht op. De vochtopname zorgt ervoor dat het openbarst waardoor de *eicel* wordt uitgestoten. Dit is de *eisprong*. De *eicel* wordt opgevangen in het geplooid, trechtervormige uiteinde van de eileider.

Het in de eierstok achtergebleven "lege" *follikel* wordt het *gele lichaam* (*Corpus luteum*) genoemd. Het speelt een rol bij hormonale processen tijdens de *zwangerschap*.

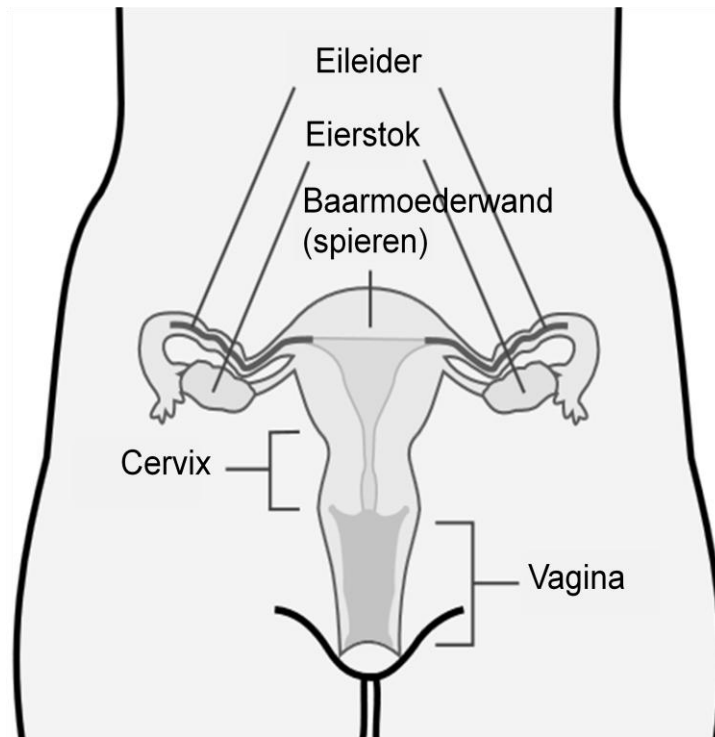
Pas na de *ovulatie* (*eisprong*) vindt in de vrijgekomen *eicel* *meiose* II plaats, als er geen *bevruchting* plaatsvindt, blijft de *eicel* maximaal 12 uur leven, daarna wordt ze door de slijm laag in de *baarmoederwand* opgenomen.

Bevruchting.

De *bevruchting* vindt plaats in de eileider. De *zaadcellen* "zwemmen" dus via de vagina, door de *baarmoeder* naar de eileider waar de *eicel* zich bevindt. In de *baarmoeder* bevindt zich een slijmprop. Deze is basisch ($pH > 7$) zodat de *zaadcellen* makkelijk de *baarmoeder* kunnen passeren.

Zodra een *zaadcel* de *eicel* bereikt, dringt de kop van de *zaadcel* in het *celmembraan* van de *eicel*, de staart blijft achter, meteen na de *bevruchting* ontstaat er een *bevruchtingsmembraan* zodat er geen

In-vitrofertilisatie (IVF), ook wel reageerbuisbevruchting genoemd, is een voortplantingstechniek waarbij een of meer eicellen buiten het lichaam worden bevrucht met zaadcellen, waarna de ontstane embryo's in de baarmoeder teruggeplaatst worden. De eerste baby die op deze wijze geboren werd is de Britse Louise Brown. In de periode 1978-2012 zijn naar schatting wereldwijd 5 miljoen kinderen dankzij IVF geboren.



Figuur 3.6: Afbeelding van de vrouwelijke geslachtsorganen (vooraanzicht). De bevruchting vindt plaats in de eileiders. De zaadcellen gaan via de vagina, door de baarmoeder naar de eileider. Enkele dagen na de bevruchting nestelt het embryo zich in de baarmoederwand

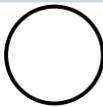
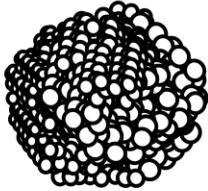
andere *zaadcellen* meer kunnen binnendringen.

Door versmelting van *eicel* en *zaadcel* ontstaat er een *zygote* die zich gaat delen. Het klompje cellen wordt met behulp van trilhaartjes in de eileider naar de *baarmoeder* vervoerd.

De *baarmoeder* heeft een dikke gespierde wand die bekleed is met een laag slijm. Ongeveer zeven dagen na de *bevruchting* nestelt de *zygote* zich in het *baarmoederslijm*. De verdere groei en ontwikkeling van het *embryo* vindt plaats in de *baarmoeder*.

3.4 Embryonale ontwikkeling.

De mens begint zijn levensloop als een cel, de bevruchte *eicel*. Tijdens de embryonale ontwikkeling neemt de complexiteit van het organisme toe. Het aantal cellen wordt groter en ze krijgen een speciale functie. Alle cellen van een mens zijn ontstaan uit een cel. Bij het eindresultaat zijn er vele verschillende celtypen met elk een eigen functie aanwezig. Alle cellen zijn "voorgeprogrammeerd" om zich te ontwikkelen tot een bepaald type cel, Dit is de *celdifferentiatie*; uniforme cellen gaan zich specialiseren. De vorming van de verschillende weefsels (*zenuwstelsel*, darmen, huid, ogen, *skelet* etc.) is een complex proces. In het nu volgende stuk tekst wordt de algemene ontwikkeling besproken. Het ontstaan van de organen wordt toegelicht in paragraaf 3.6 "*embryogenese*".

De embryonale ontwikkeling van de mens			
Plaats	Tijd	Fase	
Eileider	Direct na de bevruchting	Zygote, de bevruchte eicel waarvan het buitenste membraan ondoordringbaar is voor andere zaadcellen.	
Eileider	Direct na de bevruchting	Klievingsdelingen, de eerste celdelingen zonder celgroei.	
Eileider / baarmoeder	Na drie dagen	Morula, klompje cellen waarvan de cellen aan één kant groter zijn dan aan de andere kant.	
Innesteling in baarmoeder	Na zeven dagen	Blastula, in het klompje cellen is een met vocht gevulde holte ontstaan dat bestaat uit: -Trofoblast, de wand die later het buitenste vruchtvlies en placenta vormt. -Chorionholte, gevuld met vocht -Embryonaalknop, groepje cellen tegen binnewand vormt later het binnenste vruchtvlies met vruchtwater en het embryo zelf.	
Baarmoeder	Vanaf 3 weken	Embryogenese, de vorming van de organen en weefsels van het embryo door celdifferentiatie.	
Baarmoeder	Vanaf 3 maanden tot de geboorte	Foetale periode, groeifase nadat alle organen gevormd zijn.	

De eerste delingen.

Meteen na de *bevruchting* begint de ontstane *zygote* zich te delen. Deze *celdeling* gaat niet gepaard met *plasmagroei* en wordt daarom *klievingdeling* genoemd. Het aantal cellen neemt toe maar de hoeveelheid *cytoplasma* blijft gelijk en wordt verdeeld over de cellen. Na drie dagen verdwijnt de *bevruchtingsmembraan* en spreekt men van het *morula* stadium. Van dit klompje cellen zijn de cellen (blastomeren) aan de ene pool groter dan aan de andere pool. De kant met de grote cellen (macromeren) is de vegetatieve pool, de kant met de kleine cellen (micromeren) de animale pool.

De *morula* ontwikkelt zich tot *blastula* waarbij de cellen rond een met vocht gevulde holte liggen. De *blastula* bestaat uit drie gedeelten, namelijk *trofoblast*, *chorionholte* en *embryoblast* (*embryonaalknop*). De *trofoblast* is de buitenste cellaag die zorgt voor innesteling in het *baarmoederslijmvlies*. De *enzymen* die de *trofoblast* afscheidt, lossen het *baarmoederslijmvlies* plaatselijk op. De *blastula* zakt in de slijmlaag die er vervolgens overheen groeit. Uit de *trofoblast* ontwikkelt zich later de *placenta* en het *vruchtvlies*.

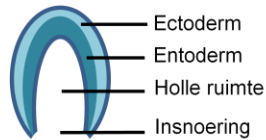
Het *embryo* ontwikkelt zich uit de *embryoblast*. In de *embryonaalknop* ontstaan aan de vegetatieve pool twee holten; de *amnionholte* en de *dooierzak*. De laatste verdwijnt al snel. De *amnionholte* ontwikkelt zich tot het binnenste *vruchtvlies*, gevuld met *vruchtwater* waarin het *embryo* zich bevindt. Een hechtsteel zorgt ervoor dat het *embryo* verbonden is met de *trofoblast*.

De *placenta* vergroeit met de *baarmoederwand* doordat uitstulpingen (vlokken) in het *baarmoederslijmvlies* dringen. Twee navelstrengslagaders transporteren afvalstoffen en kooldioxide van het *embryo* richting *placenta*. De navelstrengader transporteert voedingstoffen en zuurstof vanaf de *placenta* naar het *embryo*. Het *embryo* heeft een eigen bloedsomloop, het bloed van de moeder staat niet in contact met het *embryo*. De *placenta* is een soort intermediair tussen de moeder en het *embryo*. Door *diffusie* en actief transport worden stoffen uitgewisseld. Vanaf drie maanden spreekt men van een *foetus*. Alle organen zijn dan gevormd en dienen te volgroeien. In het schema zijn de verschillende embryonale stadia nogmaals weergegeven.

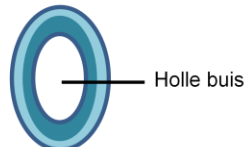
3.5 Embryogenese.

De *embryonaalknop* waaruit zich het *embryo* ontwikkelt ligt tussen de *dooierzak* en de *amnionholte*. Na een periode waarin alleen celklievings plaatsvonden gaan deze cellen differentiëren. Er vinden verschillende insnoeringen plaats waardoor er uit de ongedifferentieerde cellen drie verschillende cellagen ontstaan. Dit zijn de cellagen die elk verantwoordelijk zijn voor de ontwikkeling van een specifiek weefseltype. Het proces waarbij de hoofdeigenschappen van het *embryo* worden vastgelegd wordt *gastrulatie* genoemd.

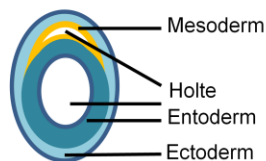
De drie cellagen worden ook wel *kiembladen* genoemd. Door differentiatie ontstaan hieruit de verschillende weefsels (zie ook figuur 3.7). In het volgende schema is de vorming van de verschillende *kiembladen* weergegeven.



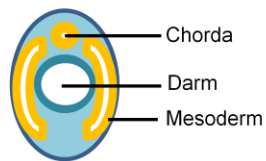
Het bolvormige klompje cellen dat de embryonaalknop vormt, gaat zich insnoeren. Er ontstaat een soort deuk aan de onderzijde. De buitenste cellaag is het ectoderm (ecto = buiten) en de binnenste cellaag is het entoderm (ento = binnen),



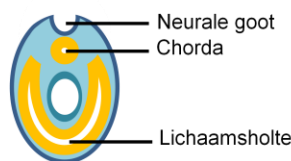
De insnoering groeit dicht zodat er als het ware een holle buis is ontstaan. De buitenste cellaag is het ectoderm en het entoderm is de binnenste cellaag. De hele buis is aan een zijde afgesloten. De opening is de oermond die later de anus vormt. Terwijl zich uit de holle buis zelf het darmstelsel ontwikkelt,



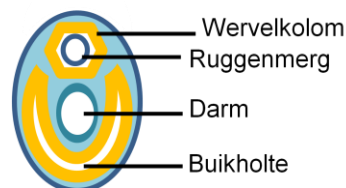
Tussen de beide cellagen ontstaat een derde cellaag; het mesoderm. Deze cellaag splitst zich als het ware op in twee delen. Hierdoor ontstaat een tweede holte die aan de bovenzijde (rugzijde) tegen het ectoderm aanligt, en aan de onderzijde (buikzijde) tegen het entoderm. Deze holte wordt later de lichaamsholte (buikholte).



Het ectoderm aan de afgesloten zijde van de buis snoert zich in waardoor de uiteindelijke mondopening ontstaat. Tevens ontstaat uit het mesoderm de zogenaamde chorda, dit wordt later de wervelkolom.



Tenslotte stulpt het ectoderm aan de rugzijde zich in zodat een soort goot ontstaat. Dit is de neurale goot. De neurale goot groeit weer dicht zodat er een neurale buis is ontstaan. Hieruit ontwikkelen zich het gehele zenuwstelsel en de hersenen



Kiembblad	Orgaanstelsel
Ectoderm	Opperhuid, zintuigen en zenuwstelsel
Entoderm	Darmkanaal, longen en urineblaas
Mesoderm	Onderhuids bindweefsel, spieren, bloed, bloedvaten, nieren en geslachtsklieren

Figuur 3.7: Schematische weergave van de dwarsdoorsnede van de menselijke romp. Te zien is uit welke kiembladen de verschillende weefsels zijn ontstaan.

3.6 Embryologie van de hersenen.

De hersenen en het *zenuwstelsel* worden gevormd uit het *ectoderm*. Het begint met het ontstaan van de neurale buis, zoals eerder beschreven. Dit proces heet

neurulatie. Het is een van de laatste stadia van de *embryogenese*.

Uit de neurale buis vormt zich het *ruggenmerg*. Het deel gelegen aan de hoofdzijde van het *embryo* ontwikkelt zich tot de hersenen. Daartoe ontstaan er uit het *ruggenmerg* zogenaamde *hersenblaasjes*. Het begint met de formatie van drie, en later, vijf *hersenblaasjes* die zich elk ontwikkelen tot een deel van de hersenen (zie figuur 3.8 en hoofdstuk 6).

1) In het eerste stadium ontstaan de volgende drieblaasjes:

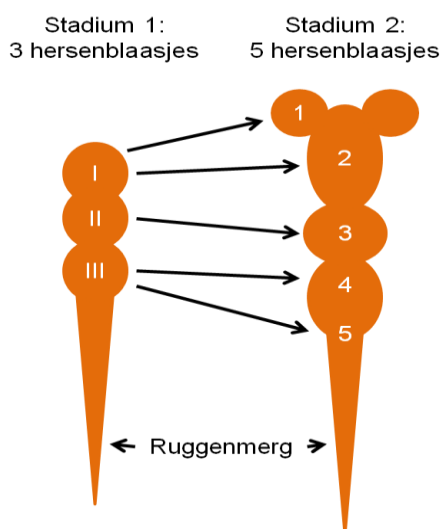
- (I) *Prosencephalon*
- (II) *Mesencephalon*
- (III) *Rhombencephalon*

2) In het tweede stadium ontstaan uit de drie hierboven genoemde blaasjes, de volgende vijf blaasjes

- *Prosecephalon*: (1) *telencephalon*, (2) *diencephalon*
- *Mesencephalon*: (3) *mesencephalon*, (4) *metencephalon*
- *Rhombencephalon*: (5) *myelencephalon*

3) Uit de vijfblaasjes ontstaan vervolgens de volgende structuren:

- (1) *telencephalon*: voorhersenen
- (2) *diencephalon*: *Tussenhersenen* (die bestaan uit *thalamus*, *hypothalamus* en *hypofyse*), oogzenuw en retina (*netvlies*)
- (3) *mesencephalon*: middenhersenen; optische lobben
- (4) *metencephalon*: kleine hersenen en *hersenstam*
- (5) *myelencephalon*: verlengde merg

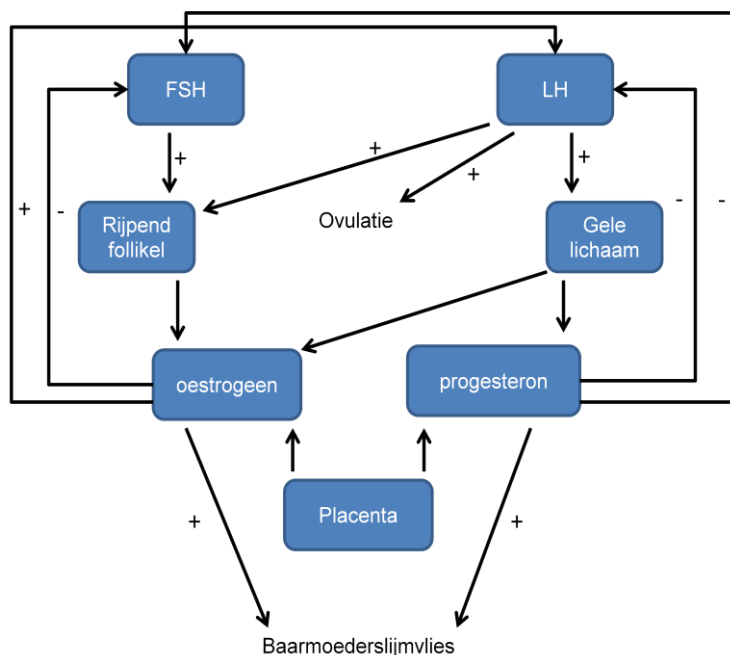


Figuur 3.8: Schematische weergave van de embryologie van de hersenen. De pijlen geven aan welke structuren waaruit ontstaan. De nummers corresponderen met de naamgeving in de tekst.

3.7 Voortplanting en hormonen.

(Zonder voorkennis is dit onderdeel lastig te begrijpen. Het is daarom aan te raden eerst hoofdstuk 8 "Hormonen en hormoonstelsel" door te lezen.)

Bij de voortplanting spelen hormonen een belangrijke rol. In deze paragraaf worden de hormonale processen voor en tijdens de *zwangerschap* behandeld. Daarnaast wordt er ingegaan op de mannelijke en vrouwelijke geslachtshormonen.



De menstruatiecyclus.

De *menstruatiecyclus* (ovulatiecyclus) bij de vrouw bestaat uit een aantal samenhangende processen die zich, mits er geen *zwangerschap* optreedt, elke vier weken herhaalt. De *ovulatie* en menstruatie maken deel uit van deze processen. De hele cyclus wordt gestuurd door hormonen. In figuur 3.9 zijn de verschillende hormonale mechanismen zoals die bij een vrouw voorkomen weergegeven.

Figuur 3.9: Schematische weergave van de hormonale regeling van de voortplanting bij de vrouw. De pijlen geven een stimulerende (+) of remmende (-) werking weer.

De menstruatie is de maandelijkse bloeding waarbij het *baarmoederslijm* en de

onbevuchte *eicel* worden uitgedreven. De *ovulatie* is de *eisprong*. De eerste dag van de menstruatie wordt meestal gezien als de eerste dag van de cyclus.

De eerste 12 dagen van de cyclus produceert de hypofyse FSH (*Follikel Stimulerend Hormoon*) en LH (*Luteinotroop Hormoon*). FSH stimuleert de rijping van de *follikels* in de *ovaria*. Omdat het *hormoon* meerdere *follikels* bereikt, beginnen vele te rijpen. Een van de *follikels* behaalt echter een voorsprong. De overige, minder snel rijpende *follikels*, sterven af. Onder invloed van LH en FSH worden er door de wand van de rijpende *follikel*, oestrogene hormonen gemaakt. Dit zijn vrouwelijke geslachtshormonen. Oestrogenen zorgen ervoor dat het *baarmoederslijmvlies* dikker wordt en dat het klierweefsel in de *baarmoederwand* toeneemt. Al deze processen (follikelrijping en de veranderingen in de *baarmoeder*) zijn ter voorbereiding op een eventuele *zwangerschap*. De *eicel* die gaat vrijkomen, kan bevrucht worden en zich daarna innestelen in de *baarmoeder*. De *baarmoeder* dient daarop "voorbereid" te

zijn.

Met het toenemen van het rijpen van de *follikel* neemt ook de oestrogeenproductie toe. De toename van de oestrogeenspiegel stimuleert de hypofyse tot het produceren van veel *LH*.

Hoge *concentraties* van dit *hormoon* zorgt ervoor dat het *follikel* open knapt waardoor de *eicel* vrijkomt (*ovulatieleisprong*).

De follikelresten die achterblijven in de eierstok worden onder invloed van *LH* omgevormd tot het zogenaamde *gele lichaam*. Dit is een groepje (ex-follikel-cellen die oestrogenen en *progesteron* produceren. *Progesteron* (zwangerschapshormoon) is een *hormoon* dat de slijmlaag in de *baarmoeder* nog dikker maakt. Daarnaast zet het de klieren van de *baarmoederwand* aan voedingsstoffen voor het eventuele *embryo* af te scheiden.

Daarnaast remt *progesteron* de FSH en *LH* afgifte door de hypofyse. Hierdoor komt er geen nieuw *follikel* tot rijping,

Als de *eicel* niet wordt bevrucht, sterft het *gele lichaam* na ongeveer 11 dagen af. Door dit afsterven, staakt de *progesteron* productie. Dit heeft een aantal gevolgen. De progesteronspiegel daalt zodat de slijmlaag in de *baarmoeder* niet meer in stand wordt gehouden. Het slijm laat los van de *baarmoederwand* en wordt gedeeltelijk afgestoten. Het slijm en de onbevruchte *eicel* verlaten via de vagina het lichaam van de vrouw. De voorbereiding van de *baarmoeder* op een eventuele innesteling wordt ongedaan gemaakt. Daarnaast wordt de FSH en *LH* afgifte door de hypofyse niet langer geremd door het *progesteron*. De afgifte van *LH* en FSH neemt weer toe zodat de cyclus opnieuw begint. De menstruatie vindt 14 dagen na de *ovulatie* plaats en duurt 3 tot 8 dagen. Gemiddeld genomen vindt de volgende *ovulatie* 14 dagen na het eind van de menstruatie plaats.

Zwangerschap.

Als de *eicel* wel bevrucht wordt, sterft het *gele lichaam* pas na drie maanden af. Tot die tijd blijft het *progesteron* produceren. Het *baarmoederslijmvlies* blijft daardoor dik en klierrijk. Tevens zorgt *progesteron* ervoor dat de melkklieren in de borsten zich gaan ontwikkelen. Na het afsterven van het *gele lichaam* neemt de *placenta* de *progesteron* productie over. Miskramen kunnen ontstaan doordat het *gele lichaam* (of later de *placenta*) te weinig *progesteron* produceren. Daardoor wordt de *baarmoederslijmlaag* inclusief vrucht uitgedreven.

Mannelijke en vrouwelijke geslachtshormonen.

Tot de puberteit zijn bij jongens en meisjes alleen de *primaire geslachtskenmerken* (penis en scrotum, vagina) zichtbaar. De puberteit is de periode waarin de *secundaire geslachtskenmerken* zich gaan ontwikkelen. Dit wordt geïnitieerd door een toename van FSH en *LH* afgifte door de hypofyse. Zowel bij jongens als meisjes worden beide hormonen aangemaakt, ze sorteren echter een ander effect.

Bij jongens stimuleert FSH de vorming van *zaadcellen* in de *teelballen*. *LH* stimuleert

de productie van het *hormoon testosteron* door de interstitiële cellen tussen de *zaadkanaaltjes*. Het *testosteron* zorgt voor de toename van lichaamsbehaarings, lager worden van de stem. Bij meisjes stimuleren FSH en LH de oestrogeen productie in de follikelwand. *Oestrogeen* zorgt voor een toename van de lichaamsbehaarings (vooral in de schaamstreek en oksels), verwijden van het bekken, borstontwikkeling en het ontstaan van een dikkere onderhuidse vetlaag.

Elk geslacht produceert zowel mannelijke als vrouwelijke geslachtshormonen. De verhouding tussen beide bepaalt welke secundaire *geslachtskenmerken* optreden, en in welke mate dat gebeurt. Bij de meeste mannen is de *testosteron* productie groter dan de *oestrogeen* productie. Als het verschil in afgifte tussen beide hormonen klein is kunnen zich bij een man vrouwelijke kenmerken ontwikkelen.

Kernpunten van dit hoofdstuk.

- *Geslachtscellen ontstaan door meiose.*
- *Na de bevruchting ontwikkelt zich een zygote. In het begin vinden er klievingdelingen plaats. Na deze delingen gaan de cellen zich differentiëren. Er ontstaan daartoe drie kiembladen waaruit de verschillende weefsels ontstaan.*
- *Hormonen spelen een belangrijke rol bij de voortplanting. In de eerste plaats zorgen zij voor het ontstaan van de secundaire geslachtskenmerken. Daarnaast reguleren hormonen de vorming van zaad- en eicellen.*

Hoofdstuk 4 Genetica

Een mens lijkt in meer of mindere mate op zijn ouders, maar kan ook eigenschappen hebben die niet bij de ouders waarneembaar zijn. In de *genetica* bestudeert men de *overerving* van eigenschappen. De onderzoeker *Gregor Mendel* (1822-1884) is de grondlegger van de *erfelijkheidsleer*. Door experimenten met erwtenplanten ontdekte *Mendel* bepaalde wetmatigheden in de *overerving* van eigenschappen.

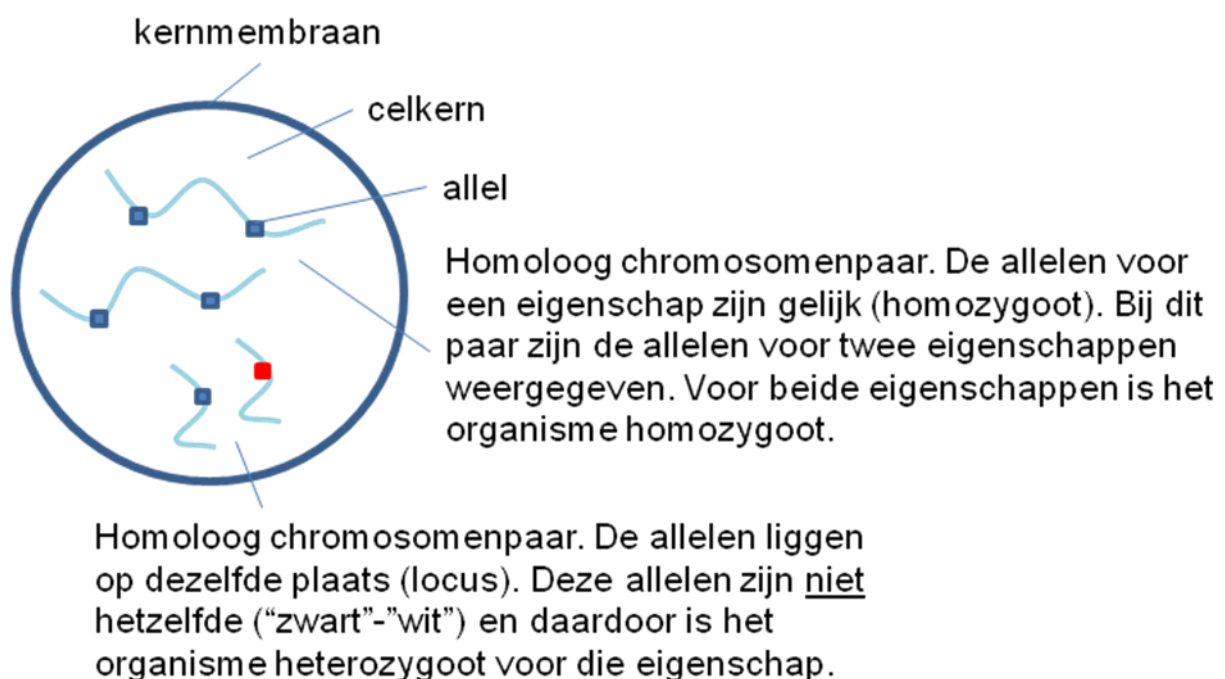
In dit hoofdstuk worden de basisprincipes van de *erfelijkheidsleer* behandeld. In de *psychologie* wordt aandacht besteed aan erfelijkheid omdat zowel gedragskenmerken als gedragsstoornissen erfelijk zijn.

4.1 Chromosomen, fenotype en genotype.

De waarneembare eigenschappen van een individu (zijn uiterlijke kenmerken, zijn anatomische en fysiologische eigenschappen als zijn gedrag) worden het *fenotype* genoemd.

In hoofdstuk 2 werd al vermeld dat *chromosomen* informatie bevatten voor de erfelijke eigenschappen. Deze eigenschappen liggen vast in de genen. Een gen is een stukje *DNA* dat informatie bevat voor een erfelijke eigenschap. Onder het *genotype* verstaan we dan ook alle informatie (genen) voor de erfelijke eigenschappen van een individu.

In lichaamscellen komen *chromosomen* in paren voor. Twee homologe *chromosomen* bevatten genen voor dezelfde genetische eigenschappen. De plaats van een gen op het chromosoom wordt *locus* genoemd. Homologe *chromosomen* zijn niet alleen gelijk in vorm, maar ook in loci. Genen die op een bepaalde plaats in het chromosoom liggen worden *allelen* genoemd (figuur 4.1).



Figuur 4.1: Schematische afbeelding van een celkern met twee paar homologe chromosomen

De *allelen* voor een kenmerk kunnen verschillend zijn. Bij haarstijl is dit erg duidelijk, er is een allel voor sluit haar en een allel voor krullen. Indien van een persoon met sluit haar beide *allelen* gelijk zijn (dus beide het allel "sluit haar") dan is zo iemand *homozygoot* voor sluit haar. Een persoon met krullend haar waarvan het genenpaar *allelen* heeft voor krullend haar is *homozygoot* voor krullend haar. Het kan ook voorkomen dat bij een persoon het genenpaar bestaat uit een *allel* voor sluit haar en een allel voor krullend haar. Indien de allelen van een bepaalde erfelijke eigenschap verschillend zijn, dan is zo iemand *heterozygoot*.

Slechts één van de allelen komt tot expressie in het *fenotype*. Het allel dat tot uitdrukking komt in het *fenotype* is *dominant*, het andere allel (dat niet tot expressie komt) is *recessief*.

Bij haarstijlen is het zo dat het allel voor krullend haar *dominant* is over sluit haar (figuur 4.2). Een *heterozygoot* persoon zal dan ook krullend haar hebben. Nu is het niet zo dat het recessieve allel geen rol speelt bij het *fenotype*. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de oogkleur. Het allel voor de oogkleur bruin is *dominant* over het allel voor blauw. Iemand die *homozygoot* is voor de bruine oogkleur, blijkt donkerdere ogen te hebben dan iemand die *heterozygoot* is voor de oogkleur. Het allel voor oogkleur is in dit laatste geval *onvolledig dominant*.

Genotype		Fenotype		
Recessief homozygoot voor sluit haar (aa)		Allel voor sluit haar op beide chromosomen hetzelfde (sluit)		Sluit haar (aa)
Dominant homozygoot voor krulhaar (AA)		Allel voor krullend haar op beide chromosomen hetzelfde (krul)		Krul haar (AA)
Heterozygoot voor haarvorm (Aa)		Allel voor haarvorm op de chromosomen is verschillend, krul haar is dominant over sluit haar		Krul haar (Aa)

Figuur 4.2: Genotypen en fenotypen voor haarstijl. De allelen zijn weergegeven als een rondje. De dominante allelen zijn blauw gekleurd, de recessieve allelen oranje. Het schema laat zien welk genotype bij een fenotype hoort.

Een ander verschijnsel is het *intermediaire fenotype* dat zich voordoet als geen van

Genotype		Fenotype		
homozygoot voor witte bloemkleur (AwAw)		Allel voor bloemenkleur op beide chromosomen hetzelfde (wit)		Witte bloem (AwAw)
homozygoot voor rode bloemkleur (ArAr)		Allel voor bloemenkleur op beide chromosomen hetzelfde (rood)		Rode bloem (ArAr)
Heterozygoot voor bloemenkleur (AwAr)		Allel voor bloemenkleur op de chromosomen is verschillend, geen dominant allel, beide komen tot expressie, intermediaire expressie		Roze bloem (AwAr)

Figuur 4.3: Genotypen en fenotypen voor bloemkleur. De allelen zijn weergegeven als een driehoekje. De dominante allelen zijn blauw gekleurd, de recessieve oranje. Het schema laat zien welk genotype bij een fenotype hoort. In dit voorbeeld is er sprake van intermediaire expressie.

beide allelen *recessief* zijn. Bij leeuwenbekjes (plant) zijn er allelen voor rode bloemen en voor witte bloemen. Bij een *heterozygoot* leeuwenbekje (dus met een "wit" *allel* en een "rood" *allel*) zijn de bloemen roze gekleurd, het *fenotype* is roze (figuur 4.3).

In voorgaande afbeeldingen (figuren 4.2 en 4.3) zijn de *chromosomen* met allelen schematisch met symbolen weergegeven. In de *genetica* worden genen met letters aangegeven. Het *dominante* gen met een hoofdletter (AA), het *recessieve* met een kleine letter (aa). Het maakt niet uit welke letter gebruikt wordt. De letters staan in tweevoud vermeld (AA, aa) omdat de allelen voor een eigenschap op twee homologe *chromosomen* liggen. De eerste *letter* staat bijvoorbeeld voor het allel op het ene chromosoom, de tweede voor de andere helft van het paar. Een individu dat *heterozygoot* is voor een bepaalde eigenschap wordt aangegeven als Aa.

Indien beide allelen van een genenpaar tot expressie komen (zoals bij het leeuwenbekje) volgt een andere schrijfwijze. Een rood leeuwenbekje wordt aangeduid met A_rA_r (r staat voor "rood"), een witte met A_wA_w (w=wit) en een roze met A_rA_w (r + w = roze).

4.2 Monohybride kruisingen.

Monohybride kruisingen zijn kruisingen waarbij slechts gelet wordt op een eigenschap, er is zodoende maar een genenpaar bij betrokken. Bij de meest eenvoudige *monohybride* kruising is een van de ouders *homozygoot dominant* voor een eigenschap en de andere ouder is *homozygoot recessief*.

Ouders worden aangeduid als P (Parentes), de eerste generatie nakomelingen als

F1 (*Filli*). Bij onderlinge kruising van de nakomelingen (F1 X F1) ontstaat de tweede generatie (F2). Als de eigenschappen van de ouders bekend zijn, is bij een *monohybride* kruising relatief makkelijk te achterhalen hoe de F1 eruit zal zien. In onderstaand voorbeeld wordt een *monohybride* kruising uitgewerkt.

Vraag:

Bij runderen is het *allel* voor de haarkleur zwart *dominant* over de haarkleur rood. De zwarte koe is *homozygoot* voor die eigenschap, de stier is roodharig. De dieren worden gekruist en ook dieren uit F1 planten zich voort.

Welke haarkleur kunnen de kalveren uit F2 hebben?

Uitwerking:

I) *Wat zijn de genotypen van de ouderdieren?*

Koe = *homozygoot* zwartharig dus AA

Stier = roodharig (aa), de stier is *homozygoot* want de rode factor (kleur) is *recessief*. Als de stier *heterozygoot* zou zijn dan was de "code" Aa, en was hij dus zwart.

De kruising ziet er als volgt uit: AA x aa

II) *Welke allelen kunnen de geslachtscellen van de ouderdieren hebben?*

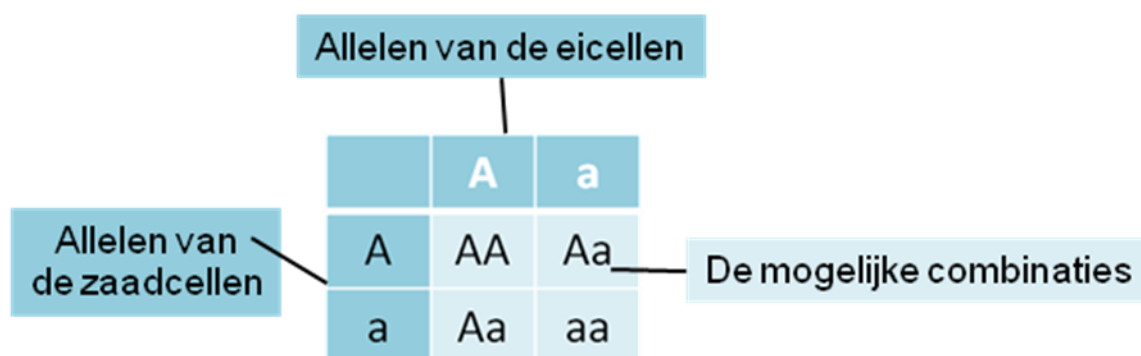
In *zaadcellen* en *eicellen* komen genen enkelvoudig voor. Elke *eicel* van de koe heeft het *allel* A, alle *zaadcellen* van de stier zijn a.

III) *Welke mogelijkheden (combinaties) zijn er door kruising mogelijk?*

Aangezien elke *eicel* A is en elke *zaadcel* a, zullen alle nakomelingen Aa zijn. Alle kalfjes van de eerste generatie zijn *heterozygoot* zwartharig.

IV) *Welke combinaties ontstaan er na onderlinge kruising van de F1?*

De kalveren uit de P1 planten zich onderling voort, hun *genotype* is Aa. De *zaadcellen* kunnen dus zowel A als a zijn, hetzelfde geldt voor de *eicellen*. Er zijn door kruising dus een aantal combinaties mogelijk. Het eenvoudigste is dit weer te geven in een schema:



In de linkerkolom staan de allelen van de *zaadcellen*, in de eerste rij die van de *eicellen*. In licht blauw zijn de mogelijke combinaties weergegeven. Zoals je ziet zijn er drie combinaties mogelijk; AA (1x), aa (1x), en Aa (2x).

De *genotypen* die bij de F2 kunnen voorkomen zijn dus:

Homozygoot zwart (AA)

Heterozygoot zwart (Aa)

Homozygoot rood (aa)

Bij *monohybride* kruisingen gelden er een aantal "wetten":

Dominantieregel: bij paring van twee ongelijk homozygote ouders (AA x aa) lijken alle nakomelingen op de ouder met de *dominante* genen. Alle nakomelingen zullen immers Aa zijn.

Uniformiteitsregel: bij paring van twee ongelijk homozygote ouders (AA x aa) lijken alle nakomelingen op elkaar. De nakomelingen zullen namelijk allen Aa zijn.

Splitsingsregel: bij paring van twee heterozygote ouders (Aa x Aa) met talrijke nakomelingen gelden de volgende verhoudingen:

Fenotypen verhouding: 3 : 1 bij dominantie (zwartharig: roodharig)

Fenotypen verhouding: 1: 2: 1 bij onvolledige dominantie

Genotypen verhouding: 1: 2: 1 (AA: Aa: AA)

4.3 *Dihybride* kruisingen.

Bij dit type kruisingen wordt er gelet op de *overerving* van twee eigenschappen bijvoorbeeld oogkleur en haarkleur. Bij een *dihybride* kruising zijn twee genenparen betrokken. Voor elke eigenschap een. Deze genen kunnen op hetzelfde, maar ook op verschillende *chromosomen* liggen.

Doordat er op twee eigenschappen wordt gelet is het kruisingsschema van een *dihybride* kruising complexer dan die van een *monohybride* kruising.

Vraag:

Bij cavia's is het *allel* voor haarkleur zwart *dominant* over de haarkleur blond. Het *allel* voor bruine ogen is *dominant* over het *allel* voor blauwe ogen. Een *homozygoot* zwartharig, bruinogig mannetje wordt gekruist met een *homozygoot* blondharig, blauwogig vrouwtje. Het symbool voor haarkleur is de letter A, voor oogkleur de letter B.

Als de dieren uit de P1 onderling paren, wat is dan het feno- en *genotype* van de F2?

1) Wat zijn de *genotypen* van de ouderdieren?

Mannetje = *homozygoot* zwartharig en bruinogig, dus AABB Vrouwtje = *homozygoot* blondharig en blauwogig, dus aabb

De kruising ziet er als volgt uit: AABB x aabb

II) Welke allelen kunnen de geslachtscellen van de ouderdieren hebben?

In zaadcellen en eicellen komen genen enkelvoudig voor, elke zaadcel van het mannetje heeft een A en een B. Alle eicellen van het vrouwtje hebben een a en een b.

III) Welke mogelijkheden (combinaties) zijn er door kruising mogelijk?

Aangezien elke zaadcel AB is en elke eicel ab, zullen alle nakomelingen AaBb zijn. Alle jonge cavia's van de eerste generatie zijn heterozygoot zwartharig en bruinogig.

IV) Welke combinaties ontstaan er na onderlinge kruising van de F1?

De jongen van de eerste generatie planten zich onderling voort, hun genotype is AaBb.

De geslachtscellen kunnen dus de volgende combinaties hebben: AB, ab, Ab, aB. In een kruisingsschema ziet dit er als volgt uit:

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

In de linkerkolom staan de allelen van de zaadcellen, in de eerste rij die van de eicellen. De mogelijke combinaties zijn in lichtoranje weergegeven. Hieronder zijn de verschillende fenotypen met de bijbehorende genotypen weergegeven:

Zwartharig; met bruine ogen:

- homozygoot zwartharig, homozygoot bruinogig: AABB
- heterozygoot zwartharig, heterozygoot bruinogig: AaBb

Zwartharig met blauwe ogen:

- homozygoot zwartharig, homozygoot blauwogig: AAbb
- heterozygoot zwartharig, homozygoot blauwogig: Aabb

Blondharig met bruine ogen:

- homozygoot blondharig, homozygoot bruinogig: aaBB

-homozygoot blondharig, heterozygoot bruinogig: aaBb

Blondharig met blauwe ogen:

-homozygoot blondharig, homozygoot blauwogig: aabb

De fenotypen verhouding bij de F2 van een *dihybride* kruising is 9 : 3 : 3 : 1.

9: *fenotype* waarbij beide *dominante* allelen tot expressie komen

3: *fenotype* waarbij een *dominant* en een *recessief allel* tot expressie komen

3: *fenotype* waarbij een *recessief* en een *dominant* gen tot expressie komen

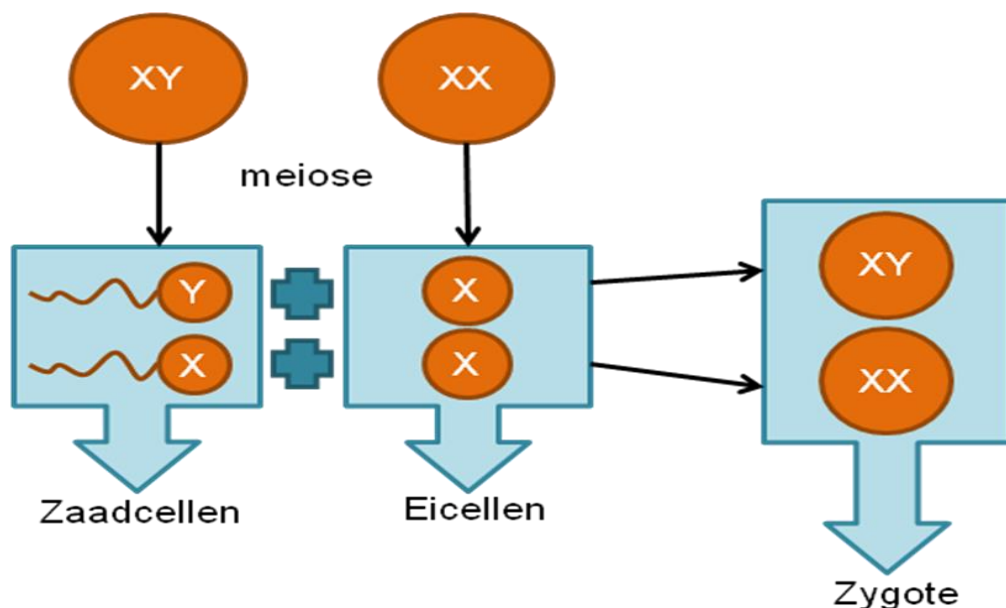
1: *fenotype* waarbij beide recessieve allelen tot expressie komen

4.4 Geslachtschromosomen.

Een erfelijke eigenschap is dus vastgelegd in een genenpaar. Aangezien een individu ontstaat uit samensmelting van twee *haploïde geslachtscellen*, is een helft van het *chromosomenpaar* afkomstig van de vader en de ander van de moeder. De 46 *chromosomen* zijn opgedeeld in paren (23). Tot een van die paren behoren de *geslachtschromosomen*. Bij vrouwen zijn deze homoloog, gelijk in vorm en grootte. Zij worden *X-chromosomen* genoemd. Bij een vrouw zijn dit er twee dus XX.

Bij een man zijn de *geslachtschromosomen* niet gelijk. Zij hebben een *X-chromosoom* en een *Y-chromosoom*. Op het Y -chromosoom liggen genen die verantwoordelijk zijn voor mannelijke kenmerken,

Zoals besproken in hoofdstuk 3 worden *zaadcellen* en *eicellen* door *meiose* gevormd. De *geslachtscellen* hebben van elk chromosoom een exemplaar. In een geslachtscel zijn er 23 verschillende *chromosomen* aanwezig. De lichaamscellen van een vrouw hebben altijd twee X *chromosomen*. De *eicellen* van een vrouw hebben



Figuur 4.4: Schematische weergave van de vorming van geslachtscellen. De lichaamscellen van een man zijn XY, die van een vrouw XX. Na meiose heeft de helft van de zaadcellen een X chromosoom en de andere helft een Y chromosoom. Alle eiwitten van een vrouw hebben een X

altijd een X chromosoom.

Mannen hebben in hun lichaamcellen een X- en een Y chromosoom. Van alle zaadcellen heeft een helft een X-chromosoom en de andere helft een Y-chromosoom.

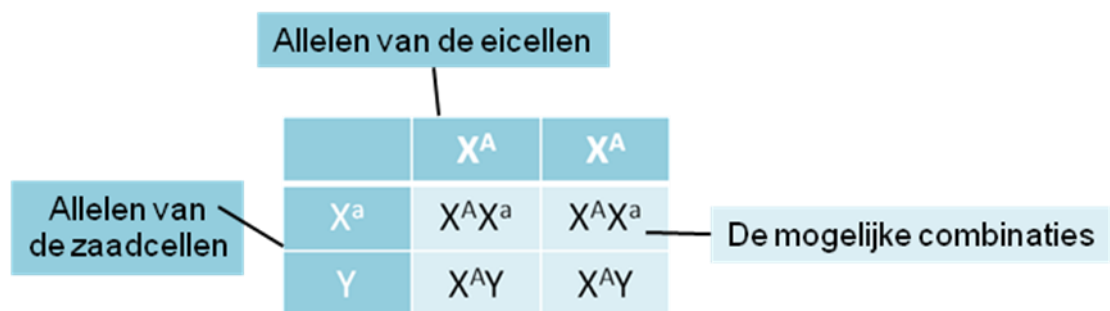
Indien een eicel door een zaadcel met een X-chromosoom wordt bevrucht dan ontwikkelt zich een meisje. Als de zaadcel echter Y is, ontwikkelt zich een jongen. Een jongen heeft altijd het X-chromosoom van de moeder (Y van vader) en een meisje een X-chromosoom van de vader en een X van moeder. In figuur 4.4 is de vorming van de geslachtscellen schematisch weergegeven.

4.4.1 Chromosomale overerving.

X-chromosomale genen zijn genen die alleen voorkomen op het X-chromosoom, het Y-chromosoom bevat nauwelijks genen. Bij fruitvliegjes (*Drosophila melanogaster*)

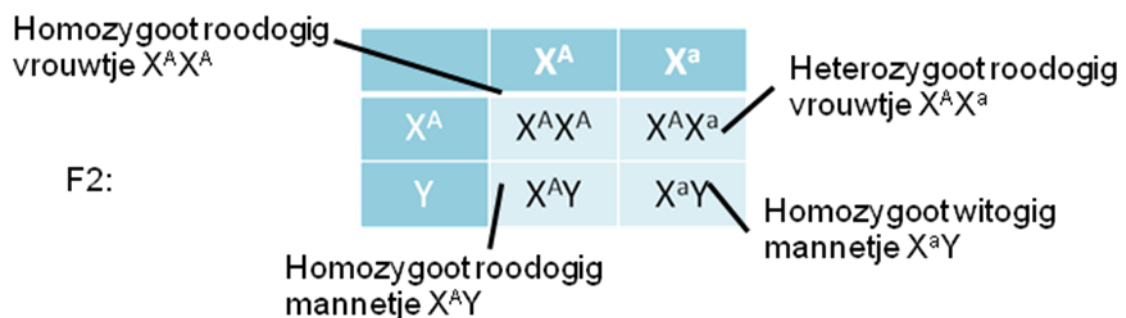
P:

Homozygoot roodogig vrouwtje ($X^A X^A$) X Heterozygoot witogig mannetje ($X^a Y$)



F1:

Heterozygoot roodogig vrouwtje ($X^A X^a$) X Heterozygoot roodogig mannetje ($X^A Y$)



Figuur 4.5: Kruisingsschema bij X-chromosomale overerving van de oogkleur bij het fruitvliegje. De ouders (P) zijn beiden homozygoot. Het mannetje is altijd homozygoot voor de eigenschap omdat het maar één allel voor oogkleur heeft. De nakomelingen van de eerste generatie (F1) zijn allen roodogig. De vrouwelijke nakomelingen zijn heterozygoot voor de oogkleur. Ze hebben een allel voor witte ogen. Rood is dominant. Bij onderlinge kruising van de F1 ($X^A X^a \times X^A Y$) ontstaan roodogige en witogige dieren. Alleen de mannetjes zijn witogig (25%). De andere helft van de mannetjes roodogig (25%). Alle vrouwtjes zijn roodogig (50%). Bij vrouwtjes is de helft homozygoot en de andere helft heterozygoot voor de eigenschap van oogkleur.

ligt het *allel* voor oogkleur op het *X-chromosoom*. Bij kruising van een *homozygoot* rodogig vrouwtje met een witogig mannetje, zijn alle nakomelingen (F1) rodogig. Na onderlinge kruising van de F1 is bij de F2, 75% rodogig en 25% witogig, echter alle witogige exemplaren zijn mannelijk. De verhouding was 50% vrouw (rood), 50% man (waarvan 25% wit en 25% rood).

In een kruisingsschema (figuur 4.5) wordt een *dominant* X-chromosomaal *allel* aangegeven met X^A en een recessieve met X^a (dus niet bij een *Y-chromosoom*, omdat dit *allel* alleen aanwezig is op het *X-chromosoom*). Het vrouwtje kan voor een X-chromosomale eigenschap *dominant homozygoot* zijn ($X^A X^A$), *recessief homozygoot* ($X^a X^a$) of *heterozygoot* ($X^A X^a$). Aangezien een man XY is, kan deze alleen $X^A Y$ of $X^a Y$ zijn. De erfelijkheidswetten van *Mendel* zoals eerder beschreven, kloppen hier ook. Zowel het mannetje als het vrouwtje heeft een *chromosomenpaar*. Het *chromosomenpaar* van het vrouwtje is zoals bij de andere 'normale' *chromosomen* (XX). Het *chromosomenpaar* van het mannetje is anders omdat het uit een X chromosoom en een Y chromosoom bestaat. Nakomelingen zullen zowel een chromosoom van de vader als van de moeder krijgen, zoals volgens de erfelijkheidswetten van *Mendel* gebruikelijk is. Voor vrouwelijke nakomelingen zullen dit 2 X-chromosomen zijn, één van de moeder en één van de vader. Mannelijke nakomelingen krijgen een X-chromosoom van de moeder en het Y-chromosoom van de vader. Omdat het Y-chromosoom bijna geen genen bezit, komen de recessieve eigenschappen die X-gebonden zijn, sneller tot uiting in mannelijke nakomelingen. Dit is anders dan in niet-geslachtsgebonden genen.

Een vrouw die *heterozygoot* is voor een eigenschap, wordt draagster genoemd. Dit, omdat de eigenschap niet zichtbaar is (fenotypisch), maar pas zichtbaar wordt bij de mannelijke nakomelingen. Dochters van een draagster hebben 50% kans zelf ook draagster te zijn. Het maakt voor een man dus niet uit of het *genotype* $X^A y$ of $X^a Y$ is, het komt altijd tot expressie. Bekende voorbeelden van X-chromosomale *overerving* bij de mens zijn kleurenblindheid en hemofilie.

4.5 Genetische modificatie

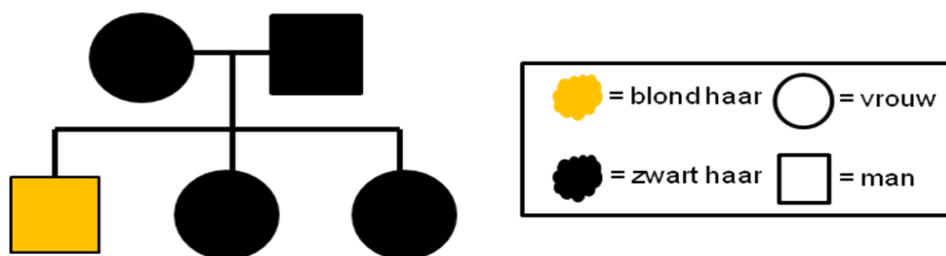
Genetische modificatie is het op een kunstmatige manier inbrengen van genen in een organisme. Het genetisch gemodificeerde organisme wordt ook transgeen organisme genoemd. Transgene organismen zijn levende wezens waarin door biotechnologen een gen van een levend wezen van een andere soort is ingebracht.



Figuur 4.6: Genetisch gemodificeerde black tetra (*Gymnocorymbus ternetzi*) vis. Deze 'gloeï'vis dankt zijn lichtgevende kwaliteit aan stukjes DNA van een fluoricerende kwal.

4.6 Stambomen.

Een *stamboom* is een hulpmiddel om schematisch de verwantschap weer te geven. Ook kan via een *stamboom* achterhaald worden van welke tak een bepaalde eigenschap afkomstig is. In een *stamboom* worden mannen afgebeeld als een vierkant, vrouwen als een rondje. Een eigenschap wordt weergegeven door die symbolen een kleurtje te geven. In onderstaande afbeelding is te zien hoe een *stamboom* eruitziet.



4.7 Tweelingen.

Twee kinderen die kort na elkaar gebaard worden door een vrouw, wordt een *tweeling* genoemd. Er zijn *eeneiige* en *twee-eiige tweelingen*. Eeneiige *tweelingen* ontstaan doordat een *zygote* zich tijdens de eerste delingen in twee aparte cellen deelt. De twee *zygoten* ontwikkelen zich verder tot een *feut*. De *tweeling* heeft dezelfde genetische eigenschappen en lijkt vaak sterk op elkaar. Tevens zijn beiden (uiteindelijk) van hetzelfde geslacht. Twee-eiige *tweelingen* ontstaan doordat er twee *eicellen* bevrucht worden. Er zijn dan twee *eicellen* gerijpt die beide na de *ovulatie* in de eileider terechtkomen. Als beide *eicellen* bevrucht worden ontstaan twee *zygoten*. De *tweeling* is genetisch niet identiek en beide kinderen kunnen van verschillend geslacht zijn. De onderlinge genetische verwantschap is identiek aan die van "gewone" broers en/of zussen.

Kernpunten van dit hoofdstuk.

- Alle zichtbare en meetbare eigenschappen "uiterlijk" van een individu worden het *fenotype* genoemd. De genen bepalen het *genotype*.
- Een persoon kan dominant of recessief zijn voor een eigenschap. Hoe een eigenschap overerft, is afhankelijk van het feit of een individu homozygoot of heterozygoot is.
- In de genetica wordt de overerving van eigenschappen bestudeerd. Bij monohybride kruisingen wordt er gekeken naar de overerving van een eigenschap, bij dihybride kruisingen naar de overerving van twee eigenschappen.

Hoofdstuk 5 Moleculaire genetica

In het voorgaande hoofdstuk is behandeld dat eigenschappen overerfbaar zijn. De meeste genen komen tot uiting in het *fenotype* doordat bepaalde *eiwitten* gevormd worden (tot expressie komen). Deze *eiwitten* worden in de cellen gevormd. De haarkleur en oogkleur bijvoorbeeld, komen tot stand door *eiwitten* die pigmenten vormen. Deze pigmenten bepalen de kleur van de ogen of haren. In hoofdstuk 1 is behandeld dat *eiwitten* uit een reeks *aminozuren* bestaan. Een bepaalde volgorde van (verschillende) aminozuren vormt zo bijvoorbeeld een pigment. De code die bepaald in welke volgorde de *aminozuren* aan elkaar gekoppeld dienen te worden, ligt besloten in het *DNA*. Alle lichaamscellen bevatten een identieke hoeveelheid *DNA*. Toch worden in de cellen van verschillende weefsels specifieke *eiwitten* gemaakt. In de cellen van de iris worden bijvoorbeeld alleen *eiwitten* gemaakt die het pigment voor de oogkleur (iris) vormen. In het *DNA* van darmcellen ligt de code voor dat pigment ook, maar dat deel van het *DNA* wordt niet gebruikt. In darmcellen worden namelijk weer andere *eiwitten*, zoals bepaalde *enzymen* gemaakt, die een rol spelen bij de vertering van het voedsel.

Per weefseltype wordt dus een klein stukje van het *DNA* geactiveerd om een specifiek eiwit te maken. De rest van het *DNA* wordt onderdrukt. In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe *eiwitten* gevormd worden en welke regelmechanismen daarbij betrokken zijn.

5.1 *DNA* en *RNA*.

De genetische informatie ligt besloten in het *DNA*. Het *DNA* bevat weliswaar de code voor het maken van een bepaald eiwit, maar kan dit zelf niet maken. *Eiwitten* worden namelijk gemaakt in de *ribosomen* die zich buiten de *celkern*, in het *cytoplasma*, bevinden (hoofdstuk 2). In de *ribosomen* worden *aminozuren* in een specifieke volgorde aaneengekoppeld zodat een bepaald eiwit ontstaat. Dit is de *eiwitsynthese* (hoofdstuk 1). Er moet dus een mechanisme zijn dat ervoor zorgt dat de *DNA* code bij een ribosoom komt.

Dit mechanisme is het *RNA* (ribonucleïnezuur). *RNA* is net als *DNA* een nucleïnezuur. Het bestaat uit één keten van *nucleotiden* (*DNA* bestaat uit twee ketens) en een suiker (ribose). Daarnaast is bij het *RNA* de stikstofbase *thymine* (T) vervangen door *uracil* (U).

RNA is normaliter niet in de *celkern* aanwezig. Het wordt gevormd zodra een cel het "bericht" krijgt een bepaald eiwit te vormen. Deze berichten zijn afkomstig van het hormoon- of *zenuwstelsel* (hoofdstuk 6 en 8). *RNA* wordt gevormd op een wijze die erg veel lijkt op de *DNA* verdubbeling zoals die plaatsvindt voor een *celdeling*. Van een stukje *DNA*, waar zich een code bevindt, gaan de nucleotideketens van elkaar. Van de volgorde van *nucleotiden* van het *DNA* wordt een "afschrift" gemaakt. Dit is de *transcriptie*.

Nadat de *DNA* ketens uit elkaar zijn gegaan, worden de lege basen van de enkele keten van het *DNA molecuul* worden opgevuld met passende basen die zich in het

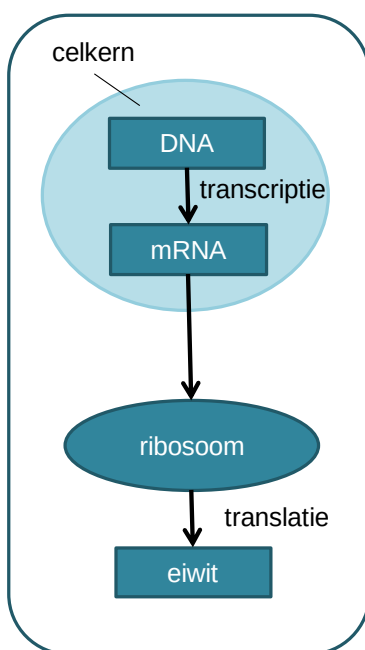
kernplasma bevinden. Hierdoor ontstaat een *RNA molecuul* dat *complementair* (gelijk) is aan het *DNA* molecuul.

Er zijn drie typen *RNA* die elk een eigen functie vervullen bij het synthetiseren van *eiwitten*. Ze worden ieder langs een specifiek deel van het *DNA* gevormd. Wij bespreken hieronder eerst het *mRNA*.

Messenger RNA (*mRNA*)

Dit type *RNA* bevat de codering van de aminozuur volgorden, het *mRNA* brengt deze codering over van het *DNA* dat zich in de *celkern* bevindt. Het *mRNA* verlaat door de poriën in het kernmembraan de *celkern* en begeeft zich naar de *ribosomen*.

5.2 Van *DNA* tot eiwit.



De *eiwitsynthese* verloopt aan de hand van een aantal stappen, schematisch weergegeven in figuur 5.1:

- 1) Zodra een cel de opdracht krijgt een bepaald eiwit te vormen, wordt er van een specifiek stuk *DNA* een *RNA* afschrift (kopie) gemaakt. Deze stap is de *transcriptie*.
- 2) Vervolgens wordt dit *mRNA* door de poriën van het kernmembraan naar het *cytoplasma* getransporteerd. In het *cytoplasma* bevinden zich de *ribosomen*.
- 3) Het *mRNA* wordt aan het ribosoom gekoppeld en "gelezen". Dit is de *translatie*. De code voor het eiwit ligt besloten in het *mRNA*. Aangezien *eiwitten* zijn opgebouwd uit verschillende *aminozuren* worden in het ribosoom de *aminozuren* in de juiste volgorde aan elkaar gekoppeld.
- 4) Nadat het hele stuk *mRNA* is gelezen is het eiwit "klaar", het *mRNA* wordt vervolgens weer afgebroken.

Figuur 5.1: Van *DNA* tot eiwit

De hierboven beschreven stappen geven een globaal overzicht van de *eiwitsynthese*. Alleen voor de liefhebbers is het proces van *transcriptie* en *translatie* in onderstaande tekst gedetailleerder beschreven.

Transcriptie:

Tijdens de *transcriptie* wordt een "afschrift" gemaakt van een deel van het *DNA* molecuul (figuur 5.2). Daartoe gaan op die plaats de twee *DNA* ketens uit elkaar. Beide *DNA* ketens zijn normaliter met elkaar verbonden door waterstof (H) bruggen. Er is een enzym dat deze waterstofbruggen kan verbreken. Dit enzym is *DNA* of *RNA polymerase*. *DNA*-polymerase verbreekt de bruggen voor een "normale" *DNA*-repliatie. Bij het maken van *RNA* is het enzym *RNA-polymerase* betrokken. Het verschil in werking tussen beide enzymen is dat *DNA-polymerase* de gehele *DNA* keten ontkoppeld, terwijl *RNA-polymerase* de waterstof bruggen van een specifiek

(klein) gedeelte van het *DNA* verbreekt.

Het deel van het *DNA* dat ontkoppeld wordt om *RNA* te maken is afhankelijk van het type cel. In speekselklieren zal vooral het gedeelte waar zich de code voor speeksel bevindt ontkoppeld worden. Het *RNA-polymerase* "weet" waar het begin van die code is. Op die plaats hebben de *DNA nucleotiden* een bepaalde volgorde die door het *RNA-polymerase* herkend wordt als "startplaats". Zo 'n plaats wordt de *promotor* genoemd. Vaak is dit het begin van een gen. Het *RNA-polymerase* bindt zich op die plaats doordat de *promotor* een specifieke volgorde van *nucleotiden* heeft.

Zodra een cel de "opdracht" krijgt een bepaald *enzym* eiwit te maken "leest" het *RNA-polymerase* de gehele *DNA* keten. Als het *RNA-polymerase* de *promotor* gevonden heeft vindt binding, en daarna, *RNA*-synthese, plaats. Het *RNA-polymerase* verbreekt vanaf de promotorplaats de waterstofbruggen in een richting. De ketens raken los van elkaar en de gebruikelijke spiraalvorm verdwijnt. Vrije *RNA nucleotiden* die zich in het *kernplasma* bevinden hechten zich op de geopende *DNA*-keten. Dit gebeurt op dezelfde wijze als beschreven in hoofdstuk 2. De *RNA*-nucleotiden hechten zich alleen op de keten waar zich de *promotor* bevindt. De andere keten wordt ongemoeid gelaten. De gehechte *RNA*-nucleotiden worden onderling verbonden waardoor een stukje *RNA* ontstaat.

Zodra een stukje *RNA* af is schuift het *RNA-polymerase* verder door en verbreekt daar de waterstofbruggen. Het al gevormde *RNA* laat vervolgens los van het *DNA*. De waterstofbruggen en spiraalvorm van het *DNA* worden weer hersteld. Het *RNA-polymerase* blijft over het *DNA* doorschuiven totdat het einde van het gen bereikt is. Daar bevindt zich een specifieke nucleotidenvolgorde die als eindsignaal van de *transcriptie* dient. Het *RNA-polymerase* laat los van het *DNA*. Ook het gevormde *RNA* laat los en wordt via de poriën in het kernmembraan naar het *cytoplasma* getransporteerd.

2 andere soorten *RNA* zijn:

I) Ribosomaal *RNA* (*rRNA*)

rRNA is het bestanddeel van de *ribosomen*. *Ribosomen* bestaan uit een groot en een klein deel. Beide zijn opgebouwd uit *rRNA* en *eiwitten*. Beide delen zijn bij een inactief ribosoom van elkaar gescheiden. Door een ander type *RNA*, het *mRNA*, komen de delen tegen elkaar te liggen. Hierdoor wordt het ribosoom actief.

II) Transfer *RNA* (*tRNA*)

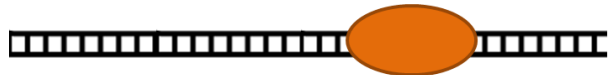
De genetische code van het *mRNA* wordt door het *tRNA* vertaald en omgezet in een aminozuurvolgorde. *Aminozuren* zitten namelijk gekoppeld aan het *tRNA*, waardoor een *tRNA*-aminozuur-complex ontstaat. In het ribosoom worden de *aminozuren* aaneengekoppeld tot een eiwit.

Alle drie de typen *RNA* worden op de beschreven wijze gemaakt. Voor elk is een

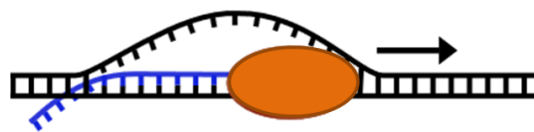
speciaal soort *RNA-polymerase* aanwezig.

Langs *mRNA* genen wordt *mRNA* gemaakt. Dit type *RNA* is een zeer lang *molecuul* dat uit duizenden *nucleotiden* bestaat. *tRNA* is relatief kort, het bestaat uit circa 70 *nucleotiden*. *rRNA* wordt gemaakt langs *rRNA* genen. Op de delen van de *chromosomen* waar zich die *rRNA* genen bevinden, liggen ook de zogenaamde kernlichaampjes. In die kernlichaampjes wordt *rRNA* aan *eiwitten* gebonden. Op die wijze ontstaan de grote en kleine delen van de *ribosomen*. Deze delen verlaten afzonderlijk de *celkern*.

1. RNA-polymerase leest de DNA keten



2. De DNA ketens gaan uitelkaar



3. Transcriptie

4. RNA



Figuur 5.2: Transcriptie van DNA naar RNA

- In de celkern bevindt zich het DNA. Het enzym RNA-polymerase “leest” de DNA keten. Het gaat op zoek naar de start plaats. Op die startplaats hecht het RNA-polymerase zich vervolgens.
- Op de plaats waar het RNA-polymerase zich heeft gehecht, gaan de DNA ketens uit elkaar.
- Op de lege DNA nucleotiden worden bijpassende nucleotiden geplaatst.
- Zo ontstaat een exacte kopie van een stukje DNA, het RNA.
- In de afbeelding is het RNA in blauw weergegeven. Ten slotte verlaat het RNA de celkern en sluiten de DNA ketens weer.

Codering.

Een *mRNA* levert de code voor *eiwitsynthese* in de *ribosomen*. Daartoe dienen *aminozuren* aan elkaar gekoppeld te worden. Door verschillende combinaties en volgordes van *aminozuren* ontstaan vele soorten *eiwitten*. *mRNA* bevat de code voor een eiwit. Deze code ligt besloten in de volgorde van *nucleotiden* van het *mRNA*. Er zijn echter maar vier soorten *nucleotiden*, en ongeveer 20 soorten *aminozuren*. Nu is het zo dat drie opeenvolgende *nucleotiden* het inbouwen van een aminozuur in het eiwit coderen. Bij elk aminozuur hoort een specifieke *nucleotiden* volgorde. Zo 'n groepje van drie *nucleotiden* wordt een codon of *triplet* genoemd. Het *triplet* behorende bij het aminozuur fenylalanine is UUU. Alle *mRNA* moleculen beginnen, ongeacht de eiwitcode, met AUG. Deze *nucleotiden* volgorde is het zogenaamde *startcodon*. Dit zorgt ervoor dat het aflezen van het *mRNA* in de juiste richting verloopt. AUG is tevens het *triplet* voor het aminozuur methionine. De synthese van alle menselijke *eiwitten* begint dus met dit aminozuur. Vaak wordt dit aminozuur na afronding van de *eiwitsynthese* weer afgekoppeld. Aan het einde van het *mRNA*-

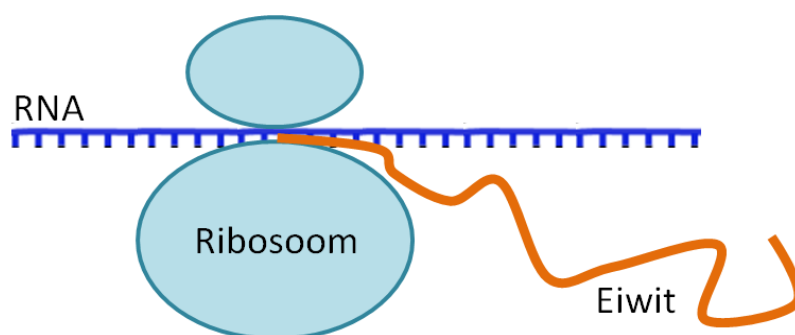
molecuul bevindt zich een *triplet* dat niet correspondeert met een aminozuur. Dit is het zogenaamde *stopcodon*. Er zijn drie typen *stopcodons* bekend, die het einde van de *eiwitsynthese* aangeven.

Translatie:

Met de *translatie* wordt het aflezen van het *mRNA* bedoeld. In figuur 5.3 is dit proces schematisch weergegeven. Daarbij is het *tRNA* betrokken. *tRNA* heeft een specifieke ruimtelijke structuur waarvan drie *nucleotiden* een zogenaamd *anticodon* vormen. Er zijn bij de mens 61 verschillende vormen *tRNA* bekend, elk met een eigen ruimtelijke structuur en *anticodon*. Een *anticodon* past precies op drie bijpassende *nucleotiden* (*triplet*) van het *mRNA*.

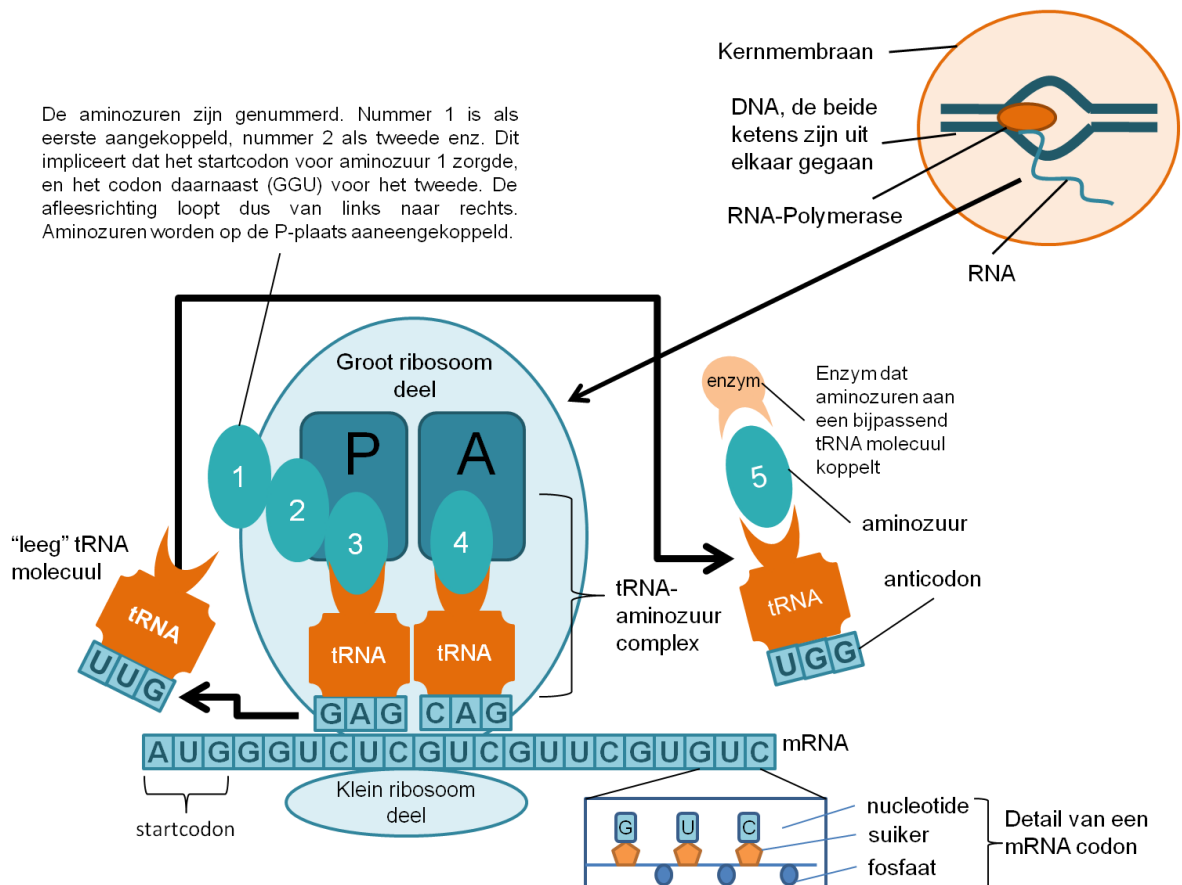
Bepaalde *enzymen* maken het mogelijk dat aan het *tRNA* een aminozuur gekoppeld wordt. Elk aminozuur heeft een eigen soort *tRNA*. Het ontstane tRNA-aminozuur-complex wordt door de ribosomen aan het *mRNA* gekoppeld. In het *cytoplasma* wordt het *startcodon* van het *mRNA* aan een klein ribosoom gebonden. Daarna wordt ook het grote deel aangehecht. Het grote deel van het ribosoom heeft een A-plaats en een P-plaats. Het *mRNA* schuift, codon voor codon, langs het ribosoom. De A-plaats wordt als eerste gepasseerd. Daar wordt bijpassend (complementair) tRNA-aminozuur-complex aan het *mRNA* gekoppeld. Op de P-plaats wordt het *tRNA* losgemaakt van het aminozuur. Het *tRNA* is nu 'leeg' en kan met behulp van een *enzym* weer aan een bijbehorend aminozuur worden gekoppeld. Het *mRNA* schuift weer een codon verder zodat het deel dat bij de A-plaats lag nu bij de P-plaats aankomt. Het proces herhaalt zich totdat het *stopcodon* bereikt is. Het is mogelijk dat een *mRNA*-molecuul meerdere *ribosomen* bezet. Men spreekt dan van *polyribosomen*.

Zodra de *eiwitsynthese* voltooid is wordt het *mRNA* afgebroken. Het eiwit blijft in het *cytoplasma* of wordt via het *endoplasmatisch reticulum* naar het *Golgi-systeem* vervoerd.



Figuur 5.3: Translatie van RNA naar eiwit

- Het RNA gaat vanuit de celkern naar een chromosoom in het cytoplasma.
- Eenmaal aan het ribosoom gehecht, begint de translatie (vertaling) van het RNA.
- Aminosuren hechten zich op de lege RNA nucleotiden, middels tripletten.
- De aminosuren worden aaneengekoppeld.
- Eiwitten zijn aaneengekoppelde aminosuren.
- Na de translatie wordt het RNA afgebroken.



Figuur 5.4: Totaal overzicht (schematisch) van de eiwitsynthese. Voornamelijk het principe van de translatie is uitgebreid weergegeven.

De hersenziekte van Creutzfeldt-Jakob is het resultaat van Prionen. Prionen zijn deeltjes die ontstaan uit bepaalde eiwitten die normaal onder andere voorkomen in de hersenen. Prionen zijn op een abnormale manier gevouwen versies hiervan en kunnen in tegenstelling tot het normale eiwit niet meer door eiwitafbrekende enzymen (proteasen) worden afgebroken. Bovendien hebben ze de eigenschap dat ze bij contact andere moleculen van dit eiwit die nog wel in de normale configuratie verkeren, kunnen bewegen tot het aannemen van de abnormale configuratie. Hierdoor ontstaat een kettingreactie waarbij uiteindelijk alle moleculen van dat eiwit in de cel in de abnormale, niet-functionele configuratie verkeren. Hierdoor gaan aangetaste neuronen uiteindelijk dood. Of dit het gevolg is van het wegvallen van de werking van het correcte eiwit of van de werking van de foute eiwitten, is nog onzeker. Mensen met de ziekte van Creutzfeldt-Jakob worden gekenmerkt door geheugenverlies, ataxie, onwillekeurige bewegingen en stijfheid. De ziekte is fataal.

5.3 Mutaties.

Mutaties zijn in feite afwijkingen in het genetisch materiaal. Deze afwijkingen worden veroorzaakt doordat er een verandering in *nucleotide* volgorde van het *DNA* optreedt. Tijdens de *DNA* replicatie kan er bijvoorbeeld een "fout" basenpaar gevormd worden. Dergelijke fouten worden vrijwel altijd hersteld door speciale *enzymen*. Deze

herkennen een fout, en "knippen" die er uit. Indien een fout niet hersteld wordt is het *DNA* blijvend veranderd. Men schat dat onder natuurlijke omstandigheden bij een op de miljard basenparen een *mutatie* ontstaat. Er zijn echter tal van stoffen die deze mutatiefrequentie verhogen. Dergelijke stoffen zijn *mutagene stoffen*. Voorbeelden daarvan zijn radioactieve straling en chemische stoffen als formaline.

Door een *mutatie* is de genetische code voor het maken van bijvoorbeeld een eiwit gewijzigd. Het langs het foute gen gevormde *RNA* bevat daardoor ook een foutieve codering. Dit heeft tot gevolg dat in de *ribosomen* een eiwit met gewijzigde aminozuurvolgorde wordt gemaakt. Als het eiwit een *enzym* is kan de gewijzigde eiwitstructuur de oorzaak zijn van stofwisselingsproblemen. Een bekend voorbeeld van een *mutatie* is albinisme. Albino's vormen geen pigment. Bij dergelijke personen ontbreekt een bepaald *enzym* dat verantwoordelijk is voor het maken van het pigment melanine.

Mutaties kunnen in elke cel plaatsvinden, in lichaamscellen hebben ze meestal geen consequenties. Als een *mutatie* optreedt in een *eicel* (-moeder cel), zaadcel (-moeder cel), *zygote* of cel van het *embryo* kan dit wel grote gevolgen hebben. Indien bij de *bevruchting* een van de twee *geslachtscellen* een *mutatie* bevat, zal het *genotype* van de nakomeling deze *mutatie* hebben. Dit wil echter niet zeggen dat de *mutatie* tot expressie komt in het *fenotype*. De *mutatie* bevindt zich immers op een chromosoom. *Chromosomen* zijn in tweevoud aanwezig (diploïd). Het betreffende *chromosomenpaar* heeft een gemuteerd en een ongemuteerd (normaal) gen. Meestal zijn *mutaties* *recessief* en komen dan ook niet tot expressie. Als het gemuteerde gen *dominant* is komt de *mutatie* wel tot expressie. Een individu waarbij dat gebeurd is een mutant.

5.4 Typen *mutaties*.

Een *mutatie* kan plaatsvinden in een gen, een deel van een chromosoom met verschillende genen of bij een aantal *chromosomen* in de *celkern*.

Genmutatie(s).

Dit type *mutatie* komt het meest voor en wordt ook wel *puntmutatie* genoemd. Het *DNA* is dan op een plaats gemuteerd. Op een bepaalde plaats van het gen kunnen een of meer *nucleotiden* zijn tussengevoegd, ontbreken of vervangen door andere *nucleotiden*.

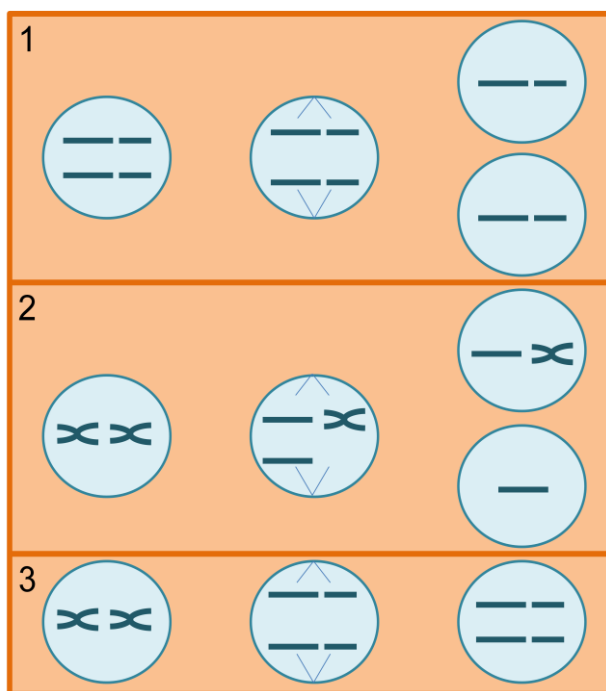
Chromosoommutatie(s).

Hiervan spreekt men als een deel van een chromosoom met meerdere genen gemuteerd is. Een deel van een chromosoom kan bijvoorbeeld afbreken en zich aan een ander chromosoom hechten. Ook kan het zijn dat het afgebroken deel "los" in het *kernplasma* blijft liggen. Daarnaast kan het ook voorkomen dat de volgorde van genen op een chromosoom verandert.

Ploïdiemutatie(s).

Hierbij is het aantal *chromosomen* in een cel gewijzigd. De genetische informatie van

de *chromosomen* zelf is onbeschadigd. In figuur 5.5 zijn enkele voorbeelden van *ploidiemutaties* afgebeeld. Dit type *mutatie* kan ontstaan door fouten tijdens de *celdeling* (*mitose* en *meiose*). Als tijdens de *mitose* geen kernspoel, de verzameling steun- en trekdraden die de *chromosomen* uit elkaar trekken, ontstaat, worden de *chromatiden* (een chromatide is één van de twee gedupliceerde *chromosomen*, zie hoofdstuk 2) niet uit elkaar getrokken. Het gevolg is dat er een cel ontstaat waarin alle *chromosomen* in viervoud, in plaats van tweevoud, voorkomen. Dit wordt tetraploidie genoemd. Indien een tetraploïde cel *meiose* ondergaat, zullen de *geslachtscellen* diploïd zijn. Een diploïde cel is een cel waarvan de *celkern* twee exemplaren van elk chromosoom bevat. Als zo 'n cel vervolgens bevrucht wordt door een normale, *haploïde*, geslachtscel ontstaat een triploïde *zygote*. Daarbij zijn alle *chromosomen* in drievoud aanwezig.



Figuur 5.5: Schematische weergave van ploidiemutaties. Bij 1 is een normale celdeling weergegeven. Er ontstaan twee diploïde dochtercellen. Bij 2 is een non-disjunctie afgebeeld. De centromeren van de chromatiden zijn niet goed gescheiden. In één van de dochtercellen is daardoor een chromosoom dubbel aanwezig. Bij 3 is het ontstaan van een polyploïde cel weergegeven. Doordat er geen kernspoel wordt gevormd ontstaat na de celdeling één tetraploïde dochtercel.

Het kan ook gebeuren dat het *centromeer* (een *centromeer* is het punt waar de twee *chromatiden* aan elkaar verbonden zijn, zie hoofdstuk 2) van een chromosoom tijdens de *celdeling* niet wordt gesplitst. De *chromatiden* worden dan niet uit elkaar getrokken. Dit verschijnsel wordt *non-disjunctie* genoemd. Er ontstaan twee *dochtercellen* waarvan bij een het chromosoom ontbreekt, terwijl bij de ander het betreffende chromosoom in tweevoud aanwezig is (figuur 5.5, afbeelding 2). Als dit bij een geslachtscel optreedt, kan na *bevruchting* een *zygote* ontstaan waarbij er een chromosoom teveel of te weinig aanwezig is. Dergelijke *zygoten* zijn soms levensvatbaar. Bij het Down-syndroom is chromosoom 21 in drievoud aanwezig in alle lichaamscellen. Men spreekt daarom ook wel van trisomie 21. *Non-disjunctie* kan ook optreden bij de *geslachtschromosomen*. Voorbeelden daarvan zijn het syndroom van *Klinefelter* en het syndroom van *Turner*.

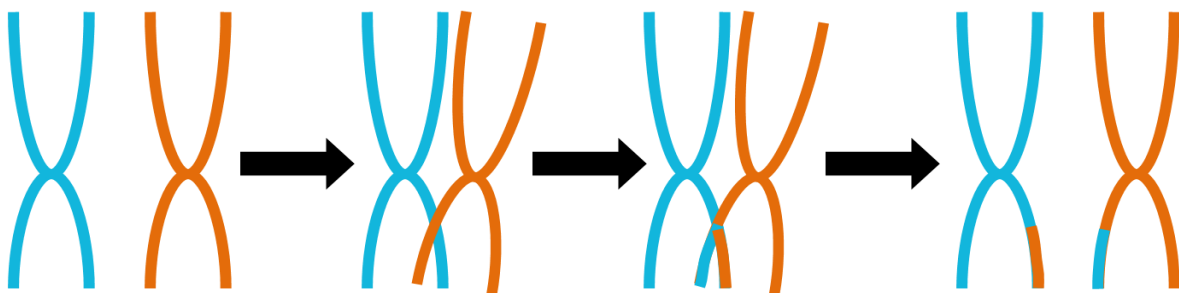
In het eerste geval bevatten de lichaamscellen twee *X-chromosomen* en een *Y-chromosoom*. De persoon heeft het uiterlijk van een man, maar de testes komen niet goed tot ontwikkeling en er kan ook borstontwikkeling optreden. In het geval van het *Turnersyndroom* is er een *X-chromosoom*, terwijl het *Y-chromosoom* ontbreekt. De

persoon lijkt uiterlijk op een vrouw, maar de voortplantingsorganen komen niet tot ontwikkeling.

N.B. De *mutaties* hierboven gebeuren in één cel, het is dus erg onwaarschijnlijk dat er zowel in de mannelijke geslachtscel én de vrouwelijke geslachtscel bijvoorbeeld geen kernspoelen zijn ontstaan zodat er een tetraploïd *embryo* ontstaat. Tetraploïde humane *embryos* bestaan wel en worden meestal gevormd door het samensmelten van 2 blastocysten (dus een persoon gemaakt door 2 samengevoegde *tweelingen*). De meeste tetraploïde mensen zullen niet weten dat ze tetraploïd zijn, de verschillen in *fenotype* kunnen heel subtiel zijn bijvoorbeeld twee verschillende kleuren ogen of een andere haarkleur op bepaalde plekken op het lichaam. Het bestaan van tetraploïde mensen vormt een probleem voor *DNA* tests in de rechtspraak. De zaak van Lydia Fairchild, bijvoorbeeld, werd voor de rechter gebracht nadat uit *DNA*-onderzoek kennelijk bleek dat haar kinderen niet de hare konden zijn. Fraude lasten werden ingediend tegen haar en de voogdij over haar kinderen werd betwist. De aanklacht tegen haar werd ingetrokken toen het duidelijk werd dat Lydia een tetraploïd was. Het bijpassende *DNA* van haar kinderen werd gevonden in haar baarmoederhals weefsel.

Crossing-over.

Deze vorm van *mutatie* vindt ook plaats tijdens de *celdeling*. *Crossing-over* ontstaat doordat de *chromatiden* van homologe *chromosomen* in elkaar verstrengeld raken. Er kunnen dan breuken ontstaan in het *DNA* van de *chromatiden*. Als het afgebroken *DNA* zich hecht aan het homologe chromosoom ontstaat een chromosoom met een nieuwe gencombinatie (figuur 5.6).



Figuur 5.6: Schematische afbeelding van Crossing-over

Kernpunten van dit hoofdstuk:

- *Eiwitten spelen een cruciale rol bij metabole processen. Daarnaast beïnvloeden ze het genotype zoals oog- en haarkleur maar ook gedrag.*
- *Eiwitten zijn polymeren van aminozuren en worden gemaakt in de ribosomen.*
- *Voordat de daadwerkelijke eiwitsynthese plaatsvindt wordt er van een stuk DNA een RNA afschrift gemaakt (transcriptie). De code voor het eiwit wordt van het RNA afgelezen in de ribosomen.*
- *Mutaties zijn afwijkingen (fouten) in de genen of chromosomen. Niet alle mutaties komen tot expressie in het fenotype.*

Hoofdstuk 6 Het zenuwstelsel

Alle processen die in het lichaam plaatsvinden worden geregeld door het zenuw- en het hormoonstelsel. Deze processen spelen zich vaak tegelijkertijd af en hebben een onderlinge samenhang. Dankzij het *zenuwstelsel* kan de mens reageren op *prikkels* uit de omgeving. In dit hoofdstuk wordt de bouw en werking van het *zenuwstelsel* nader bekeken.

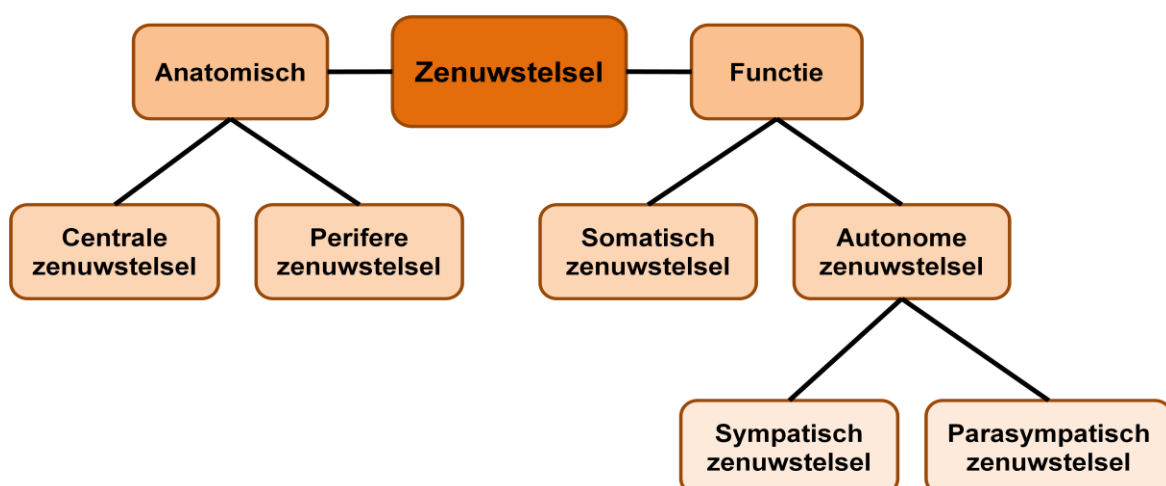
6.1 Bouw van het zenuwstelsel.

Het *zenuwstelsel* van de mens (en andere zoogdieren) bestaat uit miljoenen *zenuwcellen*. Het kan worden verdeeld in een aantal onderdelen. Deze onderverdeling kan enerzijds gebaseerd zijn op de anatomie (bouw) en anderzijds op de functie (figuur 6.1).

Anatomisch gezien is het *zenuwstelsel* van de mens opgebouwd uit een tweetal componenten, namelijk het *centrale zenuwstelsel* en het *perifere zenuwstelsel*. Tot het *centrale zenuwstelsel* behoren de hersenen (*grote hersenen*, *kleine hersenen*, *hersenstam*) en het *ruggenmerg*. Het *perifere zenuwstelsel* omvat de zenuwen die het centraal zenuwstelsel met alle delen van het lichaam verbinden.

Bij de indeling op grond van de functie worden het *somatische* (of animale) en *autonome* (of vegetatieve) zenuwstelsel onderscheiden. Het *somatische zenuwstelsel* stuurt de bewuste reacties en de houding en beweging van het lichaam. Deze reacties staan onder invloed van de wil.

Het *autonome zenuwstelsel* reguleert voornamelijk de werking van inwendige organen. De hartslag, ademhaling, vertering bijvoorbeeld, worden gestuurd door het *autonome zenuwstelsel*, het staat niet onder invloed van de wil.



Figuur 6.1: Schematische weergave van de indeling van het zenuwstelsel (zs) gebaseerd op anatomie en functie.

Het *autonome zenuwstelsel* bestaat uit een *sympathisch* en een *parasympatisch* deel. In paragraaf 6.8 wordt hier verder op ingegaan.

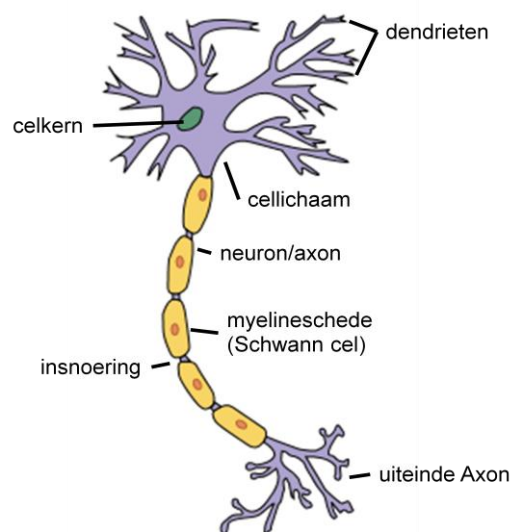
6.2 Functie van het zenuwstelsel.

Zoals vermeld in de inleiding regelt het zenuwstelsel vele processen in het lichaam. Door zintuigen worden *prikkels* omgezet in elektrische *impulsen*. Een *prikkel* is een invloed uit het milieu (de omgeving) op een organisme. Het zien en ruiken van een koekje zijn voorbeelden van *prikkels*. Zoals gezegd worden *prikkels* door *zintuigcellen* omgezet in *impulsen*. Dit zijn een soort elektrische signalen die door de zenuwen worden voortgeleid. De *impulsen* die in de *zintuigcellen* (*receptoren*) ontstaan, worden via zenuwen naar de hersenen geleid. Deze verwerken de *impulsen* (*prikkels*) en er volgt al of niet een reactie. Bij het zien en ruiken van een koekje kan een *impuls* die wordt opgewekt door de *reuk* en gezichtsintuigen ervoor zorgen dat je het koekje pakt. Eerst worden de *impulsen* door zenuwen naar de hersenen gestuurd en daar verwerkt, vervolgens zenden de hersenen op hun beurt een *impuls* naar de armspieren. Tegelijkertijd wordt er een andere *impuls* naar de speekselklieren gestuurd zodat de klieren speeksel gaan produceren: watertanden. Het hele traject van het zien van het koekje tot het opeten ervan wordt geregeld door het centrale en *perifere zenuwstelsel*. Het pakken van het koekje is een actie van het *somatische zenuwstelsel* (je kunt "kiezen" of je het koekje wel of niet pakt: staat onder invloed van de wil). Het watertanden wordt gestuurd door het *autonome zenuwstelsel* (staat niet onder invloed van de wil).

6.3 Zenuwcellen.

Het zenuwstelsel bestaat uit *zenuwcellen* (*neuronen*) die zijn opgebouwd uit een *cellichaam* en *uitlopers* (figuur 6.2). In het cellichaam bevinden zich de kern en *celorganellen* (onder andere het *endoplasmatisch reticulum* (e.r.) en *ribosomen*). De cellichamen bevinden zich meestal in of dichtbij het *centrale zenuwstelsel*. De uitlopers zorgen voor de geleiding van *impulsen* en kunnen erg lang zijn. Uitlopers die een *impuls* naar het cellichaam toevoeren zijn de *dendrieten*. Uitlopers die een *impuls* van het cellichaam af leiden zijn de *axonen*. De *dendrieten* en *axonen* zijn vaak sterk vertakt. Elk *neuron* staat daardoor in contact met andere *neuronen*, zintuig- of spiercellen.

De uitlopers van *neuronen* behorende tot het *somatische zenuwstelsel* zijn voorzien van een isolerende cellaag die voorkomt dat *impulsen* van de ene uitloper



Figuur 6.2: Een zenuwcel (neuron)

"overspringen" naar de andere uitloper. Deze isolerende laag ontbreekt bij sommige uitlopers van het vegetatieve zenuwstelsel. De isolerende laag, de *myelineschede*, bestaat uit platte, rond de uitloper opgerolde cellen, de zogenaamde *cellen van Schwann*. Dit zijn individuele cellen met een *celkern*, organellen en dergelijke. Tussen twee opeenvolgende *Schwann*-cellen is er een kleine insnoering: de knopen van Ranvier.

Er zijn een drietal typen *neuronen* te onderscheiden;

1) *sensorische neuron*en

Deze geleiden *impulsen* van receptoren (*zintuigcellen*) naar het *centrale zenuwstelsel*. De cellichamen van de sensorische *neuronen* liggen daar dicht in de buurt. Dit type *neuronen* heeft een kort *axon* en een lange *dendriet* (tot 1 meter).

2) *motorische neuron*en

Door dit type *neuronen* worden *impulsen* van het *centrale zenuwstelsel* naar een *effector* geleid. Een *effector* is een cel (of groepje cellen) die op een *impuls* reageert zoals een spiercel of speekselklier. De cellichamen van motorische *neuronen* liggen in het *centrale zenuwstelsel*. Een *motorisch neuron* heeft meerdere korte *dendrieten* en een lang *axon*.

3) *schakelneuron*en

Impulsen binnen het *centrale zenuwstelsel* worden door dit type *neuronen* geleid. *Schakelneuronen* komen alleen voor in het centraal zenuwstelsel. Dit type *neuronen* kunnen onderling in verbinding staan, maar meestal vormen ze de schakel tussen sensorische en motorische *neuronen*.

De uitlopers van de motorische en sensorische *neuronen* liggen in bundels bij elkaar. Dit zijn de zenuwen. De uitlopers van de *neuronen* worden onderling geïsoleerd middels de *myelineschede*, deze vormen de *witte stof*, terwijl de neuronenvbundel zelf omgegeven is door een laag beschermend bindweefsel.

6.4 De werking van zenuwen.

Zenuwen geleiden *impulsen*. *Impulsen* ontstaan doordat er een verschil optreedt in de elektrische *lading* van het *celmembraan*. Bij *neuronen* heeft de binnenzijde van het *celmembraan* een negatieve elektrische *lading* ten opzichte van de positief geladen buitenzijde. Dit verschil ontstaat onder andere doordat er een ongelijke verdeling in natrium en kalium ionen is tussen de binnenzijde en buitenzijde van het *neuron*. Het verschil in elektrische *lading* tussen de binnen- en buitenzijde van het membraan wordt de *potentiaal verschil* genoemd. Deze waarde wordt weergegeven in millivolt (mV). Bij *neuronen* die geen *impulsen* geleiden bedraagt dit verschil ongeveer 70 millivolt (-70 mV). Dit is de *rustpotentiaal*.

De *rustpotentiaal* wordt in stand gehouden door de *natrium-kalium pomp*. Dat is een *enzym* die de *ionen* door het *celmembraan* transporteert.

Actiepotentiaal;

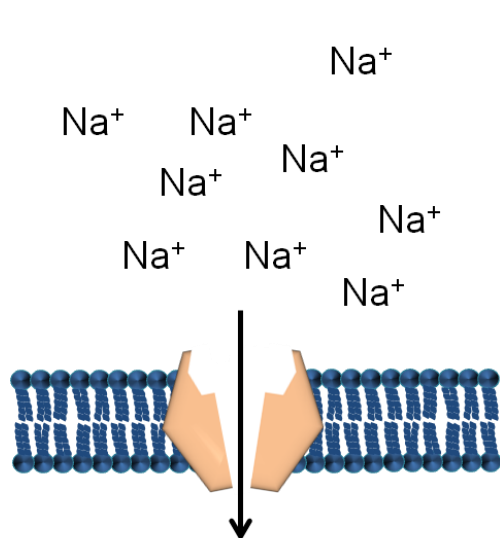
Normaliter is de buitenzijde van het *celmembraan* positief geladen ten opzichte van de binnenzijde. Door een *prikkel* kan deze *rustpotentiaal* worden verstoord. Het verschil in elektrische *lading* tussen de binnen- en buitenzijde van het membraan verandert dan.

Er treedt een polarisatieverandering op. Bij depolarisatie wordt de binnenzijde van het membraan iets minder negatief ten opzichte van de buitenzijde. Bij *hyperpolarisatie* wordt door een *prikkel* het *potentiaalverschil* tussen binnen- en buitenzijde van het membraan vergroot. Het hangt van het type *prikkel* af of er *depolarisatie* of hyperpolarisatie optreedt. Door mechanische prikkeling (bijvoorbeeld door een microneald) en chemische prikkeling (potentiaal verandering door een chemische stof) vindt *depolarisatie* plaats. Hyperpolarisatie treedt ook op ten gevolge van een chemische prikkeling.

In het lichaam worden *impulsen* (*depolarisatie*) opgewekt in de sensorische *neuronen*.

Als een *neuron* wordt geprikkeld kan de *depolarisatie* zo sterk zijn dat een bepaalde grens (*drempelwaarde*) wordt overschreden. Pas dan ontstaat er een *impuls* of *Actiepotentiaal*. Indien een *prikkel* niet sterk genoeg is om de *drempelwaarde* te overschrijden, vindt er weliswaar een *depolarisatie* plaats maar er ontstaat geen *impuls*.

Tijdens een *Actiepotentiaal* zijn een drietal fasen te onderscheiden;

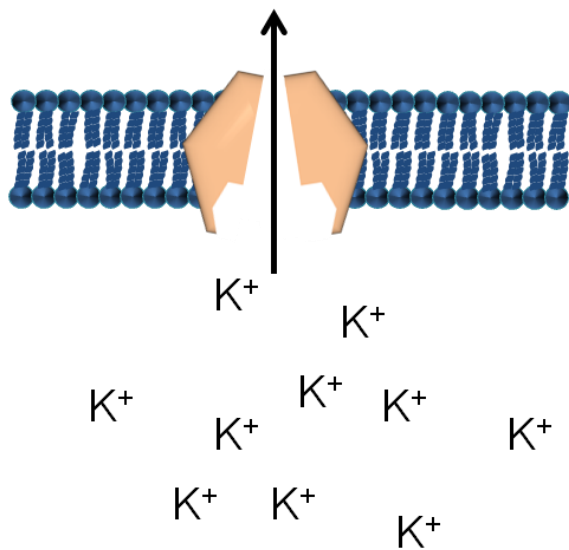


Figuur 6.3a: Depolarisatie van een celmembraan Na⁺ ionen diffunderen naar binnen.

1. depolarisatie:

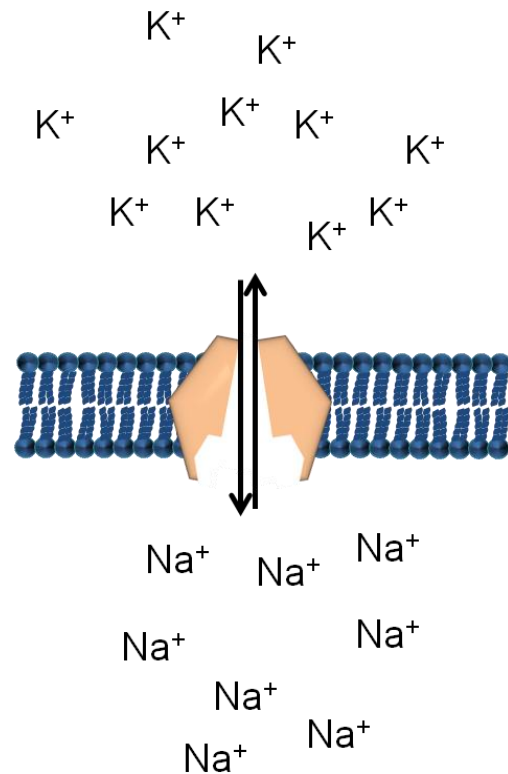
Door een *prikkel* verandert het *potentiaalverschil* tussen de binnen- en buitenzijde van het membraan. Dit komt doordat porie-eiwitten of kanaaltjes in het membraan permeabel worden voor natriumionen. De natriumionen kunnen hierdoor naar binnen diffunderen (*influx*) (figuur 6.3a). Doordat de natriumionen positief geladen zijn (en de binnenzijde van het membraan negatief) wordt het *potentiaalverschil* verminderd. De binnenzijde van het membraan wordt zelfs tijdelijk positief ten opzichte van de buitenzijde (+30 mV).

2. repolarisatie



Figuur 6.3b: Repolarisatie van een celmembraan. K^+ ionen diffunderen naar buiten.

De binnenzijde van het membraan is nu positief ten opzichte van de buitenzijde. Hierdoor treedt er een verandering in permeabiliteit van het membraan voor



Figuur 6.3c: Refractaire periode. Herstel van de oorspronkelijke ionenverhouding.

kaliumionen op. Die diffunderen van de binnenzijde naar de buitenzijde van het membraan (*efflux*) (figuur 6.3b). Doordat de positief geladen kaliumionen naar buiten diffunderen wordt de binnenzijde van het membraan weer negatief. Tijdens de *repolarisatie* wordt de *rustpotentiaal* (-70 mV) weer hersteld. De natrium- en kaliumionen zijn na *repolarisatie* anders verdeeld dan voor de *Actiepotentiaal*.

3. Refractaire periode

Door de natrium-kaliumpomp wordt de oorspronkelijke ionenverhouding weer hersteld (figuur 6.3c). Tijdens dit herstel en ook tijdens de *repolarisatie* kan in het gedeelte van het *celmembraan* waar de *impuls* ontstond geen nieuw *Actiepotentiaal* ontstaan. De kortdurende periode (3 à 4 msec) waarin geen nieuw *Actiepotentiaal* kan ontstaan is de *refractaire periode*.

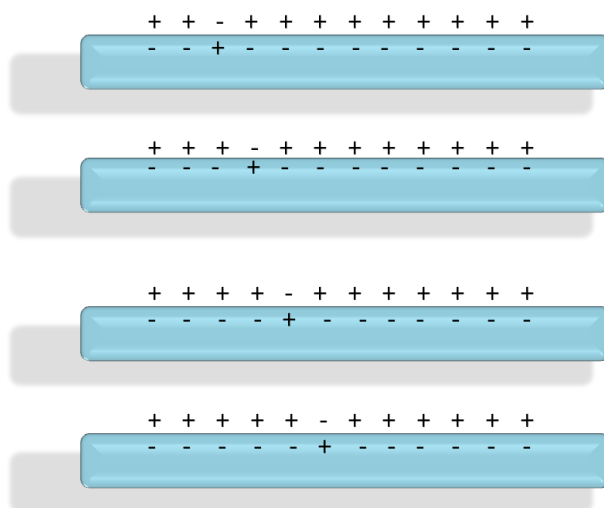
De tijdsduur van de *Actiepotentiaal* is in elk *neuron* hetzelfde. De polarisatie en *repolarisatie* duren samen ongeveer 1 milliseconde. De *refractaire periode* duurt ook 1 milliseconde. Tijdens de *Actiepotentiaal* wordt door *depolarisatie* een *potentiaalverschil* van +30 mV bereikt. Deze wijziging in de potentiaal is altijd

hetzelfde in elk *neuron*. Het is dus niet zo dat bij een sterkere *prikkel* het potentiaal verschil groter wordt (bijv. +60 mV). De *impulssterkte* is constant (+30 mV) en onafhankelijk van de prikkelsterkte. Er is dus sprake van een *alles-of-niets-wet*: er ontstaat een *Actiepotentiaal* of er ontstaat niets. Dit is te vergelijken met een lichtknopje; als je zachtjes drukt gaat de lamp niet aan. Pas als je een bepaalde druk uitoefent gaat de schakelaar om. De *drempelwaarde* is bereikt en pas dan gaat de lamp branden. Het maakt vervolgens niet uit of je hard drukt of keihard tegen de knop slaat; de lamp gaat aan. Een lamp gaat immers niet harder branden als je harder op het knopje drukt.

De prikkelsterkte is echter wel van invloed op de *impulsfrequentie*. Hoe sterker de *prikkel* hoe meer actiepotentialen er per seconde ontstaan.

Impulsgeleiding.

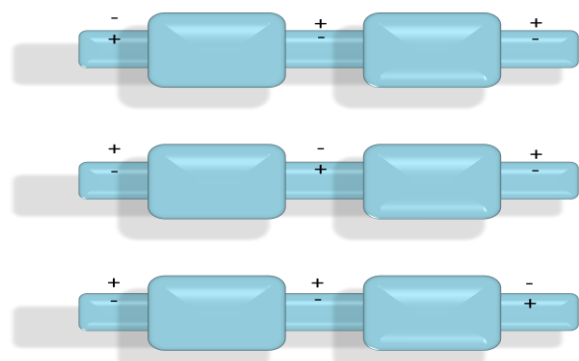
Door een *prikkel* ontstaat een *Actiepotentiaal*: een plaatselijke elektrische verandering. De *impuls* moet vervolgens langs het *neuron* verdergaan om op plaats van bestemming te komen (bijv. de hersenen). Dat een *impuls* verder gaat langs het *neuron* komt doordat door de *impuls* ook de permeabiliteit van het aangrenzende membraan verandert.



Figuur 6.4: Impulsgeleiding langs een neuron. De pijl geeft de impulsrichting aan. Te zien is dat het geleiden van impulsen veroorzaakt wordt door een opeenvolging van polarisatie veranderingen in het membraan van het neuron.

Daar vinden vervolgens ook *depolarisatie*, *repolarisatie* en herstel plaats. De voortgeleiding van een *impuls* is te vergelijken met vallende dominostenen. Een plaatselijke prikkeling zorgt voor verandering in polarisatie en brengt vandaar uit een golf van polarisatieveranderingen teweeg (figuur 6.4).

In neuronuitlopers die een *myelineschede* hebben vindt bovengenoemd proces alleen plaats ter hoogte van de insnoeringen die zich tussen twee *Schwann*-cellen bevinden. De uitlopers zijn immers geïsoleerd zodat *impulsen* als het ware "overspringen" van de ene opening naar de andere. Dit is de zogenaamde



Figuur 6.5: Impulsgeleiding langs een gemyeliseerd neuron. Door de isolatie rondom het neuron treden polarisatie veranderingen alleen op bij de insnoeringen. De impulsgeleiding verloopt daardoor veel sneller.

sprongsgewijze- of saltatoire impulsgeleiding (figuur 6.5). In gemyeliniseerde uitlopers verloopt de *impulsgeleiding* daardoor veel sneller dan in ongemyeliniseerde uitlopers.

De gemyeliniseerde uitlopers van het *autonome zenuwstelsel* kunnen een *impuls* voortgeleiden met een snelheid van 10 meter per seconde (m/s) terwijl in het *somatische zenuwstelsel* snelheden van 120 m/s behaald worden. Voorts worden *impulsen* in dikke uitlopers sneller voortgeleid dan in dunne neuronuitlopers.

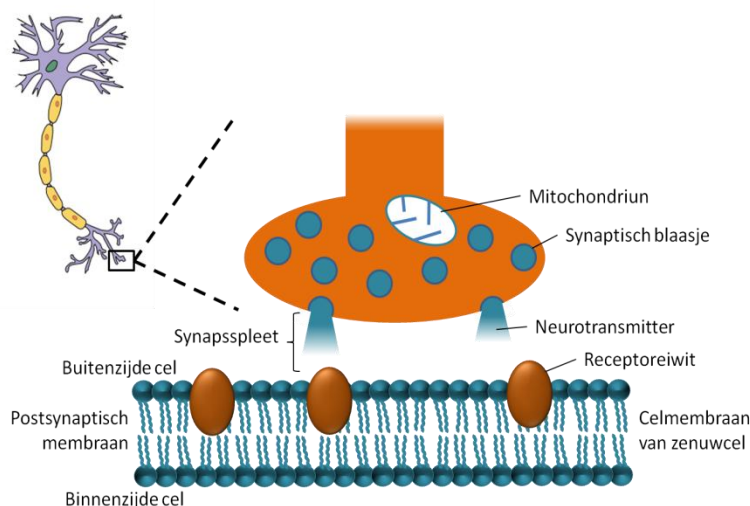
6.5 Impulsoverdracht door synapsen.

Na prikkeling van een *zintuigcel* ontstaat er in het *sensorisch neuron* een *Actiepotentiaal*. De ontstane *impuls* wordt vervolgens via een *schakelneuron* aan een ander *neuron* doorgegeven. De *impuls* wordt dus van het ene type *neuron* overgedragen op een andere. Dit vindt plaats via honderden tot duizenden *synapsen*. Dit zijn knopvormige verdikkingen van een *axon*. Het *axon* van het ene *neuron* staat door middel van *synapsen* in contact met de *dendrieten* of het cellichaam van een ander *neuron*. Het *axon* is het zogenaamde *presynaptisch element* (= voor de *synaps*). De "ontvanger" is het *postsynaptisch element* (= na de *synaps*).

Doordat een *axon* sterk vertakt is staat een *neuron* met meerdere *synapsen* in contact met een ander *neuron*. De verdikte uiteinden van een *axon* zijn de zogenaamde *synapsknopjes*. In deze eindknopjes bevinden zich vele *mitochondriën* en *synaptische blaasjes*. De blaasjes bevatten een stof die ervoor zorgt dat het andere *neuron* geprikkeld wordt. Door die prikkeling ontstaat er *Actiepotentiaal* waardoor de *impuls* weer verder gaat. De stof die een *impuls* kan veroorzaken is de *transmitterstof* of *neurotransmitter*.

Tussen de synapsknop en het *postsynaptisch element* bevindt zich de *synapsspleet*. De synapsknop zit dus niet rechtstreeks op de *dendriet* of het cellichaam van de "ontvanger". De membranen van het post- en presynaptisch element zijn gescheiden.

Wanneer er geen *impulsen* zijn heerst in beide membranen een *rustpotentiaal*.



Figuur 6.6: schematische weergave van de onderdelen en processen in een synaps.

Wanneer bij het synapsknopje een impuls aankomt, treden er veranderingen op. De blaasjes in het synapsknopje bewegen zich richting celmembraan en versmelten

daarmee. Hierdoor komt de *transmitterstof* in de synaptische spleet terecht.

De *transmitterstof* bindt zich aan specifieke *eiwitten* (receptoren) die zich op het postsynaptisch membraan bevinden (figuur 6.6). Door deze binding vindt er na 0,5 msec *depolarisatie* (of hyperpolarisatie) van het membraan plaats. Een enkele *prikkel* is meestal niet voldoende om een *impuls* te doen ontstaan. Omdat de *drempelwaarde* niet wordt overschreden moeten er meerdere *depolarisaties* plaatsvinden. De *depolarisaties* worden hij elkaar opgeteld (*summatie*). Samen kunnen ze de *drempelwaarde* overschrijden. Hierna spelen zich dezelfde processen af zoals eerder beschreven in dit hoofdstuk. Er is een nieuwe *impuls* ontstaan die weer verder gaat. De *impulsoverdracht* via de *synaps* verloopt veel langzamer dan de *impulsgeleiding* langs het *neuron*. De gemiddelde snelheid van de totale impulsoverdracht wordt dus kleiner naarmate er meer *synapsen* in de zenuwbaan voorkomen. *Synapsen* zorgen ervoor dat een *impuls* zich in een richting beweegt. Een *axon* dat halverwege geprikkeld wordt, vertoont een *impulsgeleiding* in beide richtingen, Zodra de *impuls* de *synapsspleet* niet kan overbruggen (bij het postsynaptisch membraan) loopt hij dood. *Synapsen* zijn als het ware de wissels van het zenuwstelsel waar bepaald wordt welke weg een *impuls* gaat afleggen.

Transmitterstoffen.

Transmitterstoffen worden over het algemeen *neurotransmitters* genoemd. Deze stoffen worden na het vrijkomen in de synaptische spleet hergebruikt. Acetylcholine is bijvoorbeeld al na 1 milliseconde na het vrijkomen verdwenen. Door een *enzym* (*Acetylcholine-esterase*) wordt *Acetylcholine* afgebroken tot choline en azijnzuur. Deze worden door de synapsknop opgenomen en omgezet tot *Acetylcholine* waarna ze naar synapsblaasjes worden getransporteerd. Als de *transmitterstoffen* niet afgebroken worden blijven de *receptoreiwitten* "bezet". Daardoor blijven er *depolarisaties* en dus *impulsen* ontstaan.

Er zijn verschillende typen *neurotransmitters*, elke synapsknop van een *neuron* bevatten dezelfde transmitter. *Neurotransmitters* zijn te verdelen in een tweetal groepen:

1)exciterende neurotransmitters

Dit type *neurotransmitter* is van belang voor de actieve, alerte toestand van het lichaam. Ze veroorzaken een depolarisatie van het postsynaptisch membraan. Voorbeelden van *exciterende neurotransmitters* zijn *dopamine*, *noradrenaline* en *glutamaat*.

2)inhiberende neurotransmitters

Deze categorie *neurotransmitters* heeft een remmende werking. Door hyperpolarisatie wordt de binnenzijde van een membraan nog negatiever ten opzichte van de buitenzijde. Dit komt doordat kaliumionen naar de buitenzijde van het postsynaptisch membraan diffunderen. Een voorbeeld van een *inhiberende neurotransmitter* is *GABA* (gamma-aminobutyric acid).

Synapsen kunnen een "storende" factor zijn in een zenuwbaan. Als er niet genoeg *neurotransmitter* in de synaptische spleet terechtkomt, loopt de *impuls* dood. Gewoonlijk wordt een *neuron* met veel transmitter "bestookt" voordat er *depolarisatie* plaatsvindt (*summatie*). Bij het verschijnsel *integratie* worden door sommige *neuronen* exciterende- en door andere *neuronen* *inhiberende neurotransmitters* op het postsynaptisch membraan losgelaten. De inhiberende transmitters vergroten de *rustpotentiaal* (maken hem meer negatief) terwijl de exciterende transmitters het *rustpotentiaal* verkleinen (dichter naar de *drempelwaarde*). Of er in het postsynaptisch membraan *depolarisatie* plaatsvindt wordt bepaald door de verhouding (hoeveelheid) tussen beide stoffen.

Alle binnenkomende *impulsen* (bij een schakelcel kan dat van duizenden cellen zijn) worden via het principe van integratie gereguleerd; of wel of niet "doorlaten".

De motorische eindplaat.

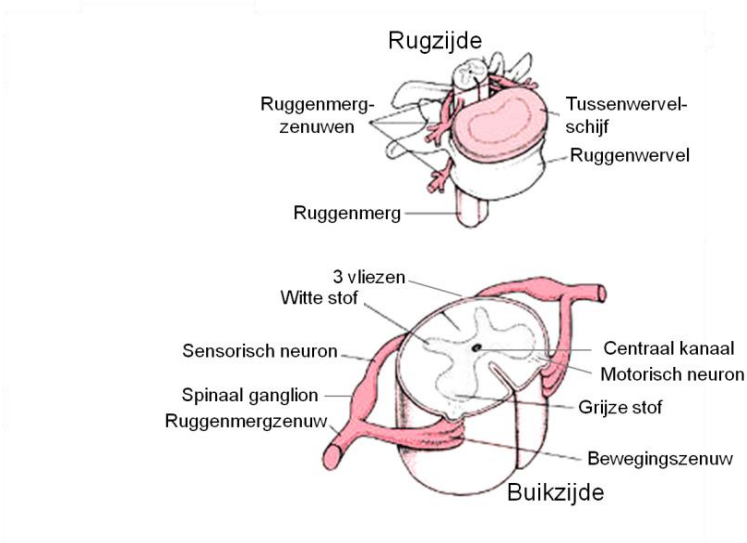
Synaptische spleten zijn niet alleen aanwezig tussen *neuronen* onderling, maar vormen ook de verbinding tussen motorische *neuronen* en *effectoren*. *Effectoren* zijn cellen die reageren op een *impuls*. Bij het *somatische zenuwstelsel* zijn bijvoorbeeld skeletspieren de *effector*. De *axonen* van het *motorisch neuron* eindigen op de zogenaamde *motorische eindplaat*. De transmitter (*Acetylcholine*) zorgt voor het samentrekken van de spier. Deze reactie komt op dezelfde wijze tot stand als de reguliere impulsoverdracht. Het *aantal* cellen dat wordt geactiveerd bepaald de kracht waarmee een spier zich samentrekt (zie ook hoofdstuk 10).

Synapsen en chemische stoffen.

Chemische stoffen kunnen de impulsoverdracht via *synapsen* beïnvloeden. De werking van tal van psychofarmaca is hierop gebaseerd. Stoffen die de impulsoverdracht beïnvloeden kunnen extern worden toegediend (medicatie), maar worden ook door het lichaam zelf gevormd. Een voorbeeld van dergelijke intern aanwezige stoffen zijn endorfines. Tijdens pijn worden die door de hersenen gevormd waarna ze zich op de *receptoreiwitten* (receptoren) van het postsynaptisch membraan hechten. Hierdoor worden de *receptoreiwitten* geblokkeerd en kunnen zo geen pijnprikkels meer overdragen.

6.6 Het ruggenmerg

In figuur 6.7 is een deel van de wervelkolom afgebeeld. Het *ruggenmerg* wordt



Figuur 6.7: Afbeelding van een deel van de wervelkolom met ruggenwervels en zenuwbanen.

beschermd door de wervelkolom en loopt van de bovenste wervel (atlas) tot aan de tweede lendenwervel. Vanaf de halswervel tot aan het staartbeen verlaten 31 paar *ruggenmergszenuwen* links en rechts door openingen tussen de wervels het *wervelkanaal*. Vanaf de tweede lendenwervel lopen de zenuwen als een waaier door het *wervelkanaal*.

De ruggenmergszenuwen zijn gemengde zenuwen, ze bevatten de drie verschillende typen *zenuwcellen*. Elke

ruggenmergszenuw verbindt een bepaald deel van de romp of ledematen met het *ruggenmerg*. Vlak voordat de zenuwen het *wervelkanaal* ingaan, splitsen ze zich op in motorische en sensorische banen. De uitlopers van de sensorische *neuronen* liggen bij elkaar in gevoelszenuwen die aan de rugzijde het *ruggenmerg* binnengaan. In deze gevoelszenuwen bevinden zich verdikkingen, de *ruggenmergszenuwknopen* of *spinale ganglia (ganglion)*. Dit zijn opeenhopingen van cellichamen (sensorische) buiten het *ruggenmerg*.

De uitlopers van de motorische *neuronen* komen aan de buikzijde het *ruggenmerg* binnen. In de ruggenmergszenuwen komen de motorische en sensorische zenuwen samen. Aan een dwarsdoorsnede van het *ruggenmerg* zijn een aantal onderdelen te onderscheiden (figuur 6.7). De buitenste laag is de *schors*. Deze is wit gekleurd en hierin liggen de uitlopers van *schakelneuronen*. De uitlopers geleiden *impulsen* van en naar de hersenen, ze lopen dus omhoog en omlaag. De witte kleur wordt veroorzaakt door de *myelinescheden* die deze uitlopers omhullen.

In het midden van het *ruggenmerg* bevindt zich het grijs gekleurde, vlindervormige *merg*. In deze *grijze stof* liggen de cellichamen van de *schakelneuronen* en motorische *neuronen*. De cellichamen van de *schakelneuronen* bevinden zich aan de rugzijde en de cellichamen van de motorische *neuronen* aan de buikzijde.

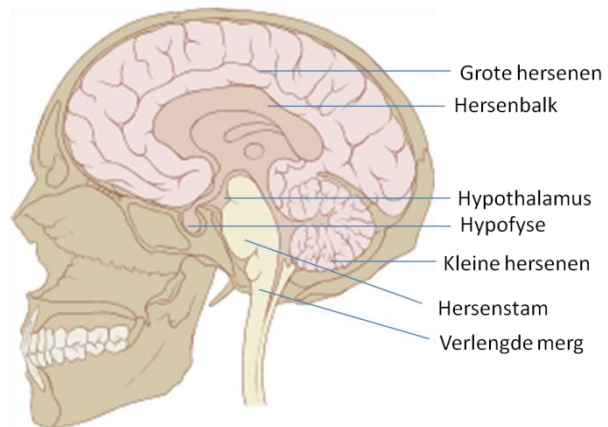
In het midden van het *merg* bevindt zich een met vocht gevulde ruimte die in contact staat met de hersenholte; het *centraal kanaal*. Het *ruggenmerg* is omgeven door drie vliezen die voor bescherming en de bloedtoevoer zorgen.

6.7 De hersenen.

De hersenen bestaan uit de *hersenstam*, de *grote hersenen* en de *kleine hersenen* (figuur 6.8). Net als bij het *ruggenmerg* zijn ook de hersenen omgeven door drie vliezen die dezelfde functie vervullen. In de hersenen bevinden zich met vocht (*hersenvloeistof*) gevulde holten die in contact staan met het *centraal kanaal* van het *ruggenmerg*. Twaalf paar hersenzenuwen verbinden de hersenen met receptoren en *effectoren* in hoofd en hals.

De hersenschors is de buitenste laag van de grote en *kleine hersenen*. In de schors ligt de *grijze stof* welke de cellichamen van *neuronen* bevat. De uitlopers van de *neuronen* liggen in het merg (*witte stof*).

De hersenen zijn opgedeeld in de linker- en rechterhersenhalft die door zenuwen ter hoogte van de *hersenstam* met elkaar verbonden zijn via de *hersenbalk* (*corpus callosum*). De linkerhersenhalft ontvangt en stuurt signalen naar de rechterhalft van het lichaam. De rechterhersenhalft ontvangt en stuurt signalen naar de linkerhalft van het lichaam.



Figuur 6.8: Afbeelding van menselijke hersenen. Links een lengtedoorsnede van menselijke hersenen (zijaanzicht). Rechts gezien vanaf de onderzijde. De voornaamste structuren zijn benoemd.

De hersenstam.

De *hersenstam* ligt in het verlengde van het *ruggenmerg* en geleidt *impulsen* van en naar de grote en *kleine hersenen*. *Impulsen* afkomstig van het linkerdeel van het lichaam worden door de *hersenstam* naar de rechterhersenhalft gestuurd en vice versa. In de *hersenstam* liggen ook de centra van het *autonome zenuwstelsel* die verantwoordelijk zijn voor de hartslag, ademhaling en handhaving van de *lichaamstemperatuur*. Verder bevinden zich hier ook de *thalamus*, een sensorisch en motorisch schakelstation, en de *hypothalamus* met de *hypofyse*. De laatste twee hebben o.a. een functie bij de regulatie van de hormoonhuishouding (zie hoofdstuk 8).

De kleine hersenen.

De *kleine hersenen* coördineren de bewegingen. Door *terugkoppeling* van waarnemingen en bewegingen wordt de beweging afgestemd op het doel (bijvoorbeeld het pakken van een koekje).

Bewegingen die nodig zijn voor het behouden van het evenwicht en

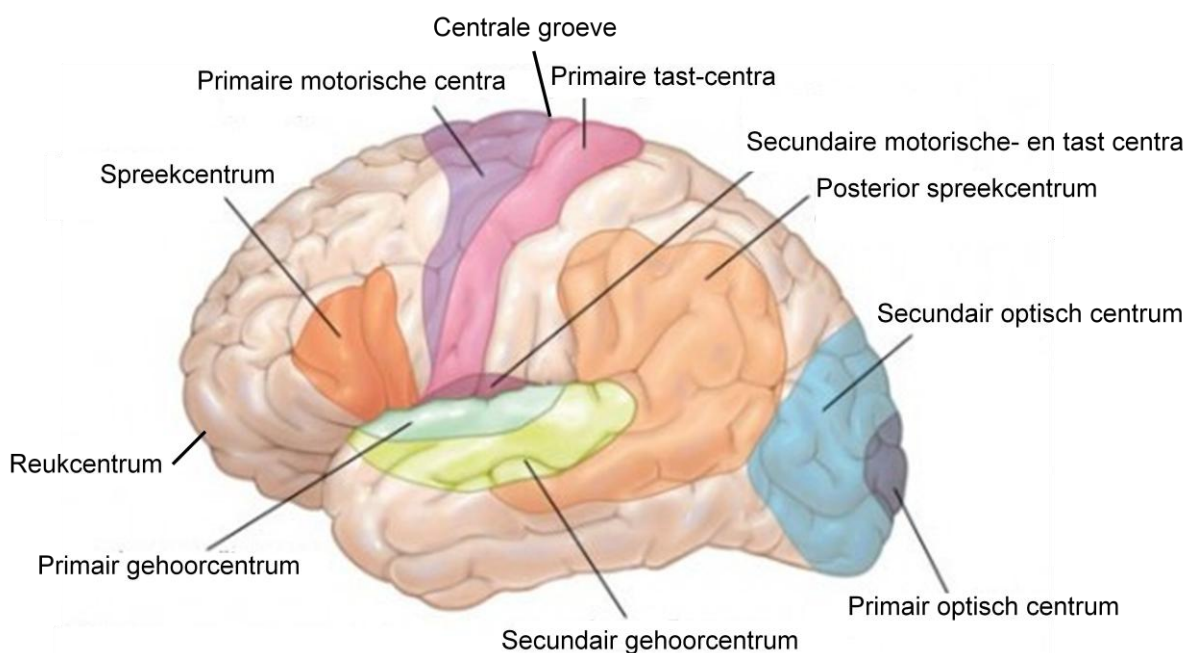
lichaamshouding vinden onbewust plaats. In de *kleine hersenen* ontstaan *impulsen* die deze onbewuste spiersamentrekkingen mogelijk maken.

De grote hersenen.

De *impulsen* van receptoren komen via de *hersenstam* bij de *grote hersenen* aan. In de *grote hersenen* liggen de cellichamen van *neuronen* bij elkaar in hersencentra. Hier worden de *impulsen* verwerkt. Elke receptorgroep komt uit op een specifieke plaats in de *grote hersenen*. Er zijn hersencentra voor horen, zien, ruiken, pijn enzovoort (figuur 6.9).

De hersenschors is voor te stellen als een veld dat is opgedeeld in kleinere veldjes. Elk veldje is verantwoordelijk voor het ontvangen, verwerken en versturen van gegevens van een lichaamsfunctie. Zo zijn er velden die zich bezig houden met het zien, terwijl weer andere betrokken zijn bij het horen. De velden staan onderling in contact. Zo kunnen bepaalde gegevens "gekoppeld" worden.

Er zijn een tweetal "hoofdvelden" te onderscheiden; sensorische gebieden en motorische gebieden. Binnen deze tweedeling is er nog een onderscheid tussen primaire en secundaire centra. De primaire centra dienen vooral voor het verwerken van *impulsen*, terwijl in de secundaire centra gegevens worden gekoppeld.



Figuur 6.9: Linkerzijaanzicht van de menselijke hersenen. Enkele motorische en sensorische gebieden zijn weergegeven.

Impulsen die aankomen in een *primair sensorisch centrum* worden verwerkt zodat je bewust wordt van deze *prikkels*. Aan de rugzijde van de *grote hersenen* ligt bijvoorbeeld een *primair optisch centrum*. *Impulsen* afkomstig van de ogen worden hier verwerkt. Na het bewust worden van een *prikkel*, wordt in het *secundair sensorisch centrum* (associatiecentrum) verband gelegd tussen de *prikkel* en eerdere waarnemingen.

Alle delen van het lichaam zijn verbonden met sensorische centra. Deze zijn weer verbonden met de primaire motorische centra. In de primaire motorische centra worden *impulsen* opgewekt die via de *hersenstam* en *ruggenmerg* worden verstuurd naar motorische *neuronen*. Van daar uit komen de *impulsen* aan bij spieren zodat er bewust bewegingen uitgevoerd kunnen worden.

In de *secundaire motorische centra* worden de bewegingen die in het primair centrum geregeld worden op elkaar afgestemd.

6.8 Het autonome zenuwstelsel

Het autonome of vegetatieve zenuwstelsel reguleert de werking van organen zoals de ingewanden. De zenuwen van het *autonome zenuwstelsel* *innervieren* (komen uit op) de spieren van inwendige organen en klieren. De coördinatiecentra van het *autonome zenuwstelsel* liggen in de *hersenstam*. Zoals beschreven in paragraaf 6.1 bestaat het *autonome zenuwstelsel* uit een (ortho)*sympatisch* en een *parasympatisch* deel. Deze delen hebben een tegengestelde werking.

1) (ortho)sympatisch deel

Dit deel van het *autonome zenuwstelsel* is betrokken bij het regelen van activiteit. Het bevordert *dissimilatie*processen. Tijdens het verrichten van arbeid neemt hierdoor de hartslag- en ademprequentie toe. Tevens worden de bloedvaten in de spieren verwijd zodat er een sterkere doorbloeding optreedt. De organen van het spijsverteringsstelsel en de *nieren* worden in hun activiteit geremd.

2) parasympatisch deel

Na gedane arbeid is het van belang dat het lichaam weer tot rust komt en zich kan herstellen. Voor dit herstelproces is het *parasympatisch* deel verantwoordelijk. Het bevordert de *assimilatie*. De darmperistaltiek, doorbloeding van de ingewanden, nierwerking en de productie van spijsverteringssappen nemen toe.

Tussen het *parasympatisch* en orthopatisch deel van het *autonome zenuwstelsel* bestaat een wisselwerking. Op het moment dat er arbeid verricht wordt moeten bepaalde organen geactiveerd en andere geremd worden. De organen die door het *centrale zenuwstelsel* worden geïnnerveerd zijn doelwitorganen (*targets*). In het geval van het *autonome zenuwstelsel* zorgen twee na elkaar geschakelde *neuronen* voor de verbinding tussen het *centrale zenuwstelsel* en een *doelwitorgaan*. De *neuronen* tussen het *ruggenmerg* en *ganglion* zijn de *preganglionaire neuron*en. *Neuronen* tussen het *ganglion* en het *doelwitorgaan* zijn de *postganglionaire neuron*en.

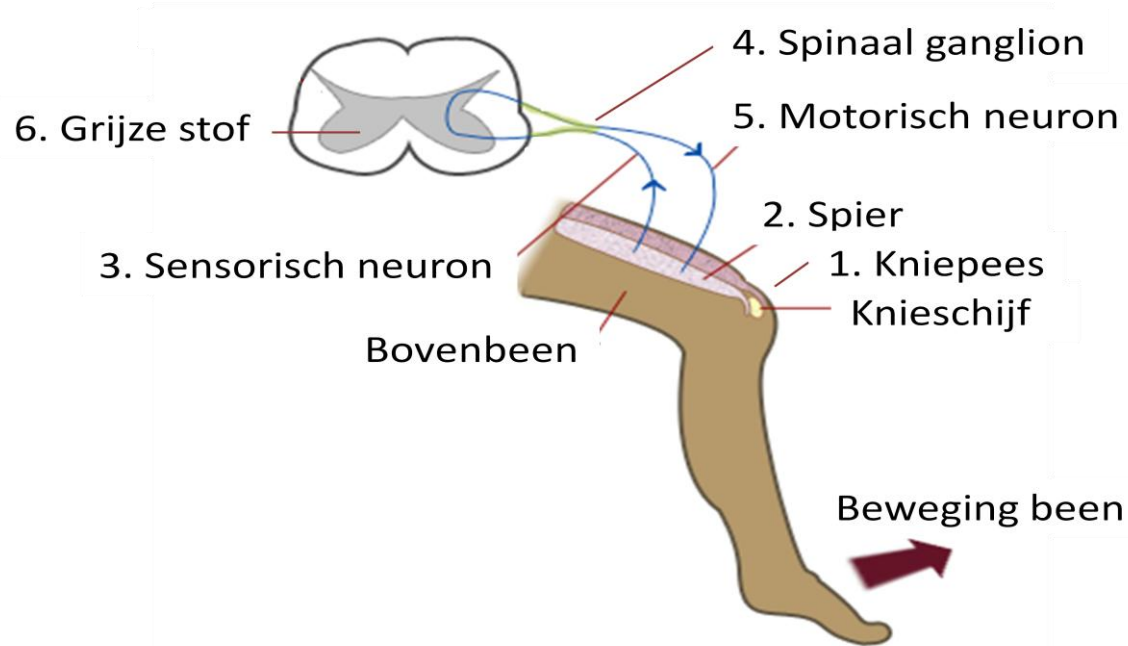
De ganglia van het *sympatisch* deel bevinden zich in de grensstrengen links en rechts van de wervelkolom. De *preganglionaire neuron*en van het *parasympatisch*

deel zijn gebundeld in de zwervende zenuwen. Deze ontspringen in de *hersenslam* en lopen naar de *parasympatische* ganglia nabij de doelwitorganen.

Alle doelwitorganen worden geïnnerveerd door een *parasympatische* en een *sympatische* zenuw. Dit wordt *dubbele innervatie* genoemd. Hierdoor kunnen organen in hun activiteit geremd of geactiveerd worden. Alle preganglionaire *neuronen* geven *Acetylcholine* als *transmitterstof* af. De postganglionaire *neuronen* van het *sympatisch* deel activeren de doelwitorganen middels de *neurotransmitter* *adrenaline* of *noradrenaline*. *Acetylcholine* is de *neurotransmitter* van de postganglionaire *neuronen* van het *parasympatische* deel.

6.9 Reflexen.

Reflexen zijn vaste, snelle bewegingen die onbewust ontstaan als reactie op bepaalde *prikkels*. Ze zijn betrokken bij het beschermen van het lichaam zoals het handhaven van lichaamshouding. Voorbeelden van reflexen zijn hoest-, kniepees-, *pupil-* en slikreflex. Bewuste bewegingen worden opgewekt in de hersenen. *Impulsen* gaan vanuit de hersenen langs het *ruggenmerg* naar motorische *neuronen*. Door de *impuls* verslappen of spannen spieren zich. Bij reflexen worden er geen opdrachten gegeven voor het uitvoeren van een opdracht. De weg die *impulsen* afleggen tijdens een reflex is de *reflexboog*. De *reflexboog* bestaat uit een receptor (*zintuigcel*: *sensorisch neuron*) en een *effector* (spiercel: *motorisch neuron*). De *grote hersenen* zijn niet betrokken bij de *reflexboog*.



Figuur 6.10: Schematische weergave van de kniepeesreflex.

De kniepees of strekreflex heeft als doel de lichaamshouding te handhaven. Door een tik tegen de kniepees (1) worden de spieren opgerekt. De strekreceptoren (2) zijn gelegen in de spieren en nemen deze veranderingen in de spieren waar. De opgewekte impuls gaat via het sensorisch neuron (3) naar het ruggenmerg. Het cellichaam van het sensorisch neuron bevindt zich in het ganglion (4). Het axon komt aan de rugzijde het lichaam binnen. Middels synapsen staat het in verbinding met de dendrieten of cellichaam van het motorisch neuron (6), het axon verlaat het ruggenmerg aan de buikzijde. Het loopt naar de effector (spier) die na het ontvangen van de impuls samentrekt waardoor het been 'opwipt'. De hersenen zijn niet bij de reflex betrokken

Kernpunten van dit hoofdstuk:

- Het zenuwstelsel is op grond van anatomie te verdelen in het centrale en perifere zenuwstelsel.
- Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen het somatische en autonome zenuwstelsel. Deze indeling is gebaseerd op de functie.
- Prikkel die door zintuigen zijn omgezet in impulsen worden door het zenuwstelsel naar de hersenen geleid.
- Impulsen ontstaan door veranderingen in polariteit van het celmembraan van zenuwcellen. Door opeenvolgingen van polarisatieveranderingen worden impulsen langs de uitlopers van een zenuwcel voortgeleid.
- Naast deze elektrische geleiding is er ook een chemisch mechanisme. Door synapsen kunnen impulsen van de ene zenuwcel overgaan op de andere zenuwcel. Impulsen afkomstig van sensorische neuronen worden via schakelneuronen naar de hersenen geleid. Daar worden de impulsen "vertaald" en omgezet in een reactie. Daartoe worden impulsen via motorische neuronen naar een effector (bijvoorbeeld een spier) geleid.
- De hersenen zijn niet betrokken bij reflexen. Een reflexboog loopt altijd via het ruggenmerg, pas na de reactie vindt er bewustwording in de hersenen plaats.

Hoofdstuk 7 Zintuiglijke waarneming

Organismen nemen *prikkels* waar uit hun omgeving en kunnen hier vervolgens op reageren. In het vorige hoofdstuk is beschreven dat in *zintuigcellen* *impulsen* ontstaan. De *impulsen* worden door sensorische *neuronen* naar het *centrale zenuwstelsel* voortgeleid. *Impulsen* kunnen leiden tot een reflex, en of een waarneming en/of een bewuste beweging. *Impulsen* "starten" meestal bij een *sensorisch neuron*. Deze *neuronen* maken onderdeel uit van de zintuigen. In dit hoofdstuk komen in het bijzonder de anatomie en fysiologie van het oog en oor aan bod.

7.1 Het zintuigstelsel.

Het zintuigstelsel bestaat uit *zintuigcellen (receptoren)*. Dit zijn cellen die in staat zijn *prikkels* zoals licht, geluid, warmte en koude om te zetten in *impulsen*. Op grond van het type *prikkel* dat door een *zintuigcel* wordt waargenomen zijn er drie groepen zintuigen te onderscheiden. Er zijn zintuigen die *prikkels* uit het *uitwendige* milieu registreren. De gezichts-, gehoor-, reuk-, koude-, warmte-, druk- en tastzintuigen behoren tot dit type. Deze zintuigen spelen vooral een rol bij het vergaren van voedsel en het signaleren van gevaar. De tweede groep zintuigen registreert *prikkels* uit het *inwendige* milieu en dragen bij aan het handhaven van de balans van het lichaam (zie hoofdstuk 9). Tot deze categorie behoren onder andere *pH*-, osmo- en chemoreceptoren.

Zintuigen die veranderingen in spierspanning of lichaamshouding registreren vormen de derde groep zintuigen, de *proprioceptoren*. Spierspoeltjes en de evenwichtszintuigen in de oren behoren tot dit type.

Impulsen.

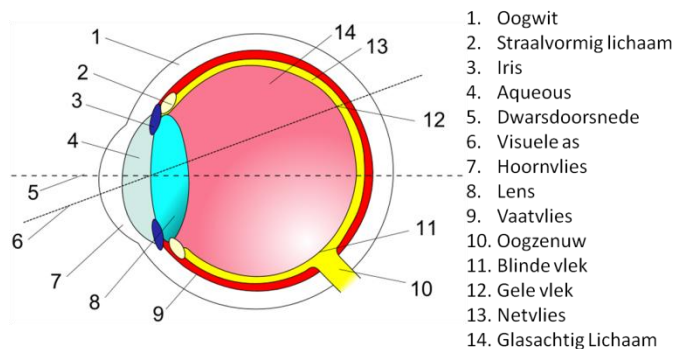
Net als bij *neuronen* zijn de celmembranen van *zintuigcellen* in rust gepolariseerd (-70 mV). Deze *rustpotentiaal* wordt na prikkeling en overschrijden van de *drempelwaarde* omgezet in een *Actiepotentiaal*. Dit gebeurt op dezelfde wijze als beschreven bij de *neuronen*. De frequentie van het aantal opgewekte *impulsen* neemt toe naarmate de *prikkel* sterker is. Zodra een *prikkel* echter lang aanhoudt neemt de impulsfrequentie af. Dit verschijnsel wordt adaptatie genoemd. Hierdoor voel je bijvoorbeeld na enige tijd niet meer dat je schoenen aan hebt.

De *drempelwaarde* is voor elke *zintuigcel* verschillend en afhankelijk van de aard van de *prikkel*. *Prikkels* zijn namelijk te verdelen in *adequate* en *niet adequate prikkels*. *Adequate prikkels* zijn de *prikkels* die door een specifiek zintuig worden waargenomen en waarvoor de *drempelwaarde* laag is. Voor de *zintuigcellen* van het oog is licht de *adequate prikkel*. De *drempelwaarde* voor andere, *niet adequate prikkels* (zoals druk) is voor de *zintuigcellen* van het oog veel hoger. Als er lichte druk op de ogen wordt uitgeoefend (in de ogen wrijven) zie je niets; zodra je harder drukt "zie" je lichtflitsen of sterretjes.

7.2 Anatomie van het oog.

De mens is sterk visueel ingesteld. De ogen zijn daarom zeer goed ontwikkeld. En ook de optische centra in de hersenen zijn bijvoorbeeld in verhouding tot de reukcentra groot.

De ogen van de mens liggen in de oogkassen en kunnen worden bewogen dankzij de oogspieren. De wimpers beschermen de ogen tegen vuil en te fel licht. De oogleden verspreiden het door de traanklieren geproduceerde vocht over de oogbol. Het oog wordt zo gereinigd en droogt niet uit. Het traanvocht wordt door de traanbuizen afgevoerd naar de neusholte. In figuur 7.1 is de inwendige anatomie van het oog te zien. De wand van het oog bestaat uit een drietal lagen. De buitenste laag



Figuur 7.1: Lengtedoorsnede van het menselijk oog.
De voornaamste structuren zijn vernoemd.

is het wit gekleurde *oogvlies* dat voor stevigheid en bescherming zorgt. Aan de voorzijde van het oog is dit vlies doorzichtig en wordt het *hoornvlies* genoemd. Het *vaatvlies* is de tweede (middelste) laag. Het bevat veel bloedvaten en gaat aan de voorzijde over in de *iris*. Door pigmentcellen in de iris heeft het oog een bepaalde kleur. Het binnenste vlies is het *netvlies*, hierin bevinden zich de *zintuigcellen* van het oog. In het centrum van het *netvlies* precies tegenover de *pupil* ligt de *gele vlek*. Hier is het zicht het scherpst omdat het precies tegenover de *pupil* ligt en omdat het aantal *zintuigcellen* er het grootst is. De *blinde vlek* bevindt zich ook aan de achterzijde van het oog, hier bevinden zich geen *zintuigcellen*. Het is de plaats waar de *oogzenuwen* het oog verlaten.

De met vocht gevulde ruimte tussen het *hoornvlies* en de iris is de *voorste oogkamer*. In de iris zit een opening, de *pupil*. Hoe groter de *pupil* hoe meer licht er in het oog valt. (Kring)spiertjes in de iris zorgen ervoor dat deze vernauwd of verwijd kan worden. Achter de iris en de *pupil* bevindt zich de *lens*. Het *straalvormig lichaam* bevindt zich onder de *lens* en kan de *lens* "scherpstellen". Achter de *lens* bevindt zich het *glasachtig lichaam*, een geleïachtige massa die tegen de oogwand drukt zodat het *netvlies* op haar plaats blijft.

7.3 Werking van het oog.

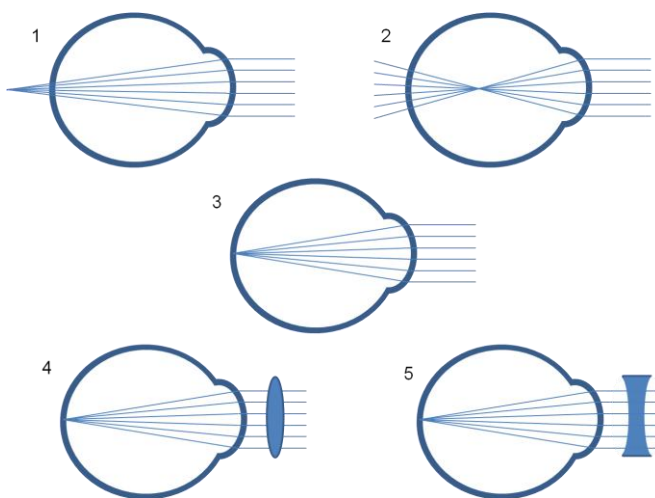
De werking van het oog is het beste te vergelijken met die van een fototoestel. Om een scherpe foto te maken moet een camera worden scherpgesteld. Daarvoor moet de afstand tussen de *lens* en de film (*netvlies*) worden vergroot of verkleind. Het is onmogelijk om tegelijkertijd scherp te stellen op een voorwerp dat zich ver weg bevindt en een voorwerp dat dichtbij is. Op de film wordt na het scherpstellen een

scherp, verkleind en omgekeerd beeld geprojecteerd. In het oog gebeurt exact hetzelfde. De *impulsen* die in het *netvlies* ontstaan worden in de hersenen verwerkt; het beeld wordt weer omgedraaid en op de juiste grootte waargenomen.

Om scherp te kunnen zien kan de *lens* boller of platter worden zodat het brandpunt precies op het *netvlies* valt. In rusttoestand is de *lens* relatief bol, door oprekking wordt ze minder bol. De ooglenzen hangen met behulp van *lensbandjes* in de straalvormige lichamen. In deze straalvormige lichamen liggen kringsspieren. Zodra deze zich samentrekken wordt de diameter van de straalvormige lichamen kleiner. De *lensbandjes* zijn dan minder gespannen, de ooglenzen is minder uitgerekt en wordt boller.

Om de *lens* minder bol te maken dienen de *lensbandjes* strakker gespannen te worden. De kringsspieren ontspannen zich daartoe. Door de druk die het *glasachtig lichaam* op *lens* uitoefent neemt de diameter van het straalvormige lichaam toe. Hierdoor worden de *lensbandjes* strakker gespannen en wordt de *lens* minder bol.

Tijdens het kijken naar een voorwerp dat zich ver weg bevindt (> 5 meter) zijn de ogen in rusttoestand. De afbeelding van een voorwerp wordt nu scherp op het *netvlies* geprojecteerd. Om een voorwerp van dichtbij scherp te kunnen zien moeten de lenzen boller worden. Dit wordt *accommoderen* genoemd. Het scherpstellen is een reflex als reactie op een onscherp beeld op het *netvlies*. De *neuronen* van de *reflexboog* behoren tot het *autonome zenuwstelsel*.



Figuur 7.2: Afbeelding 1 en 2 laten respectievelijk een verziend en een bijziend oog zien. Ver- en bijziendheid worden vaak veroorzaakt door een afwijkende vorm van de oogbeker. Bij verziendheid is deze te kort, bij bijziendheid te lang. Het gevolg is dat bij het verziend oog het brandpunt achter het netvlies valt. Bij het bijziend oog valt het brandpunt vóór het netvlies. Afbeelding 3 geeft de normale situatie weer. Door een bril met bolle lens wordt verziendheid verholpen (afbeelding 4). Een bril met een holle lens verhelpt bijziendheid (afbeelding 5). De accommodatie (scherpstellen) is in beide gevallen normaal.

Verziend en bijziend.

Normaliter is de oogbol (oogbeker) rond zodat, na het scherpstellen van de *lens*, het teruggekaatste licht van een voorwerp precies op het *netvlies* valt. Hierdoor is het mogelijk een voorwerp "scherp te zien". Door afwijkingen in de vorm van de oogbol kan het gebeuren dat er niet scherp kan worden gesteld op een voorwerp. Bij *bijziendheid* is de oogbeker te lang. Bij *verziendheid* is de oogbeker te kort (figuur 7.2). *Bijziende* mensen zien alles op korte afstand goed. *Verziende* mensen, zien in de verte juist beter dan nabij.

7.4 Bouw en werking van het netvlies.

In het *netvlies* worden lichtprikkelers omgezet in *impulsen*. Het *netvlies* bestaat uit een drietal lagen; *neuronen*, *zintuigcellen* en pigmentcellen. De laag pigmentcellen ligt tegen het vaatvlies aan. Door dit pigment wordt licht geabsorbeerd. Zodra er fel licht op het *netvlies* valt, verspreidt het pigment zich tussen de *zintuigcellen*. Op die manier worden de *zintuigcellen* afgeschermd van te fel licht, zodat je niet verblind wordt.



Figuur 7.3: Een kegeltje. Figuur 7.4: Een staafje

In de laag *zintuigcellen* liggen twee soorten *zintuigcellen*; de *staafjes* en de *kegeltjes* (figuur 7.3 en 7.4). De derde cellaag wordt gevormd door de *neuronen* die de *impulsen* van de *staafjes* en *kegeltjes* via de oogzenuw naar de hersenen voorgeleiden. Het licht valt dus eerst door de laag *neuronen* en bereikt dan pas de *staafjes* en *kegeltjes*. De *staafjes* zijn erg gevoelig voor licht van alle golflengten met uitzondering van de kleur rood. Met de *staafjes* worden contrasten waargenomen in wit-zwart-grijs. De *staafjes* bevinden zich voornamelijk aan de rand van het *netvlies*, behalve in de *gele vlek*. Door de lage *drempelwaarde* van de *staafjes* spelen deze een belangrijke rol bij het zien in het donker. De *kegeltjes* echter hebben een hoge *drempelwaarde* en liggen voornamelijk in en nabij de *gele vlek*.

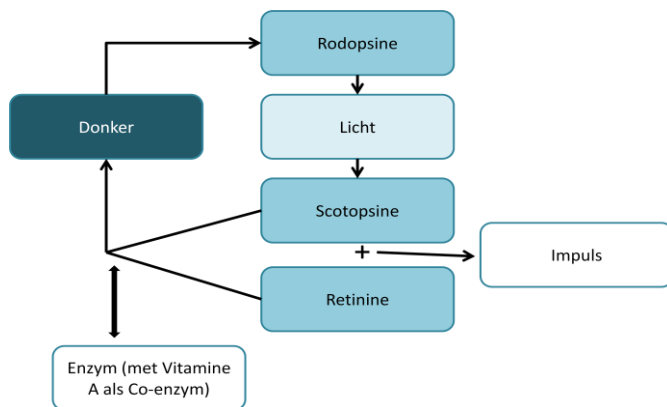
Er zijn drie soorten *kegeltjes*, wat betreft bouw zijn ze identiek maar elk type is gevoelig voor een andere kleur licht; rood, groen of blauw.

Werking van staafjes en kegeltjes.

In het onderste gedeelte van de *staafjes* bevinden zich lamellen die de lichtgevoelige stof *rodopsine* (*staafjes-rood*) bevatten. Zodra er licht op een *staafje* valt wordt het *rodopsine* omgezet in *retinine* (*staafjes geel*) en *scotopsine*, een kleurloos eiwit. Door deze reactie vindt er in het membraan van het *staafje* *depolarisatie* plaats die een *impuls* opwekt. In het donker worden *scotopsine* en *retinine* weer omgevormd naar *rodopsine* (figuur 7.5).

Voor die omzetting is vitamine A nodig als co-enzym. Door een tekort aan vitamine A vindt de omzetting naar *rodopsine* niet of erg langzaam plaats. De *staafjes* kunnen door een tekort aan *rodopsine* geen *impulsen* opwekken; nachtblindheid. Worteltjes bevatten veel vitamine A en zijn daarom goed voor de ogen.

Doordat de omzetting van *retinine* en *scotopsine* naar *rodopsine* in het donker plaatsvindt, is het mogelijk in het donker te zien; donker adaptatie. In fel licht blijft *rodopsine* in zijn niet-actieve vorm bestaan; het zien gaat dan via de *kegeltjes* die geen *rodopsine* gebruiken.



Figuur 7.5: Schema van de verschillende processen die in een staafje plaatsvinden zodat licht wordt omgezet in een impuls.

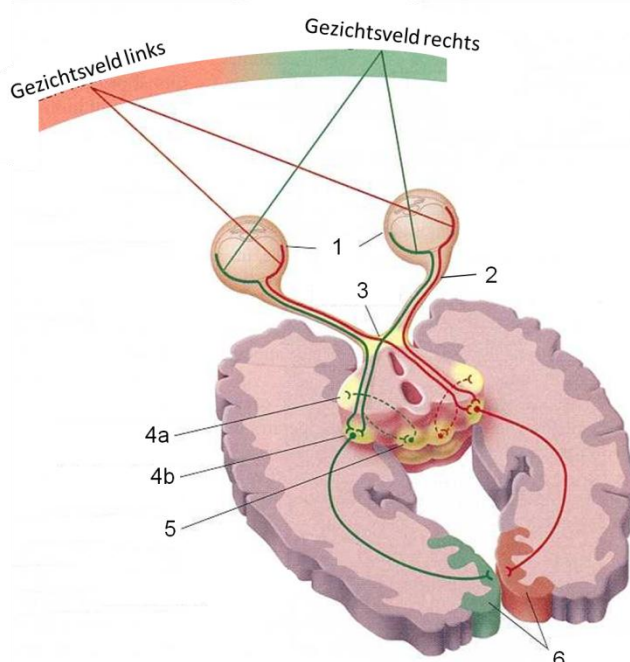
In de *kegeltjes* worden ook door omzetting van stoffen *impulsen* opgewekt. De stof die wordt omgezet verschilt per kegeltje; elk type kegeltje heeft zijn eigen stofje. Voorts wordt de omzetting bepaald door de golflengte, *kegeltjes* die bijvoorbeeld gevoelig zijn voor blauw licht reageren alleen op die specifieke kleur/ golflengte. *Rodopsine* in de staafjes wordt door licht van elke golflengte omgezet. Doordat de drie typen *kegeltjes* tegelijkertijd in wisselende mate

geprikkeld kunnen worden is het mogelijk veel verschillende kleuren te zien. Wit licht wordt waargenomen zodra alle drie de soorten *kegeltjes* tegelijkertijd geprikkeld worden.

De *staafjes* en *kegeltjes* staan met *synapsen* in contact met de cellichamen van de *neuronen* die zich in het *netvlies* bevinden. Elk kegeltje heeft een eigen *neuron*. Bij de *staafjes* echter worden de *impulsen* van meerdere *staafjes* aan een *neuron* doorgegeven.

Op de linker- en rechterhersenhelft van de *grote hersenen* ligt de visuele cortex. De *impulsen* van de sensorische *neuronen* worden daar geïnterpreteerd.

In figuur 7.6 is schematisch de weg die de oogzenuwen afleggen weergegeven. De zenuwen van een oog zijn verdeeld in twee zenuwbanen. Een zenuwbaan verzendt *impulsen* afkomstig van de linkerhelft (*netvlies*) van het oog. De andere zenuwbaan



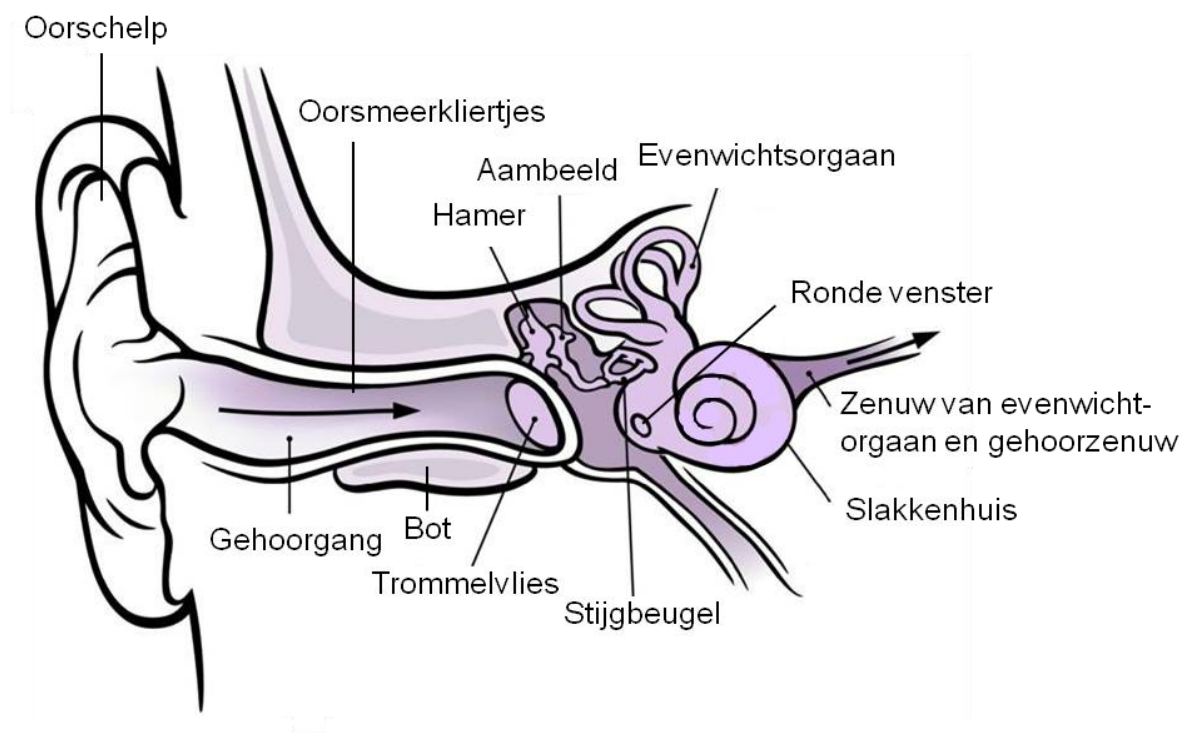
Figuur 7.6: Impulsen opgewekt in de retina (1) gaan via de oogzenuw (2) naar het chiasma opticum (3). Daar kruisen de beide zenuwen elkaar. Een gedeelte van de zenuwen gaan via the thalamus (4b) naar the primaire visuele cortex, waar de impulsen vertaald worden naar beelden. Een ander gedeelte gaat naar een ander gedeelte van de thalamus (4a) via de superior colliculus (5), dat van belang is bij het sturen en coördineren van oogbewegingen.

verzendt *impulsen* afkomstig van de rechterhelft van het oog. Op het *chiasma opticum* kruisen de zenuwbanen.

Hierdoor worden de *impulsen* van de linkerhelft van beide ogen in de linkerhersenhelft verwerkt. *Impulsen* afkomstig van de rechterhelft van beide ogen gaan naar de rechterhersenhelft. De *impulsen* van een oog worden dus zowel in de linker- als in de rechterhersenhelft verwerkt.

7.5 Het gehoor

Figuur 7.7 is een afbeelding van het menselijk oor. De *gehoorzintuigen* liggen samen met de *evenwicht-* en *rotatiezintuigen* goed beschermd in de schedel. Met het *uitwendige oor* wordt de oorschelp bedoeld. Deze dient voor het opvangen van geluiden. In de wand van de gehoorgang liggen *oorsmeerkliertjes*. Deze houden het *trommelvlies* dat zich aan het eind van de gehoorgang bevindt soepel. Het *trommelvlies* is een dun vlies tussen de gehoorgang en de *trommelholte*. In die holte liggen de gehoorbeentjes; *hamer*, *Aambeeld* en *stijgbeugel*. Deze botjes brengen trillingen van het *trommelvlies* over naar het *ovale venster* van het *slakkenhuis*. De *trommelholte* staat door de *buis van Eustachius* in verbinding met de keelholte. Normaliter liggen de wanden van deze buis tegen elkaar aan, door te slikken of gapen, gaat de buis open. Hierdoor kan lucht vanuit de keelholte naar de *trommelholte* stromen en omgekeerd. Hierdoor is de luchtdruk in de *trommelholte* gelijk aan die van de omgeving. Het *trommelvlies* is daardoor optimaal gespannen om het in trilling te brengen.



Figuur 7.7: Afbeelding van het menselijk oor met benoeming van de voornaamste onderdelen.

Het *slakkenhuis* bestaat uit drie kanalen; (1) *voorhofstrap* of opgaande trap, (2) *trommelholtetrap* of neergaande trap en (3) het *vliezige slakkenhuis*.

Het eerste kanaal begint bij het *ovale venster* en loopt spiraalsgewijs omhoog. In de top gaat het over in het tweede kanaal dat naar beneden loopt en uitkomt op het ronde venster. Tussen beide lagen (1 en 2) ligt het derde kanaal. In het met vocht gevulde *slakkenhuis* liggen *zintuigcellen*, die geluidsprikkels omzetten in *impulsen*. De *gehoorzenuw* geleidt de opgewekte *impulsen* naar de hersenen.

7.6 De werking van het gehoororgaan.

Geluiden zijn trillingen van lucht; trage trillingen (frequenties) worden ervaren als laag geluid en snelle trillingen als hoog geluid. Door de oorschelp worden deze trillingen geconcentreerd in de gehoorgang. Het geluid wordt door deze *concentratie* ongeveer driemaal versterkt. Doordat het *trommelvlies* gespannen is gaat het meetrillen. Het spiertje aan de rand van het *trommelvlies* trekt samen zodra het vlies te sterk trilt. Door het spannen van het vlies worden trillingen gedempt. De gehoorsbeentjes in de *trommelholte* brengen vervolgens de trillingen over op het *ovale venster*. De trillingen kunnen versterkt of verzwakt worden overgebracht. Sterke, lage eentonige geluiden worden verzwakt overgebracht doordat een spiertje aan de *stijgbeugel* zich reflexmatig spant. De bewegingen van de *stijgbeugel* worden dan belemmerd. Het versterken van trillingen ontstaat doordat de oppervlakte van het *trommelvlies* twintig keer zo groot is als van het *ovale venster*. Via het *ovale venster* wordt de vloeistof in het *slakkenhuis* in trilling gebracht. De trillingen lopen uiteindelijk dood op het ronde venster dat eindigt in de *trommelholte*.

Het vliezige *slakkenhuis* (middelste kanaal) is door het basale membraan gescheiden van de *trommelholtetrap*. Op dit membraan bevinden zich de *zintuigcellen* die zeer fijne haartjes hebben. De toppen van haartjes zijn vergroeid met het erboven gelegen *dakmembraan*. Het basale membraan is aan het begin van het *slakkenhuis* (bij het *ovale venster*) smal en stijf, verder richting top wordt het breder en flexibeler. Door hoge frequenties gaat het begin van het basale membraan trillen, bij lage frequenties het brede, achterste deel. Door trillingen worden de haartjes tussen het basale- en *dakmembraan* gebogen. Mits de *drempelwaarde* wordt overschreden, ledigen de synaptische blaasjes van de *zintuigcellen* hun inhoud in de synaptische spleet van de sensorische *neuronen*. De zo ontstane *impulsen* worden via de gehoorszenuw naar het gehoorcentrum in de *grote hersenen* geleid.

Waarneming van toonhoogte en geluidssterkte.

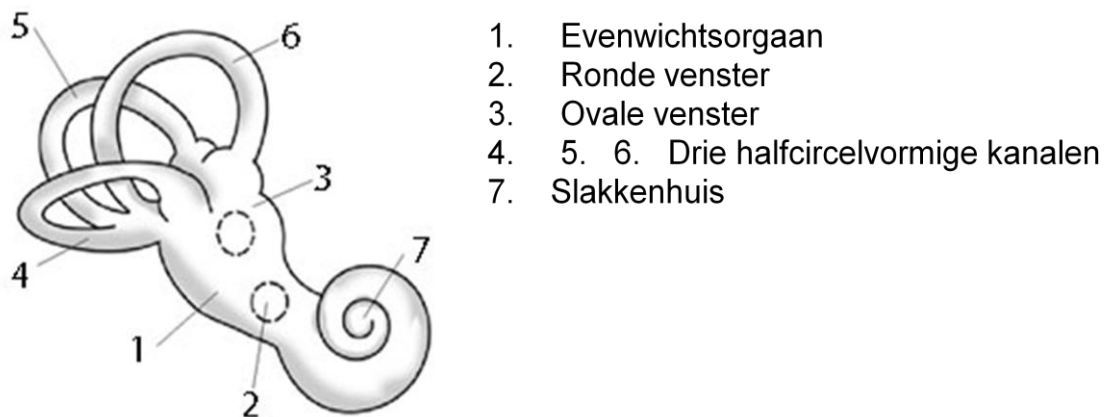
Impulsen van sensorische *neuronen* in het begin van het *slakkenhuis* komen op een andere plaats in het gehoorcentrum aan dan de *impulsen* van verderop gelegen *neuronen*. Hierdoor worden trillingen geïnterpreteerd als hoog of laag geluid.

De sterkte van geluid (hard-zacht) wordt waargenomen doordat in het frequentiegebied (hoog-laag) meerdere *zintuigcellen* liggen. Deze *zintuigcellen*

hebben elk een andere *drempelwaarde* voor een bepaalde frequentie. Sommige reageren meteen, voor andere moet het membraan harder trillen om een *impuls* te genereren. Hoe meer *zintuigcellen*, van een bepaalde plaats op het basale membraan, geprikkeld worden, hoe hoger de impulsfrequentie. Een hoge impulsfrequentie wordt door het gehoorcentrum vertaald als hard geluid, een lage impulsfrequentie als zacht geluid.

7.7 De evenwichtsorganen.

Het inwendige oor bestaat niet alleen uit het *slakkenhuis* maar ook uit het evenwichtsorgaan, zoals afgebeeld in figuur 7.8. Dit bestaat uit drie *cirkelvormige kanalen* en twee holten; een *ovale zakje* en een *rond zakje*. In de cirkelvormige



Figuur 7.8: Afbeelding van het evenwichtsorgaan van de mens.

kanalen bevindt zich lymfevocht. Dit vocht verplaatst zich bij draaiende bewegingen in tegengestelde richting. *Zintuigcellen* in de kanalen buigen met die richting mee en sturen *impulsen* naar de *kleine hersenen*. Doordat de drie cirkelvormige kanalen loodrecht op elkaar staan kunnen drie draai bewegingen worden waargenomen; ja knikken, nee schudden en "tjonge-tjonge" schudden. De twee holten zijn gevuld met een geleachtige massa waarin zich *evenwichtssteentjes* bevinden (calciumcarbonaat). In het ovale zakje liggen de steentjes tegen een horizontale laag van *zintuigcellen*. Bij op- of neerwaartse bewegingen verandert de druk van de steentjes op die cellaag. Daardoor is het merkbaar of een lift omhoog of omlaag gaat. Als een bepaalde beweging is ingetreden heeft het steentje dezelfde beweging zodat er geen *impulsen* meer worden opgewekt.

Het ronde zakje werkt op dezelfde wijze. Doordat de evenwichtssteentjes tegen een verticale zintuigcellaag liggen worden horizontale veranderingen waargenomen (bijvoorbeeld het op gang komen van een trein). Overmatige prikkeling van dit orgaan door constante veranderingen (achtbaan) leidt tot vermoeidheid of duizeligheid.

7.8 Reuk en smaak.

De zintuigen die *smaak* en geur waarnemen zijn nauw met elkaar verbonden. De *zintuigcellen* zijn omgeven door een slijm laagje. Stoffen moeten hierin opgelost worden voordat ze waargenomen worden. De *zintuigcellen* voor *smaak* liggen op de tong. Er zijn vier basissmaken te onderscheiden; zoet, zuur, bitter en zout. De smaakcellen zijn gevoelig voor een van deze basissmaken. De combinatie van deze smaken bepaalt de uiteindelijke gewaarwording.

De reukcellen liggen in de linker- en rechterneusholte. Een reukcel kan door verschillende stoffen geprikkeld worden. De *drempelwaarde* voor stoffen verschilt sterk. Sommige stoffen zijn al te ruiken in erg lage *concentraties*, terwijl andere, in hoge *concentraties* aanwezige stoffen, niet worden waargenomen. Reukcellen adapteren snel; een onaangename geur in een kamer wordt al snel niet meer waargenomen.

Kernpunten van dit hoofdstuk.

- *De zintuigen nemen prikkels uit het interne of externe milieu waar.*
- *Deze prikkels worden via het zenuwstelsel naar de hersenen geleid, waar ze vervolgens verwerkt worden.*
- *Zintuigcellen hebben de mogelijkheid te adapteren.*
- *Bij de mens zijn de ogen zeer goed ontwikkeld. De staafjes en kegeltjes die zich in het netvlies bevinden zetten licht om in impulsen. Via de oogzenuw worden impulsen naar de visuele cortex geleid. Impulsen van het linkeroog worden in de rechterhersenhalft verwerkt, die van het rechteroog in de linkerhersenhalft.*
- *Door het oor worden luchttrillingen (geluid) omgezet in impulsen. Door trilling van het trommelvlies worden, door de haartjes die zich in het slakkenhuis bevinden, impulsen opgewekt.*
- *De evenwichtsorganen zijn in staat de stand (houding) van het lichaam te bepalen.*

Hoofdstuk 8 Hormonen en hormoonstelsel

Hormonen zijn stoffen die een regulerende werking hebben. Ze worden geproduceerd door *hormoonklieren*. De hormonen komen via de bloedbaan bij een orgaan (*doelwitorgaan*), waar ze vervolgens een bepaald proces op gang brengen. Het hormoonstelsel is van belang bij het handhaven van de inwendige balans (*homeostase*). Er is een wisselwerking tussen het zenuw- en hormoonstelsel. In dit hoofdstuk komen de voornaamste hormonen en hun werking aan bod.

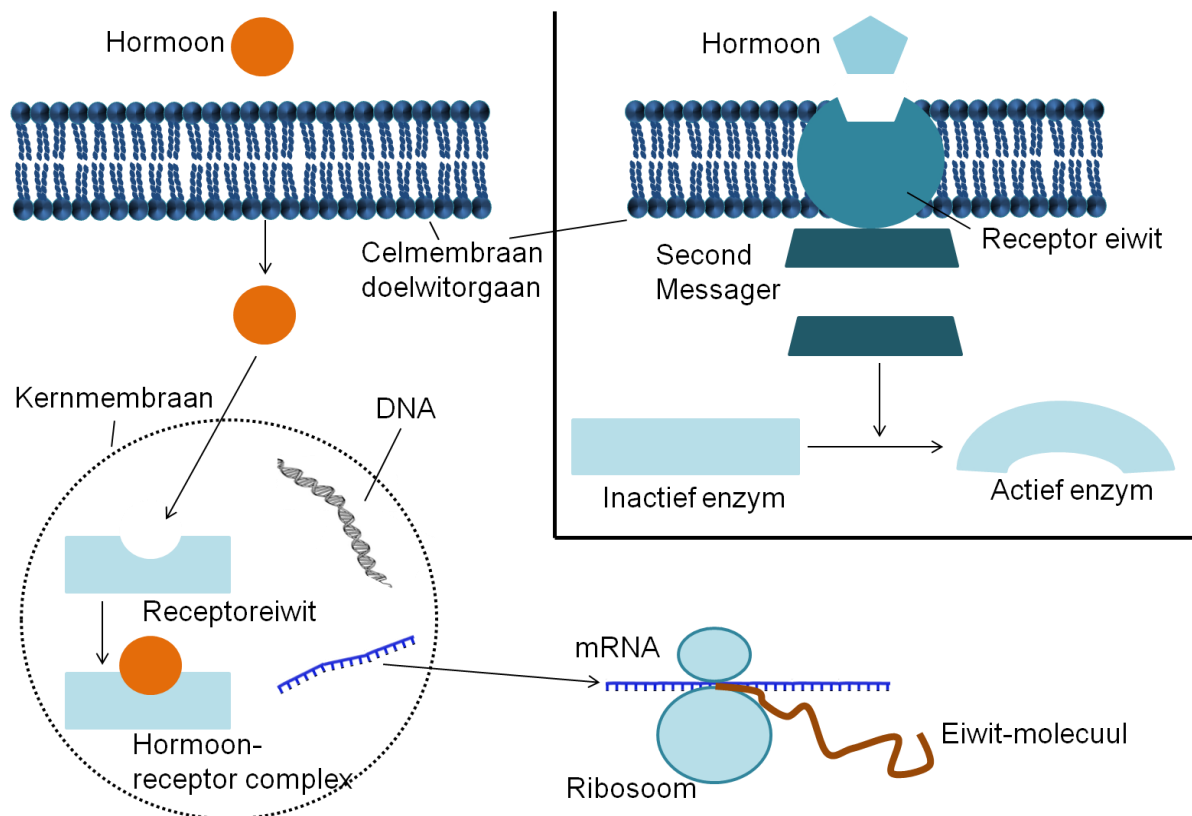
8.1 Het hormoonstelsel.

Hormonen worden gemaakt door *hormoonklieren*. Klieren zijn organen die gespecialiseerd zijn in het maken van een bepaalde stof. Zo produceren bijvoorbeeld speekselklieren speeksel. Er zijn in het lichaam twee soorten klieren te onderscheiden; exocriene klieren en *endocriene klieren*. *Exocriene klieren* hebben een afvoerbuys waardoor de geproduceerde stof wordt afgevoerd. De stoffen komen in het externe milieu terecht (exo = buiten; krinein = afscheiden). Voorbeelden van *exocriene klieren* zijn speeksel-, zweet- en traanklieren. *Exocriene klieren* produceren geen hormonen, deze worden namelijk gemaakt door het tweede klierstype; de *endocriene klieren*. De belangrijkste *hormoonklieren* zijn de *hypofyse*, schildklier, *bij schildklier*, *eilandjes van Langerhans*, *bijnieren* en de *testes* (man) of *ovaria* (vrouw). *Hormoonklieren* hebben geen afvoerbuys, de geproduceerde stoffen (hormonen) komen in het bloed terecht. Door de bloedsomloop worden deze stoffen door het hele lichaam verspreid. Hormonen komen dus bij elk weefsel en orgaan terecht. Ze zijn echter alleen werkzaam in de organen die gevoelig zijn voor een bepaald *hormoon*. De mate waarin een dergelijk *doelwitorgaan* reageert, is afhankelijk van de hoeveelheid *hormoon* die zich in het bloed bevindt. Bij een hoge hormoonspiegel is er veel van een bepaald *hormoon* in het bloed aanwezig, bij een lage hormoonspiegel weinig. Hormonen worden door de *lever* afgebroken en moeten daarom steeds opnieuw aangemaakt worden.

Het hormoonstelsel werkt nauw samen met het *autonome zenuwstelsel*. De regeling via hormonen verloopt langzamer dan via het zenuwstelsel. Het effect van hormonen houdt echter langer aan. Snelle, kortdurende processen worden gestuurd door het zenuwstelsel; langzame, kortdurende processen door het hormoonstelsel.

8.2 De werking van hormonen.

Er zijn twee soorten hormonen: (1) hormonen die in vet oplosbaar zijn en (2) hormonen die niet in vet oplosbaar zijn. Doordat celmembranen voor een groot deel uit vetachtige stoffen bestaan (*fosfolipiden*) kunnen in vet oplosbare hormonen makkelijk door het *celmembraan* heen. In water oplosbare hormonen kunnen moeilijk door het *celmembraan* heen; vet 'stoot' namelijk water af. Dit heeft consequenties voor de wijze waarop elk type werkt (zie figuur 8.1).



Figuur 8.1: De werking van een in vet oplosbaar hormoon (links) en een in water oplosbaar hormoon (rechts). De eerste werkt middels genregulatie. De tweede activeert enzymen met behulp van een second messenger.

In vet oplosbare hormonen.

Deze hormonen hebben een steroid-structuur (complexe ringstructuur) zoals *progesteron*, *testosteron* en *thyroxine*. Door middel van genregulatie (hoofdstuk 5) oefenen deze hormonen hun invloed uit. Nadat een *hormoon* door het *celmembraan* in de cel is gekomen, wordt het in de *celkern* gebonden aan een *receptoreiwit*.

Receptoreiwitten hebben een bepaalde structuur waar een *hormoon* precies in past (slotsleutel). *Receptoreiwitten* zijn daardoor specifiek; ze kunnen alleen een binding aangaan met één type *hormoon*. Hierdoor ontstaat een hormoon-receptorcomplex dat de *transcriptie* van een bepaald stuk *DNA* start. Het gevormde *mRNA* gaat via het kernmembraan naar *ribosomen* in het *cytoplasma*. De *ribosomen* vormen door *translatie* een bepaald eiwit dat een functie kan hebben als *hormoon*, *enzym* *receptoreiwit* enzovoort.

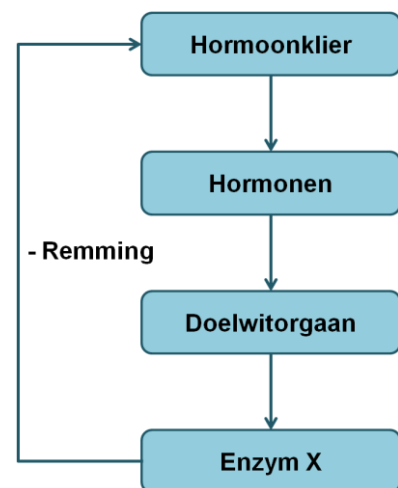
Niet in vet oplosbare hormonen.

Deze hormonen hebben een eiwitstructuur zoals *insuline* en *glucagon*. Met behulp

van een *second messenger* oefenen hormonen van dit type hun invloed uit. Doordat deze hormonen niet (of moeilijk) door het *celmembraan* heen kunnen vormen ze aan de buitenzijde een hormoon-receptorcomplex met een *receptoreiwit*. Door dit complex wordt er aan de binnenzijde van de cel een stof gevormd: de *second messenger*. De *second messenger* activeert vervolgens een *enzym* dat op haar beurt weer een specifieke reactie op gang brengt.

8.3 Feedbackmechanismen.

Vrijwel alle processen in het lichaam worden gestuurd door een mechanisme van terugkoppeling (*feedback*). Het principe is vrij simpel; zodra er bijvoorbeeld een tekort is aan een bepaald *enzym* gaat er een signaal naar een *hormoonklier*. Deze gaat hormonen produceren die vervolgens in een andere cel/weefsel de productie van het benodigde *enzym* activeert. Zodra er voldoende *enzym* geproduceerd is, gaat er een signaal naar de *hormoonklier* die vervolgens stopt met de hormoonproductie. Doordat het *doelwitorgaan* geen hormonen meer "krijgt", stopt de enzymproductie. Het feedbackmechanisme bij de mens is gebaseerd op *negatieve terugkoppeling* (figuur 8.2).



Figuur 8.2: Schematische voorstelling van negatieve terugkoppeling ofwel negatieve feedback.

De signalen die een *hormoonklier* aanzetten tot productie van een bepaald *hormoon* kunnen afkomstig zijn van het zenuwstelsel. De *hypothalamus* bijvoorbeeld reageert op *impulsen* van sensorische *neuronen*. Weer andere *hormoonklieren* hebben zelf een waarneemmechanisme. De *eilandjes van Langerhans* (alvleesklier) bezitten zelfreceptoren die veranderingen van de suikerconcentratie in het bloed waarnemen.

8.4 Hormonen en hormoonspiegels.

In het lichaam bevinden zich verschillende *hormoonklieren* die elk een specifiek *hormoon* produceren. De werking (*feedback*) van enkele *hormoonklieren* wordt hieronder nader toegelicht.

De hypothalamus en de hypofyse.

De *hypothalamus* ligt onder de *hersenstam* en is een intermediair tussen het zenuwstelsel en het hormoonstelsel. Het zet als het ware *impulsen* van *neuronen* om in hormonen.

De *hypofyse* is zo groot als een erwtenkorrel en ligt onder tegen de *hersenstam* net onder de *hypothalamus*. De hypofyse bestaat uit twee delen; (1) de *voorkwab* en (2) de *achterkwab*. Via de *hypothalamus* staat de hypofyse in contact met het zenuwstelsel.

de hypofyse achterkwab

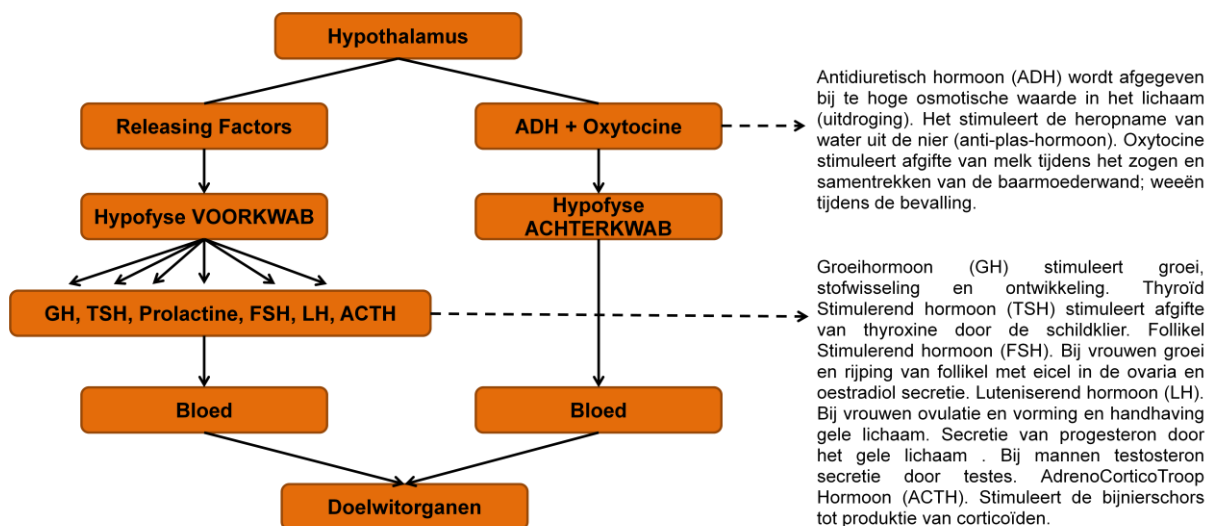
Dit deel van de hypofyse is te beschouwen als een verlengde van de *hypothalamus*. Het bestaat vooral uit *neuronen* en wordt daarom in het Nederlands ook wel de neurohypofyse genoemd. *Neuronen* in de *hypothalamus* produceren de hormonen *oxytocine* en *vasopressine*. Dit laatste is een anti diuretisch *hormoon* (*ADH*) en stimuleert dat de *nieren* voldoende vocht aan de *urine* onttrekken. *Oxytocine* speelt een rol in de melkafgifte en bij het ontstaan van binding tussen partners en ouders en kind. Door *neuronen* gevormde hormonen (*neurosecretie*) worden *neurohormonen* genoemd.

De uitlopers (*axonen*) van de *hypothalamus* transporteren die hormonen naar de achterkwab. Van daaruit worden de hormonen doorgegeven aan het bloed. De hormoonafgifte door de hypofyse is een reactie op een zintuiglijke waarneming.

de hypofyse voorkwab

Dit deel van de hypofyse bestaat, in tegenstelling tot de achterkwab, voornamelijk uit klierweefsel dat zelf hormonen kan vormen. Toch staat ook de voorkwab onder invloed van de *hypothalamus*. De *neuronen* in de *hypothalamus* produceren verschillende typen *neurohormonen* (*releasing factors*). Deze *releasing factors* kunnen een stimulerend of remmend effect hebben op de voorkwab van de hypofyse.

In het bovenste deel van de voorkwab ligt een fijn netwerk van adertjes. Dit wordt het hypofyse-poortaderstelsel genoemd. De bloedvaatjes komen samen in een ader die naar het onderste deel van de voorkwab loopt, en zich daar

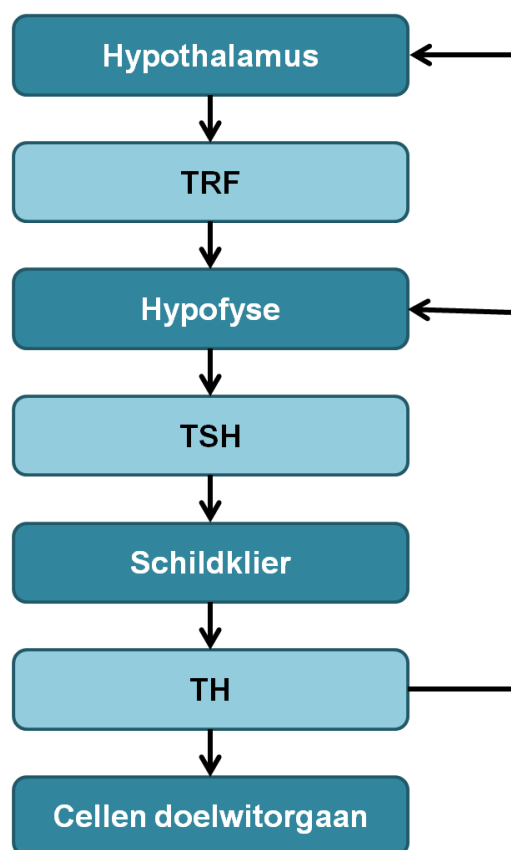


weer vertakt. De *neuronen* van de *hypothalamus* geven hun *releasing factors* af aan het bovenste deel van het poortaderstelsel. Van daaruit worden ze naar de kliercellen van de voorkwab getransporteerd. Daar stimuleren of remmen ze de afgifte van hypofysehormonen.

Hypofysehormonen vormen doorgaans de schakel tussen het zenuwstelsel en andere *hormoonklieren*, ze zetten *hormoonklieren* aan tot productie van een specifiek *hormoon*. In het schema op de vorige pagina is de communicatie over en weer tussen de *hypothalamus* en de hypofyse weergegeven. Tevens zijn de door deze structuren geproduceerde hormonen en de werking daarvan vermeld.

8.5 De schildklier (thyroid).

De *schildklier* ligt in de hals, voor het strottenhoofd, tegen de luchtpijp aan. De *schildklier* produceert *thyroxine* (TH), een *hormoon* dat de synthese van *eiwitten* en de *dissimilatie* (afbraak) van glucose in de *mitochondriën* van lichaamscellen stimuleert. Bij een overmatige productie van dit *hormoon* versnelt de *stofwisseling*; een persoon wordt mager en rusteloos. Een tekort aan dit *hormoon* resulteert in een lage *stofwisseling*. Dit heeft tot gevolg dat een persoon snel moe wordt en het koud heeft. Bij kinderen komt de geestelijke en lichamelijke ontwikkeling tot stilstand. Dwerggroei en beperkte geestelijke ontwikkeling kunnen het resultaat zijn van geen



Figuur 8.3: Feedback mechanisme van de TH productie.

of te weinig *thyroxine* productie.

Bij volwassenen kan de *schildklier* sterk vergroten als er te weinig *thyroxine* geproduceerd wordt. Dit verschijnsel staat in de volksmond bekend als krop (struma).

Thyroxine bestaat uit een aminozuur met 4 jodiumatomen (jood). Een tekort aan jodium heeft tot gevolg dat er geen *thyroxine* gemaakt kan worden. Vroeger kwam jodiumgebrek (en daardoor struma) vaak voor. Door toevoeging van jodium aan keukenzout (gejodeerd zout) is dit probleem opgelost.

Het feedbackmechanisme:

In figuur 8.3 is het feedbackmechanisme van *dethyroxine* productie te zien. De *hypothalamus* produceert *Thyroid Releasing Factor* (TRF) dat de voorkwab van de hypofyse aanzet tot productie van *Thyroid Stimulerend Hormoon* (TSH). Dit *hormoon* komt via de bloedbaan bij de *schildklier*. Daar vindt door TSH de productie van *thyroxine*

plaats. Dit *hormoon* komt vervolgens via het bloed bij de cellen van de doelwitorganen. Er zijn een tweetal (negatieve) feedbackmechanismen actief. Als de *thyroxinespiegel* in het bloed te laag is, wordt dit opgemerkt door chemoreceptoren. Deze geven een *impuls* die terechtkomt bij de *hypothalamus*. Daarna treedt het

hierboven beschreven proces in werking. Doordat de *schildklier thyroxine* gaat produceren zal de thyroxinespiegel stijgen. De chemoreceptoren geven dan geen signaal meer aan de *hypothalamus* en hypofyse. Het gevolg is dat de afgifte van TRF door de *hypothalamus* en de afgifte van TSH door de hypofyse stopt.

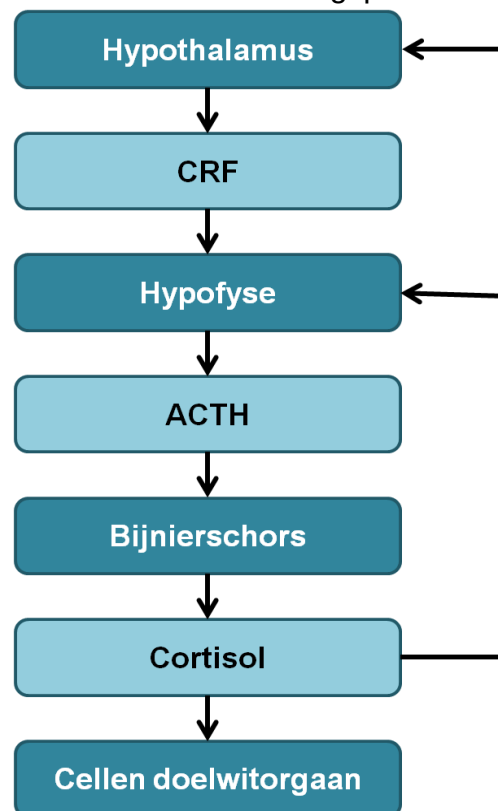
8.6 De *bijnieren*.

De *bijnieren* liggen als kapjes op de beide *nieren*. De buitenste laag (*bijnierschors*) produceert *corticosteroiden* zoals *cortisol*, de binnenste laag (bijniermerg) maakt *adrenaline*. De laatste wordt ook wel het 'fight, flight en fright'-*hormoon* genoemd. Het is een *hormoon* dat een snelle kortdurende werking heeft. De afgifte van *adrenaline* door het bijniermerg tijdens woede, angst of schrik wordt door het *autonome zenuwstelsel* gestuurd. Door *adrenaline* neemt het suikergehalte in het bloed toe (*glycogeen* wordt omgezet tot glucose; hoofdstuk 11). Verder wordt door *adrenaline* de bloeddruk verhoogd. Het *hormoon* maakt het lichaam gereed voor actie (vechten-vluchten). Het *hormoon cortisol* beïnvloedt stofwisselingsprocessen die erop gericht zijn suiker te sparen. Het stimuleert de vorming van glucose uit *aminozuren* en daarnaast remt het de opname van glucose door weefsels. Ook onderdrukt *cortisol* het afweersysteem, daardoor ben je wat vatbaarder voor infecties.

Het feedbackmechanisme.

Het feedbackmechanisme van de *cortisol*productie in de *bijnierschors* is in figuur 8.4 schematisch weergegeven. De *hypothalamus* produceert onder invloed van het zenuwstelsel *Corticotropine Releasing Factor (CRF)*. Dit stimuleert de hypofyse tot het aanmaken van *AdrenoCorticoTrop Hormoon (ACTH)*. Dit *hormoon* komt via de bloedbaan bij de *bijnierschors* die *cortisol* gaan produceren.

Bij stress wordt meer *cortisol* geproduceerd doordat de *hypothalamus* meer *CRF* aanmaakt. De *normwaarden* voor allerlei regelmechanismen kunnen veranderen door langdurige spanningen.



Figuur 8.4: Feedbackmechanisme van *cortisol*productie.

Kernpunten van dit hoofdstuk.

- *Hormonen worden geproduceerd door hormoonklieren. Ze hebben een stimulerend effect op doelwitorganen.*
- *Hormonen zijn specifiek; elk hormoon heeft zijn eigen doelwitorgaan.*
- *Onder invloed van hormonen worden cellen aangezet tot de productie van bepaalde stoffen als eiwitten of andere hormonen.*
- *Tussen het zenuwstelsel en het hormoonstelsel is er een wisselwerking.*
- *Impulsen van het zenuwstelsel kunnen vertaald worden naar hormonen. De hypothalamus is daarvoor verantwoordelijk. Deze structuur produceert, na "prikkeling" door het zenuwstelsel, neurohormonen die andere hormoonklieren aanzetten tot activiteit.*
- *De productie van hormonen wordt gecontroleerd door een feedbackmechanisme. Zodra er voldoende hormoon geproduceerd is, wordt de productie gestaakt.*

Hoofdstuk 9 Homeostase

Homeostase is het handhaven van een constant inwendig milieu door een organisme. Dit is belangrijk om alle processen in het lichaam goed te laten functioneren. In hoofdstuk 2 is besproken dat *enzymen* van de mens een optimum hebben dat bij 37°C ligt. Als de *lichaamstemperatuur* boven of onder dit optimum komt, werken *enzymen* niet meer en dit verstoort allerlei processen. Het is dus belangrijk dat de *lichaamstemperatuur* constant is. Niet alleen de *lichaamstemperatuur* wordt constant gehouden maar ook de hormoonspiegels, het suikergehalte van het bloed, de *osmotische waarde* enzovoort. Voor deze zaken heeft het lichaam een optimum. Zodra bijvoorbeeld de *concentratie* van een stof boven of onder dit optimum (normwaarde) komt, treden er reacties op die tot doel hebben de *normwaarde* te herstellen.

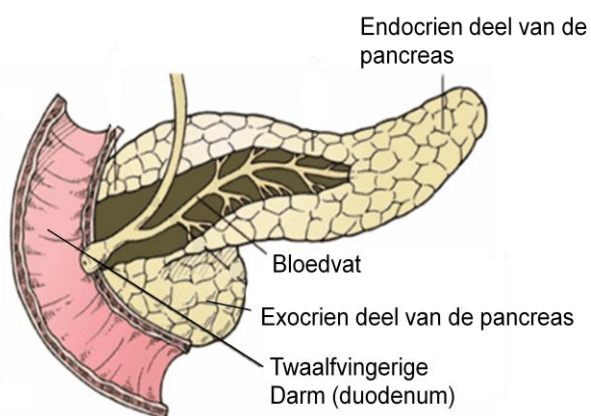
In het voorgaande hoofdstuk is dit al besproken voor de hormoonspiegels. In dit hoofdstuk zal het handhaven van het glucosegehalte in het bloed, de *osmotische waarde* en de *lichaamstemperatuur* worden behandeld.

9.1 Glucosegehalte van het bloed.

Voor het instant houden van een constante *bloedsuikerspiegel* (glucosespiegel) zijn twee organen van cruciaal belang namelijk de *alvleesklier* (*pancreas*) en de *lever*.

De alvleesklier.

De *alvleesklier* is een langwerpige klier die boven in de buikholte ligt. Het bestaat uit een exocrien en endocrien deel. Alvleeskliersap wordt geproduceerd door het exocriene gedeelte. De sappen (*enzymen*) komen in de twaalfvingerige darm en spelen een rol bij de afbraak van het voedsel (figuur 9.1). In het endocriene deel liggen hormoonproducerende cellen in groepjes bij elkaar; de *eilandjes van Langerhans*. Hierin komen *alpha* (α) en *bèta* (β) cellen voor. De α -cellen produceren het *hormoon glucagon*, de β -cellen het *hormoon insuline*. De hormonen worden aan het bloed afgegeven en komen via de poortader bij de *lever* terecht.



Figuur 9.1: Afbeelding van de alvleesklier (*pancreas*).

De lever.

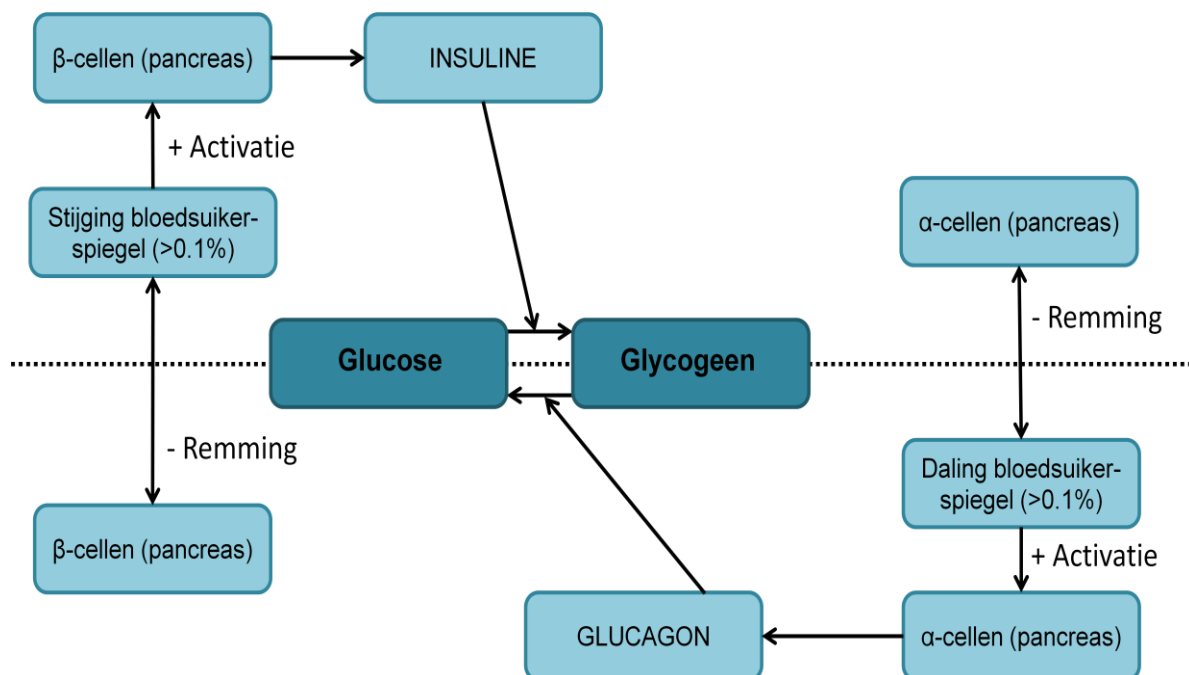
De *lever* ligt in de buikholte tegen het middenrif aan en weegt ongeveer 2-3% van het lichaamsgewicht. Het zuurstofverbruik van de *lever* is bijzonder hoog, namelijk 20% van de totaal verbruikte zuurstof. De *lever* bestaat uit 3 leverlobben die zijn opgebouwd uit vele zeshoekige, 1 mm grote leverlobjes die weer bestaan uit vele

levercellen. Via een ingenieus netwerk van bloedvaten staat de *lever* in verbinding met het lichaam. De *lever* produceert gal, zet *aminozuren* om in andere (niet-essentiële) aminozuren en ontgift het lichaam door afbraak van gifstoffen zoals alcohol. Ook bij de vetstofwisseling is de *lever* betrokken. In dit hoofdstuk zal alleen worden ingegaan op de rol van de *lever* bij het handhaven van de *bloedsuikerspiegel*.

De werking.

De *bloedsuikerspiegel* is gemiddeld 0,1% en wordt door een wisselwerking tussen de α - en β -cellen constant gehouden.

Na het eten van een koolhydraatrijke maaltijd komt er door afbraak van *koolhydraten* veel suiker (glucose) in het bloed. De β -cellen gaan meer *insuline* en de α -cellen minder *glucagon* produceren. Door *insuline* kunnen lichaamscellen makkelijker glucose opnemen voor verbranding (transport door het *celmembraan* wordt vereenvoudigd). Daarnaast wordt er meer glucose uit het bloed opgenomen. Vooral in de *lever* en spieren wordt het opgenomen glucose omgezet in *glycogeen*. Dit wordt opgeslagen. Als de *bloedsuikerspiegel* onder de 0,1% daalt, neemt de insulineproductie van de β -cellen af en de *glucagon*productie van de α -cellen toe.



Figuur 9.2: Relatie tussen de bloedsuikerspiegel en de productie van respectievelijk glucagon en insuline. De omzetting van glucose naar glycogeen, en vice versa, onder invloed van hormonen is de spil bij het handhaven van een constante bloedsuikerspiegel. De stippellijn geeft de normwaarde weer.

Door het *hormoon glucagon* wordt het in de *lever* opgeslagen *glycogeen* omgezet tot glucose. De glucose komt vervolgens in de bloedbaan waardoor de *bloedsuikerspiegel* weer stijgt (figuur 9.2).

Bij de regeling van het glucosegehalte in het bloed door *insuline* en *glucagon* zijn de α - en β -cellen betrokken. Deze nemen de *bloedsuikerspiegel* waar en reageren daarop. Daarnaast is er een gebiedje in de *hypothalamus* dat veranderingen in de *bloedsuikerspiegel* waarneemt en de *insuline* productie kan doen toenemen. De *hypothalamus* controleert het *autonome zenuwstelsel*. Het *autonome zenuwstelsel* regelt vooral de werking van inwendige organen, het regelt onder andere de ademhaling, de spijsvertering en het verwijden en vernauwen van bloedvaten en het beïnvloedt ook de hartslag. De *hypothalamus* controleert ook het hormonale systeem. De *hypothalamus* speelt een cruciale rol bij de organisatie van gedragingen die zorgen voor de overleving van het individu en de soort: eten, vechten, vluchten en paren. Daarnaast speelt de *hypothalamus* ook nog een belangrijke rol bij de temperatuurregeling.

Bloedsuikerspiegel, hormonen en honger.

Onder normale condities schommelt de *bloedsuikerspiegel* weinig. Ook na het eten van een (suikerrijke) maaltijd stijgt de *bloedsuikerspiegel* niet noemenswaardig. Dit komt doordat er onmiddellijk *insuline* wordt geproduceerd. *Insuline* zorgt er niet alleen voor dat glucose wordt omzet in *glycogeen*, maar zorgt er ook voor dat lichaamscellen makkelijker glucose opnemen.

Het in cellen opgenomen glucose wordt gebruikt voor de verbranding (*energie*), of opgeslagen als vet of *glycogeen*. Het *hormoon glucagon* heeft het tegenovergestelde effect van *insuline*. Het zorgt ervoor dat vet of *glycogeen* weer wordt omgezet in glucose dat vervolgens weer in de bloedbaan komt. Hersencellen gebruiken ook glucose als brandstof en hebben twee keer zoveel *energie* nodig als de andere cellen in ons lichaam. *Neuronen*, de cellen die met elkaar communiceren, hebben veel *energie* nodig omdat ze zich altijd in een staat van metabolische activiteit bevinden.

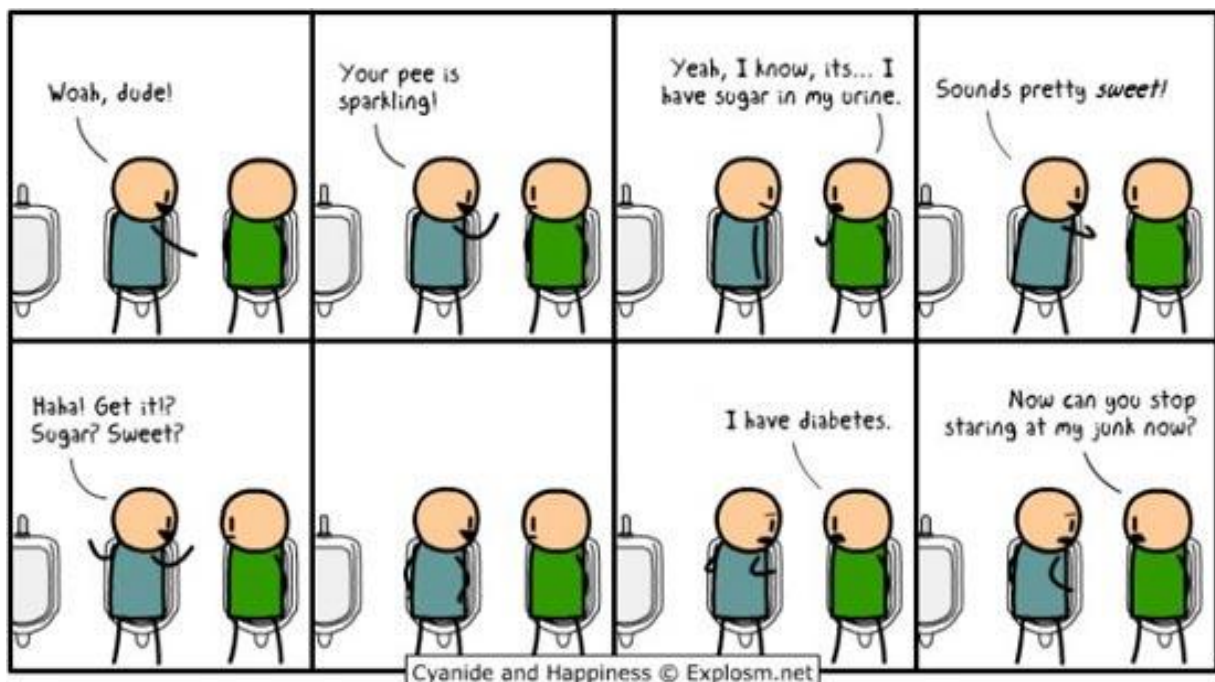
Het gevoel van *honger* of verzadiging wordt onder andere veroorzaakt door de *bloedsuikerspiegel* en het insulinegehalte van het bloed, lage *bloedsuikerspiegels* leiden tot een hongergevoel, hoge *bloedsuikerspiegels* tot een gevoel van verzadiging, door een hoog insulinegehalte ontstaat er een gevoel van verzadiging. *Insuline* is normaliter alleen in hoge *concentraties* in het bloed aanwezig bij een (te) hoge *bloedsuikerspiegel*.

Normaliter stijgt na een maaltijd het insulinegehalte waardoor veel glucose in de lichaamscellen komt en het hongergevoel afneemt. Na enige tijd daalt de *bloedsuikerspiegel* zodat de *pancreas* meer *glucagon* afgeeft terwijl de insulineproductie daalt, hierdoor keert het hongergevoel terug.

Er is een sterk verband tussen insulinegehalte en vetpercentage in het lichaam. Een voortdurend te hoge insulineproductie leidt ertoe dat de *stofwisseling* wordt verstoord; je lichaam heeft moeite om vet af te breken, en daardoor neemt je gewicht toe. Ook leidt een te hoge insulineproductie tot een hoge

Diabetes mellitus is een aandoening die wordt gekenmerkt door herhaaldelijk verhoogde bloedglucosewaarden (hyperglykemie). Onafgebroken hyperglykemie veroorzaakt, als hij hoog genoeg is, glucosurie (*suikerverlies via de urine*) wat in ernstige gevallen een merkbare polyurie (*veel urineren*) zowel als polydipsie (*veel drinken*) ten gevolge heeft. Uiteindelijk kan een langdurige hyperglykemie of een te hoge hyperglykemie leiden tot coma als dit niet op tijd herkend en behandeld wordt.

bloeddruk en een verhoogde activiteit van vrije radicalen, die de veroudering bevorderen en het risico op ziekten sterk vergroot. Bij een langdurige te hoge insulineproductie kan je lichaam zelfs immuun worden voor *insuline*, wat betekend dat je lichaam er steeds meer van nodig heeft voor de spijsvertering. Dit leidt uiteindelijk tot diabetes. Bij een chronisch laag insulinegehalte wordt er weinig glucose als vet opgeslagen. Een laag insulinegehalte remt namelijk de opname van glucose door lichaamscellen. Het hongergevoel blijft bestaan. En ook al eet een dergelijk persoon veel, het lichaamsgewicht daalt.



9.2 De osmotische balans van het lichaam.

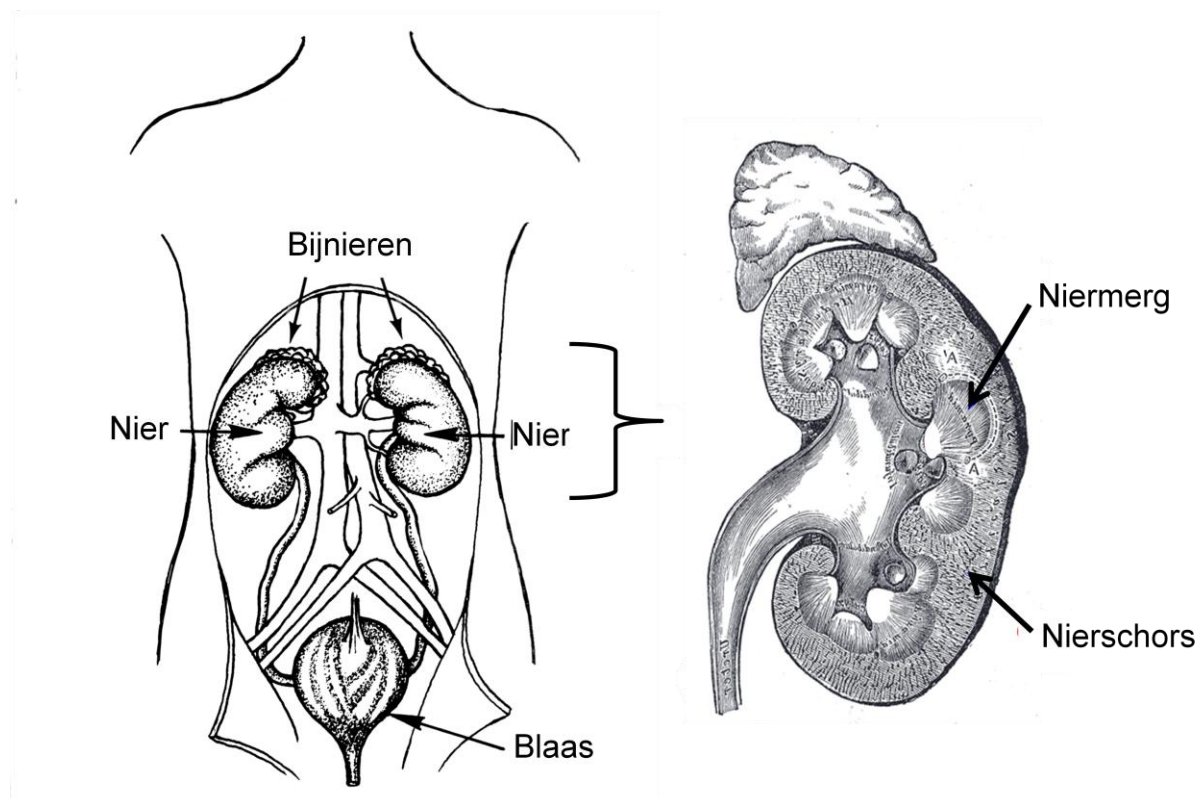
Het is belangrijk dat de *osmotische waarde* van het lichaam op een constant peil wordt gehouden. Een te hoge *osmotische waarde*, dus veel zouten in verhouding tot het lichaamsvocht, leidt tot uitdroging. Een te lage *osmotische waarde*, dus weinig zouten in verhouding tot het lichaamsvocht, kan ertoe leiden dat cellen exploderen (hoofdstuk 2). De voornaamste organen betrokken bij het handhaven van de *osmotische balans* zijn de *nieren* en urinewegen. Deze zijn in figuur 9.3 afgebeeld.

Bouw en werking van de nieren.

De twee *nieren* liggen aan beide zijden van de wervelkolom in de buikholte. Het zijn boonvormige organen die bestaan uit *nierschors*, *niermerg* en *nierbekken*. Door de *nierslagaders* wordt zuurstofrijk bloed naar de *nieren* vervoerd. In het bloed zitten ook allerlei afvalstoffen. De *nieren* verwijderen die uit het bloed en het schone bloed verlaat via de *nieraders* de nier.

Afvalstoffen (medicijnen, overtollig water en zouten) worden verzameld in het *nierbekken* en via de *urineleiders* naar de *blaas* getransporteerd. Door het verwijderen van afvalstoffen wordt de *osmotische balans* en de *pH* constant gehouden.

Het opnemen van afvalstoffen door de *nieren* is een ingewikkeld proces. De nu volgende uitleg is sterk gesimplificeerd,



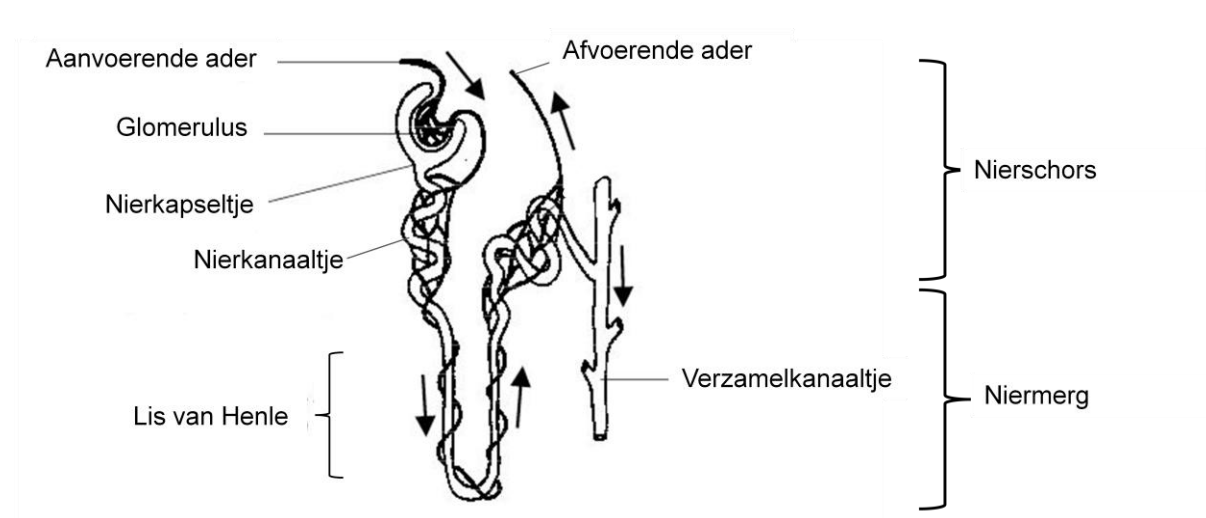
Figuur 9.3: Afbeelding van de nieren en urinewegen van de mens. In de uitsnede is een lengtedoorsnede van een nier zichtbaar.

Het *niermerg* en de *nierschors* zijn opgebouwd uit *niereenheden* (figuur 9.4) die elk omgeven zijn door een bloedvat. Boven in de *niereenheid* (het gedeelte dat zich in de schors bevindt) zijn de bloedvaten vertakt tot een kluwen van haarvaten (*glomerulus*). De afvalstoffen in het bloed worden opgenomen door de *niereenheden*. Dit is mogelijk doordat de bloeddruk in de haarvaten zo hoog is dat het bloedplasma in het nierkapsel wordt geperst. Het nu in de nierkapsels aanwezige vocht wordt *voorurine* genoemd. Dit bevat naast afvalstoffen ook nog bruikbare stoffen. De bruikbare stoffen worden in het onderste deel van de *niereenheid*

(nierkanaaltje) middels actief transport weer afgegeven aan het bloed. De afvalstoffen worden vanuit het nierkanaaltje naar de *verzamelkanaaltjes* vervoerd. De verzamelkanaaltjes komen uit op de urineleider. Water wordt ook weer afgegeven aan het bloed. Als er weinig water in het lichaam aanwezig is wordt er veel water teruggegeven wat leidt tot zeer geconcentreerde *urine*. Op die manier voorkomt het lichaam dat er een watertekort is. Na een zoutrijke maaltijd zullen er minder zouten worden teruggegeven aan het bloed.

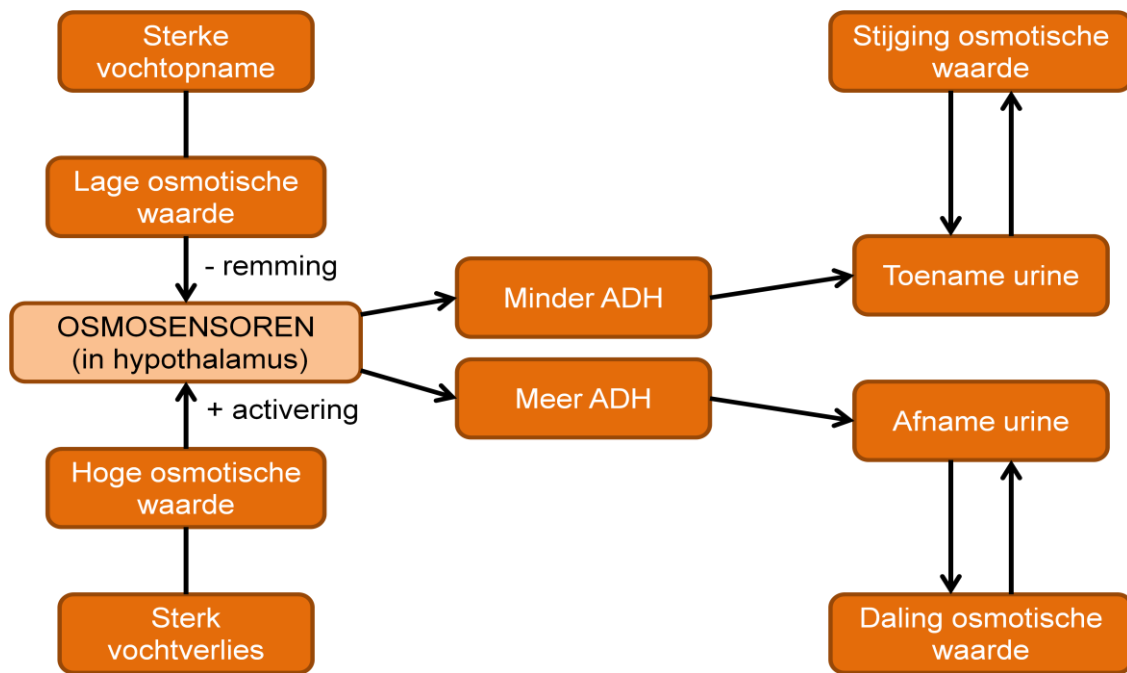
De werking.

De *osmotische waarde* van het lichaam wordt dus in balans gehouden door aanpassing van de hoeveelheid water die er aan de *voorurine* wordt onttrokken. Die hoeveelheid wordt beïnvloed door *Anti Diuretisch Hormoon (ADH)* middels negatieve terugkoppeling. In figuur 9.5 is dit feedbackmechanisme schematisch weergegeven.



Figuur 9.4: Vereenvoudigde weergave van de werking van een niereenheid. Water en (afval)stoffen worden in het nierkanaaltje geperst. Door actief transport, worden water en nog bruikbare stoffen weer afgegeven aan het bloedvat, dat fijn vertakt rond het nierkanaaltje ligt. Afvalstoffen worden verzameld in het verzamelkanaaltje en gaan naar de urineleiders die uitkomen in de blaas. ADH regelt de hoeveelheid water die wordt geresorbeerd. De pijlen geven de stroomrichting(en) aan.

In het brein bevinden zich *osmoreceptoren* die de *osmotische waarde* waarnemen. Als de *osmotische waarde* toeneemt wordt de hypofyse door *impulsen* van die receptoren aangezet tot de afgifte van *ADH*. Door dit *hormoon* neemt de doorlaatbaarheid voor water van de *nieren* verzamelkanaaltjes toe. Er wordt dan meer water teruggegeven aan het bloed en dus minder maar geconcentreerdere *urine* gevormd. Hoe meer *ADH* er in het bloed aanwezig is, hoe meer water wordt teruggegeven. Als de *osmotische waarde* van het inwendig milieu weer op de *normwaarde* ligt, wordt de *ADH* afgifte geremd.



Figuur 9.5: Relatie tussen de interne osmotische waarde en de productie van Anti Diuretisch Hormoon (ADH).

9.3 De regeling van de *lichaamstemperatuur*.

Een bijproduct van de talloze chemische reacties die in het lichaam en in de hersenen plaatsvinden is warmte. Het spreekt voor zich dat organen die erg actief zijn meer warmte genereren dan minder actieve organen. Bij de mens zijn de hersenen, longen, hart, *nieren* en *lever* (samen nog geen 10% van het lichaamsgewicht) de voornaamste warmteproducenten. Daarnaast leveren actieve spieren ook warmte.

Het bloed speelt een belangrijke rol bij het verspreiden van de lichaamswarmte. Vanuit het binnenste van het lichaam en actieve spieren wordt de warmte naar de overige lichaamsdelen afgevoerd.

De *lichaamstemperatuur* kan constant worden gehouden als er een evenwicht is tussen afgifte en productie van warmte; de warmtebalans. De bloedtemperatuur wordt in de *hypothalamus* door warmte- en koudezintuigen waargenomen. Vandaar uit wordt de *lichaamstemperatuur* geregeld via warmteproductie en -afgifte. De *normwaarde* voor de lichaamtemperatuur is overdag ca. 37°C en 's nachts ca. 36,5 °C.

De warmteproductie is vooral afhankelijk van de intensiteit van de *stofwisseling* en spieractiviteit. Zodra de *lichaamstemperatuur* onder de *normwaarde* komt kan de *lichaamstemperatuur* worden verhoogd door toename van de *stofwisseling* en spieractiviteit. Door te gaan klappertanden en rillen, het zijn beide onwillekeurige gedragingen van je spieren, produceer je relatief veel warmte. Ook vernauwen de bloedvaten in de huid zich zodat er minder warmte wordt verloren door straling, geleiding of verdamping. De warmteafgifte wordt beïnvloed door de huid en het

bloed. Indien de *lichaamstemperatuur* boven de *normwaarde* komt verwijden bloedvaten in de huid zich. Door straling en geleiding wordt zo warmte afgegeven. Daarnaast geven de zweetklieren dan meer zweet (= water en zouten) af. Het zweet verdampt en daardoor verliest het lichaam overmatig warmte.

Kernpunten van dit hoofdstuk:

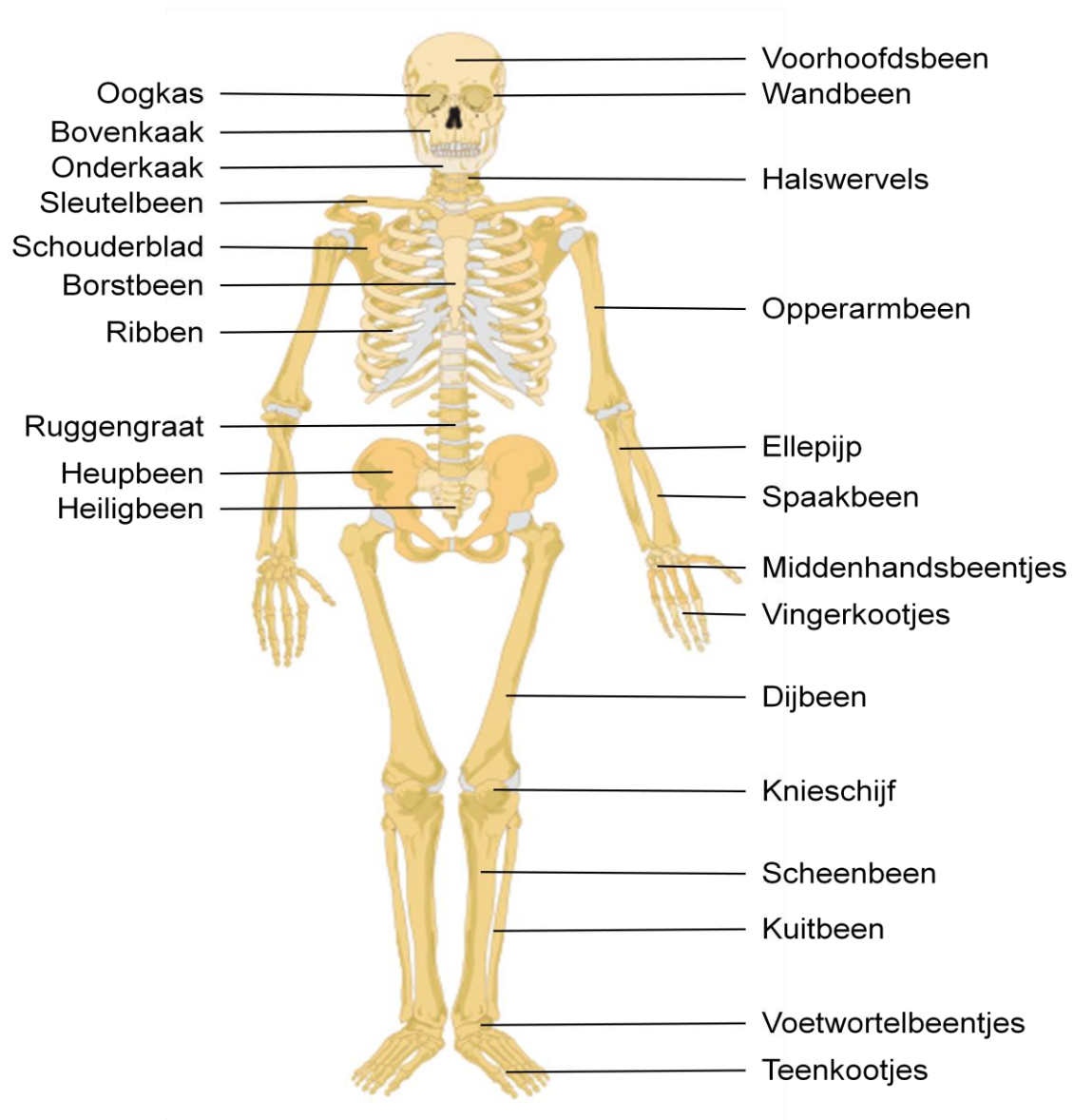
- *De homeostase heeft als doel een constante balans van het inwendig milieu te handhaven. Door middel van communicatie kan een organisme de functie van elk individueel orgaan aanpassen om aan de behoefte van het lichaam in het geheel te voldoen.*
- *De receptoren (zintuigcellen) registreren een verandering in de normwaarde en door de effectoren wordt de normwaarde hersteld. Homeostatische regulatie wordt bewerkstelligd door het vrijkomen van effectoren in de bloedsomloop, deze heten hormonen. Effectoren die verschillende delen van het zenuwstelsel met boodschappen verzorgen worden neurotransmitters genoemd.*
- *Bij het handhaven van de bloedsuikerspiegel zijn onder andere de hormonen glucagon en insuline betrokken*
- *Bij het handhaven van de osmotische balans is het hormoon ADH betrokken*
- *Bij het handhaven van de lichaamstemperatuur spelen warmte- en koudezintuigen in de hypothalamus een rol.*
- *Elk regelsysteem heeft een eigen feedbackmechanisme.*

Hoofdstuk 10 Stevigheid en beweging

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de bouw van botten en spieren. De nadruk zal liggen op de anatomie en fysiologie van de spieren.

10.1 Het *skelet*.

Mensen hebben een inwendig *skelet* dat voor een groot deel uit been en voor een klein deel uit kraakbeen bestaat. In figuur 10.1 is het menselijk *skelet* afgebeeld.



Figuur 10.1: Afbeelding van het menselijk skelet met benoeming van de voornaamste onderdelen

Er zijn een drietal typen beenderen te onderscheiden:

1) Pijpbeenderen,

Dit zijn de langwerpige beenderen die vooral in de ledematen voorkomen. De uiteinden (*epifysen*) van pijpbeenderen bevatten sponsachtig been. Hierin lopen beenbalkjes in alle richtingen. Deze beenbalkjes zorgen ervoor dat de druk op de botten wordt verdeeld. De ruimtes tussen de beenbalkjes zijn gevuld met rood *beenmerg*. In het *beenmerg* worden rode bloedcellen en bloedplaatjes gemaakt. Het grootste gedeelte van pijpbeenderen is de *diafyse*. Dit is het deel tussen de uiteinden van het bot. De *diafyse* is een holle buis gevuld met geel *beenmerg* (vetopslag) en waarvan de wand uit compact been bestaat. Rond het pijpbeen ligt het beenvlies dat vele bloedvaten en zenuwen bevat. Pezen zijn vastgehecht aan dit beenvlies.

2) Platte beenderen,

Dit type been bestaat uit twee lagen compact been met daartussen sponsachtig been (rood *beenmerg*), ribben, schouderbladen, heupbeenderen en schedelbeenderen zijn voorbeelden van *platte beenderen*.

3) Korte beenderen,

Deze beenderen hebben dezelfde bouw als de *platte beenderen*, het laag compact been is echter veel dunner. Tot deze categorie behoren de hands- en voetwortelbeentjes.

Het *skelet* geeft niet alleen stevigheid en vorm aan het lichaam. De beenderen spelen een belangrijke rol bij de calcium- en fosforhuishouding.

Vele beenderen vormen met behulp van gewrichten hefboomen waardoor de snelheid en afstand van een beweging wordt vergroot. Als de biceps enkele centimeters verkort (door samentrekken), beweegt de hand tientallen centimeters omhoog.

10.2 De spieren.

Spieren zijn wat in de volksmond bekendstaat als "vlees". Het is het type weefsel dat zorgt voor beweging van het lichaam. *Spiercellen* hebben namelijk de eigenschap om korter te worden (samentrekken). Bij de mens komen drie soorten spieren voor:

1) Glad spierweefsel

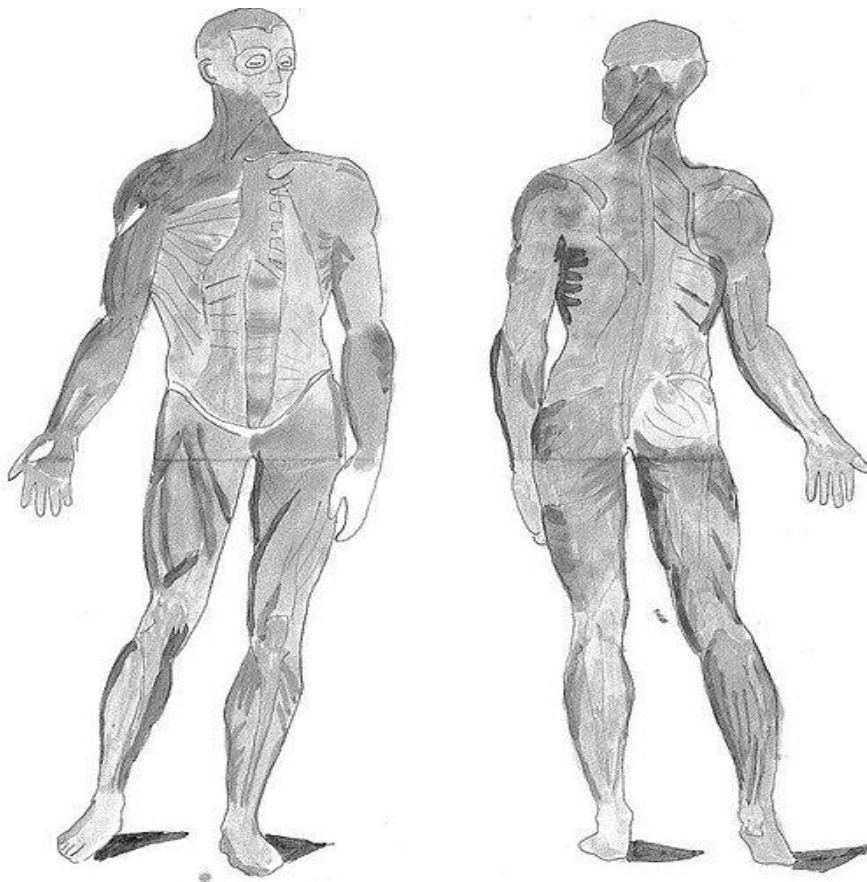
Dit bestaat uit langwerpige spiercellen met elk een *celkern*. Glad *spierweefsel* wordt geënerveerd door het *autonome zenuwstelsel* (niet onder invloed van de wil). Daarnaast kunnen ook hormonen zoals *adrenaline* een samentrekking veroorzaken, zoals bij stress of schrikreacties. Gladde spieren zijn traag; ze trekken langzaam samen maar raken niet snel vermoeid. Dit *spierweefsel* komt voornamelijk voor in de wanden van holle of buisvormige organen zoals het darmkanaal, bloedvaten, urinewegen en *baarmoeder*.

2) Dwarsgestreept spierweefsel

Dit *spierweefsel* bestaat uit samengesmolten spiercellen, de *spiervezels*, die dan ook vele *celkernen* bevatten. De *energie* loopt via het *somatische zenuwstelsel* (zie hoofdstuk 6). De *samentrekking* verloopt snel, maar de *spiervezels* raken snel vermoeid. De meeste dwarsgestreepte spieren zijn door *pezen* verbonden aan het *skelet*, zodat ze het lichaam kunnen laten bewegen. Weer andere zitten vast aan de *huid* zoals de spieren van het gezicht (*gezichtsspieren*). Onder een microscoop zijn er op de *spiervezels* *dwarse strepen* te zien, vandaar de naam dwarsgestreepte spieren.

3) Hartspierweefsel

Dit spiertype heeft een zelfde bouw als de dwarsgestreepte spieren. Een zogenaamde *sinusknoop* die op het hart ligt geeft *impulsen* die zorgen voor het *samentrekken* van het *spierweefsel*. De *sinusknoop* kan door hormonen (*adrenaline*) en het *autonome zenuwstelsel* worden beïnvloed.



Figuur 10.2: Afbeelding van de menselijke spieren.

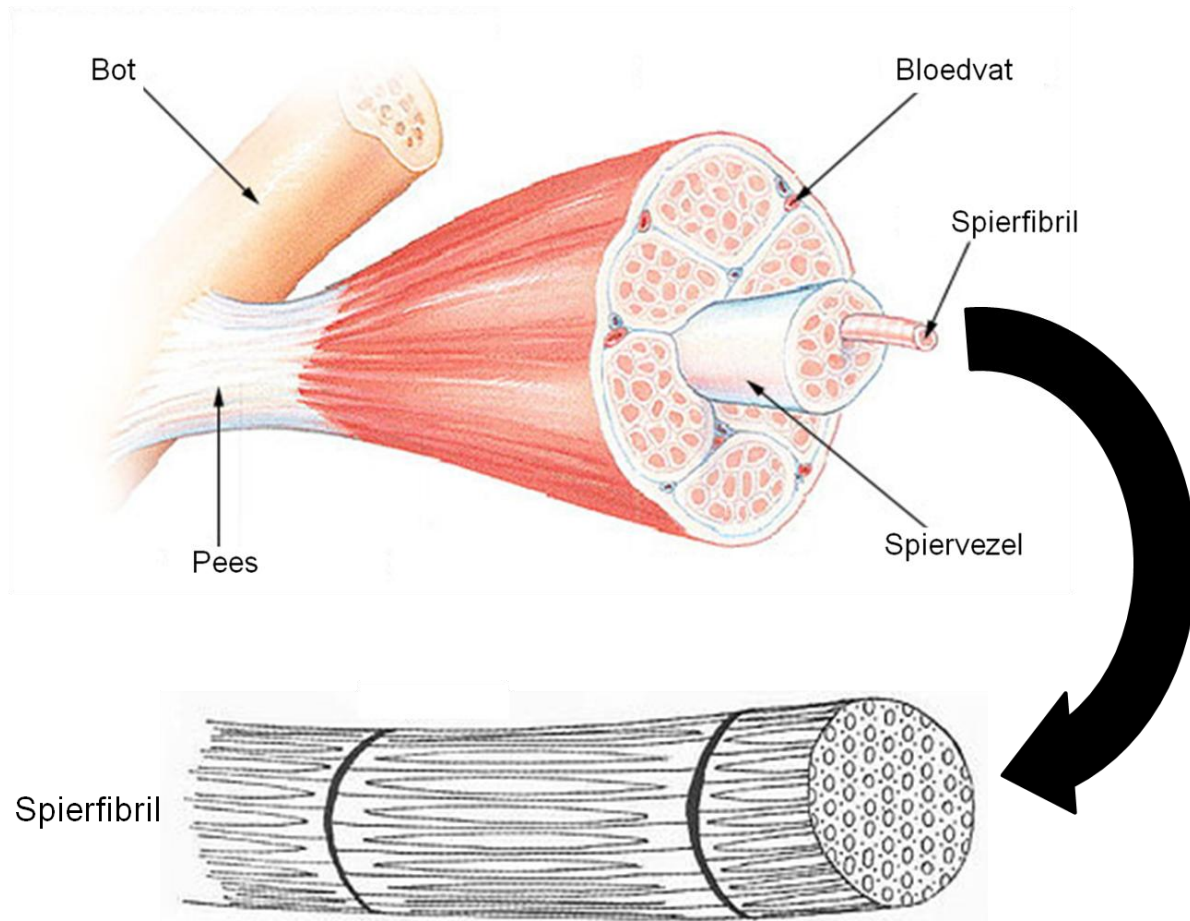
Bouw van skeletspieren.

In figuur 10.3 is de anatomie van de skeletspieren afgebeeld. Skeletspieren zijn omgeven door een bindweefsell laag; de *spierschede*. Aan beide uiteinden gaat het

bindweefsel over in het bindweefsel van de pezen.

Een skeletspier bestaat uit *spierbundels* die zelf ook omgeven zijn met een laag bindweefsel. Een *spierbundel* bestaat uit een aantal *spiervezels*. De *spiervezels* lopen parallel aan elkaar en kunnen tot 30 centimeter lang zijn.

Spiervezels zijn op hun beurt weer opgebouwd uit *spierfibrillen*. Dit zijn eiwitdraden (*filamenten*). Er zijn dikke eiwitdraden die bestaan uit het eiwit *myosine* en dunne eiwitdraden welke uit *actine* bestaan. De actine- en myosinefilamenten vormen een regelmatig patroon waardoor de karakteristieke dwarse streping zichtbaar wordt. Dit



Figuur 10.3: De anatomie van skeletspieren

dwarse strepenpatroon bestaat uit donkere en lichte banden die een regelmatig patroon vormen. De donkere banden zijn de *myosine filamenten*, de lichte banden bestaan uit actine filamenten.

Tussen *spierfibrillen* bevinden zich *mitochondriën* en *glycogeenkorrels*.

Op de *spiervezels* bevinden zich *motorische eindplaatjes*. *Impulsen* van motorische *neuronen* worden zo overgebracht op de *spiervezels*. De uitlopers van een *neuron* kunnen verschillende *spiervezels* innervieren.

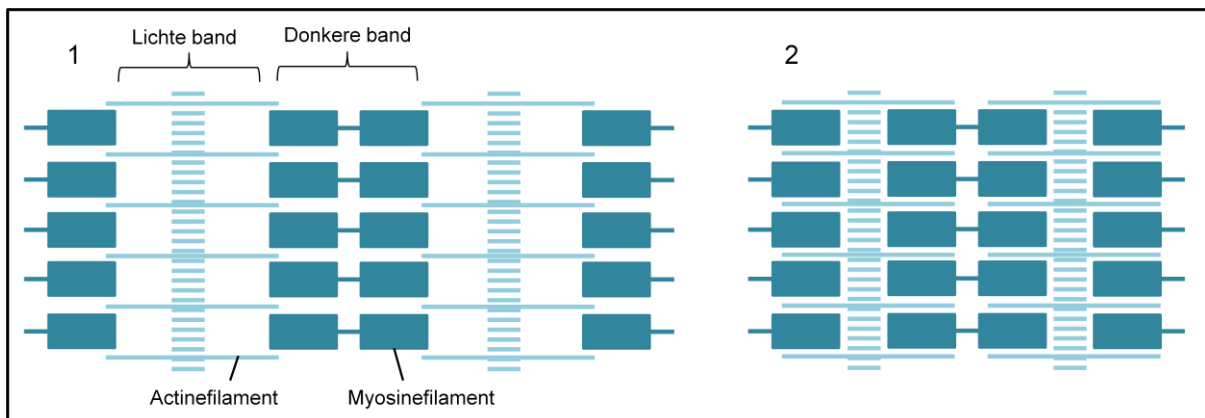
Alle *spiervezels* die door een *neuron* "bestuurd" worden vormen een zogenaamde *motorische eenheid*.

De werking van skeletspieren.

Het samentrekken van *spiervezels* verloopt net als de *impulsgeleiding* van

zenuwcellen via de *alles-of-niets-wet*. Een *impuls* vanuit het brein, die via het *motorische eindplaatje* de *spiervezel* bereikt, moet een bepaalde sterkte hebben. Als de *impuls* de *drempelwaarde* overschrijdt trekken alle *spiervezels* van een *motorische eenheid* samen. Die samentrekking is altijd maximaal. Elke spier is opgebouwd uit vele motorische eenheden. Omdat niet alle motorische *neuronen* een *impuls* geleiden trekken niet alle *spiervezels* tegelijkertijd samen. Hierdoor wordt vermoeidheid van de spieren voorkomen. Het is een soort afwisseling in activiteit tussen verschillende motorische eenheden. Hoe meer motorische eenheden samentrekken hoe krachtiger een spier samentrekt. Zodra een *impuls* via een *motorisch eindplaatje* in een *spiervezel* aankomt, schuiven de actine en *myosine filamenten* in elkaar (figuur 10.4). Hierdoor wordt de *spiervezel* korter. De lichte banden (actine) worden smaller terwijl de donkere banden (myosine) even groot blijven.

Het samentrekken van een *spiervezel* kost *energie* die wordt geleverd door de *mitochondriën* en *glycoeenkorrels*.



Figuur 10.4: Schematische weergave van de spiercontractie. 1. Een spier in ontspannen toestand. 2. Een gespannen spier, de actine en myosine filamenten zijn in elkaar geschoven.

10.3 Houding en beweging.

Bij het handhaven van de lichaamshouding zijn vele spieren betrokken. In normale, ontspannen toestand zijn skeletspieren niet maximaal ontspannen. Er is altijd een soort basisspanning, de *spiertonus*. Dit wordt veroorzaakt doordat motorische *neuronen* nu en dan een *impuls* sturen naar de motorische eenheden. De aangesloten *motorische eenheid* trekt zich dan samen. Omdat er slechts enkele motorische eenheden worden geactiveerd spant de spier zich niet. Er wordt een basisspanning in stand gehouden die een belangrijke rol speelt bij het handhaven van de lichaamshouding. Ook reflexen zijn betrokken bij het handhaven van de lichaamshouding. Zodra iemand die staat te veel naar voren helt, en dreigt om te vallen, wordt dit door een reflex van de kuitspieren gecorrigeerd.

Spiervezels trekken samen doordat de actine en filamenten in elkaar schuiven. Ze

kunnen echter niet vanzelf uit elkaar schuiven en weer in ontspannen toestand komen, de filamenten moeten als het ware uit elkaar getrokken worden. Daarom hoort bij elke groep spieren een groep die een tegengestelde werking heeft. Dit zijn de zogenaamde *antagonisten*. De biceps bijvoorbeeld zorgen voor het buigen van de arm, het triceps voor het strekken van de arm. De triceps zijn de *antagonist* van de biceps.

Na het samentrekken heeft een *motorische eenheid* een korte tijd nodig om te herstellen van de geleverde arbeid.

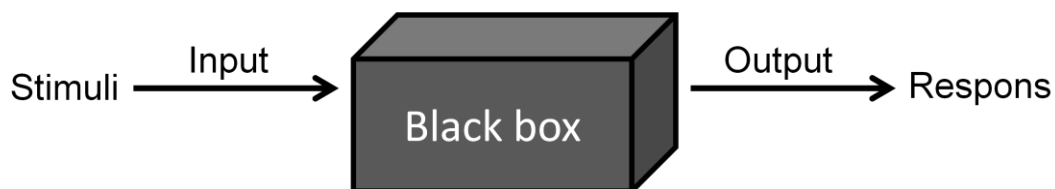
Kernpunten van dit hoofdstuk:

- *Het skelet zorgt voor de vorm en stevigheid van het lichaam. Daarnaast dient het als aanhechtingsplaats voor de spieren.*
- *Skeletspieren zijn opgebouwd uit spiervezels die weer opgebouwd uit spierfibrillen.*
- *Skeletspieren worden geënerveerd door uitlopers van motorische neuronen. Alle spiervezels die door een neuron bestuurd worden, vormen een motorische eenheid. Middels de motorische eindplaatjes worden impulsen van het zenuwstelsel overgebracht op de spiervezels. Spiercellen kunnen dan dankzij myosine- en actinefilamenten samentrekken. Omdat deze eiwitten niet uit elkaar kunnen schuiven, gebeurt dit door het samentrekken van een antagonist (biceps vs. triceps).*
- *Bij het handhaven van de lichaamshouding spelen reflexen een belangrijke rol.*

Hoofdstuk 11 Gedrag

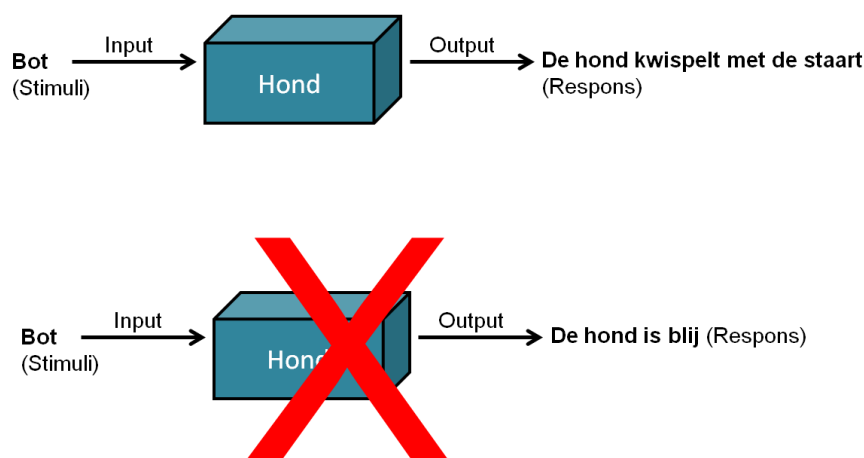
Geluiden maken, slapen, lichaamshouding en emoties zijn voorbeelden van *gedrag*. De studie van gedrag richt zich op alle waarneembare activiteiten van een organisme. Gedrag is meestal een *reactie* op een *prikkel*, die ook wel *stimulus* wordt genoemd. In *zintuigcellen* ontstaan door stimuli *impulsen* die een bepaalde reactie teweegbrengen. Deze reactie is de *respons* van spieren en/of klieren, en wordt gestuurd door het centraal zenuwstelsel en/of het hormonaal systeem.

Psychologie is het vakgebied dat het gedrag van mens en dier bestudeert. Binnen de biologie wordt het gedrag van dieren ook bestudeerd door *ethologen*. In beide vakgebieden worden gegevens over het milieu (*input*) en de reactie daarop (*output*) beschreven en geanalyseerd. Aangezien er met levende organismen wordt gewerkt is niet zichtbaar welke processen zich binnen het organisme afspelen. Het te bestuderen organisme wordt vaak voorgesteld als een "*black box*". Er gaat iets in (*stimulus*) en er komt iets uit (*respons*) (figuur 11.1).



Figuur 11.1: Voorstelling van een organisme als een "black box" waar door een stimulus een respons wordt veroorzaakt. De processen die zich binnen een organisme afspelen zijn niet

Een van de manieren om vast te stellen wat er in de *black box* gebeurt is door fysiologisch onderzoek. Vooral de kennis van het zenuw- en hormoonstelsel is hier van belang. Gedrag is opgebouwd uit *gedragselementen*. De etholoog of psycholoog beschrijft objectief de *gedragselementen* in een *ethogram*. Het gedragsprotocol is een lijst van achtereenvolgens waargenomen *gedragselementen*. Het is van primair belang dat er feiten worden genoteerd en geen interpretaties van gedrag (figuur 11.2).

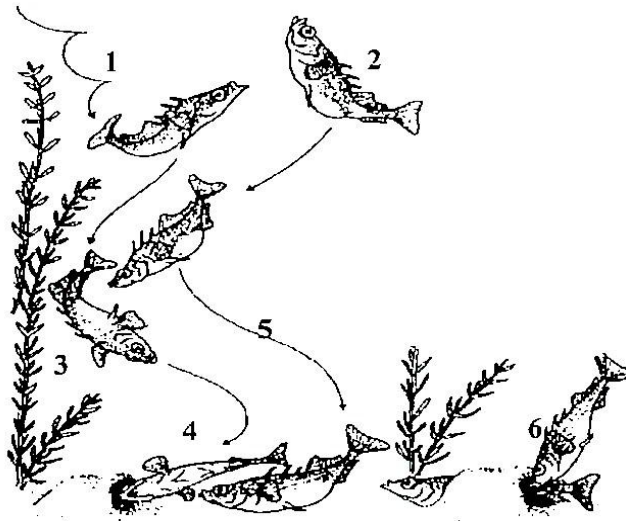


Figuur 11.2: In de bovenste afbeelding is een correcte (objectieve) waarneming weergegeven. In de onderste afbeelding is aan het waargenomen gedrag een interpretatie verbonden (fout).

11.1 Organisatie van gedrag.

Een groep van samenhangende *gedragselementen* wordt een *gedragssysteem* genoemd. *Gedragselementen* hebben een aantal kenmerken; ze hebben een gemeenschappelijk effect en volgen elkaar vaak op (vaste volgorde van *responses*). Indien het ene *gedragselement* leidt tot een ander gedragselement spreekt men van een *gedragsketen*.

De etholoog Nico Tinbergen (1907-1988) heeft veel onderzoek verricht aan het gedrag van dieren zoals het driedoornig *stekelbaarsje*. De verschillende



Figuur 11.3: De balts van de stekelbaars. De cijfers corresponderen met de uitleg in de tekst.

gedragselementen van dit visje zijn zeer goed beschreven. Buiten het voortplantingsseizoen in het vroege voorjaar leeft dit visje in scholen. De beide geslachten zijn dan dofbruin gekleurd. In de lente krijgende mannetjes een staalblauwe rug, fel rode buik en zonderen ze zich af van de school. Ze zoeken dan een geschikte plaats om een nest te bouwen van takjes en waterplanten. Het gebied rondom het nest (territorium) wordt fel verdedigd tegen andere mannetjes. De kleur rood blijkt hier een belangrijke *trigger* voor het agressieve gedrag.

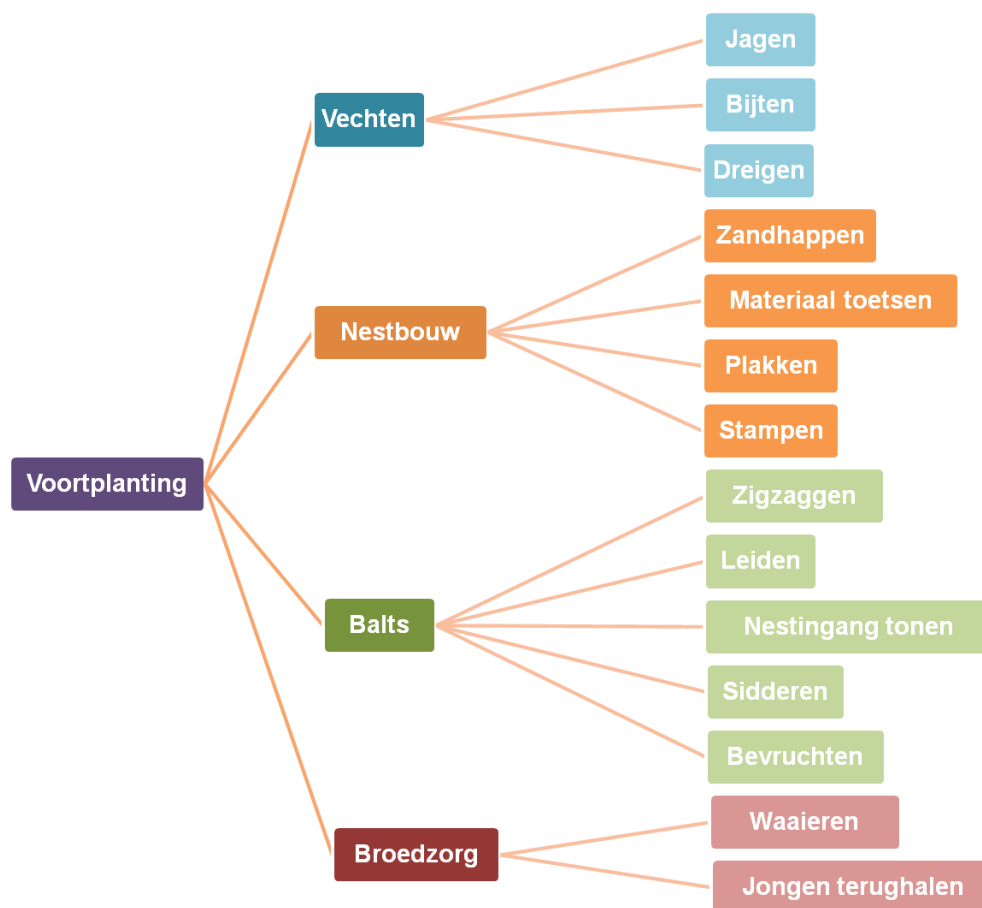
Tinbergen ontdekte dit doordat mannetjes in aquaria door het lint gingen zodra er een rode auto voorbij reed.

Tegenover vrouwtjes met duidelijke kuitaanzet wordt *gebaltst* teneinde ze in het nest te lokken. De *balts* bestaat uit specifieke gedragingen die voorafgaan aan de paarvorming en voortplanting van de meeste dieren. Het *balts*gedrag bestaat uit een aantal *gedragselementen* die elkaar opvolgen (*gedragsketen*). In figuur 11.3 zijn de verschillende *gedragselementen* van de *balts* van de *stekelbaars* te zien. Zodra een kuitrijp vrouwtje in het territorium van een mannetje komt, zwemt het mannetje erop af. Het mannetje begint in de buurt van het vrouwtje zigzaggend te zwemmen, de zogenaamde "zigzagdans" (1). Het vrouwtje reageert hierop door schuin omhoog, met holle rug omhoog te gaan "staan" (2). Het mannetje lokt het vrouwtje richting het nest (3) en gaat op zijn zij met de kop bij de nestopening liggen (4). Zodra het vrouwtje hem volgt (5) en het nest ingaat, stoot het mannetje herhaaldelijk met zijn snuit tegen de staart van het vrouwtje. Dit gedrag wordt "sidderen" genoemd (6). Het vrouwtje zet eieren af in het nest en verlaat dit vervolgens, het mannetje verjaagt het vrouwtje uit het territorium en repareert het nest. Zodra er een ander kuitrijp vrouwtje in het territorium komt, herhaalt de *balts*procedure zich.

Wanneer het mannetje een aantal legsels verzameld heeft, start de broedzorg. Hierbij waaiert het mannetje met zijn borstvinnen vers water over de eieren. Na

ongeveer 8 dagen komen de eitjes uit. Zodra de jonge visjes vrij gaan zwemmen, stopt het mannetje met waaieren en bewaakt de jongen. De jonge visjes die te ver afdwalen van het ouderlijk nest neemt hij in de bek en brengt ze terug. Na enkele weken zijn de jongen zelfstandig en verlaten het nest voorgoed. Het mannetje verliest zijn fraaie kleur en sluit zich weer aan bij een school.

De beschreven *gedragssketens* maken deel uit van het *gedragssysteem* dat bij de voortplanting hoort. Het *gedragssysteem* voortplanting bestaat uit een viertal *gedragssketens* te weten vechten (1), nestbouw (2), balts (3) en broedzorg (4). Deze *gedragssketens* worden subsystemen genoemd daar ze een onderdeel zijn van een groter systeem (figuur 11.4). Elk subsysteem is opgebouwd uit een aantal *gedragselementen* en kan als geheel worden geactiveerd. De mate van activatie is afhankelijk van de fase waarin de voortplantingscyclus zich bevindt. In de nestbouwfase betreft het bijvoorbeeld vooral vecht (territorium verdediging) en nestbouwhandelingen.



Figuur 11.4: In dit schema is het voortplantingsgedrag van de stekelbaars weergegeven. Een *gedragssysteem* is opgebouwd uit subsystemen die weer uit *gedragselementen* bestaan.

11.2 Gedragsbepalende factoren.

Gedrag wordt veroorzaakt door *uitwendige* en *inwendige* factoren. Bij het tot stand

komen van gedrag zijn vaak vele regelsystemen betrokken waarbij inwendige en uitwendige factoren elkaar wederzijds beïnvloeden. Stimuli zijn uitwendige factoren. De hersenen en de zintuigen selecteren de stimuli, zodat niet op elke *stimulus* wordt gereageerd. Als je bijvoorbeeld in een drukke straat fietst, reageer je niet op de voetgangers op het trottoir. Zodra er echter een plotseling oversteekt, reageer je. Dus niet elke *stimulus* leidt tot een zichtbare *respons*.

Jonge *zilvermeeuwen* pikken naar een rode vlek op de snavel van de ouderdieren zodat deze voedsel opbraken. De rode snavel is de *stimulus*. Echter, een jong dier pikt alleen naar de snavel als het *honger* heeft. *Honger* is de inwendige factor voor het pikgedrag. Inwendige factoren die de kans bepalen dat een bepaald gedrag wordt uitgevoerd zijn motiverende factoren. Het hormoon- en zenuwstelsel spelen een grote rol bij de motivatie. Eetlust ontstaat doordat zintuigen veranderingen in het interne milieu registreren. In de *hersenslam* liggen hongercentra die deze veranderingen registreren en verwerken. Het zien van voedsel vergroot de motivatie en het eten ervan stimuleert de eetlust (positieve terugkoppeling). De eetlust wordt geremd (negatieve terugkoppeling) doordat de zintuigen veranderingen in het interne milieu registreren, de motivatie om te eten neemt af.

Andere inwendige factoren zijn bijvoorbeeld licht, temperatuur en chemische stoffen. Vooral bij dieren zijn licht en omgevingstemperatuur factoren die van grote invloed zijn op het gedrag. Bij vogels bijvoorbeeld speelt licht (daglengte) een sleutelrol bij de voortplanting. Toenemende daglengte wordt in de hersenen geregistreerd, door deze *impulsen* wordt via de *hypothalamus* de hypofyse aangezet tot afgifte van hormonen. Deze hormonen zorgen ervoor dat de *geslachtscellen* rijpen. Ook de motivatie van voortplantingsgedrag en secundaire *geslachtskenmerken* (bijvoorbeeld kleurverandering bij mannetjes) wordt gestuurd door deze hormonen. Bij mensen worden vrouwen rond de *ovulatie* sexueel actiever.

Bij kikkers in Nederland wordt het voortplantingsgedrag vaak gestuurd door de stijging van de omgevingstemperatuur. Voor kikkers die in een andere omgeving leven, sturen andere factoren het voortplantingsgedrag (bijvoorbeeld neerslag).

11.3 Sleutelprikkels en supranormale prikkels.

Een sleutelprikkel is een *stimulus* die de doorslaggevende rol speelt bij het veroorzaken van een bepaald gedrag. De snavel van een volwassen *zilvermeeuw* is geel gekleurd met een rode vlek op de ondersnavel (figuur 11.5). Zoals eerder vermeld braken *zilvermeeuwen* voedsel op zodra een jong tegen de rode vlek pikt. De jongen pikken echter ook tegen een model van een zilvermeeuwenkop. Tegen een model met rode vlek wordt veel gepikt, tegen een met een zwarte vlek minder en een model zonder vlek roept nauwelijks een reactie op. Ook na experimenten met andere kleurcombinaties blijkt de rode kleur het meest effectief (figuur 11.6).



Figuur 11.5: De kop van een Geelpootmeeuw.

Model Kenmerk	Pikacties n
Snavel met rode vlek	100
Snavel met zwarte vlek	85
Snavel zonder vlek	30
Geheel rode snavel	155

Figuur 11.6: Pikfrequentie van jonge zilvermeeuwen bij verschillende modellen.

De rode vlek is de *sleutelprikkel* voor het bedelgedrag van de jonge *zilvermeeuwen*. Een geheel rood gekleurde snavel levert een hogere pikfrequentie op dan alleen een rode vlek. Een *stimulus* die een grotere reactie oproept, en dus effectiever is, dan de natuurlijke *sleutelprikkel* is een zogenaamde *supranormale prikkel*.

11.4 Aangeleerd of aangeboren?

Gedrag is deels bepaald door erfelijke factoren. Als dit grotendeels waar is, dan vertoont een jong dier dat geïsoleerd is opgegroeid dezelfde *respons* op een bepaalde *stimulus* als sociaal opgegroeide soortgenoten. Milieufactoren (leerervaringen) spelen ook een essentiële rol bij het vormen van gedrag. Het vermogen iets te leren is erfelijk bepaald. Vaak is de basis van een bepaald gedrag al gelegd maar wordt hier door leerervaringen verder invulling aan gegeven. Een voorbeeld hiervan is de zang van vinken. Deze vogels zingen een vrij complex, soortspecifiek lied. Jonge vogels die nog nooit een andere vink hebben horen zingen, produceren een eenvoudig lied. Vogels die wel een voorbeeld hebben, brengen de soortspecifieke vinkenzang ten gehore.

Geïsoleerd opgegroeide vinken die later wel een voorbeeld krijgen, ontwikkelen alsnog de karakteristieke zang. Bij vogels die ouder zijn dan tien maanden sorteert een voorbeeld geen effect meer, het leerproces moet dus in een bepaalde periode plaatsvinden.

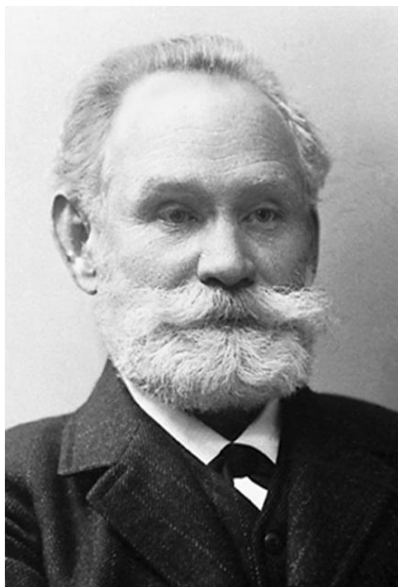
Leren kan op verschillende manieren plaatsvinden:

- 1) Inprenting: als het leerproces plaatsvindt in een korte periode, bijvoorbeeld ouderherkenning bij jonge ganzen.
- 2) Habituatie of gewenning: als de reactie op een bepaalde *stimulus* afneemt door herhaaldelijke toediening van die *stimulus*, bijvoorbeeld het wennen aan harde knallen. Een dier zal bij de eerste knal een schrikreactie vertonen. De schrikreactie wordt bij de volgende knallen steeds korter en op een gegeven moment wordt er niet meer op de *stimulus* gereageerd.
- 3) Conditionering: dit is het koppelen van een reactie aan een *prikkel* die er

voorheen niet mee verbonden was. Een geconditioneerde reflex is de eenvoudigste vorm van *conditionering*. Een organisme reageert dan reflexmatig op een *impuls*, waar het voorheen niet op zou reageren. Door het conditioneren is er een reflex "aangeleerd". Naast reflexen kunnen ook ingewikkelder activiteiten geconditioneerd worden. Het trainen van honden is daarop gebaseerd. Het beest leert om *prikkels* zoals fluitsignalen en woorden te verbinden met reacties die voorheen niet door deze *prikkels* werden opgeroepen. Daarnaast is conditioneren ook het verbinden van consequenties (belonen of straffen) aan gedragingen.

Pavlov

Begin 1900 verrichtte de Russische fysioloog *Pavlov* veel onderzoek naar het conditioneren van honden. Honden gaan speeksel produceren zodra ze eten ruiken of zien. *Pavlov* bracht bij honden een buisje aan waarmee het speeksel kon worden opgevangen. Voordat de honden te eten kregen, liet hij een bepaald geluid horen. Na verloop van tijd begonnen de honden zodra ze het geluid hoorden al speeksel te produceren. Het voedsel hadden ze nog niet gezien of geroken. Ten slotte kwam na het geluid de speekselproductie op gang zonder dat er überhaupt voedsel aangeboden werd. *Pavlov* noemde dit verschijnsel een *geconditioneerde reflex* (voorwaardelijke reflex). Bij deze vorm van conditioneren veroorzaakt een *stimulus* een gedrag dat oorspronkelijk niet door die *stimulus* wordt veroorzaakt. Conditioneren volgens de *Pavlov*-methode is bekend geworden als *klassiek conditioneren*.



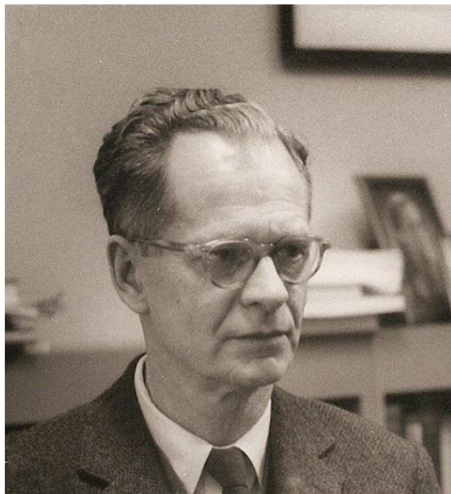
Figuur 11.7: Ivan Petrovich Pavlov (1849 – 1936) was een beroemde Russische fysioloog. Hij won de Nobelprijs voor fysiologie in 1904.



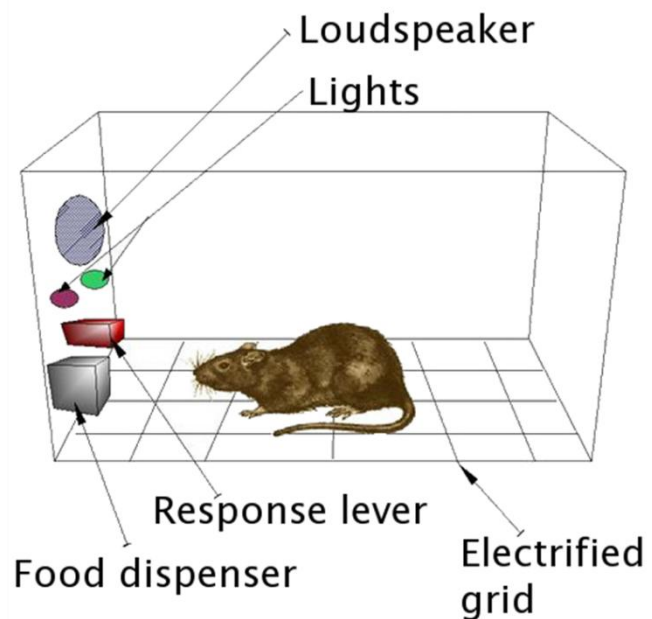
Figuur 11.8: Een van de vele honden die Pavlov gebruikte in zijn experimenten (misschien Baikal). Let op de speeksel opvang container en de chirurgisch geïmplanteerde buis in de snuit van de hond.

Skinner

De Amerikaanse psycholoog *Skinner* was vooral geïnteresseerd in de gevolgen van gedrag en is daarmee de grondlegger van het *operant conditioneren*. De eenheden waaruit gedrag is opgebouwd noemde hij operants. Alle gedragingen die eenzelfde effect sorteren behoren tot hetzelfde operant. Volgens *Skinner* heeft beloning direct invloed op het plaatsvinden van operants. *Skinner* ontwikkelde daartoe de Skinnerbox, een kooi met daarin een hefboompje. Als er op de hefboom wordt gedrukt, valt er een voedselbrokje in de voerbak. Ratten leggen snel de link tussen het op de hefboom drukken en voedsel. De frequentie waarmee de hefboom wordt gebruikt zal toenemen, m.a.w. het gedrag neemt toe. De beloning (voedsel) is van invloed op de frequentie waarmee de operant (hefboomdrukken) plaatsvindt. Wanneer de frequentie van een bepaald gedrag toeneemt door een systeem van beloning of straf spreekt men van bekrachtiging. Zowel positieve bekrachtiging (aanleren) als negatieve bekrachtiging (afleren) kunnen door straffen en beloningen tot stand komen.



Figuur 11.9: Burrhus Frederic "B. F." Skinner 20 (1904 – 1990) was een Amerikaanse psycholoog, gedragstherapeut, auteur, uitvinder en sociaal filosoof.



Figuur 11.10: Skinner box, een kooi om gedrags-experimenten uit te voeren met dieren.

- 4) Proefondervindelijk leren: als een bepaald gedrag wordt aangeleerd via "beloning" of "straf". Insekteneters vermijden zwart-rood gekleurde rupsen na enkele keren de vieze *smaak* ervan geproefd te hebben. Dit proefondervindelijk leren staat ook bekend als *trial-and-error*. Vaak kan dit soort leren vertaald worden in stukjes klassiek conditioneren en *operant conditioneren*.
- 5) Imitatie: wanneer dieren leren door het gedrag van andere dieren (meestal soortgenoten) na te doen. Bijvoorbeeld de soortspecifieke zang van vinken.
- 6) Inzicht: ook wel het probleem oplossend vermogen. Hiervan is sprake als een

dier/mens in een nieuwe situatie een probleem oplost door eerder opgedane ervaringen te combineren. Bijvoorbeeld een chimpansee die kisten op elkaar stapelt teneinde een hoog opgehangen tros bananen te bemachtigen.

- 7) Latent lerend: ongemerkt leren. Een hongerige rat zal in een doolhof door *trial-and-error* de uitgang ontdekken waar zich voedsel bevindt. Bij herhaling van het experiment zal de rat steeds sneller de weg vinden. Ook zonder beloning (voedsel bij uitgang) verkent de rat de doolhof. Een rat die op deze manier de weg heeft verkend, blijkt, in proeven met beloning, veel sneller de beloning te vinden dan een rat die nog nooit in de doolhof is geweest.

11.5 Vormen van sociaal gedrag.

Alle gedragsvormen van soortgenoten ten opzichte van elkaar, behoren tot sociaal gedrag. Binnen sociaal gedrag is een handeling van een soortgenoot de *stimulus* voor de volgende handeling van een andere soortgenoot. *Gedragselementen* bij sociaal contact worden signalen genoemd. Signalen hebben een mededelingsfunctie en zijn voor alle soortgenoten universeel. Hierdoor maken de signalen communicatie tussen soortgenoten mogelijk. Signalen kunnen worden gegeven door kleuren, geuren, lichaamshoudingen en gebaren.

Tot sociaal gedrag behoren o.a. voortplantingsgedrag en gedrag dat een functie heeft bij het vaststellen van de rangorde (*hiërarchie*).

De rangorde binnen een groep kan eenvoudig of complex zijn. Bij kippen is er sprake van een eenvoudige rangorde die van meest *dominant* naar minst *dominant* loopt. Dit is een zogenaamde lineaire *hiërarchie*. Bij bavianen echter is de rangorde minder rechtlijnig. Deze dieren hebben een complexe sociale structuur.

Agonistisch gedrag.

Onder dit type gedrag verstaan we gedragselementen die samenhangen met conflicten tussen individuen. Dreigen, aanvallen en vechten vallen onder deze categorie. Tussen dieren zijn er zelden dodelijke conflicten, meestal zal het zwakste individu onderwerpinggedrag vertonen. Dit gedrag (op de rug gaan liggen bij honden) remt de agressie van het *dominante* individu. Het verschijnsel dat bepaalde handelingen in de loop van de *evolutie* van het gedrag een signaalfunctie krijgen, wordt *ritualisatie* genoemd. Vaak zijn gevechten geritualiseerd, mannelijke herten zullen nooit hun gewei op de flank van de tegenstander richten.

Altruïstisch gedrag.

Dit wordt ook wel onbaatzuchtig gedrag genoemd. Bij dit type gedrag "offert" een individu zich op voor de groep. Het vergroot de overlevingskansen van de groep, maar verkleint de overlevingskansen van het individu. Voorbeelden hiervan zijn het verdedigen van het nest door bijen en het meehelpen met het grootbrengen van de jongen bij chimpansees.

Het meeste gedrag is gericht op het overleven van een individu. Elk individu heeft als prioriteit zoveel mogelijk genen over te dragen m.a.w. zoveel mogelijk

nakomelingen te krijgen. Altruïstisch gedrag lijkt hiermee in strijd te zijn; een geslachtsrijp individu stelt het in stand houden van de groep (door bijvoorbeeld mee te helpen met het verzorgen van andermans jongen) boven het zelf verwekken van nakomelingen.

Paarvorming:

Veel diersoorten zoals tijgers leven buiten de paartijd *solitair* (alleen) en vindt er alleen tijdens de *balts* en paring een tijdelijke paarvorming plaats. Veelal gaan de partners na de paring hun eigen weg en zorgt of het mannetje (*stekelbaars*) of het vrouwtje (tijger) voor de nakomelingen. Andere solitaire dieren vormen paren totdat de jongen zelfstandig zijn. Paarbanden voor meerder seizoenen of voor het leven komen ook voor, dit zijn monogame paarbanden. Bij zeeleeuwen heeft een mannetje een band met meerdere vrouwtjes: *polygynie*. Een vrouwtje met meerdere mannetjes (*polyandrie*) komt zelden voor en is alleen bekend van enkele vogelsoorten.

Bij veel soorten die in een groep leven (kippen) paart het mannetje met meerdere vrouwtjes maar er ontstaat geen paarband.

Balts en paring.

Aan de paring gaat meestal een *balts* vooraf die als doel heeft de bereidheid tot paring te vergroten en de paarband te versterken. Tevens remt de *balts* de agressie tussen de individuen. De *balts* bestaat uit soortspecifieke signalen die alleen door individuen van dezelfde soort als zodanig herkend worden. Zo wordt o.a. voorkomen dat twee op elkaar gelijkende soorten onderling paren: ze herkennen elkanders signalen niet.

*Balts*gedrag bestaat vaak uit een combinatie van andere *gedragselementen* zoals aanvals-, vlucht-, voedings- en verzorgingsgedrag. *Balts*gedrag is vaak geritualiseerd, de handelingen worden overdreven, omgevormd en/of versneld uitgevoerd.

Territorium en conflictgedrag.

Aan de grens van het territorium worden door de bezitter dreigsignalen gegeven zodra een soortgenoot het territorium nadert. Dit dreiggedrag bestaat vaak uit *gedragselementen* van een of meer gedragssystemen en wordt *ambivalent gedrag* genoemd. Het dreiggedrag van *stekelbaarsjes* bestaat zowel uit componenten van vluchtgedrag als dreiggedrag. De dreighouding van een mannetje bestaat uit het oprichten van de rugstekels (aanvalsgedrag) en het afwenden van het lichaam (vluchtgedrag). *Ambivalent gedrag* is in wezen *conflictgedrag*. Hiervan spreekt men als er sprake is van een conflict tussen twee (of meer) gedragssystemen. Wanneer het conflictgedrag niet meer uit *ambivalent gedrag* bestaat, maar uit *elementen* van een ander *gedragssysteem* spreekt men van *overspronggedrag*. Bij de *stekelbaars* is dit gedrag te zien als een indringer niet reageert op het dreiggedrag. De bezitter van het territorium gaat met zijn kop loodrecht naar beneden staan en gaat zandhappen. Dit gedrag komt uit het derde subsysteem (zandhappen tijdens de

nestbouw) en lijkt op zich niets te maken hebben met het verdedigen van een territorium. Dit overspronggedrag heeft echter een signaalfunctie wat door de indringer als bedreigend wordt ervaren zodat deze vlucht.

Zilvermeeuwen die de rand van hun territorium verdedigen laten vaak *omgericht gedrag* zien. Het dreigen naar de indringer maakt plotseling plaats voor het heftig pikken in een graspol. De agressie wordt niet meer op de soortgenoot gericht maar op iets anders.

11.6 Gedrag bij de mens.

Net als bij dieren wordt het menselijk gedrag bepaald door erfelijke factoren en milieufactoren. Tot de erfelijke factoren horen gedragsuitingen als woede, zuiggedrag bij baby's en gelaatsuitdrukking. De etholoog Eibl-Eibesfeldt heeft veel onderzoek verricht naar de rol van erfelijke factoren bij het menselijk gedrag. Zo nam hij waar dat doofstomme kinderen tijdens vreugde of verdriet dezelfde gelaatsuitdrukking hebben als mensen die wel kunnen zien en horen. Het gedrag dat tijdens vreugde of verdriet wordt vertoond, is blijkbaar niet aangeleerd maar genetisch bepaald. Ook tussen verschillende culturen blijken veel gelaatsuitdrukkingen overeen te komen.

Bij mensen spelen leerprocessen als gewenning, *conditionering*, *imitatie* en *latent leren* bij het ontwikkelen van gedrag een grote rol. In tegenstelling tot dieren verloopt het leerproces bij mensen veel sneller en speelt *inzicht* een grote rol. Mensen zijn in staat over hun gedrag na te denken en het te beoordelen. Voorts kunnen mensen zich afvragen welk gedrag goed en welk gedrag fout is. Er worden maatstaven voor gedrag opgesteld; normen en waarden, welke binnen elke groep/cultuur verschillen. Net als dieren zijn mensen ook gevoelig voor *sleutelprikkels* en supranormale prikkels. Een *sleutelprikkel* is bijvoorbeeld het uiterlijk van jonge mensen en dieren. Baby's en puppy's roepen door hun uiterlijk (bol gezicht, mollig lichaampje, zuigmondje, grote ogen enz.) neigingen tot vertroetelen op. Bij reclames wordt vaak gebruik gemaakt van *sleutelprikkels*. De meeste vormen van sociaal gedrag komen ook bij mensen voor; territorium- imponeer("stoer" doen) en dreiggedrag (iemand aanstaren). Tot overspronggedrag behoren o.a. zich op het hoofd krabben en door de haren strijken in "ongemakkelijke" situaties. Stampvoeten is een voorbeeld van *omgericht gedrag*, vergelijkbaar met het "grastrekken" bij *zilvermeeuwen*.

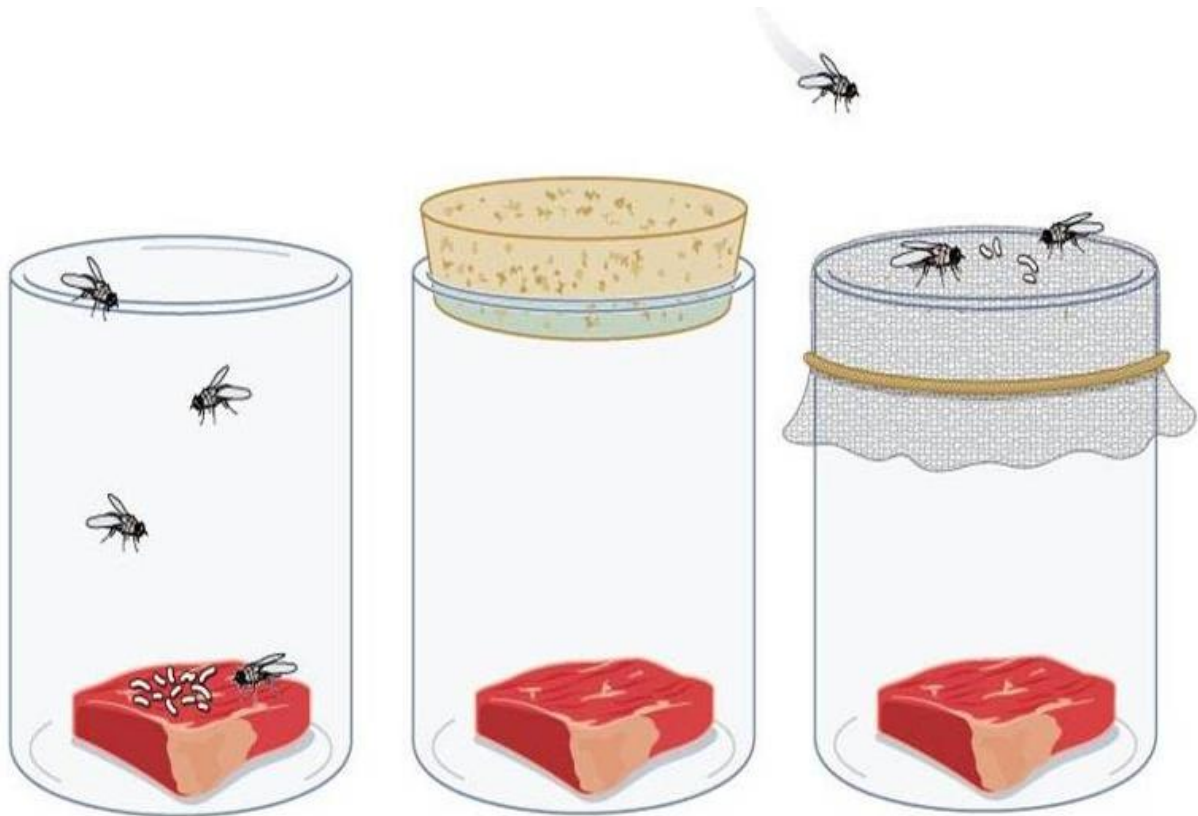
Kernpunten van dit hoofdstuk:

- *Gedrag is een reactie (respons) op een prikkel (stimulus). In de ethologie en psychologie wordt gedrag bestudeerd.*
- *Gedragsystemen zijn opgebouwd uit subsystemen en weer verder georganiseerd in gedragscomponenten.*
- *Sleutelprikkels veroorzaken een bepaald gedrag. Gedragingen zijn zowel aangeboren als aangeleerd en worden mede beïnvloed door inwendige en uitwendige factoren.*

- *Er zijn verschillende leerprocessen die ten grondslag liggen aan een bepaald gedrag.*
- *Pavlov en Skinner hebben baanbrekend onderzoek verricht naar het zogenaamde conditioneren.*

Hoofdstuk 12 Evolutie

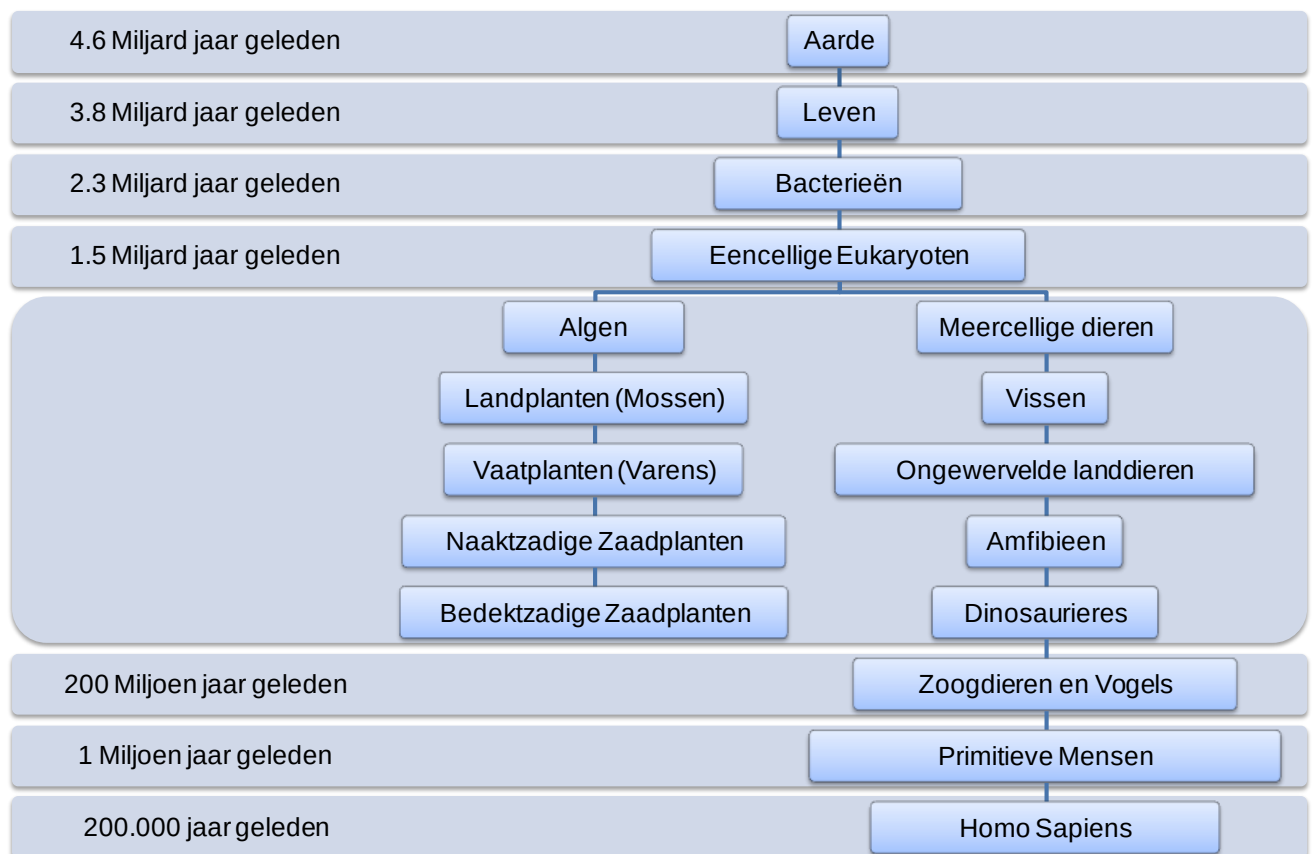
Lange tijd dacht men dat leven "spontaan" ontstond. Volgens de *generatio spontanae* kon leven ontstaan uit dode of levenloze materie. De theorie is oorspronkelijk bedacht door Aristoteles, en was voor zeer lange tijd geaccepteerde kennis. Jan Baptist van Helmont (1579-1644) ontwikkelde zelfs een recept om uit lompen en graankorrels muizen te laten ontstaan. Maar de Italiaan Francesco Redi (1626-1697) probeerde de *generatio spontanae* te weerleggen met experimenten (figuur 12.1). Zijn tegenstanders stelden echter dat er in de afgesloten pot geen maden waren ontstaan omdat er geen lucht bij kon. Lucht bezat volgens hen de levenskracht die de *generatio spontanae* mogelijk maakt. In 1860 bewees Louis Pasteur (1822-1895) dat overal micro-organismen voorkomen (water, lucht enz.) en daarmee kon de *generatio spontanae* eindelijk naar het land der fabelen worden verwezen.



Figuur 12.1: In de 16^{de} eeuw, geloofde men dat maden (jonge vliegen) werden geboren uit rottend vlees. Redi's experiment gebruikte vlees, potten, en kaasdoek. Hij zette vlees in drie potten voor het experiment. Één pot werd opengelaten aan de lucht, om te laten zien wat er gebeurt als vlees rot. De tweede pot werd afgesloten met een deksel. De reden voor de derde pot in het experiment was zodat mensen niet zouden zeggen dat de maden niet groeiden omdat er geen lucht voor hen was om te ademen. Hij bedekte de derde pot met kaasdoek, zodat er lucht binnen de pot kon komen. Maden groeiden in de open pot, maar niet in de pot met het deksel. De kaasdoek pot had vliegen rond de pot, maar niet erin.

12.1 De aarde en het ontstaan van leven.

De aarde is 4,6 miljard jaar geleden ontstaan. Het eerste leven ontwikkelde zich tussen 3.9 en 3.5 miljard jaar geleden uit (vermoedelijk) dode materie. Hypothesen over de oorsprong van het leven kunnen worden onderverdeeld in verschillende categorieën. De meesten onderzoeken bestuderen hoe zelfreplicerende *moleculen* of onderdelen daarvan zijn ontstaan. Bijvoorbeeld, in het *Miller–Urey* experiment (1952) en soortgelijke experimenten werd aangetoond dat de meeste *aminozuren*, worden gesynthetiseerd in voorwaarden die vergelijkbaar zijn met die van de vroege aarde. Verschillende mechanismen zijn onderzocht, met inbegrip van bliksem en straling. Andere benaderingen concentreren zich op het begrijpen van hoe katalyse in chemische systemen in de vroege aarde, de voorloper *moleculen* nodig voor zelfreplicatie, zou hebben verstrekt. De eerste organismen waren *autotroof* en primitief. Later ontwikkelden zich daaruit heterotrofe bacteriën en vervolgens meercellige organismen.



Figuur 12.2: Het ontstaan van enige planten en diergroepen over tijd.

Cyanobacteriën produceerden de eerste zuurstof, waardoor meercellige organismen zoals sponzen en kwallen zich ontwikkelden. Daarna ontstonden de visachtigen. De eerste landplanten ontstonden 400 miljoen jaar geleden, dit waren mossen. De eerste ongewervelde landdieren, zoals miljoenpoten, volgden spoedig. Ten tijde van het ontstaan van de gewervelde amfibieën (350 miljoen jaar geleden) ontwikkelden sommige mossen zich tot vaatplanten (varens). Ook de eerste insecten en primitieve

dinosauriërs verschenen ten tonele.

250 Miljoen jaar geleden verschenen de eerste naaktzadige zaadplanten (dennen, coniferen) en 50 miljoen jaar daarna de eerste bloeiende planten. Er ontstonden vele soorten dinosauriërs. Wetenschappers denken nu dat het uitsterven van de dinosauriërs (65 miljoen jaar geleden) veroorzaakt werd door asteroïden. De voorloper van alle zoogdieren, een klein harig insectenetend diertje, leefde ongeveer 200.000 jaar nadat de dinosauriërs uitstierven. Primitieve mensen zijn 1 miljoen jaar geleden ontstaan. De moderne mens bestaat nog maar 50.000 jaar.

Evolutie is het proces van langzame en geleidelijke verandering in populaties van levende wezens. Het resultaat is het ontstaan van nieuwe eigenschappen bij een soort wat kan leiden tot het ontstaan van een geheel nieuwe soort. Onder het begrip *soort* wordt het volgende verstaan: een populatie van organismen waarvan alle individuen onderling kunnen kruisen en vruchtbare nakomelingen voortbrengen. Uit de kruising tussen een paard en een ezel ontstaat een muilezel, dit dier is echter onvruchtbaar. Paard en ezel behoren daarom niet tot dezelfde soort.

De grondlegger van de *evolutietheorie* is *Charles Darwin* (1809-1882). In zijn boek "The origin of species" opperde hij dat soortvorming plaats vindt door natuurlijke selectie. De huidige evolutietheorie is nog steeds gestoeld op *Darwin's* ideeën, men spreekt daarom van de *neodarwinisme* evolutietheorie. Deze theorie gaat uit van diversiteit in genotypen, *natuurlijke selectie* en soortvorming door isolatie.



Figuur 12.3: Charles Darwin op 7-jarige leeftijd

Diversiteit in genotypen,

Binnen individuen van een soort, zijn de genotypen verschillend. Deze verschillen zijn over het algemeen vrij klein en komen niet tot expressie in het *fenotype*. Door *mutaties* en kruisingen neemt de verscheidenheid in genotypen toe. Hierdoor kunnen individuen ontstaan wiens *fenotype* afwijkt van soortgenoten. Een bekend voorbeeld hiervan is het fruitvliegje waarbinnen veel variatie in fenotypen bestaat (kortvleugelig, witogig, behaard enz.).

De verzameling van genen binnen een populatie organismen (binnen alle individuen van een soort) wordt *genenpool* genoemd. Binnen een *genenpool* komen miljoenen

genen voor. De frequentie waarmee een gen in de populatie voorkomt is de *genfrequentie*. Door *natuurlijke selectie* kan de *genfrequentie* toe- of afnemen. Als een gen zorgt voor een betere adaptatie van een individu, is de kans groot dat dit gen wordt doorgegeven aan de volgende generatie.

Natuurlijke selectie.

Niet alle nakomelingen van een organisme blijven leven, de best aangepaste organismen blijven in leven en planten zich weer voort. Van individuen met het gunstige *genotype* zullen meer nakomelingen in leven blijven en zich voortplanten dan van organismen met het ongunstige *genotype*. Deze selectie leidt ertoe dat er nieuwe soorten kunnen ontstaan.

Het gevolg hiervan kan zijn dat de individuen van de oorspronkelijke soort uitsterven en de "mutanten" blijven voortbestaan. De soort is dan geëvolueerd. Als individuen van de oorspronkelijke vorm en de mutanten zich onderling blijven voortplanten ontstaat er geen nieuwe soort. Er zijn dan verschillende vormen van een soort ontstaan, bijvoorbeeld de vele hondenrassen.

Dat natuurlijke selectie een verschijnsel is dat zich binnen enkele jaren kan manifesteren werd bewezen door de ontwikkeling van gupjes in Burgers Bush. Guppen zijn bekende visjes waarvan de mannetjes grote felgekleurde vinnen hebben terwijl de vrouwtjes sober gekleurd zijn. In de Bush zwemmen in de vele waterpartijen duizenden guppen. Slangenhalvogels jagen op die guppen. Een deel van de Bush is ontoegankelijk voor vogels daar ze anders zouden worden verslonden door de daar levende krokodillen. Nu blijkt dat de guppen in het afgezette deel veel groter en kleurrijker zijn dan in de rest van de hal. In het voor vogels toegankelijke deel is het voor de guppen voordeliger dat ze klein blijven en sober gekleurd zijn. Ze vallen dan minder op en hebben een grotere kans om te overleven. Dit verschijnsel beschreef Dr. P. Albers, voorheen verbonden aan de afdeling Biologische Psychologie van de Radboud Universiteit Nijmegen.

Een ander voorbeeld is dat recent onderzoek heeft uitgewezen dat de kans op ziekten als tuberculose en lepra minder vaak voorkomt bij populaties met een lange geschiedenis van stedelijk wonen (BARNES, IAN *et. al.*, *Ancient urbanisation predicts genetic resistance to tuberculosis*. Evolution International journal of organic evolution. 17 augustus 2010).

Soortvorming door isolatie:

Door natuurlijke barrières als bergketens en rivieren, kunnen organismen van elkaar gescheiden worden. Als de verschillende vormen van een soort van elkaar geïsoleerd raken kunnen op den duur nieuwe soorten ontstaan. Soortvorming kan ook plaatsvinden als individuen van één soort geïsoleerd raken. Na verloop van tijd zullen de groepen genetisch zoveel verschillen dat ze niet meer kunnen kruisen. Een klassiek voorbeeld hiervan zijn de *Darwinvinken* op de *Galapagos* eilanden voor de westkust van Zuid-Amerika. Op deze eilanden leven vinken die erg veel op elkaar lijken, maar waarvan de snavelvorm per eiland anders is. De snavelvorm is een adaptatie aan het type voedsel dat de betreffende soort eet. *Darwin* veronderstelde dat alle vormen van een gemeenschappelijke voorouder afstamden die vanaf het vasteland was overgevlogen. In de loop van de jaren had zich op elk

eiland door isolatie en *natuurlijke selectie* een aparte soort gevormd.

12.2 Evolutie of fantasie?

Veel mensen trekken de *evolutie* theorie in twijfel. Er zijn echter een aantal aanwijzingen, die pleiten voor de evolutietheorie.

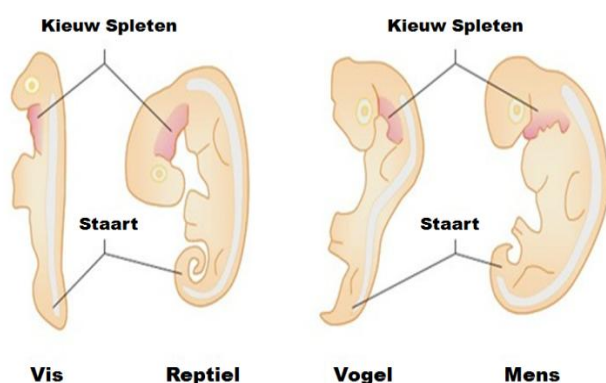
1) Fossielen

Fossielen zijn versteende overblijfselen van organismen, of afdrukken daarvan in gesteenten. Om de leeftijd van een fossiel te bepalen kijkt een paleontoloog eerst in welke aardlaag (strata) het fossiel is gevonden. Lagen dieper in de grond zijn meestal ouder dan de minder diepe lagen). De zogenaamde *gidsfossielen* spelen een belangrijke rol bij het bepalen van de leeftijd van een aardlaag. Gidsfossielen zijn overblijfselen van organismen die korte tijd over een zeer groot verspreidingsgebied voorkwamen. Bijvoorbeeld voor het cambrium (542 - 488,3 miljoen jaar geleden) zijn tribolieten de belangrijkste gidsfossielen (figuur 12.4). Oude *fossielen* zijn afkomstig van eenvoudig gebouwde organismen uit diepe lagen. Complex(er) gebouwde organismen zijn afkomstig uit latere lagen. Daarna onderzoeken paleontologen de leeftijd van een fossiel met behulp van een radioactief isotoop (bijvoorbeeld Koolstof-14 datering).



Figuur 12.4: Fossiel van een Triboliet (*Coltraneia oufatenensis*), 420 miljoen jaar geleden. Gevonden in Marokko.

2) vergelijkende embryologie



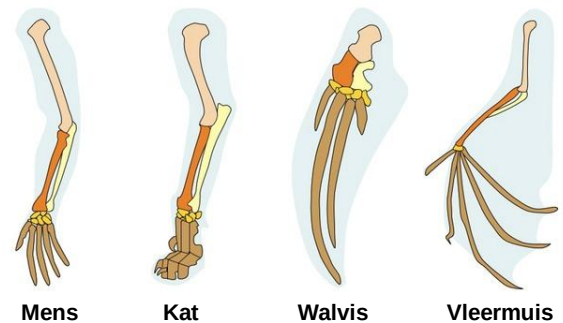
Er bestaan grote overeenkomsten in de embryonale ontwikkeling bij verschillende diersoorten. Vooral in de eerste ontwikkelingsstadia zijn er nauwelijks verschillen waarneembaar. Doordat de embryonale ontwikkeling van gewervelde dieren zo sterk op elkaar lijkt wordt het aannemelijk dat deze een gemeenschappelijke voorouder hebben.

Figuur 12.5: Embryo's van verschillende soorten dieren.

3) vergelijkende anatomie

De anatomie van veel organen vertoont grote overeenkomsten en ondergaan een

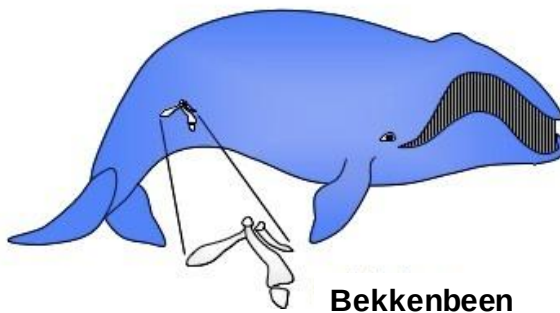
zelfde embryonale ontwikkeling. De vleugel van een vleermuis, de voorvin van een walvis, de voorpoot van een mol en een mensenarm zijn daarom *homologe organen*. Hoewel deze ledematen er per genoemde diersoort anders uitzien, is het basale bouwplan hetzelfde. Homologie duidt op verwantschap van organismen en op een gemeenschappelijke voorouder.



Figuur 12.6: Ledematen van verschillende soorten dieren.

4) rudimentaire organen

Door aanpassingen aan de omgeving kunnen bepaalde organen hun functie verliezen en in de loop van de *evolutie* verdwijnen. De voorouders van walvissen leefden op het land. De dieren evolueerden steeds verder tot zeedieren waardoor de achterpoten geen functie meer hadden en op een gegeven moment verdwenen. Het bekken en dijbeen zijn bij "moderne" walvissen *rudimentair* aanwezig (bij een blauwe vinvis van 30 meter is het dijbeen 20 cm lang). Bij mensen zijn de staartwervels rudimentair.



Figuur 12.7: Rudimentair bekkenbeen van een walvis

5) vergelijkende biochemie

Met de opkomst van *DNA-onderzoek* zijn er veel overeenkomsten gevonden tussen het *DNA* van mens en chimpansees (ongeveer 98% overeenkomst).

Tabel II: Deel van de aminozuurvolgordes in cytochroom-c bij enkele zoogdieren. Val, Gln, Ala e.d. zijn afkortingen van aminozuren.

Dier	Positie van aminozuur								
	11	12	15	33	35	46	47	50	58
paard	Val	Gln	Ala	His	Leu	Phe	Thr	Asp	TlIr
ezel	Val	Gln	Ala	His	Leu	Phe	Ser	Asp	Thr
rund	Val	Gln	Ala	His	Leu	Phe	Ser	Asp	Thr
hond	Val	Gln	Ala	His	Leu	Phe	Ser	Asp	Thr
konijn	Val	Gln	Ala	His	Leu	Phe	Ser	Asp	Thr
walvis	Val	Gln	Ala	His	Leu	Phe	Ser	Asp	Thr
mens	Ile	Met	Ser	His	Leu	Tyr	Thr	Ala	Ile

Onderzoek aan het enzym *cytochroom c* dat voorkomt in de *mitochondriën* van zoogdieren bewees dat de aminozuur volgorde tussen verscheidene groepen zoogdieren nauwelijks verschilt (Tabel II).

12.3 Evolutie van de mens.

In de laatste jaren is zijn het aantal fossiele vondsten enorm toegenomen. Een reden voor de plotselinge toename van ontdekkingen van de menssoorten zijn de verbeterde analysemethoden (zowel bio-analytisch als de toename in rekencapaciteit van computers), DNA werk (zoals het menselijke genoomproject, analyse van het DNA van *mitochondriën* en analyse van het niet recombinerende deel van Y *chromosomen*) en een beter begrip van waar deze resten zich zouden kunnen bevinden.

De mens behoort samen met de mensapen (gorilla, chimpansee, bonobo) en orang-oetan), apen en halfapen tot de primaten; de hoogst ontwikkelde orde van de zoogdieren. Ondanks de grote genetische overeenkomsten tussen mens en mensapen, is het belangrijk te begrijpen dat de mens niet direct van de mensapen af stamt. Beide groepen hebben een gemeenschappelijke voorouder gehad. Ongeveer 30 miljoen jaar geleden hebben zich uit die gemeenschappelijke voorouder (waarschijnlijk een halfaapje), mensapen en aapmensen ontwikkeld. Deze zijn vervolgens apart van elkaar verder geëvolueerd.

De menselijke *evolutie* wordt gekenmerkt door een aantal morfologische, ontwikkelings, fysiologische, en gedragsveranderingen die hebben plaatsgevonden sinds de splitsing tussen de laatste gemeenschappelijke voorouder van mensen en chimpansees. De belangrijkste van deze aanpassingen zijn: 1. Het lopen op twee 'benen', 2. Toegenomen hersengrootte, 3. Verlengde *zwangerschap* en kindertijd, en 4. Verminderd verschil in grootte tussen mannelijke en vrouwelijke mensachtigen. De relatie tussen al deze veranderingen staat voortdurend ter discussie. Andere belangrijke morfologische veranderingen zijn de ontwikkeling van kracht en precisie grip.

Het continent Afrika is de bakermat van de mens, in Afrika zijn de oudste fossiele overblijfselen ontdekt. 5 miljoen jaar oude *fossielen* die in Afrika gevonden zijn worden tot het geslacht *Australopithecus* (zuidelijke aap) gerekend. *Australopithecus* liep op twee benen. Mannelijke soortgenoten waren veel groter dan vrouwelijke en ze hadden een kleine herseninhoud.

Uit het geslacht *Australopithecus* is waarschijnlijk het geslacht *Homo* ontstaan. Er onstonden verscheidene soorten, zoals *Homo Gautengensis*, wellicht de eerste in het geslacht *Homo*, en *Homo Habilus* (handige mens) die gebruik maakte van

gereedschappen.

Vanuit Afrika migreerden de aapmensen naar steeds noordelijker gebieden. *Homo Erectus* is ontstaan in Afrika maar *fossielen* zijn gevonden in Spanje, Georgië, India, China en Java. Er is nog onenigheid over de indeling, afkomst, en afstammelingen van *Homo Erectus*.

Homo Ergaster is de voorloper van de latere mensachtigen zoals, *Homo Heidelbergensis*, *Homo Sapiens*, *Homo Neanderthalensis* en de Aziatische *Homo Erectus*.

Homo Heidelbergensis kan de eerste mensachtige zijn geweest die zijn doden begroef.

Door migratie en de quartaire ijstijd werd de *Homo Heidelbergensis* populatie gesplitst. 300.000 geleden evolueerde de *Homo (Sapiens) Neanderthalensis* (*sapiens* = verstandig) in Europa. *Homo (Sapiens) Sapiens* (early modern human) evolueerde uit de *Homo Heidelbergensis* tussen de 200.000 en 100.000 jaar geleden in Afrika.

Vanaf de 'early modern human' geraakte de culturele ontwikkeling van de mens in een stroomversnelling. De *Homo Sapiens Sapiens*, bewerkte hout, stenen en botten. De overgang naar modern gedrag met de ontwikkeling van de symbolische cultuur, taal, en gespecialiseerde steenbewerkings technieken gebeurde volgens veel antropologen rond de 50.000 jaar geleden, sommige antropologen suggereren echter een geleidelijke verandering in het gedrag over een langere tijdspanne. Moderne mensen begroeven hun doden, gebruikten dierenhuiden om kleding te maken, gingen op jacht met meer geavanceerde technieken (zoals het gebruik van vallen/putten en het drijven van dieren van rotsen) en ze maakten rotsschilderingen. Toen de menselijke cultuur avanceerde, introduceerden verschillende populaties verbeteringen aan bestaande technologieën: artefacten zoals vishaken, knoppen en bot naalden vertonen tekenen van variatie tussen verschillende populaties, iets dat niet was te zien in de menselijke culturen tot voor 50.000 jaar geleden. *Homo Neanderthalensis*' populaties verschillen niet in hun technologieën. Zowel de *Neanderthaler* als de 'early modern human' worden tot dezelfde soort gerekend als de huidige mens, *Homo Sapiens Sapiens*.

De moderne mens en de *Neanderthaler* leefden op bepaalde plaatsen in dezelfde gebieden en plantten zich af en toe zelfs voort, dit heeft ertoe geleid dat iedereen buiten Afrika tussen de 1% en 4% Neanderthaal genen bezit. Hoe en of de moderne mens het uitsterven van de *Neanderthaler* bespoedigd heeft is niet zeker.

Evolutie staat niet stil. Gemelde evolutionaire trends in sommige populaties zijn een verlenging van de reproductieve periode, vermindering van het cholesterolgehalte, bloedglucose en bloeddruk. Misschien is de menselijke *evolutie* in sommige populaties versneld door de landbouw revolutie 10.000 jaar geleden. Lactase persistentie in bepaalde populaties is een voorbeeld van dit soort recente *evolutie*.

Lactase persistentie is de blijvende activiteit van het *enzym* lactase in volwassenheid. Sinds de enige functie van lactase de vertering van lactose in melk is, wordt in de meeste zoogdieren de activiteit van dit *enzym* drastisch verminderd na spenen. In sommige menselijke populaties is lactase persistentie onlangs ontwikkeld als een aanpassing aan het gebruik van niet-humane melk en zuivelproducten na de kindertijd. De meeste mensen in de wereld blijven lactase niet-persistent, en hebben in meer of mindere mate, last van lactose intolerantie als volwassenen. Een groot aantal wetenschappers denkt dat het reukvermogen van de mens momenteel dalende is, omdat primaten een erg goede kleurwaarneming hebben ontwikkeld en het reukvermogen niet meer zo belangrijk is om te overleven. Het evolutionaire principe 'use-it-or-lose-it' zal hier parten spelen.

Kernpunten van dit hoofdstuk:

- *Evolutie is het proces van langzame en geleidelijke verandering in populaties van levende wezens.*
- *Evolutie wordt vrijwel altijd veroorzaakt door een verandering in de leefomgeving van een organisme. Hierdoor ontstaan nieuwe eigenschappen en uiteindelijk kunnen er nieuwe soorten ontstaan.*
- *Charles Darwin is de grondlegger van de evolutietheorie. Deze theorie gaat uit van soortvorming door diversiteit in genotypen, natuurlijke selectie en isolatie. Er zijn tal van feiten die voor de evolutietheorie pleiten.*

Vragen

Hoofdstuk 1: Elementaire biochemie

1) De stof koolstofdioxide heeft als structuurformule CO_2 . Uit hoeveel *atomen* bestaat één *molecuul* kooldioxide?

1. 1
2. 2
3. 3
4. 4

2) De stof kooldioxide heeft als structuurformule CO_2 . Uit hoeveel verschillende *elementen* bestaat één *molecuul* kooldioxide?

1. 1
2. 2
3. 3
4. 4

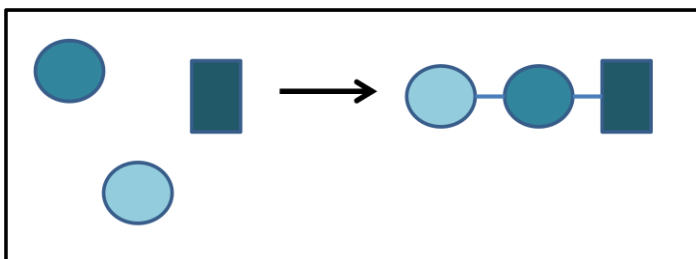
3) De naam “kooldioxide” geeft al aan dat het *molecuul* uit twee (di) *elementen* zuurstof en één element koolstof (C) bestaat. De stof koolmonoxide heeft als structuurformule CO , het bestaat uit één element koolstof en één element zuurstof. Wat is de “officiële” naam van water?

1. –

4) Als kooldioxide (CO_2) wordt opgelost in water (H_2O), ontstaat er tussen beide stoffen een nieuwe binding. Er vormt zich dan koolzuur (H_2CO_3). Dit koolzuur zal verder uiteenvallen in *ionen*. Hierdoor wordt de oplossing zuur. Welke *ionen* zullen er zijn ontstaan?

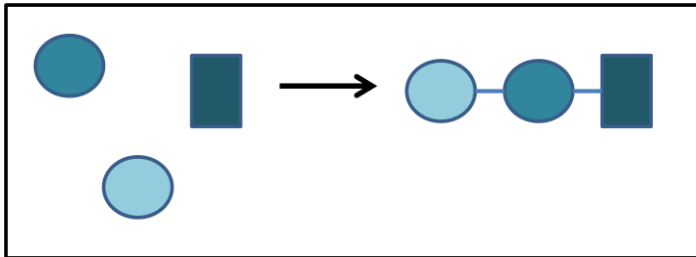
1. H_2 en CO_3
2. H^+ en HCO_3^-
3. H^+ en HCO_3^+
4. OH^- en CO_2^+

5) Welk proces is in onderstaande afbeelding schematisch weergegeven?



1. –

6) Hieronder zie je dezelfde afbeelding als bij de vorige vraag. Kost het afgebeelde proces *energie*, of levert het juist *energie* op?



1. Het afgebeelde proces kost *energie*
2. Het afgebeelde proces levert *energie* op

7) Wat zijn essentiële *aminozuren*?

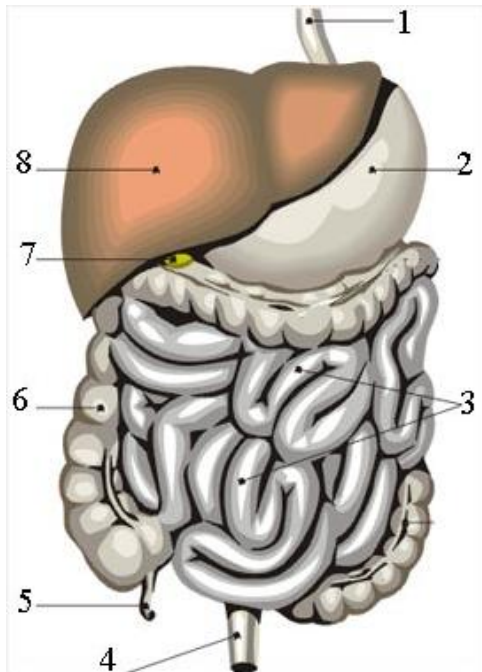
1. *Aminozuren* die in alle menselijke *eiwitten* voorkomen.
2. *Aminozuren* die de mens zelf niet kan maken.
3. *Aminozuren* die in staat zijn *eiwitten* te maken.

8) Als je kijkt naar de eigenschappen van autotrofe en heterotrofe organismen, welke zullen als eerst op aarde zijn ontstaan?

1. De autotrofe organismen zijn als eerste ontstaan.
2. De heterotrofe organismen zijn als eerste ontstaan.
3. Beide zijn tegelijkertijd ontstaan.

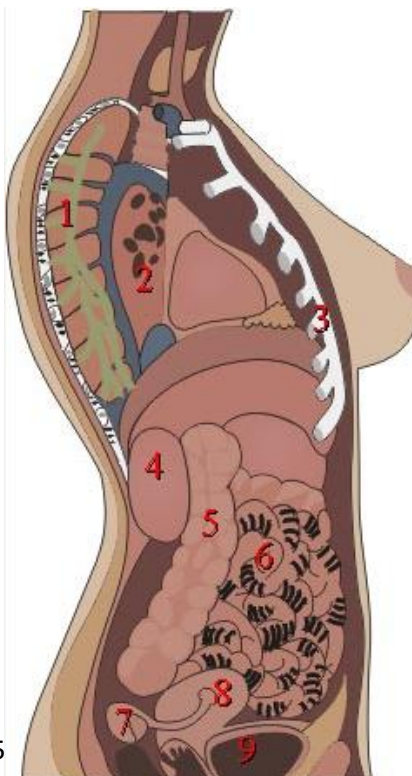
Anatomie van de mens. De nu volgende vragenreeks is bedoeld om je basiskennis van biologie te testen. Het zijn voornamelijk vragen die betrekking hebben op de anatomie van de mens.

9) Onderstaande afbeelding laat enkele organen die zich in de buikholte bevinden zien. Benoem de genummerde onderdelen. Kies uit blaas, *pancreas*, appendix (blinde darm), slokdarm, endeldarm, duodenum, dunne darm, *lever*, maag of galblaas.



1. –
2. –
3. –
4. –
5. –
6. –
7. –
8. –

10) Onderstaande afbeelding laat schematisch een lengte doorsnede van een vrouw zien. Benoem de genummerde onderdelen. Kies uit blaas, *alvleesklier*, dunne darm, lever, galblaas, dikke darm, nier, wervelkolom, long, ribben, *baarmoeder* en *eierstokken*.



1. –
2. –
3. –
4. –
5. –
6. –
7. –
8. –
9. –

11) Onderstaande afbeelding geeft een dwarsdoorsnede van de mens weer. De doorsnede is gemaakt ter hoogte van de/het ...



1. Hoofd
2. Borstholte
3. Buikholte
4. Benen

12) Onderstaande afbeelding geeft een dwarsdoorsnede van de mens weer. Welke kant is de buikzijde? A of B?

A



B

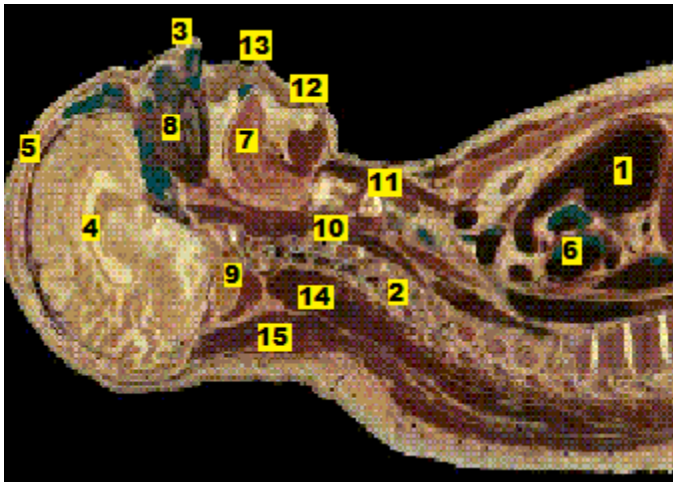
1. –

13) Onderstaande afbeelding geeft een dwarsdoorsnede van de mens weer. Benoem de genummerde onderdelen. Kies uit arm, hart, long, maag, nier, ribben en wervelkolom.



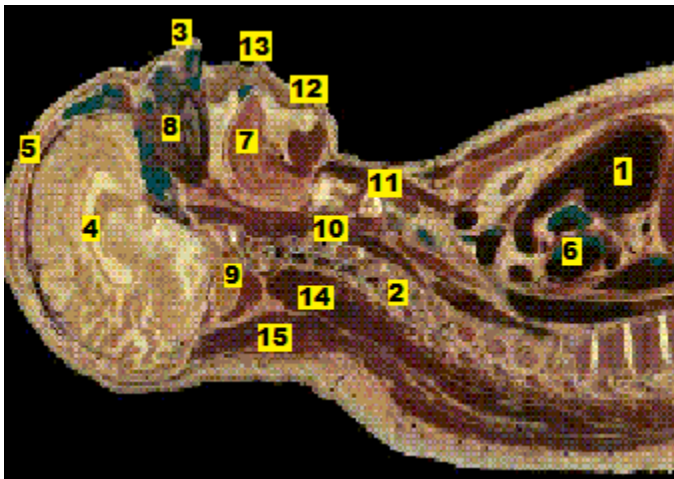
1. –
2. –
3. –
4. –

14) Onderstaande afbeelding geeft een lengtedoorsnede van de mens door. Met welk nummer is de tong weergegeven?



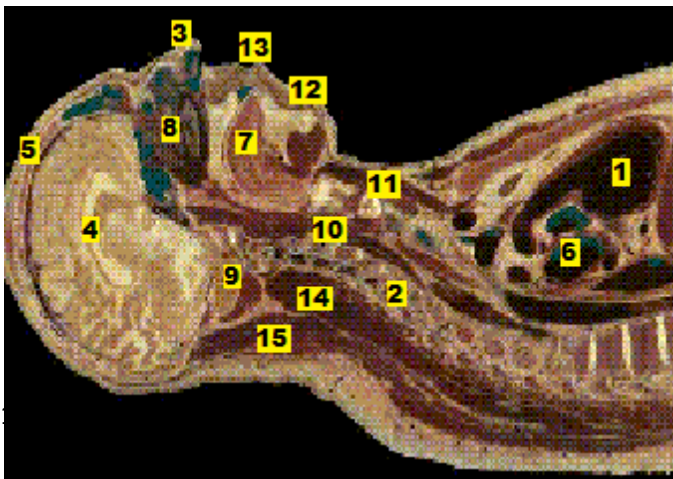
1. –

15) Onderstaande afbeelding geeft een lengtedoorsnede van de mens door. Met welk nummer is de neusholte weergegeven?



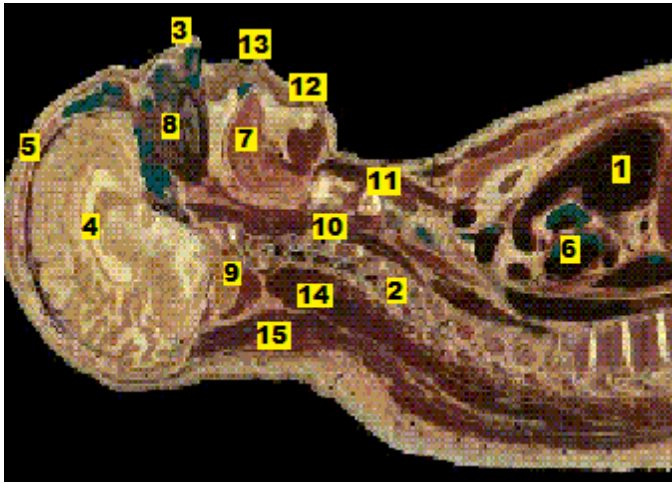
1. –

16) Onderstaande afbeelding geeft een lengtedoorsnede van de mens door. Met welk nummer is de long weergegeven?



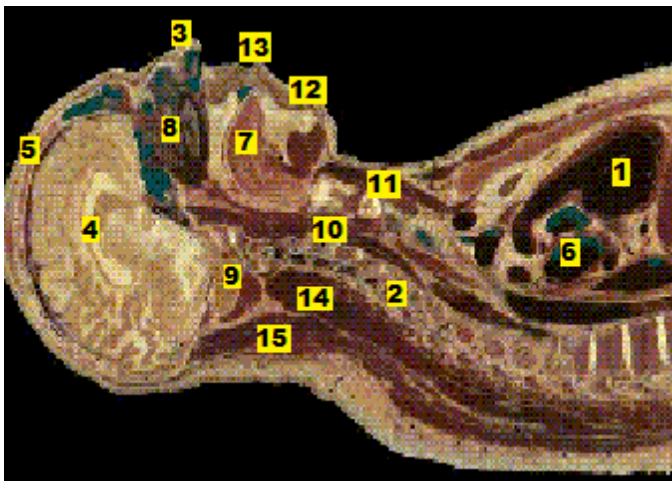
1. –

17) Onderstaande afbeelding geeft een lengtedoorsnede van de mens door. Met welk nummer is de *hersenkalk* weergegeven?



1. –

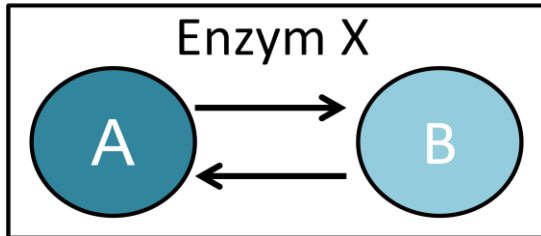
18) Onderstaande afbeelding geeft een lengtedoorsnede van de mens door. Met welk nummer is de wervelkolom weergegeven?



1. –

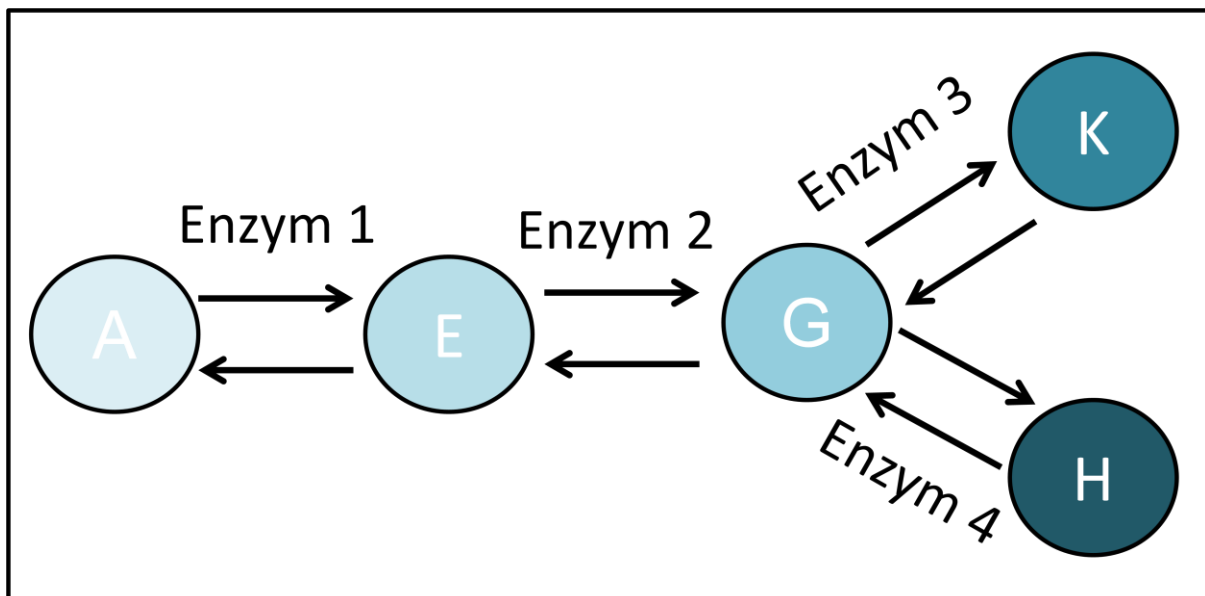
Hoofdstuk 2: Cellen

19) *Enzymen* hebben een katalyserende werking en zijn betrokken bij de *assimilatie* en *dissimilatie* van stoffen. In de figuur zie je de werking van *enzym X*, dat het *substraat A* omzet in product B. Waarom wijzen de pijlpunten in beide richtingen?



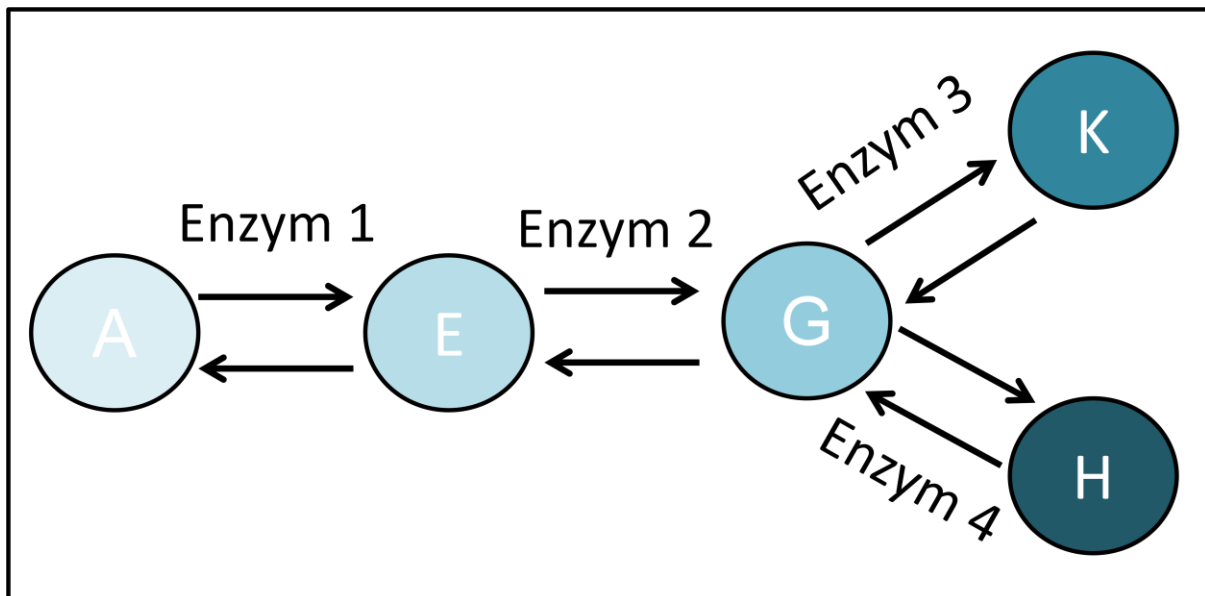
1. Het *enzym* kan opnieuw gebruikt worden
2. Het *enzym* kan A omzetten in B, maar ook B omzetten in A

20) In de figuur zie je de omzetting van een eiwit (A) tot verschillende *aminozuren* (E, G, K en H). Hierbij zijn verschillende *enzymen* betrokken. Als je de *concentratie* van stof A verlaagt dan ...



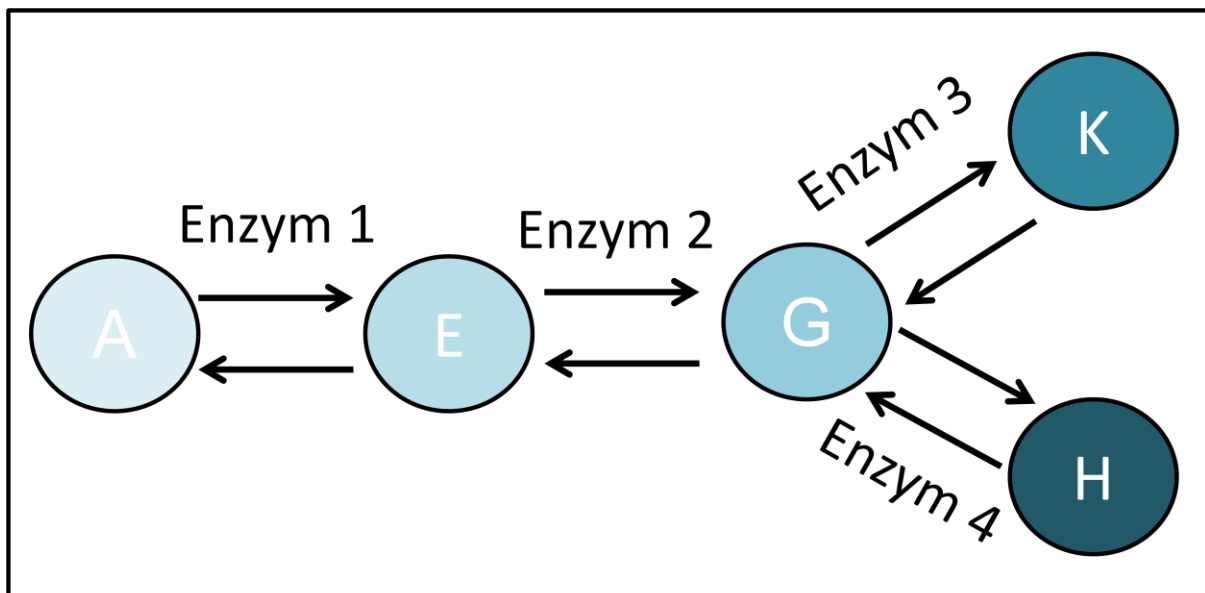
1. Ontstaat er geen aminozuur E
2. Ontstaat er minder aminozuur E
3. Heeft dat geen effect op de productie van aminozuur E
4. Ontstaat er meer aminozuur E

21) Hieronder zie je dezelfde figuur als bij de vorige vraag. Als *enzym 3* wordt uitgeschakeld door een remmer dan heeft dit een effect op de productie van aminozuur K. De productie van aminozuur K ...



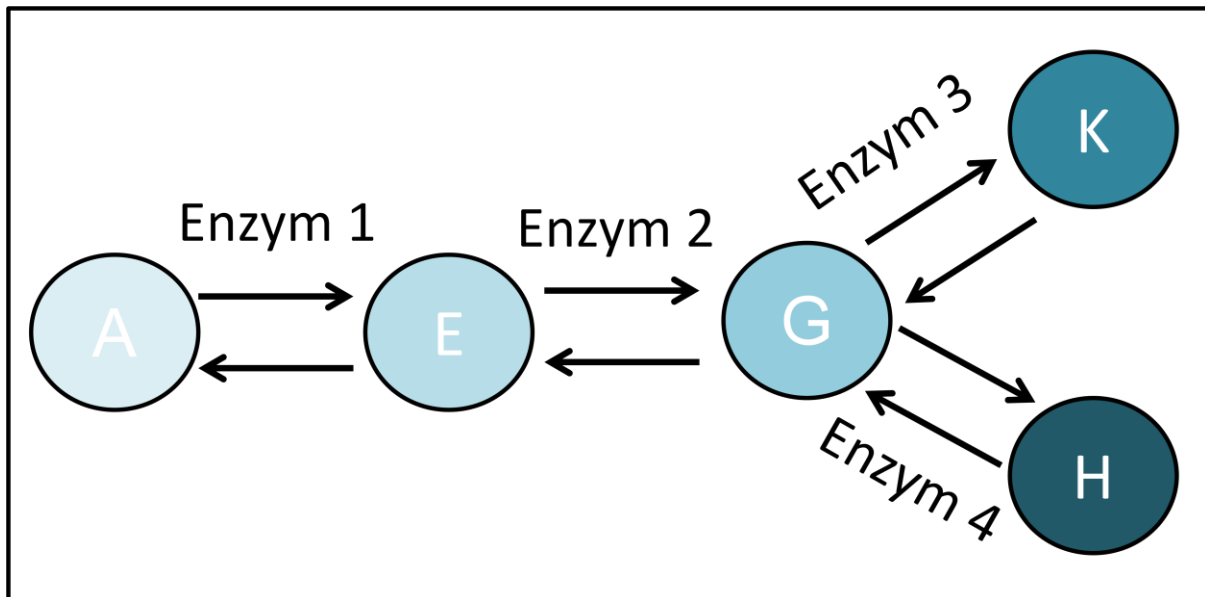
1. Wordt hoger
2. Wordt lager
3. Blijft gelijk
4. Stopt

22) Als je aminozuur K uit de cel verwijdert dan ...



1. Neemt de productie van aminozuur H toe
2. Neemt de productie van aminozuur H af
3. Heeft dit geen effect op de productie van aminozuur H
4. Stopt ook de productie van aminozuur H

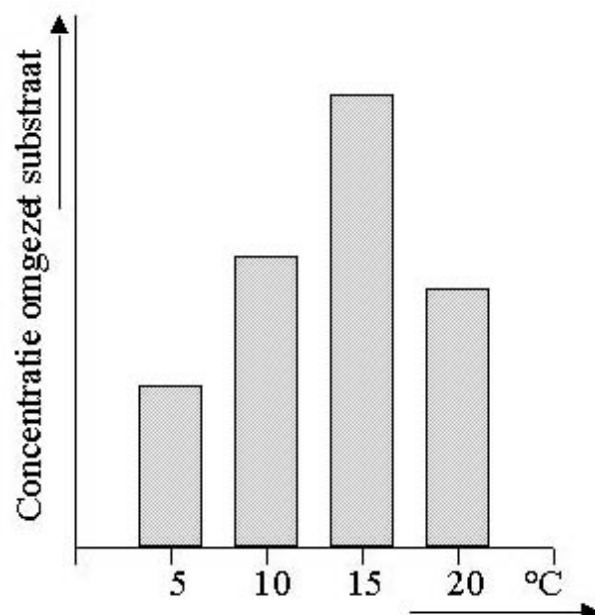
23) Stel, je wilt voorkomen dat uit het eiwit aminozuur G wordt gevormd. Welk(e) enzym(en) kun je daarvoor uitschakelen?



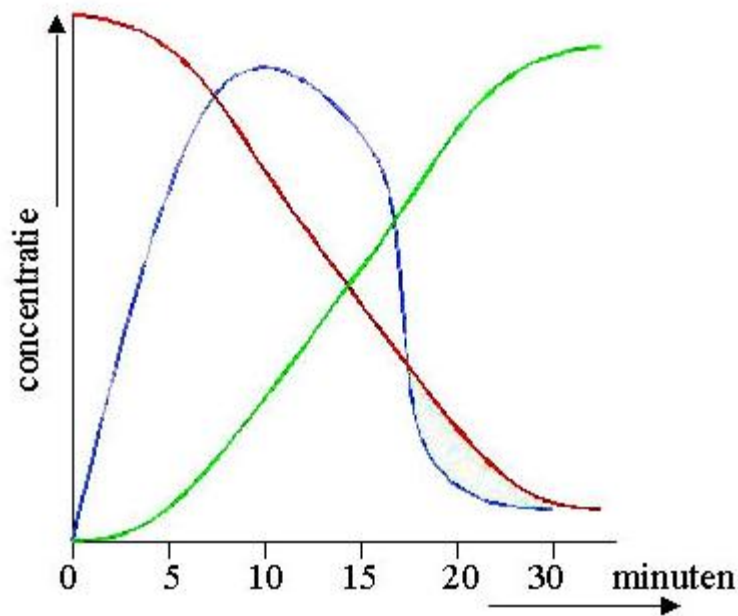
1. *Enzym 2*
2. *Enzym 1, 2,3 en 4*
3. *Enzym 2, 3 en 4*
4. *Enzym 1 en 2*

24) Hieronder zie je een grafiek waarin de hoeveelheid door *enzym X* omgezet *substraat* is afgezet tegen de temperatuur. Wat is het temperatuur optimum van *enzym X*?

1. 5 graden Celsius
2. 10 graden Celsius
3. 15 graden Celsius
4. 20 graden Celsius



25) Als je een *enzym* met een *substraat* in een reageerbuis doet, ontstaan er *E-S-complexen*. In onderstaande grafiek zie je de werking van een *enzym* op een *substraat*. De 3 lijnen geven elk de *concentratie* van een stof aan, afgezet tegen de tijd (minuten). Welke term hoort bij welke lijn? (rood=1, blauw=2, groen=3). Kies uit optimum, *E-S-complex*, temperatuur, *substraat*, product en competitieve remmer.



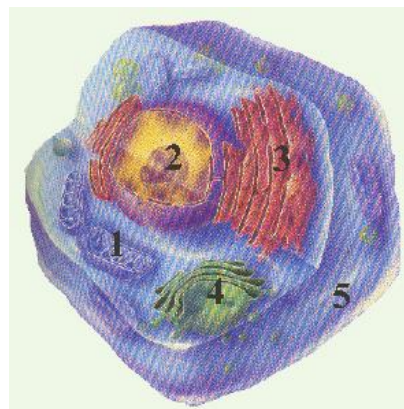
1. –
2. –
3. –

26) Iemand die alcoholist is gebruikt het medicijn *disulfiram*. Dit geneesmiddel remt bepaalde *enzymen*. Na verloop van tijd is het medicijn uitgewerkt. Wat voor soort remmer is *disulfiram*?

1. –

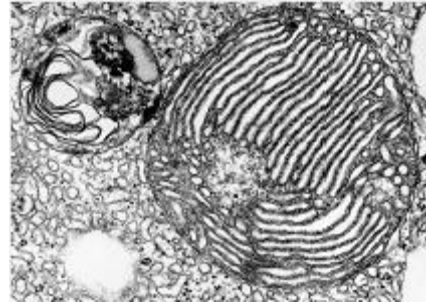
27) Hieronder zie je een afbeelding van een menselijke cel. Benoem de genummerde onderdelen. Kies uit *celkern*, *celmembraan*, *endoplasmatisch reticulum*, *Golgi-systeem*, lysosoom, mitochondrium en ribosoom.

1. –
2. –
3. –
4. –
5. –



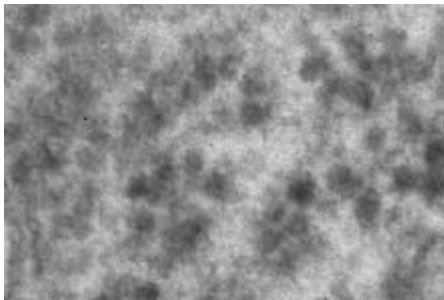
28) *Celorganellen* zijn erg klein. Met behulp van een elektronenmicroscop worden ze echter goed zichtbaar. Hieronder een afbeelding van de *mitochondriën*. Welke bewering(en) is/zijn waar?

- A. *Mitochondriën* leveren *energie* voor de cel.
- B. *Mitochondriën* komen alleen voor in de *celkern*.
- C. *Mitochondriën* zijn direct betrokken bij de *eiwitsynthese*.
- D. De membranen van de *mitochondriën* zijn doorlaatbaar voor glucose.



- 1. 1
- 2. 1 en 3
- 3. 2 en 3
- 4. 1 en 4
- 5. 4

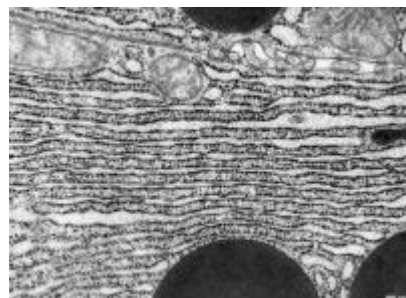
29) Hieronder een afbeelding van de *ribosomen*. *Ribosomen* zijn betrokken bij de ...



- 1. –

30) Hieronder een afbeelding van het *endoplasmatisch reticulum*. Het e.r. is vooral betrokken bij het ... en ... van stoffen. Kies uit synthetiseren, afbreken, assimileren, transporteren of opnemen.

- 1. Synthetiseren
- 2. Afbreken
- 3. Assimileren
- 4. Transporteren
- 5. Opnemen



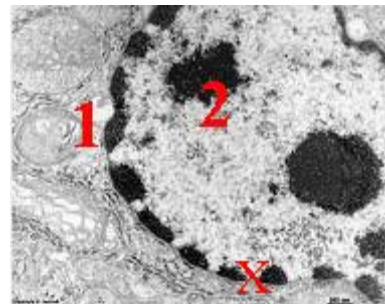
31) Hieronder een afbeelding van het *Golgi-systeem*. Het *Golgi-systeem* zorgt voor het afscheiden van stoffen. In een speekselklier wordt speeksel gemaakt. Zet de *celorganellen* die daarbij betrokken zijn in de juiste volgorde. Begin met de synthese van speeksel. Gebruik; *Golgi-systeem*, *endoplasmatisch reticulum*, mondholte en ribosoom.

1. –



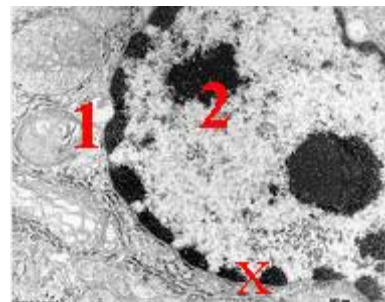
32) Hieronder een afbeelding van een gedeelte van een cel. Welk van de nummers (1 of 2) geeft de *celkern* aan?

1. –

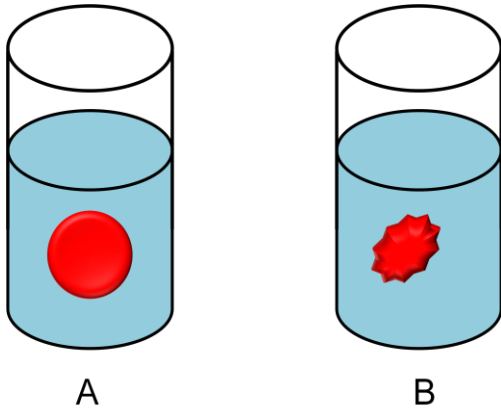


33) Welke structuur wordt aangegeven met X? Kies uit *celmembraan*, lysosoom, kernporie en *endoplasmatisch reticulum*.

1. –

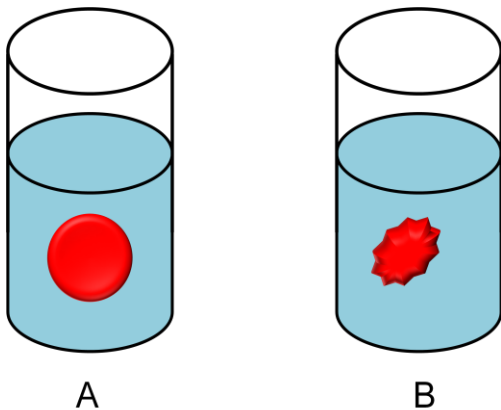


34) Rode bloedcellen van een mens zijn normaliter rond. Een rode bloedcel bevindt zich in oplossing A. Een andere bloedcel bevindt zich in oplossing A. Een andere bloedcel bevindt zich in oplossing B. Wat kun je concluderen over de *osmotische waarden* van oplossingen A en B?



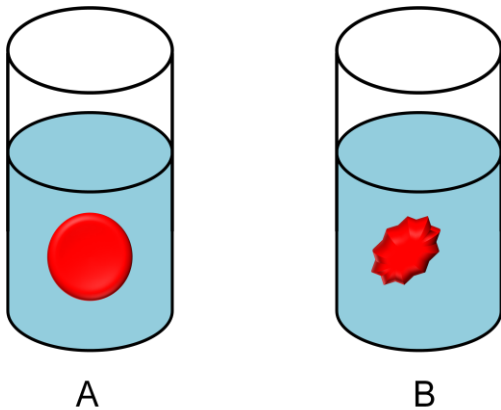
1. De oplossingen A en B zijn isotonisch
2. Oplossing A is hypertonisch ten opzichte van oplossing B
3. Oplossing A is hypotonisch ten opzichte van oplossing B

35) De bloedcel in oplossing A heeft een normale vorm. De bloedcel in oplossing B is verschrompeld. Hoe komt dat?



1. De bloedcel in oplossing B heeft water uit de oplossing opgenomen.
2. De bloedcel in oplossing B heeft water aan de oplossing afgegeven
3. Geen van beide verklaringen is correct

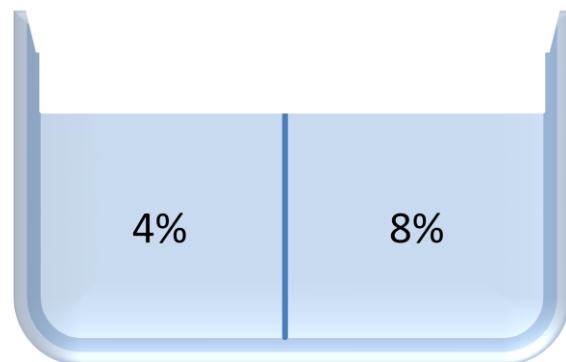
36) Als je de oplossing van B zoveel verdunt dat deze *isotoon* wordt, wat gebeurt er dan met de rode bloedcel die zich in de oplossing bevindt.



1. De bloedcel verandert niet van vorm
2. De bloedcel verschrompelt nog meer
3. De bloedcel krijgt haar oorspronkelijke vorm terug

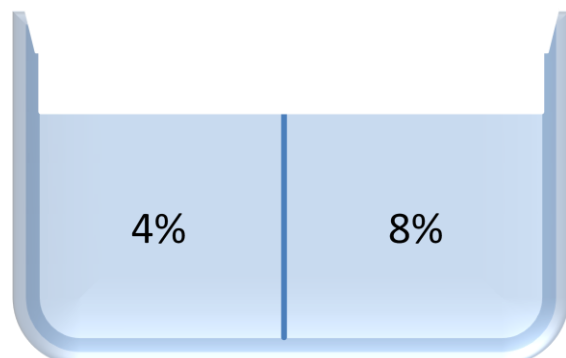
37) Hieronder zie je een bak die middels een membraan in twee helften verdeeld is. In de bak bevindt zich een keukenzoutoplossing (NaCl). De *concentraties* per helft verschillen. De opstelling staat al enkele uren zo. Van wat voor type membraan is er sprake.

1. Een niet *permeabel* membraan
2. Een *permeabel* membraan
3. Een *semipermeabel* membraan



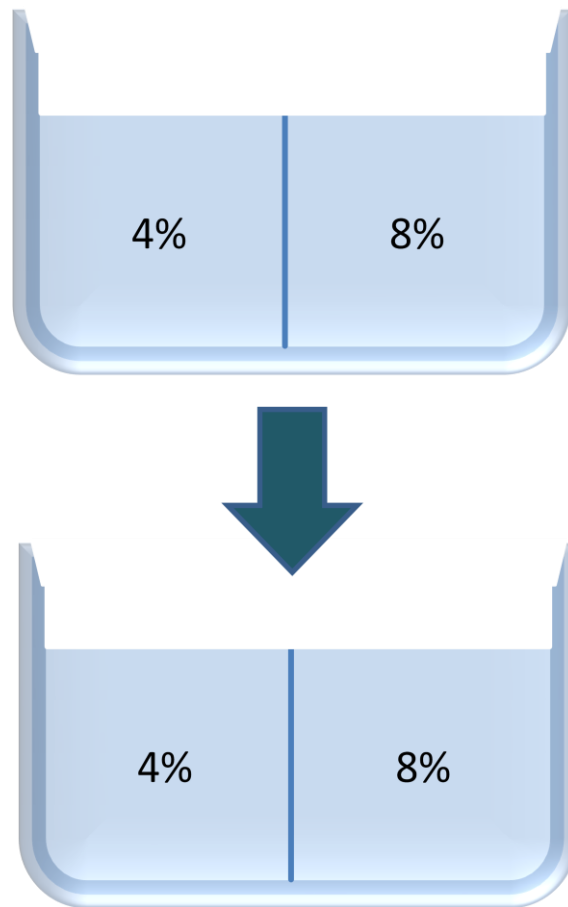
38) Veronderstel dat het membraan is vervangen door een *permeabel* membraan. Welk proces treedt dan in werking?

1. –



39) Een uur nadat het permeabele membraan geplaatst is, wordt de NaCl *concentratie* gemeten. Wat zal de uitslag zijn?

1. Er is niets veranderd; in de linkerhelft is de NaCl *concentratie* 4%, rechts 8%
2. Rechts is de NaCl *concentratie* 4% geworden, links 8%
3. De NaCl *concentratie* is in beide helften gelijk
4. De NaCl *concentratie* is in beide helften 8%



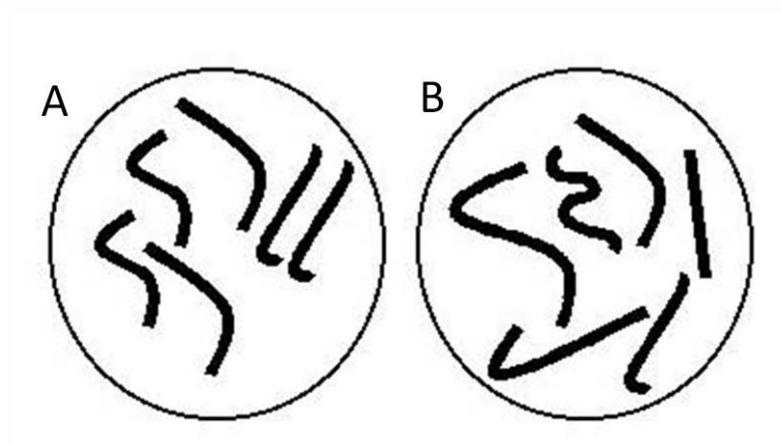
40) Hieronder zie je een afbeelding van menselijke *chromosomen*. Welke beweringen m.b.t. *chromosomen* zijn correct?

- A. In de *chromosomen* ligt de informatie voor de eigenschappen van een organisme besloten
- B. *Chromosomen* bevinden zich in de *celkern*.
- C. *Chromosomen* hebben altijd dezelfde vorm
- D. Normaliter verschilt het aantal *chromosomen* in de *celkern* van een spiercel per individu



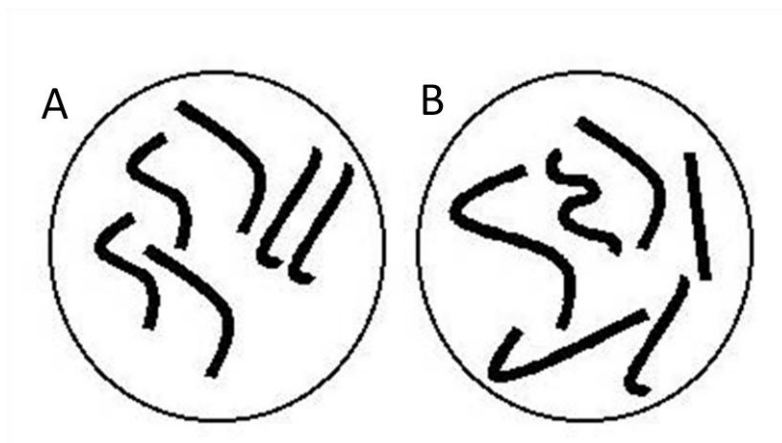
1. A
2. A en B
3. A, B en C
4. A, B, C en D
5. B
6. B en C
7. C en D

41) Hieronder zijn schematisch twee *celkernen* met *chromosomen* afgebeeld. Welke van de twee (A of B) is de weergave van een *haploïde* cel?



1. –

42) Veronderstel dat bij *celkern* “B” alle typen *chromosomen* van een organisme zijn weergegeven. Hoeveel *chromosomen* zal een *diploïde* cel van dit organisme bevatten?



1. –

43) Welke van onderstaande beweringen t.a.v. *DNA-replicatie* zijn correct?

- A) *DNA-replicatie* vindt plaats in de *celkern*
- B) Door *DNA-replicatie* ontstaan twee verschillende *DNA-moleculen*
- C) Na *DNA-replicatie* bestaat een *chromosoom* uit twee *chromatiden*

- 1. Alleen bewering A
- 2. De beweringen A en C
- 3. De beweringen B en C
- 4. Alle drie de beweringen zijn correct

44) Welk van onderstaande beweringen t.a.v. de *mitose* zijn correct?

- A) Het doel van de *mitose* en *celdeling* is de vorming van nieuwe cellen voor groei, vervanging en herstel
- B) Bij *mitose* ontstaan twee kernen, waarvan elke kern dezelfde informatie voor erfelijke eigenschappen bevat als de oorspronkelijke kern
- C) Bij de *mitose* gaat altijd een oneven aantal *chromosomen* naar elke pool

- 1. Alleen bewering A
- 2. De beweringen A en B
- 3. De beweringen B en C
- 4. Alle drie de beweringen zijn correct

45) De *celcyclus* bestaat uit twee processen, welke op hun beurt ook weer te verdelen zijn. Welke 2 processen worden hier bedoeld?

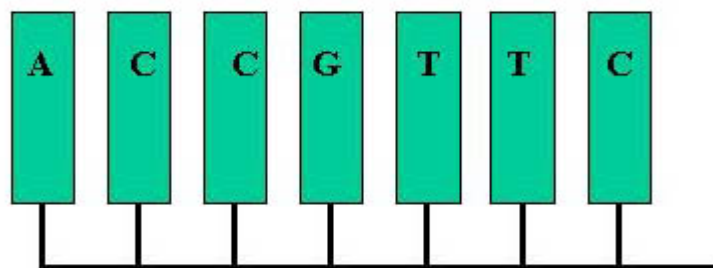
- 1. –
- 2. –

46) In welke fase vindt de *DNA*-repliatie plaats?

- 1. In de G1-fase
- 2. In de S-fase
- 3. In de G2-fase
- 4. Gedurende de hele *interfase*

47) Tijdens de *DNA* replicatie gaan de ketens uit elkaar en worden de “lege” *nucleotiden* opgevuld met bijpassende basen. Welke basen “horen” bij het hieronder afgebelde stuk *DNA*? (begin links)

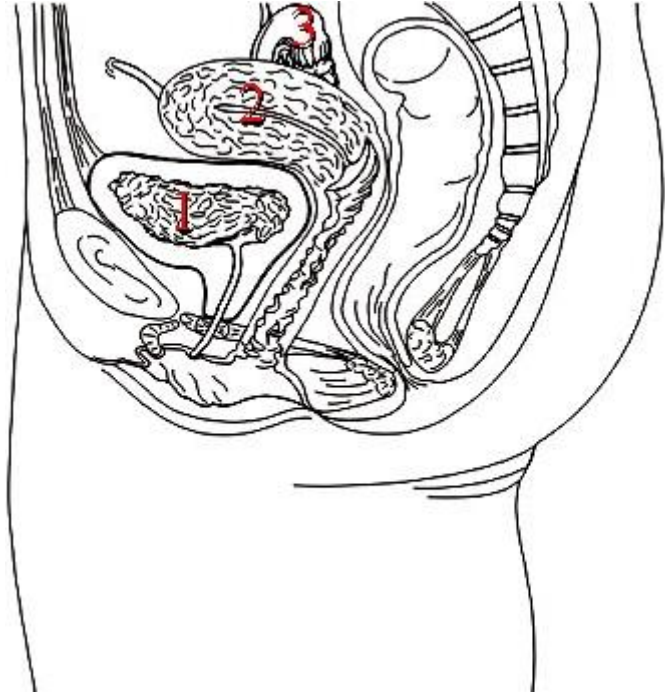
- 1. –



Hoofdstuk 3: Voortplanting

48) Onderstaande afbeelding geeft schematisch de ligging van de vrouwelijke (voortplantings) organen weer. Een aantal daarvan is genummerd. In welke weefsels komt *mitose* voor?

1. Alleen in de weefsels van orgaan 1
2. In de weefsels van organen 1 en 2
3. In de weefsels van organen 2 en 3
4. In alle drie de genummerde organen

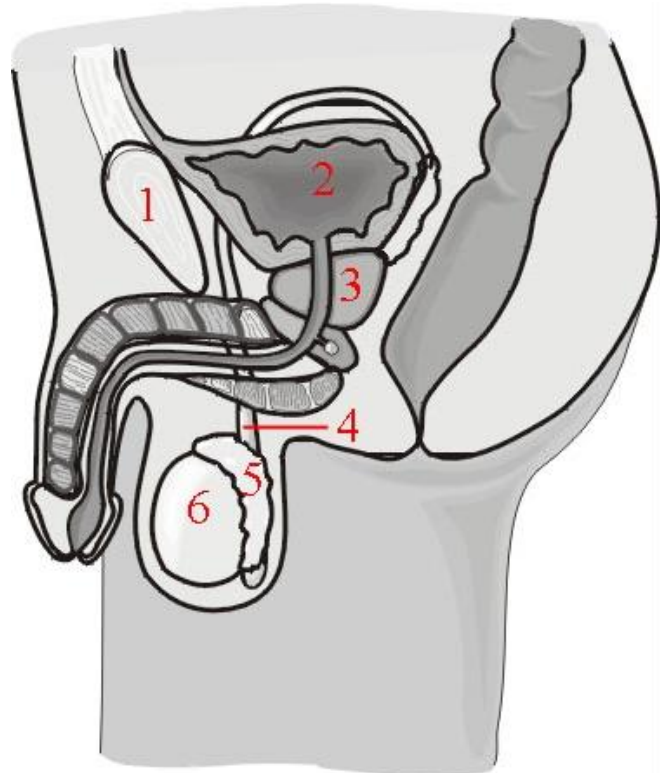


49) Wat bevindt zich doorgaans in holte 1?

1. *Urine*
2. Bloed
3. *Vruchtwater*
4. Water

50) Onderstaande afbeelding geeft schematisch een doorsnede van het mannelijk voortplantingsstelsel weer. Benoem de onderdelen. Kies uit bijbal, blaas, schaambeent, prostaat, zaadleider, urineleider, testikel, *zaadblaasje* en zwellichaam

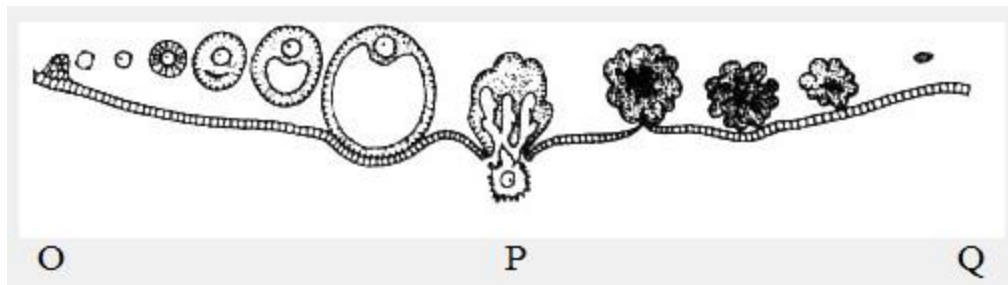
1. –
2. –
3. –
4. –
5. –
6. –



51) Welke van de genummerde onderdelen maken geen deel uit van het voortplantingsstelsel?

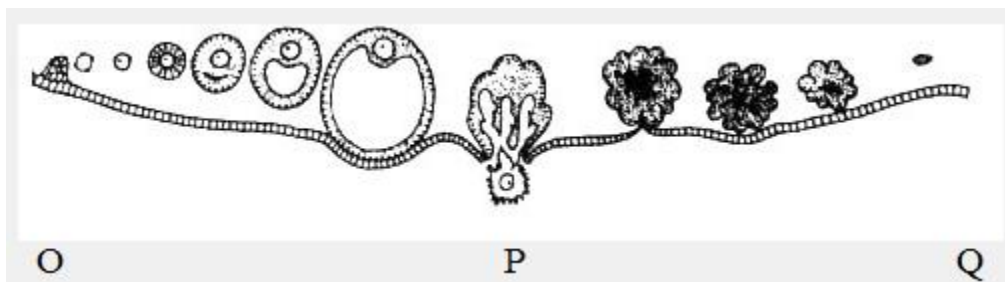
1. –

52) In onderstaande afbeelding is schematisch de ontwikkeling van een *eicel* in het ovarium weergegeven. Welk proces vindt plaats op tijdstip P?



1. Bevruchting
2. Menstruatie
3. Ovulatie
4. Geen van bovengenoemde processen

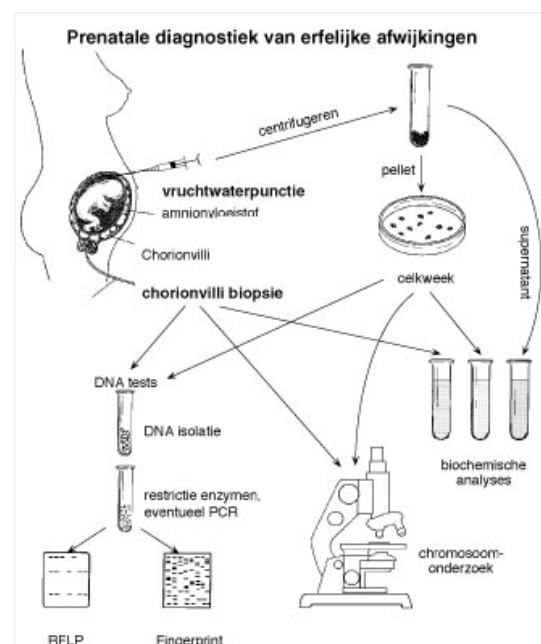
53) In onderstaande afbeelding is schematisch de ontwikkeling van een *eicel* in het ovarium weergegeven. Is de vrouw op tijdstip Q zwanger?



1. Ja
2. Nee
3. Dat is niet uit de gegevens af te leiden

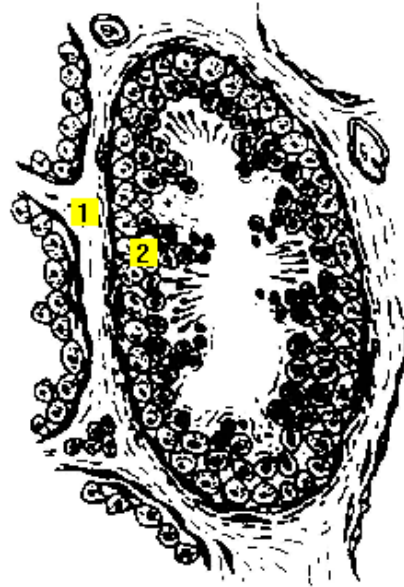
54) Om mogelijke afwijkingen van een ongeboren kind op te sporen kan een vruchtwaterpunctie worden gedaan. Hierbij wordt via een buisje dat door de *baarmoederwand* van een vrouw gaat, *vruchtwater* opgezogen. In het *vruchtwater* zweven cellen, die vervolgens worden onderzocht. In het *vruchtwater* kun je cellen aantreffen die afkomstig zijn ...

1. van de moeder
2. van het *embryo*
3. van zowel de moeder als het *embryo*



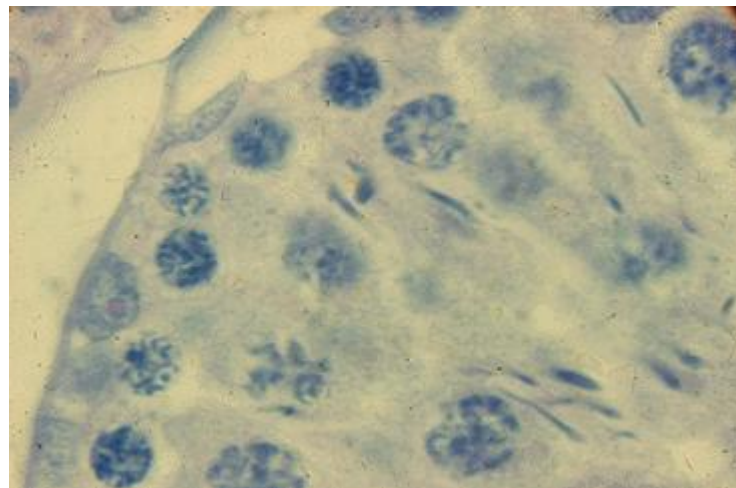
55) Onderstaande afbeelding is een doorsnede van een testisbuisje van de man. Uit de wandcellen (1) ontstaan *zaadcelmoedercellen* (2) die vervolgens *zaadcellen* produceren. Welk type *celdeling* vindt plaats in (1) de wandcellen en (2) de *zaadcelmoedercellen*?

1. (1) *meiose*, (2) *meiose*
2. (1) *mitose*, (2) *mitose*
3. (1) *meiose*, (2) *mitose*
4. (1) *mitose*, (2) *meiose*



56) Op onderstaande foto zie je enkele *zaadcelmoedercellen* tijdens de spermatogenese. Hoeveel *zaadcellen* ontstaan uit één *zaadcelmoeder cel*?

1. –



57) Voor het beantwoorden van de volgende vraag, kun je ervan uitgaan dat de hormonale processen van een koe hetzelfde zijn als bij de mens.

Een koe ovuleert normaliter elke drie weken. Bij de *ovulatie* komt meestal één *eicel* vrij. Aangezien de draagtijd van een koe 9 maanden bedraagt “produceert” een koe slechts één kalfje per jaar. In de veeteelt worden daarom bepaalde hormonen toegediend die ervoor zorgen dat er bij de *ovulatie* meerdere *eicellen* vrijkomen, Dit wordt superovulatie genoemd. Welk *hormoon* wordt er aan de koe gegeven?

1. *Progesteron*
2. *FSH*
3. *LH*
4. *Oestradiol*

58) Als gevolg van superovulatie ontstaan er meerdere *embryo*'s. Als de *zwangerschap* naar wens verloopt, krijgt de koe meerdere kalfjes. Veronderstel dat een koe door superovulatie bevalt van twee kalfjes. Wat kun je zeggen over de *tweeling*?

1. De *tweeling* is eeneiig
2. De *tweeling* is twee-eiig

59) Welk *hormoon* komt niet bij de man voor?

1. *Progesteron*
2. *FSH*
3. *LH*
4. *Oestrogeen*

60) In de testes bevinden zich de *zaadcelmoedercellen*, de daar geproduceerde *zaadcellen* worden in de bijbal opgeslagen. Langs/door welke structuren “zwemt” een *zaadcel* naar de *eicel*, om die uiteindelijk te bevruchten? Zet de volgende structuren in de juiste, chronologische, volgorde. Begin met de bijbal. Kies uit *baarmoeder*, *bijbal*, *eileider*, *urinebuis*, *prostaat*, *zaadblaasje*, *zaadleider* en *vagina*.

1. –

61) Zijn de onderstaande stellingen ten aanzien van de *meiose* juist of onjuist?

- A. Het doel van de *meiose* is het vormen van diploïde cellen uit *haploïde* moedercellen
- B. Tijdens *meiose* I wordt het aantal *chromosomen* in een cel gehalveerd
- C. *Meiose* II is schematisch weer te geven als: $2n \rightarrow n+n$
- D. Bij de mens wordt tijdens *meiose* I altijd een even aantal *chromosomen* naar één pool van de cel getrokken
- E. Tijdens de metafase van *meiose* II liggen de homologe *chromosomen* tegenover elkaar in het equatoriale vlak
- F. De centromeren van de *chromosomen* worden tijdens *meiose* I gesplitst.
- G. Tijdens de anafase van *meiose* II gaat van elk chromosoom één chromatide naar iedere pool van de cel

- 1. Stelling A is –
- 2. Stelling B is –
- 3. Stelling C is –
- 4. Stelling D is –
- 5. Stelling E is –
- 6. Stelling F is –
- 7. Stelling G is –

62) *Meiose* I en II spelen de belangrijke rol bij het vormen van *eicellen*. Welke van dit type *celdelingen* vinden plaats in (1) het rijpende *follikel*, en welke in (2) het *gele lichaam*?

- 1. (1) alleen *meiose* I, (2) geen van beide *celdelingen*
- 2. (1) alleen *meiose* I, (2) alleen *meiose* I
- 3. (1) alleen *meiose* I, (2) *meiose* I en II
- 4. (1) *meiose* I en II, (2) alleen *meiose* II

63) Geef aan welk(e) *hormoon/hormonen* bij welke bewering(en) hoort/horen. Kies uit de volgende hormonen. FSH, LH, oestrogeen, progesteron, testosteron.

- A. Wordt geproduceerd door de hypofyse
- B. Wordt geproduceerd door rijpende *follikel*
- C. Wordt geproduceerd door het *gele lichaam*
- D. Beïnvloedt het zwaarder worden van de stem van een jongen in de puberteit.
- E. Stimuleert borstvorming bij meisjes
- F. Stimuleert het rijpen van *follikels*
- G. Stimuleert de *eisprong*
- H. Stimuleert het *gele lichaam* tot afgifte van hormonen
- I. Remt de afgifte van LH

- 1. *Hormoon/hormonen* stelling A: -
- 2. *Hormoon/hormonen* stelling B: -
- 3. *Hormoon/hormonen* stelling C: -
- 4. *Hormoon/hormonen* stelling D: -
- 5. *Hormoon/hormonen* stelling E: -
- 6. *Hormoon/hormonen* stelling F: -
- 7. *Hormoon/hormonen* stelling G: -
- 8. *Hormoon/hormonen* stelling H: -
- 9. *Hormoon/hormonen* stelling I: -

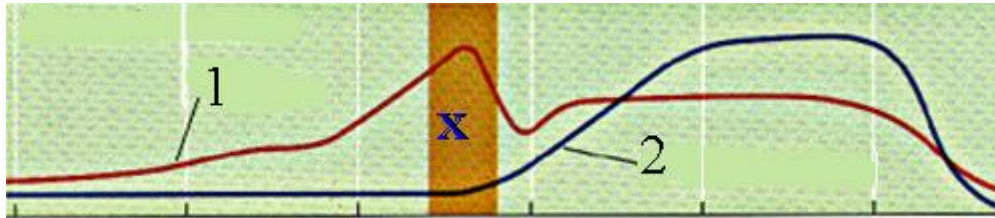
64) Tijdens een *ovulatie*cyclus is het progesterongehalte in het bloed van een vrouw niet constant. Wanneer is de progesteronspiegel het hoogst?

- 1. Tijdens de menstruatie
- 2. Tussen het eind van de menstruatie en de daar op volgende *ovulatie*
- 3. Tijdens de *ovulatie*
- 4. Tussen de *ovulatie* en de daar op volgende menstruatie

65) Een vrouw heeft een regelmatige cyclus van 28 dagen. Ze is altijd 4 dagen ongesteld. Op welke dag heeft geslachtsgemeenschap de grootste kans te leiden tot een *zwangerschap*?

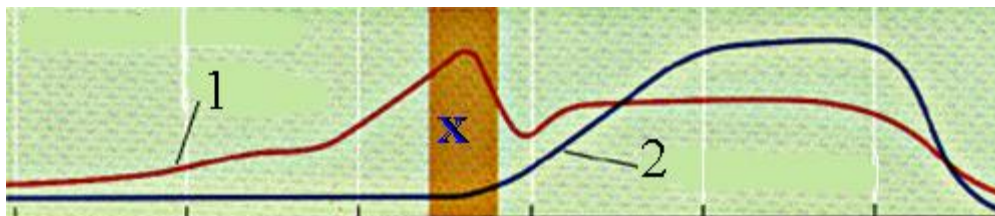
- 1. Twee dagen na het einde van de menstruatie
- 2. Twee dagen voor de *ovulatie*
- 3. Twee dagen na de *ovulatie*
- 4. Twee dagen voor het begin van de menstruatie

66) Bij de maandelijkse cyclus van de vrouw zijn hormonen betrokken. In onderstaande afbeelding zijn de hormoonspiegels van twee hormonen weergegeven die een rol spelen bij de cyclus. Welke hormonen zijn dit? Kies uit *LH*, *FSH*, *progesteron*, *oestrogeen*, *prolactine*, *testosteron*.



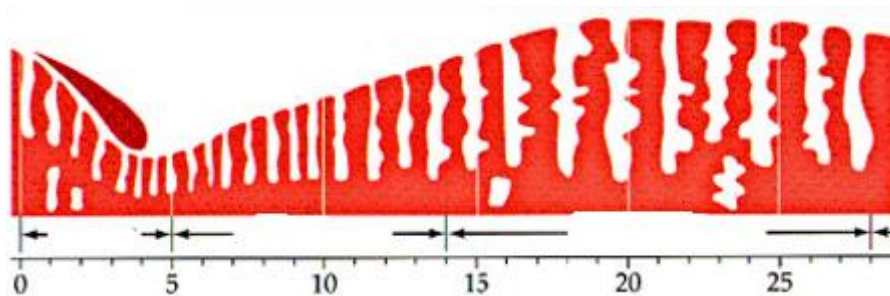
1. –
2. –

67) Welk proces vindt er plaats op moment X? Kies uit *menstruatie*, *ovulatie* en *bevruchting*



1. –

68) In de afbeelding zie je de ontwikkeling van de *baarmoederwand* tijdens de maandelijkse cyclus. Op welk tijdstip zal de *LH*-spiegel het hoogst zijn?



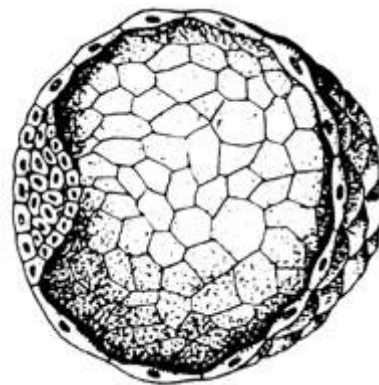
1. Tussen dag 0 en dag 10
2. Tussen dag 10 en dag 20
3. Tussen dag 20 en dag 0

69) De eerste *celdelingen* die bij een *zygote* plaatsvinden worden *klievingsdelingen* genoemd. Wat is het verschil tussen een *klievingsdeling* en een normale *celdeling*?

1. Bij een *klievingsdeling* ontstaan uit één cel vier *dochtercellen*
2. Bij een *klievingsdeling* vindt alleen *mitose* plaats
3. Bij een normale *celdeling* ontstaan geen *poolcellen*
4. Bij een *klievingsdeling* vindt er geen *plasmagroei* plaats

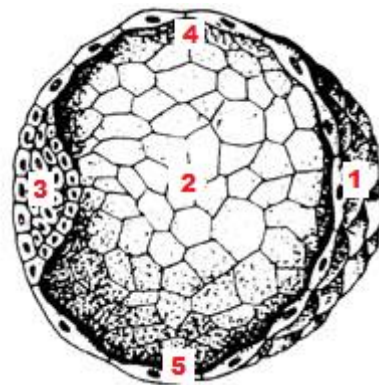
70) Onderstaande afbeelding geeft schematisch een bepaald stadium in de embryonale ontwikkeling van de mens weer. De afbeelding is een lengtedoorsnede. Hoe oud is het *embryo* en waar bevindt het zich?

1. Enkele uren, in de *baarmoeder*
2. Enkele uren, in de *eileider*
3. Vijf dagen, in de *baarmoeder*
4. Twee maanden, in de *baarmoeder*



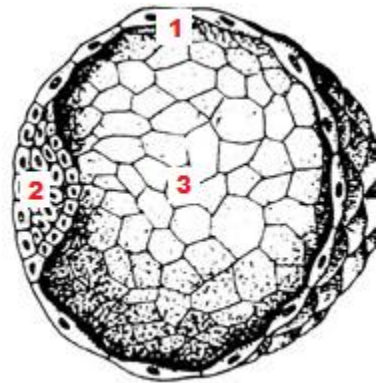
71) Onderstaande afbeelding geeft schematisch een bepaald stadium in de embryonale ontwikkeling van de mens weer. Bij welk nummer bevindt zich de vegetatieve pool?

1. –



72) Onderstaande afbeelding geeft schematisch een bepaald stadium in de embryonale ontwikkeling van de mens weer. Benoem de genummerde structuren. Kies uit; *zygote*, *morula*, *trofoblast*, *chorionholte*, *embryonaalknop*, *entodermholte*

1. –
2. –
3. –



73) Uit welke structuur ontstaat de *placenta*? Kies uit; *zygote*, *morula*, *trofoblast*, *chorionholte*, *embryonaalknop*, *entodermholte*.

1. –

74) Wordt de ontwikkeling van de primaire *geslachtskenmerken* beïnvloed door hormonen?

1. Ja
2. Nee

75) Veronderstel dat een (genetisch) vrouwelijke *embryo* wordt blootgesteld aan hoge *concentraties testosteron*. Welk effect heeft dit op de ontwikkeling van het *embryo*?

1. Geen, een vrouwelijk *embryo* heeft immers geen receptoren voor dit *hormoon*
2. Het *embryo* ontwikkelt zich normaal, maar de vrouw krijgt in de puberteit overmatige lichaamsbehaarings
3. Het vrouwelijk *embryo* ontwikkeld geslachtshormonen die zowel mannelijke als vrouwelijke kenmerken hebben
4. Het vrouwelijk *embryo* ontwikkeld mannelijke geslachtshormonen

Hoofdstuk 4: *Genetica*

76) Welke van onderstaande stellingen is correct?

- A. Het uiterlijk maakt deel uit van iemands *fenotype*
- B. Alle genen in de *chromosomen* vormen het *genotype* van een organisme
- C. Het *fenotype* heeft invloed op het *genotype*
- D. Het *fenotype* kan worden beïnvloed door omgevingsfactoren zoals temperatuur

- 1. Stelling A is –
- 2. Stelling B is –
- 3. Stelling C is –
- 4. Stelling D is –

77) Welke van onderstaande stellingen is correct?

- A. Eén *DNA* molecuul bestaat uit twee homologe *chromosomen*
- B. Een lichaamscel bevat tweemaal zoveel *chromosomen* als een geslachtscel
- C. Met de term “*locus*” wordt de plaats van *chromosomen* in de *celkern* bedoeld
- D. Een geslachtscel bevat één chromosoom

- 1. Stelling A is –
- 2. Stelling B is –
- 3. Stelling C is –
- 4. Stelling D is –

78) Veronderstel dat “A” een *dominant* gen is en “a” een *recessief* gen voor een bepaalde eigenschap. Een persoon heeft als *genotype* “AA”. Deze persoon is voor deze eigenschap:

- 1. *Dominant, homozygoot*
- 2. *Dominant, heterozygoot*
- 3. *Recessief, homozygoot*
- 4. *Recessief, heterozygoot*

79) Krullend haar is *dominant* over sluijk (stijl) haar. Veronderstel dat het gen voor haarstijl wordt aangegeven met de letter “A”. Een persoon heeft krullend haar. Wat is het *genotype* van die persoon?

- 1. AA of Aa
- 2. Aa of aa
- 3. Alleen AA
- 4. Alleen aa

80) Krullend haar is *dominant* over sluik (stijl) haar. De vader heeft als *genotype* AA, de moeder aa. Wat is het *fenotype* van de kinderen? En wat is het *genotype*?

1. Krul, AA
2. Krul, Aa
3. Sluik, aa
4. Sluik, Aa

81) Krullend haar is *dominant* over sluik (stijl) haar. Een persoon is *homozygoot* voor krullend haar. De ouders zijn beide *heterozygoot* voor diezelfde eigenschap. Welk *genotype* hebben de ouders?

1. AA X AA
2. aa X aa
3. Aa X Aa
4. Aa X AA

82) “Tongrollen” is ook erfelijk bepaald. Veronderstel dat de mogelijkheid de tong te rollen wordt aangegeven met “A”. Welke van de volgende echtparen kan er zeker van zijn dat al hun kinderen kunnen “tongrollen”?

1. Vader aa, moeder aa
2. Vader Aa, moeder aa
3. Vader Aa, moeder Aa
4. Vader AA, moeder aa

83) Welke van de volgende echtparen kan er zeker van zijn dat er een mogelijkheid is dat ze een kind kunnen krijgen dat wel, en een kind dat niet kan “tongrollen”?

1. Vader AA, moeder aa
2. Vader Aa, moeder AA
3. Vader Aa, moeder Aa
4. Vader AA, moeder AA

84) Van een gezin zijn alle drie de kinderen *homozygoot* voor een recessieve eigenschap. Wat kan er met zekerheid van de ouders gezegd worden?

1. Beide ouders zijn ook *recessief homozygoot*
2. Beide ouders zijn *heterozygoot*
3. Een ouder is *dominant homozygoot*, de ander is *recessief homozygoot*
4. Elke ouder is of *homozygoot* of *heterozygoot* voor het recessieve gen

85) Hieronder staat een kruisingsschema afgebeeld. Welke stelling is correct?

	a	a
A	Aa	Aa
A	Aa	Aa

1. De ouders en nakomelingen zijn beide *recessief homozygoot*
2. De ouders en nakomelingen zijn beide *dominant homozygoot*
3. De ouders zijn beide *homozygoot*, de nakomelingen *dominant heterozygoot*
4. De ouders zijn beide *heterozygoot*, de nakomelingen *dominant homozygoot*

86) Hieronder staat wederom het kruisingsschema van de vorige vraag afgebeeld. De letter “A” staat voor rode vacht, de letter “a” voor bruine vacht. Als de F1 onderling paren, wat kun je dan zeggen over de fenotype en genotype verhouding van F2?

	a	a
A	Aa	Aa
A	Aa	Aa

1. *Fenotype*: 100% rood
Genotype: 50% AA, 50%Aa
2. *Fenotype*: 75% rood, 25% bruin
Genotype: 50% Aa, 25% AA, 25% aa
3. *Fenotype*: 75% rood, 25% bruin
Genotype: 50% AA, 25%Aa, 25%aa
4. *Fenotype*: 25% rood, 75% bruin
Genotype: 50% aa, 25% Aa, 25% AA

87) Twee ouders waarvan er één *dominant heterozygoot* is en de ander *recessief homozygoot* voor een eigenschap krijgen kinderen. Welk van onderstaande kruisingsschema's is correct?

	A	A
a	Aa	Aa
a	Aa	Aa

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

1. –

	A	A
A	AA	AA
a	Aa	Aa

	A	a
a	Aa	aa
a	Aa	aa

88) In één kruisingsschema zijn alle nakomelingen *heterozygoot* voor een eigenschap, aangegeven de letter “A”. Welk kruisingsschema is dat?

	A	A
a	Aa	Aa
a	Aa	Aa

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

1. –

	A	A
A	AA	AA
a	Aa	Aa

	A	a
a	Aa	aa
a	Aa	aa

89) In een spiercel bevinden zich 23 paar *chromosomen*. Daarvan is één paar de *geslachtschromosomen*. Hoeveel *chromosomen* bevinden zich in een *eicel*?

1. –

90) Een meisje lijkt erg veel op haar vader. Over de dochter kun je zeggen dat ... en

1. De dochter het *X-chromosoom* van de vader heeft
2. De dochter het *Y-chromosoom* van de vader heeft
3. De dochter het *X-chromosoom* van de moeder heeft
4. De dochter het *Y-chromosoom* van de moeder heeft

91) Het *allel* voor een bepaalde vorm van kleurenblindheid is gelegen op het *X-chromosoom* en *recessief*. Het *allel* wordt aangegeven met de letter “E”. Een vrouw is kleurenblind. Is haar vader kleurenblind? En wat is zijn *genotype*?

1. Vader is kleurenblind, genotype XeY
2. Vader is kleurenblind, *genotype* XEY
3. Vader is niet kleurenblind, genotype XeY
4. Vader is niet kleurenblind, genotype XEY

92) Het *allel* voor een bepaalde vorm van kleurenblindheid is gelegen op het *X-chromosoom* en *recessief*. Het *allel* wordt aangegeven met de letter “E”. De kleurenblinde vrouw huwt met een kleurenziende man. Ze willen graag kinderen krijgen. Welke van de onderstaande beweringen is waar?

1. Alle kinderen kunnen kleurenblind zijn
2. Alle meisjes zullen kleurenblind zijn, de jongetjes niet
3. Alle jongetjes zullen kleurenblind zijn, de meisjes niet

4. Alle kinderen zullen normaal kunnen zien

93) Met sexe-gebonden genen worden genen bedoeld die liggen op:

1. Alle *chromosomen* (tip: alle *chromosomen*, behalve de X- en Y-*chromosomen* worden autosomen genoemd)
2. *Geslachtschromosomen*
3. X-*chromosomen*
4. Y-*chromosomen*

94) Kleurenblindheid komt vooral bij mannen voor. Het is een voorbeeld van sexe-gebonden chromosomale *overerving*. Dit wordt veroorzaakt door een:

1. *Recessief* X-gebonden gen
2. *Dominant* X-gebonden gen
3. Y-gebonden gen
4. Niet sexe-gebonden gen

95) Hieronder is het kruisingsschema van een *dihybride* kruising afgebeeld. Wat hebben de genotypen in de blauwe vlakken gemeen?

Ze zijn allen1..... voor beide eigenschappen

	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

1. –

In de volgende vragen wordt stap voor stap een *dihybride* kruising uitgewerkt.

96) Bij cavia's is wit haar *dominant* over een zwarte vacht. Krulhaar is *dominant* over stijl haar. De haarstijl wordt aangegeven met een K, de haarkleur met een W.

Een wit, krulharig mannetje wordt met een wit, stijlharig vrouwtje gekruist. Het mannetje is *homozygoot* voor haarkleur en *heterozygoot* voor haarstijl. Het vrouwtje is *heterozygoot* voor een haarkleur en *homozygoot* voor haarstijl.



1. Wat is het genotype van het mannetje?
2. Wat is het *genotype* van het vrouwtje?

97) Vervolgens is de vraag welke genotypen bij de *geslachtscellen* voorkomen. In dit geval zijn dat per ouderdier 2 combinaties. Namelijk:

Voor het mannelijke dier:

1. KW en kw
2. KW en kW
3. Kw en Kw
4. Kw en kw

98) Voor het vrouwelijke dier:

1. KW en kw
2. KW en kW
3. Kw en Kw
4. kW en kw

In een kruisingsschema:

	KW	kW
kW		
kw		

99) Welke combinaties ontstaan er:

	KW	kW
kW	1	2
kw		

1. –
2. –

100) Welke combinaties ontstaan er in de tweede rij:

	KW	kW
kW		
kw	1	2

1. –
2. –

Het complete kruisingsschema ziet er als volgt uit:

	KW	kW
kW	KkWW	kkWW
kw	kKWw	kkWw

101) Wat is de fenotypen verhouding van de F1?

1. Wit-krul
2. Wit-stijl
3. Zwart-krul
4. Zwart-stijl

(Bij cavia's is wit haar *dominant* over een zwarte vacht. Krulhaar is *dominant* over stijl haar. De haarstijl wordt aangegeven met een K, de haarkleur met een W.)

Kies uit 0, 1, 2, 3 of 4.

1. –
2. –
3. –
4. –

102) Door genetische manipulatie hebben vrouwelijke kalkoenen een X en een Y *chromosomen*. Mannelijke dieren hebben twee X-*chromosomen*. Dieren met twee Y-*chromosomen* sterven in een vroeg embryonaal stadium af. Bij kalkoenen kunnen de X-*chromosomen* van *eicellen* in onbevuchte eieren zich delen. Als de eieren bebroed worden ontstaat een diploïd kuikentje dat zich normaal ontwikkelt, en vruchtbaar is.



Over de ontwikkeling van een kuiken dat uit een onbevucht ei is ontstaan worden enkele beweringen gedaan. Welke is/zijn waar?

1. De *eicel* waaruit het kuiken is ontstaan was aanvankelijk haploïd.
2. Het kuiken heeft als *geslachtschromosomen* X en Y.

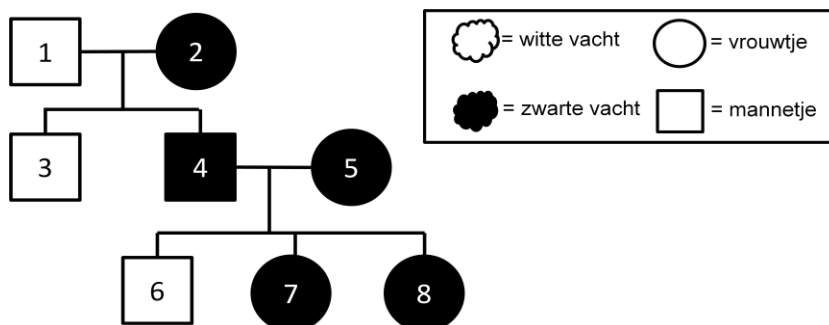
1. –
2. –

103) Uit een aantal onbevuchte eieren komen kuikens. In welke verhouding zullen die eieren haantjes of hennetjes komen?

- A. Er komen alleen haantjes uit
- B. Er komen alleen hennetjes uit
- C. 50% zijn haantjes, 50% zijn hennetjes

1. –

104) Onderstaande afbeelding geeft de *stamboom* van konijnen weer. De kleur zwart is *dominant*. Welk *genotype* kan konijn 2 hebben voor de haarkleur?



- A. Alleen AA,
- B. Alleen Aa,
- C. Alleen aa
- D. AA of Aa

1. –

105) Welk *genotype* heeft konijn 6 voor de haarkleur?

- A. Alleen AA
- B. Alleen Aa
- C. Alleen aa
- D. AA of Aa

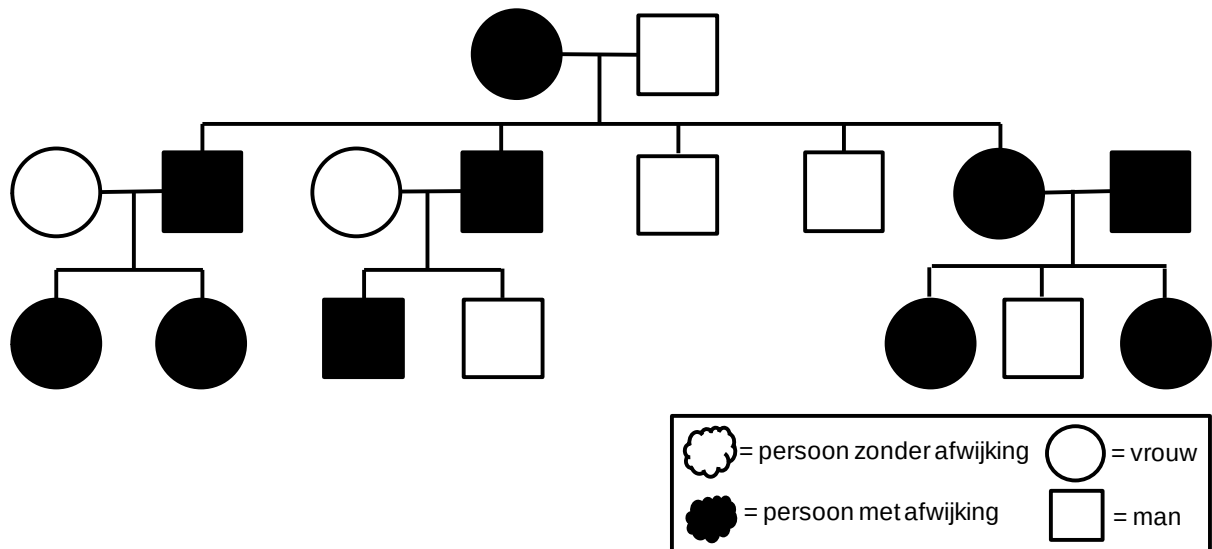
1. –

106) Welk *genotype* heeft konijn 8 voor de haarkleur?

- A. Alleen AA
- B. Alleen Aa
- C. Alleen aa
- D. AA of Aa

1. –

107) Onderstaande afbeelding geeft de *stamboom* van een familie weer. In de familie komt een afwijking voor die wordt veroorzaakt door één gen. De kleur zwart geeft de personen die de afwijking hebben aan. Wordt de aandoening veroorzaakt door een *dominant* of *recessief* gen?



1. –

108) Is de aandoening X-chromosomaal?

1. –

Hoofdstuk 5: Moleculaire *genetica*

109) Om eiwit X te maken wordt er een “afschrift” gemaakt van een stukje *DNA*. Welk deel van het *DNA* is dat?

1. Het deel van het *DNA* waar de “code” voor het *RNA* besloten ligt.
2. Het deel van het *DNA* waar het chromosoom van eiwit X zich bevindt.
3. Het deel van het *DNA* waar het gen voor eiwit X zich bevindt.
4. Het deel van het *DNA* waar eiwit X zich bevindt

110) Het maken van een *DNA* “afschrift” wordt ook wel ...1... genoemd. Als gevolg hiervan ontstaat2....

- A. 1 = *translatie*, 2 = eiwit
- B. 1 = *synthese*, 2 = *mDNA*
- C. 1 = *transcriptie*, 2 = *RNA*
- D. 1 = *replicatie*, 2 = *tRNA*

111) Tijdens de *transcriptie* worden van het *DNA* de waterstofbruggen verbroken. Hierdoor gaan de *DNA* ketens uit elkaar. De *stikstofbasen* van één helft van het *DNA* worden “opgevuld” met bijpassende basen.

Wat is de basenvolgorde van het *RNA* dat *complementair* is aan het volgende stuk *DNA*?

DNA= CAATGGTAGTTGAT

1. *RNA* =

112) Nadat het *RNA* gevormd is wordt dit vanuit de1.... naar het *cytoplasma* in de cel getransporteerd. In het *cytoplasma* bevinden zich de2.... waar de uiteindelijke3.... plaatsvindt. Dit laatste proces wordt ook wel de4.... genoemd. Kies uit *golgi-systeem*, *transcriptie*, *translatie*, *celmembraan*, *celkern*, *ribosomen*, *eiwitsynthese* en *polymerase*

1. –
2. –
3. –
4. –

113) Er zijn drie typen *RNA* te onderscheiden. Elk type heeft een eigen functie bij de *eiwitsynthese*. Welk type hoort bij de hieronder beschreven functies/eigenschappen?

1. Dit type *RNA* bevat de code voor een bepaald eiwit
2. Dit type *RNA* zorgt ervoor dat *aminozuren* in de juiste volgorde aaneengekoppeld worden
3. Dit type *RNA* kan *aminozuren* binden

1. –
2. –
3. –

114) *Eiwitten* bestaan uit een aaneenschakeling (polymeer) van *aminozuren*. Door verschillende *aminozuren* te combineren ontstaat een specifiek eiwit. Het *mRNA* bevat de code voor een eiwit. Bij elk aminozuur hoort één specifieke nucleotidenvolgorde, bestaande uit drie basen. Dit wordt een codon genoemd. In onderstaande tabel zijn de codons van enkele *aminozuren* weergegeven.

Wat is de aminozuurvolgorde behorende bij het onderstaande stuk *mRNA*?

mRNA = CUCGCCUUUAAACGCAAACGC

Aminozuur	Nucleotiden (codon)
A	UUU
B	AUA
C	GCC
D	CGC
E	CUC
F	CUA
H	UGU
I	UCA
J	AAA

1. –

115) Om een eiwit te maken worden in de *ribosomen* *aminozuren* aaneengekoppeld. Daartoe worden de *aminozuren* gekoppeld aan het *tRNA*. Het *tRNA* transporteert de *aminozuren* naar de *ribosomen*. Elk aminozuur heeft een eigen tRNA-molecuul. Dit *tRNA* vormt een *anticodon* dat precies past op een codon van het *mRNA*.

Wat zal de nucleotidenvolgorde zijn van het *anticodon* van het *tRNA* behorende bij de *aminozuren*:

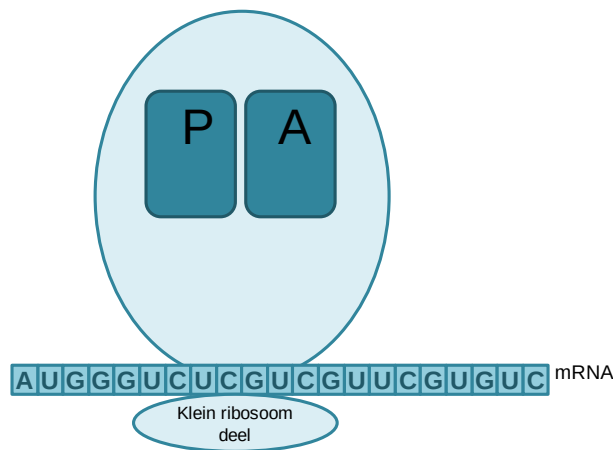
1. D
2. E
3. F
4. H

Aminozuur	
A	UUU
B	AUA
C	GCC
D	CGC
E	CUC
F	CUA
H	UGG
I	UCA
J	AAA

1. –
2. –
3. –
4. –

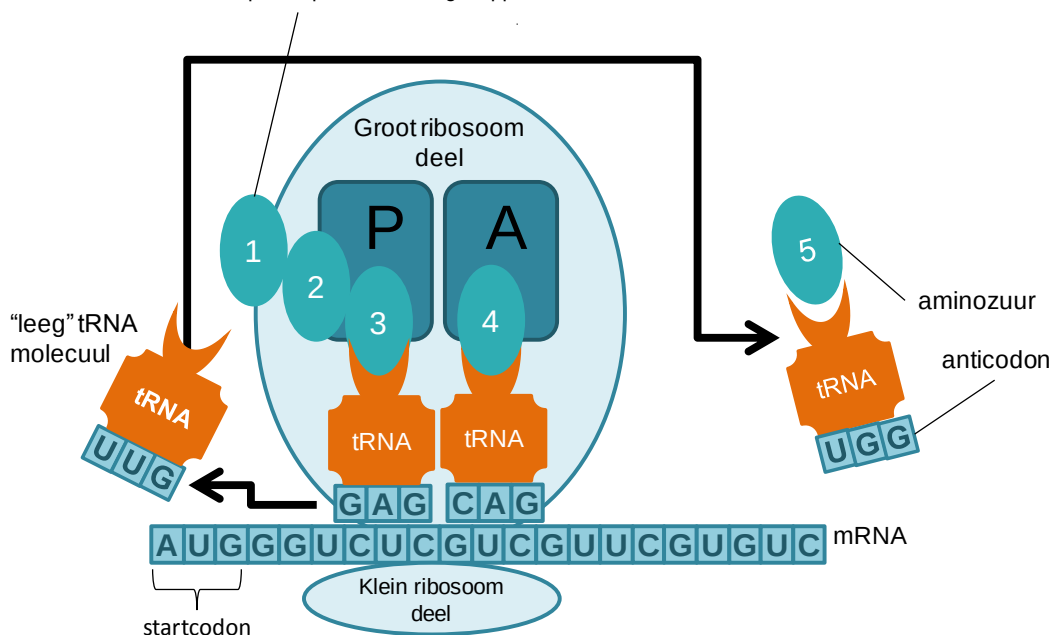
De *translatie* is een complex proces, in hoofdstuk 5 is de *translatie* schematisch weergegeven, Omdat de figuur vrij lastig te begrijpen is, wordt deze in de nu volgende stappen uitgewerkt.

1. Het *mRNA* wordt aan het ribosoom gekoppeld. Als eerste komt het *startcodon* (AUG). Dit is het “begin” van de eiwitcode. Het laatste codon (in dit geval GUC) is het *stopcodon*.



2. Aan het *tRNA* is door een *enzym* een aminozuur gekoppeld. Het *anticodon* (UAC) van het *tRNA* past precies op het *startcodon* van het *mRNA*. Het *tRNA*-molecuul-aminozuur-complex wordt ter hoogte van de “A” plaats op het ribosoom gekoppeld. Het geheel schuift vervolgens verder, richting “P” plaats.

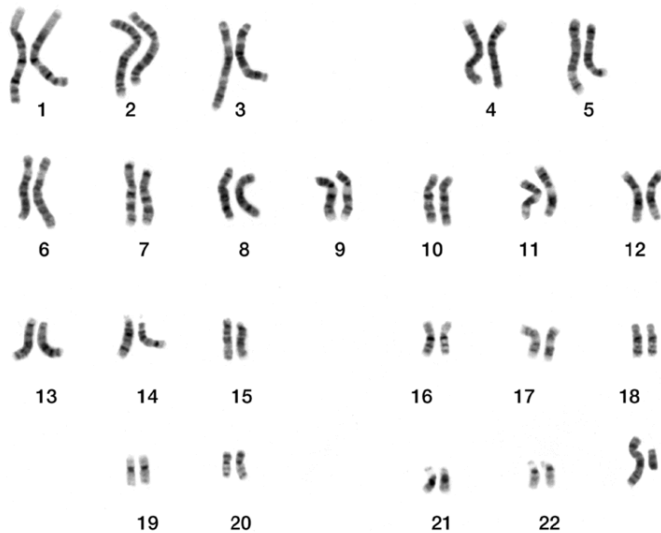
De aminozuren zijn genummerd. Nummer 1 is als eerste aangekoppeld, nummer 2 als tweede enz. Dit impliceert dat het startcodon voor aminozuur 1 zorgde, en het codon daarnaast (GGU) voor het tweede. De afleesrichting loopt dus van links naar rechts. Aminozuren worden op de P-plaats aaneengekoppeld.



3. Ter hoogte van de “P” plaats wordt het aminozuur ontkoppeld. Het lege *tRNA*-molecuul kan nu weer een binding aangaan met een bijpassend aminozuur. Inmiddels is een ander aminozuur gekoppeld aan een *tRNA*-molecuul met UUG als *anticodon*. Dit past precies op het codon GGU van het *mRNA*.
4. De stappen herhalen zich
5. Het aminozuur wordt aan het eerder geplaatste aminozuur “gekoppeld”. Dit proces herhaalt zich totdat het hele *mRNA*-molecuul is “afgewerkt”. In dit

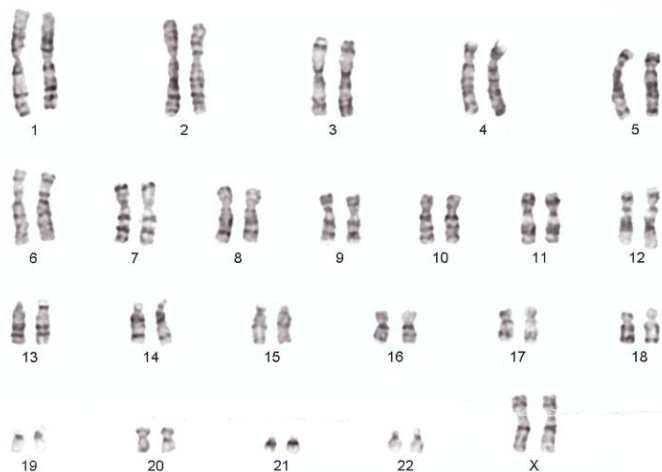
voorbeeld zullen er in totaal 7 *aminozuren* aan elkaar gekoppeld worden. Het mRNA-molecuul bestaat immers uit 7 codons (*tripletten*)

116) *Chromosomen* worden voor genetisch onderzoek vaak in kaart gebracht. Een zogenaamd karyogram. Dit lukt alleen bij gespiraliseerde *chromosomen* zoals in de metafase. De hieronder afgebeelde foto is van een dergelijk karyogram. Is het een karyogram van een man of een vrouw?



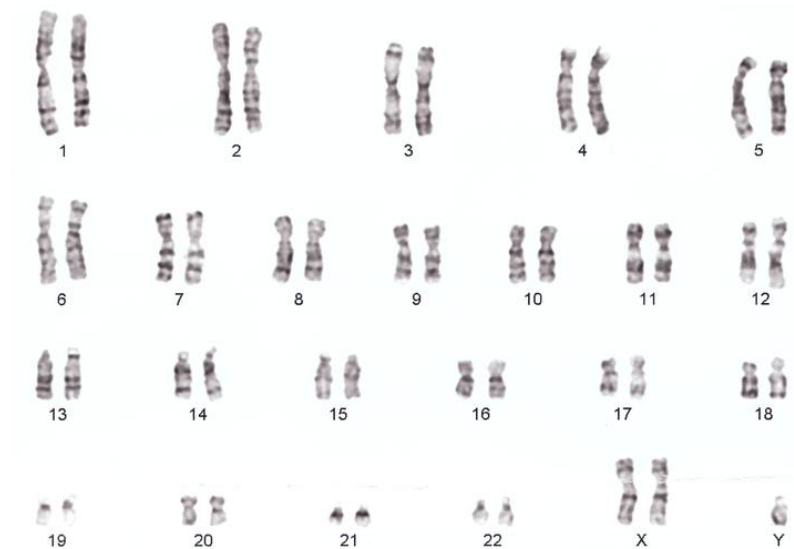
1. Een man
2. Een vrouw

117) Onderstaand karyogram is van een vrouw. Heeft er bij deze vrouw een *puntmutatie* plaatsgevonden?



1. Ja
2. Nee
3. Dat kun je niet zien op een karyogram

118) Van welk type *mutatie* is er hier sprake?

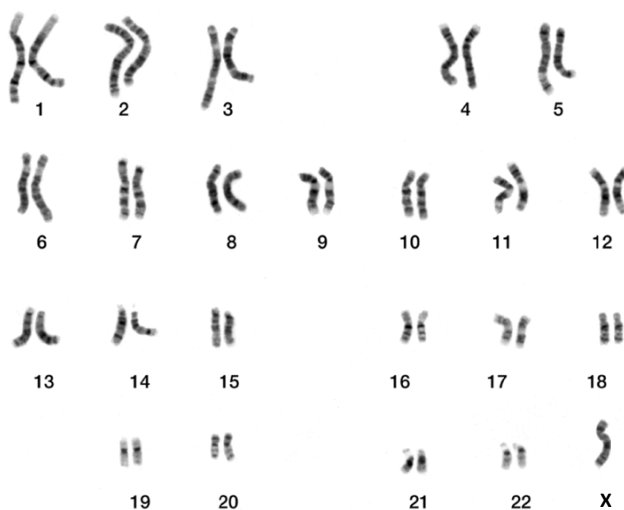


1. *Crossing-over*
2. Chromosoommutatie
3. *Non-disjunctie*
4. Melanisme

119) Van welk syndroom is er in vraag 119 sprake?

1. Cri du Chat
2. *Klinefelter*
3. *Down*
4. *Turner*

120) Van welk syndroom is er hieronder sprake?



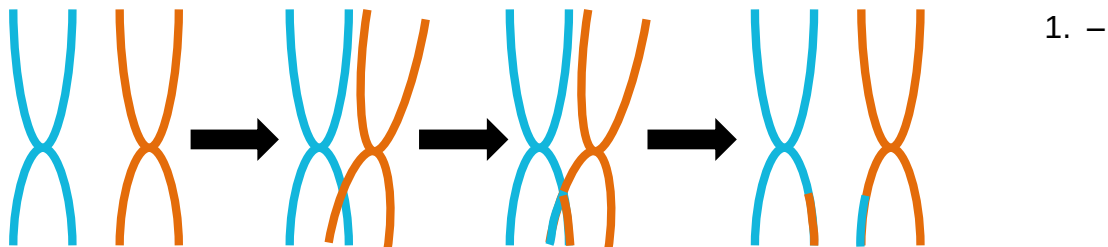
1. Cri du Chat
2. *Klinefelter*
3. *Down*
4. *Turner*

121) Hieronder zie je een afbeelding van een slang met twee koppen. Is dit een *mutatie*?

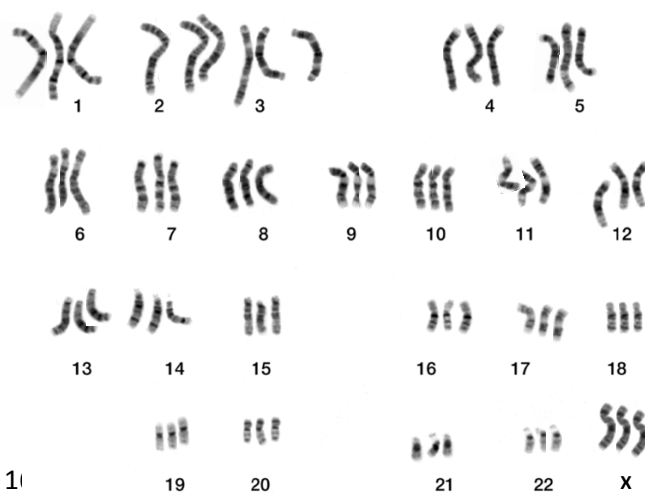


1. Ja, want er is een afwijking in het genetisch materiaal
2. Nee, want er is een afwijking in het genetisch materiaal
3. Ja, want er is geen afwijking in het genetisch materiaal
4. Nee, want er is geen afwijking in het genetisch materiaal

122) Welke vorm van *mutatie* is in onderstaande afbeelding schematisch weergegeven?



123) Wat is er aan de hand met de vrouw waarbij onderstaand karyogram aan het licht kwam?



1. De vrouw is *Haploïd*
2. De vrouw is *Diploïd*
3. De vrouw is *Triploïd*
4. De vrouw is *Tetraploïd*

Hoofdstuk 6: Het zenuwstelsel

124) Het lichaam van de mens reageert op invloeden uit de omgeving. Deze *prikkels* worden omgezet in *impulsen*. Vervolgens worden de *impulsen* in het zenuwstelsel voorgeleid waarna een bepaalde reactie volgt. Drie situaties waarin dit kan gebeuren, zijn:

1. Iemand komt in een sauna en begint te zweten
2. Iemand raakt een heet voorwerp aan en trekt in een reflex zijn hand terug
3. Een hongerig persoon ruikt voedsel en begint te watertanden

In welke van de drie genoemde situaties lopen de *impulsen* - die een reactie teweeg brengen - via de *hersenstam*?

1. Alleen bij reacties 1 en 2
2. Alleen bij reacties 1 en 3
3. Alleen bij reacties 2 en 3
4. Bij de reacties 1, 2 en 3

125) *Neuronen* hebben één ...1..., maar kunnen meerdere ...2... bezitten.

1. 1 = *dendriet*, 2 = *axonen*
2. 1 = *axon*, 2 = *dendrieten*
3. 1 = cellichaam, 2 = *axonen*
4. 1 = *dendriet*, 2 = cellichamen

126) De kuitspierreflex zorgt ervoor dat – zodra het lichaam te ver naar voren helt – de oorspronkelijke lichaamshouding wordt hersteld. Als het lichaam te ver naar voren helt, rekken de kuitspieren op. Dit leidt tot de genoemde reflex die de kuitspieren doet spannen.

Hoe verloopt de *reflexboog* van de kuitspierreflex?

1. Via het *ruggenmerg*
2. Via de *hersenstam*
3. Via de *grote hersenen*
4. Via alle drie hierboven vermelde structuren

127) De *reflexboog* van de kuitspierreflex bestaat uit vijf delen;

1. Een *motorisch neuron*
2. Een *schakel neuron*
3. Een *sensorisch neuron*
4. Een *spier*
5. Een *spierzintuig*

In welke volgorde zijn deze delen bij de *reflexboog* betrokken?

1. 4-1-2-3-5
2. 5-1-3-2-4
3. 5-3-2-1-4
4. 3-2-1-5-4

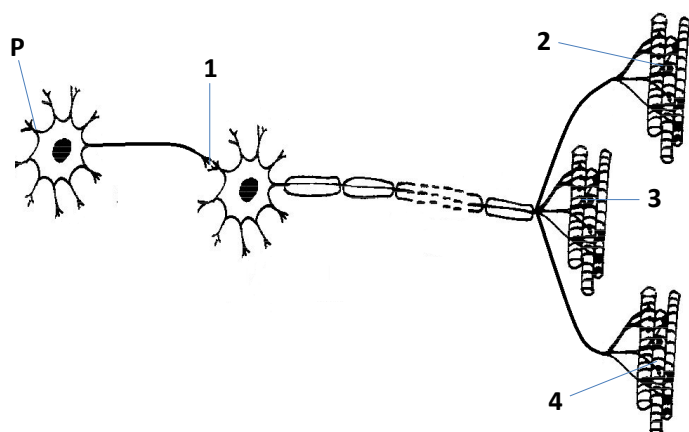
128) Van welk deel (of delen) van het *autonome zenuwstelsel* neemt de activiteit toe tijdens het intensief beoefenen van een sport?

1. Alleen van het *orthosympatische* deel van het *autonome zenuwstelsel*
2. Alleen van het *parasympatische* deel van het *autonome zenuwstelsel*
3. Van zowel het *orthosympatische* als het *parasympatische* deel van het *autonome zenuwstelsel*
4. Van het *animale* deel van het *autonome zenuwstelsel*

129) Tijdens het sporten scheurt een persoon een spier. De blessure wordt onmiddellijk gekoeld met ijs. Beïnvloedt dit koelen de frequentie van *impulsen* naar de hersenen en wordt de impulsfrequentie hoger of lager?

1. Nee, het koelen beïnvloedt de impulsfrequentie niet
2. Ja, de impulsfrequentie blijft gelijk
3. Ja, de impulsfrequentie wordt hoger
4. Ja, de impulsfrequentie wordt lager

130) Op onderstaande afbeelding is schematisch een *motorisch neuron*, *schakelneuron* en drie *spiervezels* weergegeven. Op plaats "P" wordt de schakelcel geprikkeld. Hierdoor ontstaan *impulsen* die de *spiervezels* doen samentrekken. Op welke plaatsen worden *neurotransmitters* afgegeven?



1. Op plaats 1
2. Op plaats 2
3. Op plaats 2, 3 en 4
4. Op alle vier de plaatsen

131) Als reactie op een infectie neemt de *lichaamstemperatuur* toe. Dit wordt koorts genoemd. Koorts ontstaat door toenemende activiteit (impulsfrequentie) van het ...

1. Het animale zenuwstelsel
2. Orthosympatische deel van het *autonome zenuwstelsel*
3. *Parasympatische* deel van het *autonome zenuwstelsel*

132) Vanuit de hersenen worden *impulsen* via het1.... –zenuwstelsel naar de spieren voortgeleid. *Impulsen* worden via het2.... –zenuwstelsel vanuit de hersenen naar speekselklieren geleid.

1. 1 = animale, 2 = animale
2. 1 = autonome, 2 = autonome
3. 1 = animale, 2 = autonome
4. 1 = autonome, 2 = animale

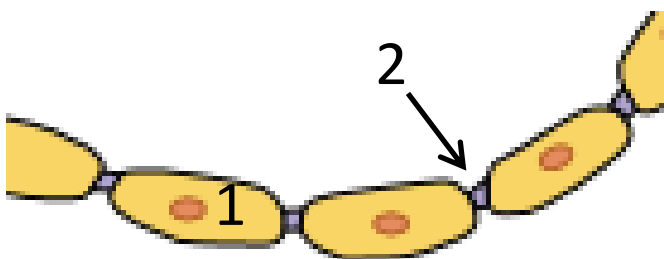
133) *Zintuigcellen* worden ook wel ...1.... Genoemd. Spiercellen en speekselklieren zijn voorbeelden van2....

1. –
2. –

134) Veronderstel dat een *impuls* langs een gemyeliniseerd *neuron* “A” wordt voortgeleid. Eenzelfde *impuls* wordt langs een even dik ongemyeliniseerd *neuron* “B” voortgeleid. Is de snelheid waarmee de *impuls* wordt voortgeleid bij *neuron* B lager, gelijk, of groter dan bij *neuron* “A”?

1. Lager
2. Gelijk
3. Groter

135) Op de onderstaande afbeelding staat een gemyeliniseerd *neuron*. Benoem de genummerde onderdelen. Kies uit *axon*, *cellichaam*, *dendriet*, *insnoering*, *myelineschede* en *insnoering*.



1. –
2. –

136) De afstand tussen twee insnoeringen wordt ook wel internodaal segment genoemd. Tijdens de embryonale ontwikkeling en het eerste levensjaar neemt de lengte van een internodaal segment toe. Normaliter worden er geen nieuwe internodale segmenten meer gevormd.

De voorgeleidingsnelheid van een *impuls* bij een pasgeborene wordt vergeleken met die van een volwassen man. De *impulsen* worden bij de baby voortgeleid dan bij een volwassene

1. Langzamer
2. Even snel
3. Sneller

137) Een *neuron* krijgt kort na elkaar twee *prikkels* toegediend. De eerste *prikkel* is net boven de *drempelwaarde* terwijl de tweede *prikkel* sterker is dan de eerste

- 1) Zal bij de tweede *prikkel* de impulssterkte in het *axon* toenemen of gelijk blijven?
 - 2) En de impulsfrequentie?
1. 1) toenemen, 2) toenemen
 2. 1) toenemen, 2) gelijk blijven
 3. 1) gelijk blijven, 2) gelijk blijven
 4. 1) gelijk blijven, 2) toenemen

138) De *natrium-kalium pomp* pompt Na^+ -ionen ...1.... en K^+ -ionen ...2....

1. 1) in de cel, 2) in de cel
2. 1) in de cel, 2) uit de cel
3. 1) uit de cel, 2) in de cel
4. 1) uit de cel, 2) uit de cel

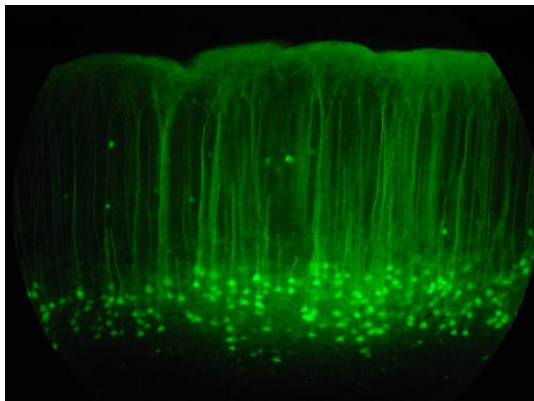
139) Wanneer is een *zenuwcel* ongevoelig voor *prikkels*?

1. Tijdens de *depolarisatie*
2. Tijdens de *repolarisatie*
3. Tijdens de *refractaire periode*

140) Door welke van onderstaande krachten worden kaliumionen uit een *zenuwcel* getransporteerd wanneer deze in rust is?

1. Door de *concentratiegradiënt*
2. Door de elektrische gradiënt
3. Door zowel de *concentratie-* als de elektrische gradiënt
4. Door de Na^+ - K^+ -pomp

141) Hieronder is een afbeelding van *dendrieten* in de somatosensorische cortex van een muis te zien.

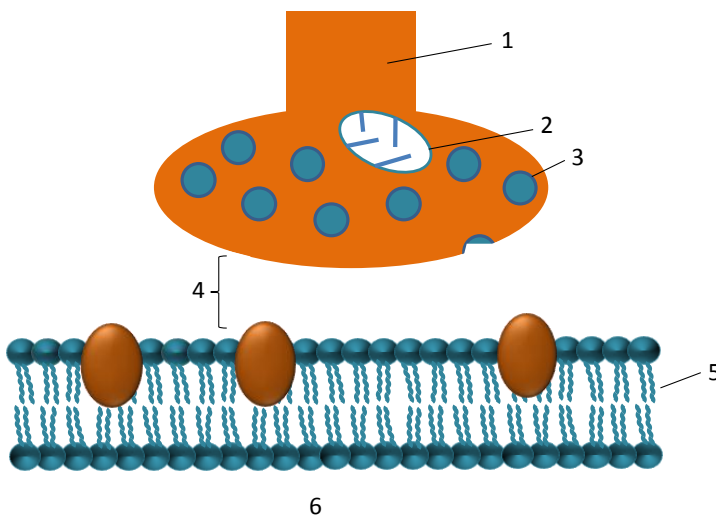


{ Dendrieten
 { Cellichamen

Alle *dendrieten* van één *neuron* worden ook wel een *dendrietenboom* genoemd. Welke van de stelling(en) over *dendrieten* is juist?

1. *Dendrieten* staan in contact met *zintuigcellen*
2. *Impulsen* lopen langs *dendrieten* van het cellichaam af
3. *Dendrieten* hebben eindknopjes die *neurotransmitters* bevatten
4. *Schakelneuronen* hebben geen *dendrieten*

142) Benoem de onderdelen van de onderstaande afbeelding. Kies uit *synapsspleet*, post-synaptisch membraan, pre-synaptisch membraan, pre-synaptisch element, post-synaptisch element, mitochondrie, blaasjes met *neurotransmitter*.



1. —
2. —
3. —
4. —
5. —
6. —

143) In de bovenstaande figuur is een uitvergroting van een *axon*, *synapsspleet* en *neuron* weergegeven. In welke richtingen kunnen *impulsen* worden overgedragen?

1. Alleen van het *postsynaptisch element* op het presynaptisch element
2. Alleen van het presynaptisch element op het *postsynaptisch element*
3. In beide richtingen

144) Veronderstel dat de synaptische blaasjes van het presynaptisch element op een bepaald moment de *neurotransmitter Acetylcholine* afgeven. Er ontstaat in het “ontvangende” *neuron* een *impuls*. Dit kan komen doordat...

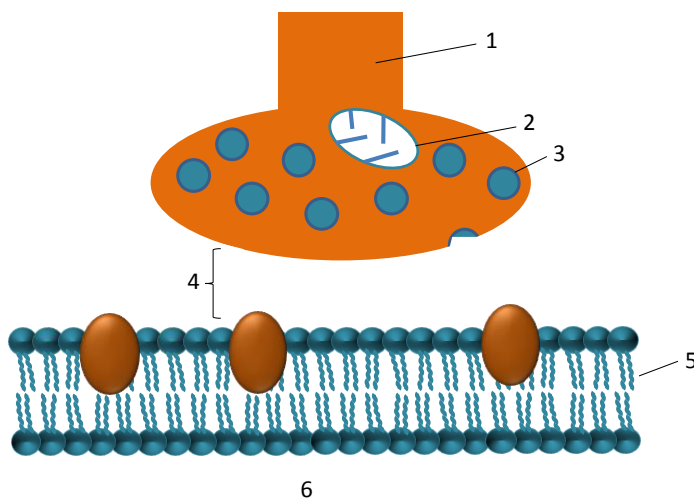
- 1) De hoeveelheid afgegeven *neurotransmitter* te klein was
- 2) De uitloper van een ander *neuron* tegelijkertijd een andere ‘inhiberende’ transmitter afgaf

1. Alleen verklaring 1 is correct
2. Alleen verklaring 2 is correct
3. Beide verklaringen zijn correct

145) Om in een *postsynaptisch element* een *impuls* te doen ontstaan, worden de *depolarisaties* bij elkaar opgeteld. Hoe wordt dit verschijnsel genoemd?

1. Post-polarisatie
2. *Summatie*
3. Hypo-polarisatie
4. Stimulatie

146) Bepaalde stoffen kunnen wat structuur betreft erg veel lijken op *Acetylcholine*. Daardoor is het mogelijk dat dergelijke stoffen de plaatsen bezetten waar zich normaliter het *Acetylcholine* hecht. Waar bevinden zich die plaatsen?



1. In het *cytoplasma* van het *postsynaptisch element* (6)
2. In het membraan van het *postsynaptisch element* (5)
3. In de *synapsspleet* (4)

147) *Acetylcholinesterase* zet het afgegeven *Acetylcholine* om in stoffen die niet als *transmitterstof* werkzaam zijn. De werking van bepaalde medicijnen berust op het feit dat ze het *enzym Acetylcholinesterase* remmen.

Veronderstel dat een *impuls* ervoor zorgt dat er door *neuron "P"* *Acetylcholine* wordt afgegeven in de *synapsspleet*. In de *synapsspleet* bevindt zich echter ook een medicijn dat *Acetylcholinesterase* remt. Welk effect heeft dit op het ontvangende *neuron "S"*?

1. Er ontstaan geen *impulsen* in *neuron S*
2. Er ontstaan minder *impulsen* in *neuron S*
3. Er ontstaan meer *impulsen* in *neuron S*

148) In welke van onderstaande structuren bevinden zich de cellichamen van *neuronen*?

1. Hersenschors
2. Centrale kanaal
3. Spinale ganglia
4. Witte stof ruggenmerg
5. *Neuron*
6. Vliedervormige merg

149) Waar bevindt zich de *thalamus*?

1. In de *grote hersenen*
2. In de kleinen hersenen
3. In de *hersenstam*
4. In het *ruggenmerg*

150) De *kleine hersenen* ontvangen *impulsen* vanuit?

1. De *grote hersenen*
2. De *hersenstam*
3. Het *ruggenmerg*
4. De *thalamus*

151) Een persoon wordt onder zijn linkervoet gekieteld. Waar vindt de bewustwording van deze prikkeling plaats?

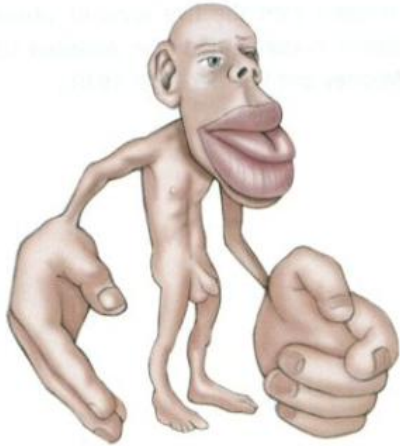
1. In de primaire sensorische cortex van de rechter hersenhelft
2. In de primaire sensorische cortex van de linker hersenhelft
3. In de secundaire sensorische cortex van de rechter hersenhelft
4. In de secundaire sensorische cortex van de linker hersenhelft

152) Van waaruit worden *impulsen* naar spieren in de linkerarm gestuurd?

1. De primaire motorische cortex van de rechter hersenhelft
2. In de primaire motorische cortex van de linker hersenhelft
3. In de secundaire motorische cortex van de rechter hersenhelft
4. In de secundaire motorische cortex van de linker hersenhelft

Hoofdstuk 7: Zintuiglijke waarneming

153) Hieronder een afbeelding van een mannetje waarbij te zien is waar de meeste tastzintuigen zich bevinden; de handen en de lippen. Welke van onderstaande stellingen over *zintuigcellen* zijn waar?



- 1) *Zintuigcellen* zetten *impulsen* om in *prikkels*
- 2) *Zintuigcellen* nemen alleen *veranderingen* van het interne of externe milieu waar
- 3) Alle *zintuigcellen* zijn even gevoelig voor een bepaalde *prikkel*
- 4) *Zintuigcellen* “wennen” aan een prikkel als ze daaraan langdurig worden blootgesteld

1. Stelling 1, 2 en 3
2. Stelling 1 en 4
3. Alleen stelling 3
4. Alleen stelling 4

154) Als iemand in je arm knijpt dan voel je dat. Welk type *zintuigcellen* is betrokken bij deze waarneming?

1. *Proprioreceptoren*
2. Tastzintuigen
3. Drukszintuigen
4. *Osmoreceptoren*

155) Welke *zintuigcellen* zijn betrokken bij de waarneming van het gewicht van een voorwerp dat je optilt?

1. *Proprioreceptoren*
2. Tastzintuigen
3. Drukszintuigen
4. *Osmoreceptoren*

156) Een proefpersoon (A) wordt met een speld geprikt. De persoon geeft aan daar niets van te voelen. Een ander proefpersoon (B) die met dezelfde kracht met een speld wordt geprikt, vergaat van de pijn.

Met welke term is het bovengenoemde voorbeeld te verklaren?

1. –

157) Een proefpersoon (A) wordt met een speld geprikt. De persoon geeft aan daar niets van te voelen. Een ander proefpersoon (B) die met dezelfde kracht met een speld wordt geprikt, vergaat van de pijn.

Welke uitleg is correct?

1. De *drempelwaarde* van persoon A is hoger dan die van persoon B
2. De *drempelwaarde* van persoon A is lager dan die van persoon B

158) Als je je hand in een emmer met water van 25°C steekt, ervaar je dat als “lauw”. Als je je hand in een emmer met water van 50°C steekt, ervaar je dat als “heet”.

Warmtezintuigen zijn dus in staat verschillen in temperatuur waar te nemen.

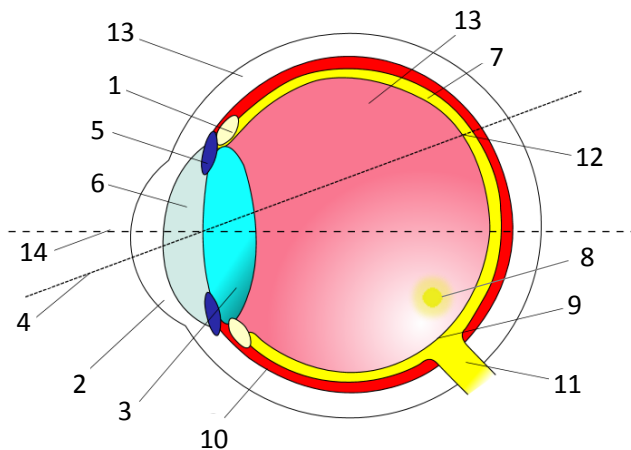
Waarmee heeft dit te maken?

1. Met de pijngrens
2. Met adaptatie
3. Met de impulsfrequentie
4. Met *adequate prikkels*

159) Welke uitleg is correct in het bovenstaande voorbeeld?

1. De impulsfrequentie is bij voorbeeld 1 hoger dan bij voorbeeld 2.
2. De impulsfrequentie is bij voorbeeld 1 lager dan bij voorbeeld 2.

160) Hieronder is een afbeelding van het oog te zien. Bij welk nummer bevinden zich de *zintuigcellen*?



1. –

161) Welke structuur is betrokken bij het bewegen van het oog (niet aanwezig in de bovenstaande figuur)?

1. –

162) Welk nummer geeft de *lens* aan in de bovenstaande figuur?

1. –

163) Welk nummer geeft het straalvormig lichaam weer?

1. –

164) Welk nummer geeft een *glasachtig lichaam* weer?

1. –

165) Welk nummer geeft de blinde vlek aan?

1. –

166)

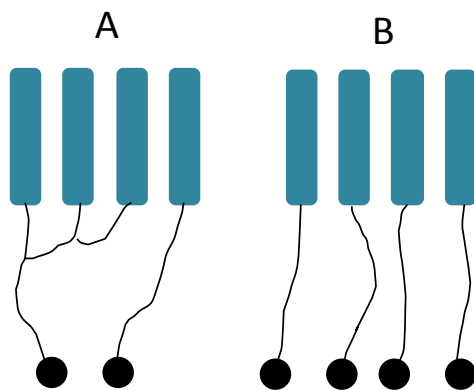
1) Waar op het *netvlies* wordt een beeld het scherpst waargenomen?

2) Hoe wordt die plaats genoemd?

1. –

2. –

167) De *zintuigcellen* van het oog zijn in twee typen te verdelen. Welke van onderstaande afbeeldingen (A of B) geeft de *staafjes* weer?



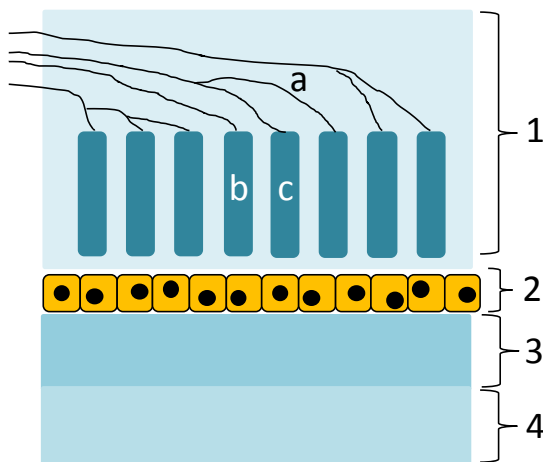
1. Afbeelding A geeft de *staafjes* weer
2. Afbeelding B geeft de *staafjes* weer

168) Waaraan kun je zien dat de *staafjes* zijn afgebeeld in afbeelding A?

De *impulsen* van meerdere *staafjes* worden door één1.... doorgegeven.
Kegeltjes echter hebben elk een eigen

1. –

169) Hieronder is schematisch een doorsnede van de oogwand weergegeven. Welk(e) nummer(s) geven het *netvlies* aan?



1. Alleen nummer 1
2. Alleen 1 en 2
3. Alleen nummer 2 en 4
4. Nummer 1, 2, 3 en 4

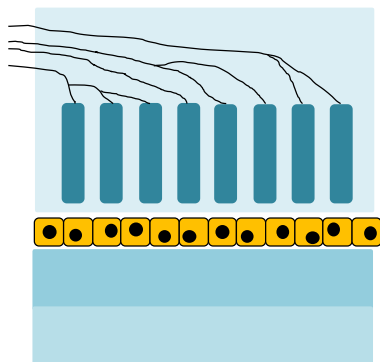
170) Zie bovenstaande figuur

1. Uit hoeveel verschillende lagen bestaat het *netvlies*?
2. Hoe heet laag 3?
3. Wat is de naam van laag 4?

171) Nogmaals in de figuur hierboven

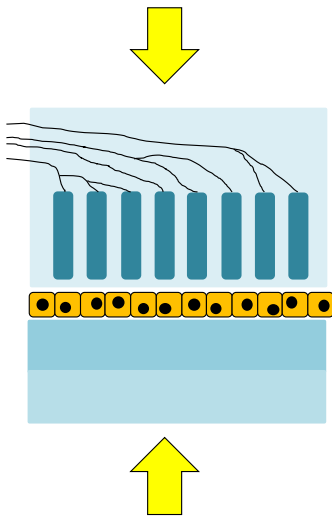
1. Wat is de structuur aangegeven met "a"?
2. Wat is de structuur aangegeven met "b"?
3. Wat is de structuur aangegeven met "c"?

172) Waarom kan onderstaande afbeelding geen detail zijn van de *gele vlek*?



1. In de *gele vlek* komen geen *staafjes* en *kegeltjes* voor
2. In de *gele vlek* komen geen *staafjes* voor
3. In de *gele vlek* ontbreekt de laag pigmentcellen
4. In de *gele vlek* ontbreekt het vaatvlies

173) Hieronder is schematisch een doorsnede van de oogwand weergegeven. Welke pijl (boven of beneden) geeft de juiste richting van de lichtinval weer?



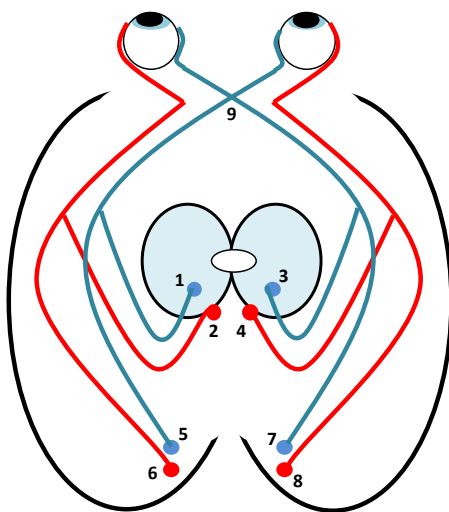
1. De bovenste pijl
2. De onderste pijl

174) Beantwoord de volgende vragen met ja of nee

1. Is het *enzym* dat betrokken is bij de vorming van *rodopsine* ook direct betrokken bij het opwekken van een *impuls*?
2. Hebben *staafjes* een *refractaire periode*?
3. Is de *drempelwaarde* van *staafjes* lager dan die van *kegeltjes*?

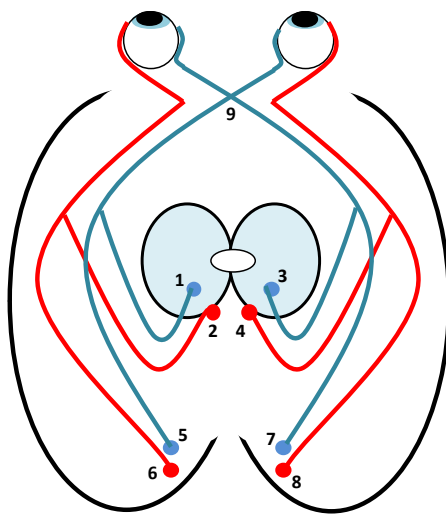
1. –
2. –
3. –

175) Onderstaande afbeelding geeft schematisch de weg van de oogzenuw weer. Bij welk nummer worden de *impulsen* van de rechterkant van het *netvlies* van het linkeroog verwerkt in het primaire optisch centrum?



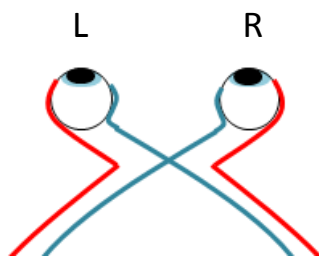
1. –

176) Onderstaande afbeelding geeft schematisch de weg van de oogzenuw weer.
Waar bevindt zich het *chiasma opticum*?



1. -

177) Onderstaande afbeelding geeft schematisch de weg van de oogzenuw weer.
Beschadigingen aan de oogzenuw(en) zijn er vaak de oorzaak van dat het



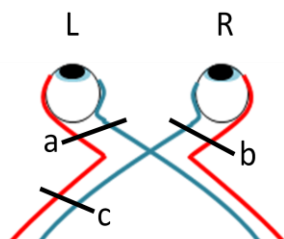
○ Waargenomen
● Niet waargenomen

	L	R
1	●	●
2	○	●
3	●	●
4	●	●

gezichtsveld uitvalt.
Veronderstel dat bij een persoon beide zenuwen ter hoogte van het *chiasma opticum* zijn beschadigd. Hoe ziet het gezichtsveld van een dergelijk persoon eruit? (L=linkeroog, R=rechteroog, + zie legenda)

1. -

178) Onderstaande afbeelding geeft schematisch de weg van de oogzenuw weer.



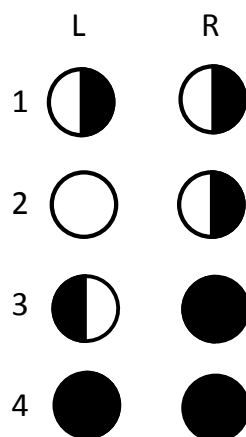
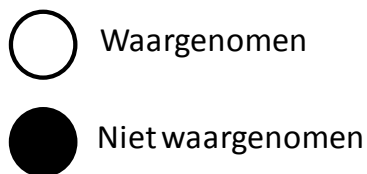
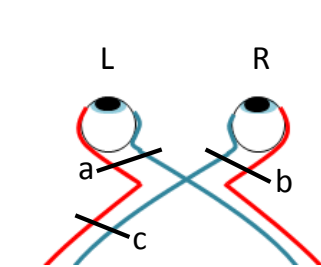
○ Waargenomen
● Niet waargenomen

	L	R
1	●	●
2	○	●
3	●	●
4	●	●

Beschadigingen aan de oogzenuw(en) zijn er vaak de oorzaak van dat het gezichtsveld uitvalt. Veronderstel dat bij een persoon de zenuwen ter hoogte van "b" en "c" zijn doorgesneden. Hoe ziet het gezichtsveld van het "slachtoffer" eruit? (L=linkeroog, R=rechteroog, + zie legenda)

1. -

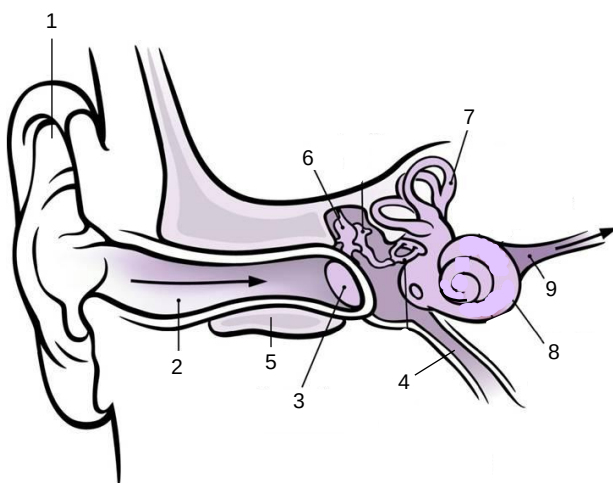
179) Onderstaande afbeelding geeft schematisch de weg van de oogzenuw weer. Beschadigingen aan de oogzenuw(en) zijn er vaak de oorzaak van dat het



gezichtsveld uitvalt. Veronderstel dat bij een persoon de zenuwen ter hoogte van "a" en "b" zijn doorgesneden. Hoe ziet het gezichtsveld van het "slachtoffer" eruit? (L=linkeroog, R=rechteroog, + zie legenda)

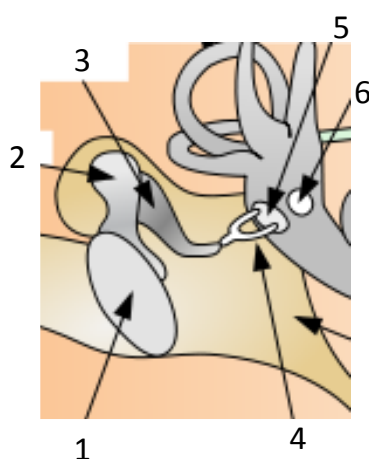
1. —

180) Benoem de onderdelen van het oor. Kies uit: bot, *buis van Eustachius*, evenwichtsorgaan, *trommelvlies*, *slakkenhuis*, gehoorgang, gehoorsbeentjes, gehoorszenuw, *hamer*, oorschelp en *ovale venster*.



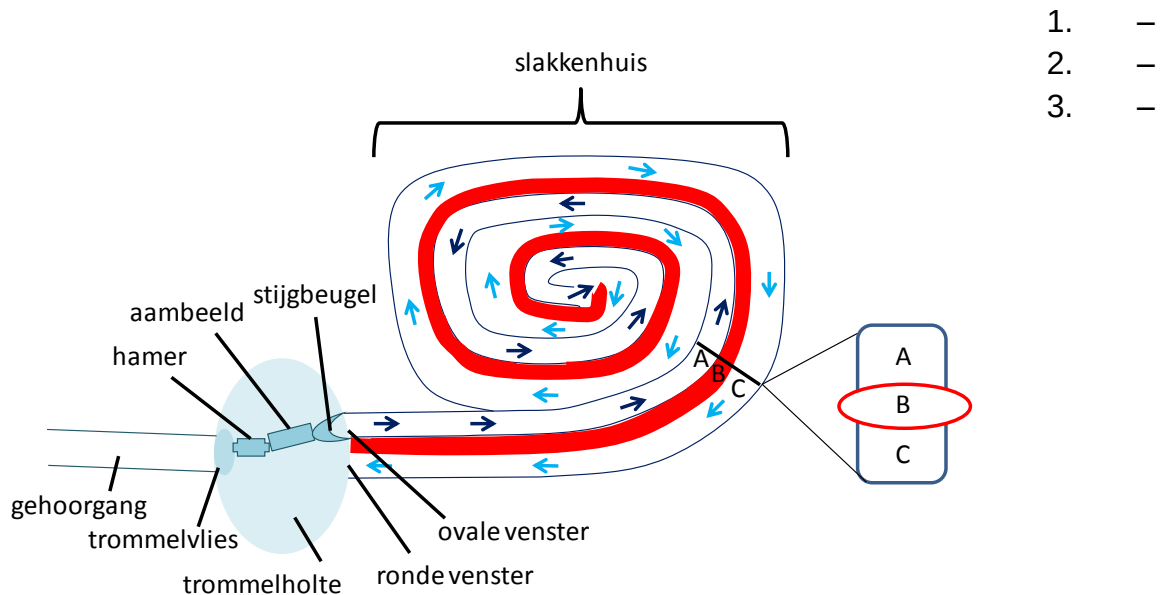
1. —
2. —
3. —
4. —
5. —
6. —
7. —
8. —
9. —

181) Benoem de genummerde onderdelen van het oor. Kies uit: *Stijgbeugel*, *ronde venster*, *ovale venster*, *hamer*, *trommelvlies* en *Aambeeld*.

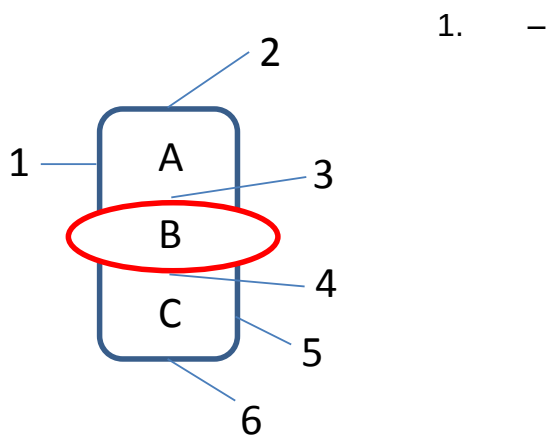


1. —
2. —
3. —
4. —
5. —
6. —

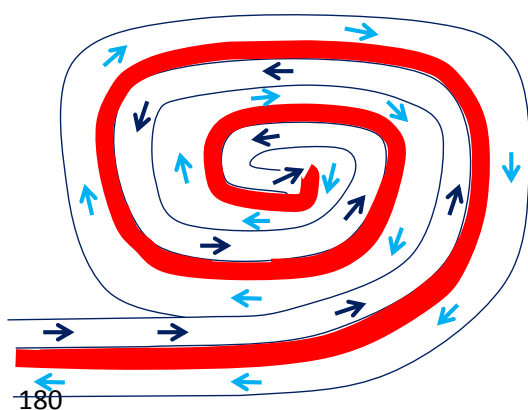
182) Hieronder zie je schematisch de werking van het oor. In de rechterafbeelding een dwarsdoorsnede van het *slakkenhuis*, Benoem A, B en C (A=1, B=2 en C=3). Gebruik de woorden: *basaal membraan*, *dakmembraan*, gehoorszenuw, *trommelholtetrap*, vliezige *slakkenhuis* of *voorhofstrap*.



183) Bij welk nummer in de dwarsdoorsnede is het basale membraan te vinden?

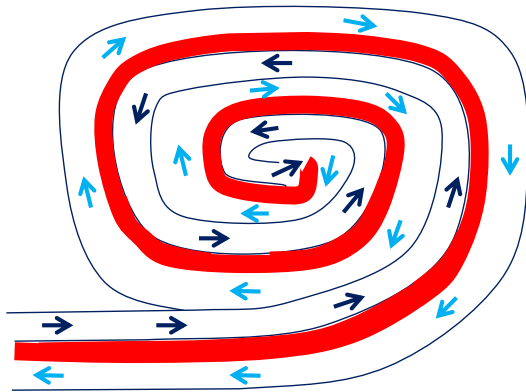


184) De afbeelding laat schematisch het *slakkenhuis* zien. Wat geven de donker- en lichtblauwe pijlen weer?



1. De weg die de *impuls* in het *slakkenhuis* aflegt.
2. De stroomrichting van de vloeistof in het *slakkenhuis*.
3. De plaatsen waar zich de *zintuigcellen* bevinden.
4. Alle drie de mogelijkheden zijn juist.

185) De afbeelding laat schematisch het *slakkenhuis* zien. De donkerblauwe pijlen geven de stroomrichting van de vloeistof in de *voorhofstrap* weer. Aan het eind van de spiraal gaat deze over in de *trommelholtetrap*. De stroomrichting daarin is aangegeven met de lichtblauwe pijlen. Het basale membraan gaat meetrillen bij verschillende frequenties. Welk deel trilt mee bij lage frequenties?



1. Het deel aan het begin van het *slakkenhuis*.
2. Het deel in het midden van het *slakkenhuis*.
3. Het deel aan het eind van het *slakkenhuis*.

Hoofdstuk 8: Hormonen

186) Drie hormonen zijn *adrenaline*, *glucagon* en *insuline*. Welke van deze hormonen worden afgegeven tijdens langdurige inspanning waarbij niet wordt gegeten?

1. *Adrenaline* en *glucagon*
2. *Adrenaline* en *insuline*
3. *Glucagon* en *insuline*

187) Hormonen hebben een bepaald effect op een *doelwitorgaan*. Dit komt doordat de doelwitorganen specifieke Hebben die het *hormoon* herkennen.

1. *Enzymen*
2. *Receptoreiwitten*
3. Membranen

188) Veronderstel dat een *doelwitorgaan* een bepaald *hormoon* maakt onder invloed van *hormoon X*. Als het *doelwitorgaan* defect is, wat gebeurt er dan met de hormoonspiegel van *hormoon X*?

1. Die daalt
2. Die blijft gelijk
3. Die stijgt

189) Een *doelwitorgaan* maakt onder invloed van *hormoon X*, het *hormoon P* aan. Op een gegeven moment heeft de hormoonspiegel van *hormoon P* bijna het optimum bereikt. Wat zal er gebeuren met de *concentraties* van beide hormonen in het bloed?

1. Beide hormoonspiegels stijgen
2. Beide hormoonspiegels dalen
3. De hormoonspiegel van P stijgt, terwijl die van *hormoon X* daalt
4. De hormoonspiegel van P daalt, terwijl die van *hormoon X* stijgt

190) Als een persoon wordt ingespoten met een *hormoon*, zal hormoonspiegel van dat *hormoon* stijgen. Na verloop van tijd is die hormoonspiegel weer gedaald. Hoe komt dat?

1. Al het *hormoon* wordt opgenomen door het *doelwitorgaan*
2. Het *hormoon* wordt omgezet tot een *second messenger*
3. Het *hormoon* wordt afgebroken door het *doelwitorgaan*
4. Het *hormoon* wordt afgebroken door de *lever*

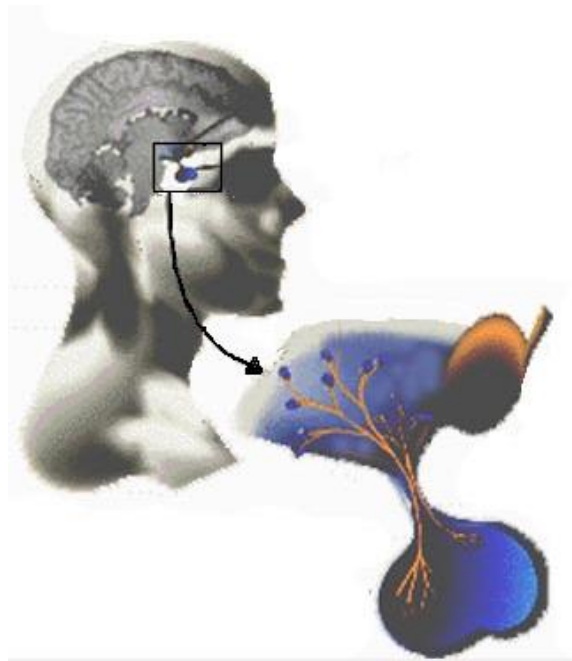
191) Als er een tekort aan *TH* in het lichaam is wordt er door de *hypothalamus TRF* geproduceerd. Dit *TRF* gaat via het poortaderstelsel naar de hypofyse die vervolgens *TSH* aanmaakt. Het *TSH* zet de *schildklier* aan tot productie van *TH*.

Is onderstaande bewering juist of onjuist?

“Als de hoeveelheid *TSH* onder de *drempelwaarde* van het *doelwitorgaan* (*schildklier*) ligt, zal er geen *TH* gemaakt worden.

1. –

192) Welke hormoonproducerende structuren zijn in het onderstaande plaatje te onderscheiden? Kies uit: *bijniermerg*, *hypofyse*, *corpus luteum*, *hypothalamus*, *thyroïd*.



1. –

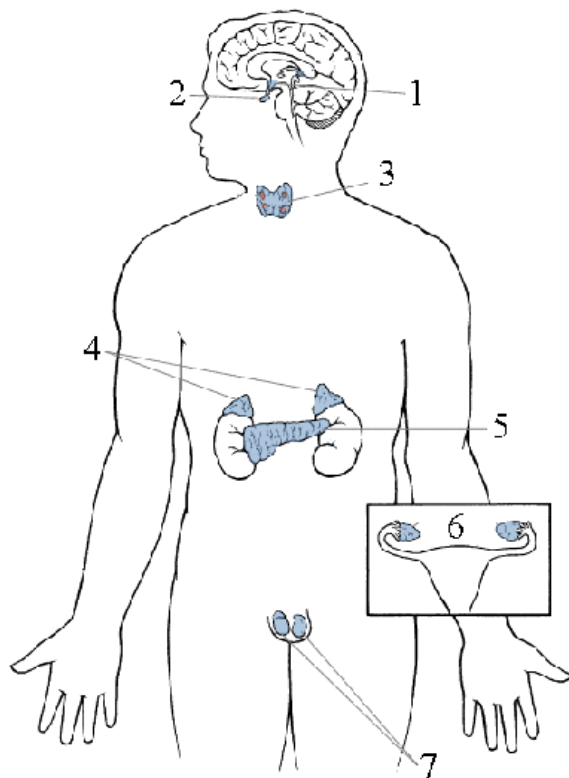
193) Er zijn twee soorten hormonen, namelijk (1) in vet oplosbare hormonen, en (2) niet in vet oplosbare hormonen. Beide typen binden zich aan zogenaamde receptor *eiwitten* van het doelwit orgaan. Waar in het *doelwitorgaan* bevinden zich die *receptoreiwitten*?

1. In het *celmembraan*
2. In het *cytoplasma*
3. Voor hormoon type 1 in het *celmembraan*, voor type 2 in het *cytoplasma*
4. Voor hormoon type 1 in het *cytoplasma*, voor type 2 in het *celmembraan*

194) Hormonen worden geproduceerd in *hormoonklieren*. Hoe komen hormonen uiteindelijk bij de doelwitorganen terecht?

1. Door *neurosecretie* van het *autonome zenuwstelsel*
2. Via het *sympatische zenuwstelsel*
3. Via haarvaten die van de *hormoonklier* naar het *doelwitorgaan* lopen
4. Via de bloedsomloop

- 195)** Op de afbeelding hieronder zie je de ligging van de belangrijkste *hormoonklieren* in het lichaam van de mens. Benoem de klieren. Kies uit: *bijnieren*, *epifyse*, *hypofyse*, *hypothalamus*, *ovaria*, *pancreas*, *schildklier*, *testes* en *thymus*.



- 1. —
- 2. —
- 3. —
- 4. —
- 5. —
- 6. —
- 7. —

- 196)** Hieronder staan 9 trefwoorden die te maken hebben met de werking van hormonen. Wat is de juiste volgorde?

- 1) *Transcriptie*
- 2) *Hormoon*
- 3) *Eiwit*
- 4) *Hormoonklier*
- 5) *Bloedsomloop*
- 6) *Binding*
- 7) *Kernmembraan*
- 8) *Translatie*
- 9) *Receptoreiwit*
- 10) *Doelwitorgaan*

- 1. 4, 1, 7, 8, 2, 5, 10, 9, 3, 6
- 2. 4, 2, 5, 10, 9, 6, 7, 1, 8, 3
- 3. 3, 5, 1, 6, 2, 8, 4, 7, 10, 9
- 4. 3, 4, 6, 5, 8, 1, 9, 10, 7, 2

197) De hormonen *TSH*, *ACTH*, *FSH* en *LH* worden gemaakt door de ...

1. *Hypofyse voorkwab*
2. *Testes*
3. *Bijnieren*
4. *Hypothalamus*

198) Welke hormonen worden gesynthetiseerd door de *hypofyse achterkwab*?

1. Alleen *vasopressine*
2. *Vasopressine* en *oxytocine*
3. *ADH* en *oxytocine*
4. Geen hormoon

199) Welk effect hebben de door de *schildklier* afgegeven hormonen op de *TSH* synthese van de *hypothalamus*?

1. Geen effect
2. Een stimulerend effect
3. Een remmend effect
4. Afhankelijk van de *TH* spiegel een remmend of stimulerend effect

200) Onderstaande termen hebben te maken met de synthese van het hormoon *ACTH*. Zet de termen in de juiste volgorde.

1=releasing factor

2=*hypofyse voorkwab*

3=*hypothalamus*

4=*ACTH*

1. –

201) Het feedbackmechanisme van de *TH* productie heeft een dubbele terugkoppeling. Als de *TH* spiegel hoog genoeg is heeft dit een ...(1)... effect op de ...(2)....en ...(3)

1. (1) remmend, (2) *TRF*, (3) *thyroxine*
2. (1) remmend, (2) *hypothalamus*, (3) *hypofyse*
3. (1) stimulerend, (2) *schildklier*, (3) *hypofyse*
4. (1) stimulerend, (2) *hypothalamus*, (3) *bijnier*

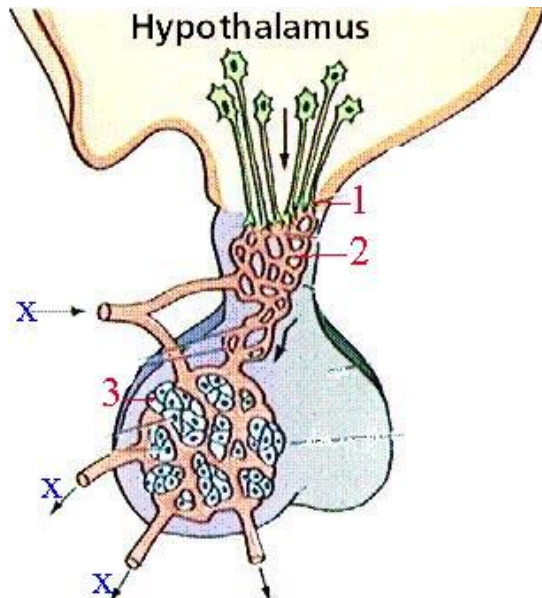
202) *Adrenaline* wordt geproduceerd door de *bijnieren*. Door welk mechanisme wordt dit gestuurd?

1. Door *Adrenaline Releasing Factor* vanuit de *hypothalamus*
2. Door *impulsen* van het *autonome zenuwstelsel*
3. Door chemoreceptoren in het *bijniermerg*
4. Door optie 1 en 3

203) Onder invloed van welk *hormoon* wordt door de *bijnierschors cortisol* gevormd?

1. Alleen *CRF*
2. Door *ACTH* en *CRF*
3. Alleen *ACTH*

204) Wat geven de pijlen met de blauwe X aan?



1. De stroomrichting van het bloed
2. De richting van de *impuls*
3. De plaatsen waar hormonen de hypofyse binnendringen en vervolgens weer verlaten

205) Welke stoffen worden in bovenstaande figuur door de structuur aangegeven met "1" afgescheiden?

1. –

206) Wat is in bovenstaande figuur de naam van de structuur aangegeven met het cijfer 2?

1. –

207) Welke stoffen worden in bovenstaande figuur door de cellen aangegeven met het cijfer 3 geproduceerd?

1. –

Hoofdstuk 9: *Homeostase*

208) Welk *hormoon*, dat betrokken is bij het handhaven van de *osmotische balans*, wordt door de *hypofyse achterkwab* afgescheiden?

1. –

209) Anti Diuretisch Hormoon (*vasopressine*) zorgt ervoor dat

1. De *nieren* sneller werken zodat de *osmotische balans* eerder bereikt wordt
2. De *nieren* meer water resorberen
3. De *nieren* minder water resorberen
4. De *bijnieren* worden aangezet tot de productie van *adrenaline*

210) Een persoon met een hoge *ADH*-spiegel zal(1).... plassen dan iemand met een normale *ADH*-spiegel. Tevens is de gevormde *urine* ...(2)...

1. (1) meer, (2) geconcentreerder
2. (1) meer, (2) minder geconcentreerd
3. (1) minder, (2) geconcentreerder
4. (1) minder, (2) minder geconcentreerd

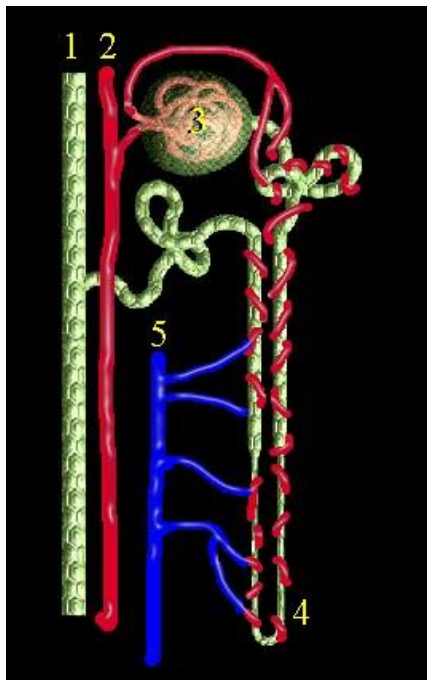
211) Chemoreceptoren registreren veranderingen in de *osmotische waarde*. Wanneer zal er *ADH* geproduceerd worden?

1. Als de *osmotische waarde* van het bloed en lichaamscellen stijgt
2. Als de *osmotische waarde* van het bloed en lichaamscellen daalt
3. Als de *osmotische waarde* van het bloed daalt en die van de lichaamscellen stijgt
4. Als de *osmotische waarde* van het bloed stijgt en die van de lichaamscellen daalt

212) Chemoreceptoren registeren veranderingen in de *osmotische waarde*. Wanneer zal er *ADH* geproduceerd worden?

1. Kort na het drinken van een glas water
2. Als je erge dorst hebt
3. Een uur na het drinken van een glas water
4. Als je *honger* hebt

213) Benoem de genummerde onderdelen van onderstaande afbeelding. Kies uit:



aanvoerende (slag)ader, afvoerende ader,
glomerulus, *lis van Henle*, nierkanaaltje, nierschors,
verzamelkanaaltje

1. –
2. –
3. –
4. –
5. –

214) Waar bevindt zich de voorurine?

1. In de *glomerulus*
2. In het nierkapseltje
3. In de *Lis van Henle*
4. In het verzamelkanaaltje

215) Een proefpersoon krijgt middels een infuus extra water toegediend. Welk gevolg heeft dit voor de *osmotische waarde* van (1) de voorurine en (2) de urine van die proefpersoon?

1. De *osmotische waarde* van de voorurine stijgt. De *osmotische waarde* van de urine stijgt.
2. De *osmotische waarde* van de voorurine daalt. De *osmotische waarde* van de urine stijgt.
3. De *osmotische waarde* van de voorurine daalt. De *osmotische waarde* van de urine daalt
4. De *osmotische waarde* van de voorurine stijgt. De *osmotische waarde* van de urine daalt.

216) Een proefpersoon krijgt middels een infuus extra *ADH* toegediend. Welk gevolg heeft dit voor de *osmotische waarde* van (1) de voorurine en (2) de urine van die proefpersoon? Kies uit neemt toe, neemt af of blijft gelijk.

1. –
2. –

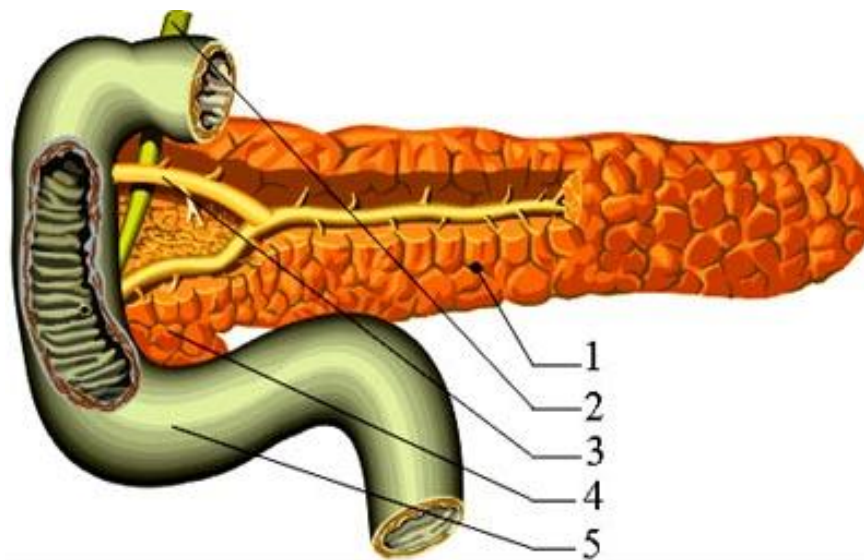
217) De *homeostase*.....

1. wordt alleen geregeld door hormonen
2. zorgt ervoor dat een variabele binnen een bepaalde grens blijft
3. houdt de bloedsomloop in stand
4. reguleert de activiteit van het *autonome zenuwstelsel*

218) Waarom wordt de *pancreas* ook wel een gecombineerde klier genoemd?

1. Omdat deze klier twee soorten hormonen produceert.
2. Omdat de hormoonafgifte door andere hormonen en *impulsen* van het zenuwstelsel wordt beïnvloed.
3. Omdat deze naast hormonen ook spijsverteringssappen maakt.
4. Alle antwoorden zijn correct.

219) Benoem de genummerde onderdelen van onderstaande afbeelding. (met nummer 1 en 4 wordt dezelfde structuur bedoeld) Kies uit: afvoerbuis galblaas, afvoerbuis spijsverteringssap, *alvleesklier*, dunne darm, hormoon afvoerbuis, *pancreas*, *schildklier*, twaalfvingerige darm.



1. –
2. –
3. –
4. –
5. –

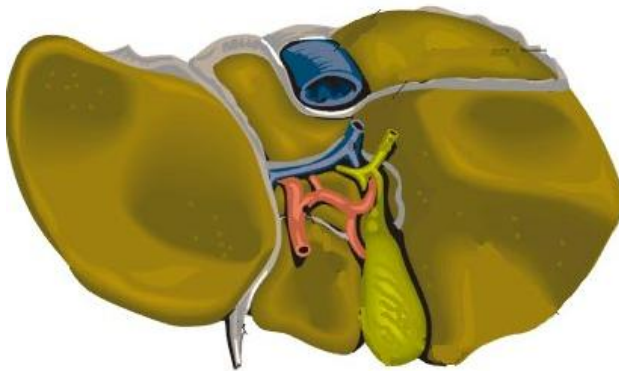
220) Waar bevinden zich in bovenstaande tekening de hormoonproducerende cellen?

1. –

221) Welke van onderstaande stellingen m.b.t. *insuline* is correct?

1. *Insuline* wordt gemaakt door de *alpha-cellen* in de *pancreas*
2. *Insuline* zorgt ervoor dat glucose wordt omgezet in *glycogeen*
3. De *insuline* productie neemt toe als de *bloedsuikerspiegel* daalt
4. *Insuline* voorkomt dat de celmembranen permeabeler worden voor glucose
5. De insulineproductie wordt o.a. gestuurd door activiteit van de *hypothalamus*

222) Onderstaande afbeelding geeft schematisch de bouw van de *lever* weer. Door *insuline* kan glucose worden opgeslagen als...



1. *Glycogeen*
2. *Glycogeen en vet*
3. *Glycogeen en aminozuren*
4. *Vet en aminozuren*

223) Waardoor veroorzaakt een chronisch hoog insulinegehalte een toename van het hongergevoel?

1. Glucose kan de cel niet binnendringen
2. Vrijwel alle glucose wordt opgeslagen als vet
3. *Insuline* versnelt de spijsvertering
4. De glucosespiegel stijgt onder invloed van *insuline*

224) Waardoor veroorzaakt een laag insulinegehalte een hongergevoel?

1. Glucose kan de cel niet binnendringen
2. Vrijwel alle glucose wordt opgeslagen als vet
3. *Insuline* versnelt de spijsvertering
4. De glucosespiegel stijgt onder invloed van *insuline*

225) Welk effect zal een chronisch hoge *glucagonconcentratie* op de *bloedsuikerspiegel* hebben?

1. De *bloedsuikerspiegel* blijft te laag
2. De *bloedsuikerspiegel* blijft te hoog
3. De *bloedsuikerspiegel* blijft ongewijzigd, veranderingen worden alleen veroorzaakt door *insuline*

226) Reptielen regelen hun *lichaamstemperatuur* vooral door gedrag. Ze genereren zelf namelijk geen lichaamswarmte. Regelen mensen hun *lichaamstemperatuur* alleen door fysiologische processen of speelt gedrag ook een rol?

1. Alleen door fysiologische processen
2. Gedrag speelt ook een rol

227) Welk voordeel heeft het voor een organisme om een constante *lichaamstemperatuur* te hebben?

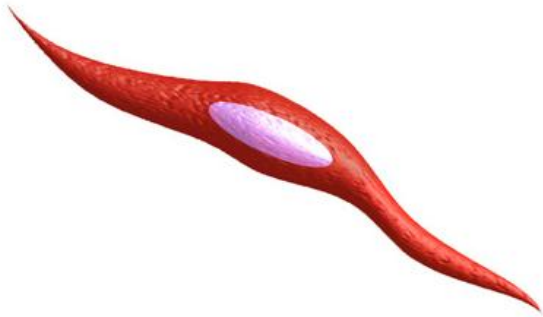
1. Daardoor kan het organisme veranderingen in de omgevingstemperatuur waarnemen
2. Een constante *lichaamstemperatuur* zorgt ervoor dat metabole processen minder *energie* kosten
3. Het organisme kan daardoor bij verschillende omgevingstemperaturen even actief zijn
4. Alle drie de antwoorden zijn correct

228) De ...(1)... maakt het *hormoon* ...(2)... dat ervoor zorgt dat bloedvaten zich vernauwen. Hierdoor staat het lichaam ...(3)... af aan de omgeving.

1. –
2. –
3. –

Hoofdstuk 10: Stevigheid en beweging

229) Hieronder zie je een schematische afbeelding van een gladde spiercel. Welke bewering(en) is/zijn waar?



1. Gladde spieren zijn gericht op korte, maar hevige acties
2. Gladde spieren staan niet onder invloed van de wil
3. Gladde spieren bezitten *mitochondriën*
4. Gladde spieren zijn betrokken bij het vernauwen/verwiden van de *pupil*

230) Gladde spieren kunnen worden geactiveerd door het *hormoon adrenaline*. Door dit *hormoon* trekken ze samen. Een persoon schrikt van een geluid en rent hard weg. Welke spier(en) zal/zullen samentrekken o.i.v. de vrijgekomen *adrenaline*?

1. De beenspieren
2. De spiertjes in de bloedvaatjes rond de darmen
3. De spiertjes in de bloedvaten die naar de beenspier lopen
4. Het *hartspierweefsel*

231) Welk type spier is hieronder afgebeeld?



1. –

232) Dwarsgestreepte spieren worden geïnnerveerd via het-zenuwstelsel.

1. –

233) Hoe lopen in onderstaande afbeelding de *spierfibrillen*?



1. De fibrillen lopen van 1 naar 2
2. De fibrillen lopen van 3 naar 4

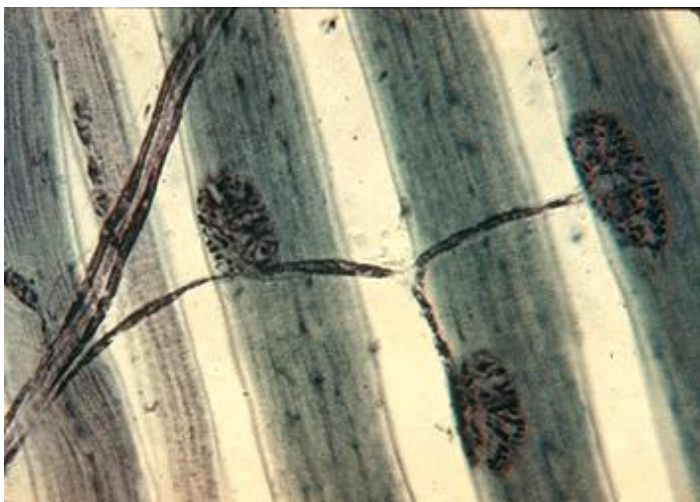
234) Wat is de functie van de *glycogeenkorrels* die zich tussen de *spierfibrillen* bevinden?

1. Deze leveren de benodigde *energie (ATP)*
2. Deze bevatten *glycogeen* dat omgezet wordt in glucose
3. Het *glycogeen* zorgt ervoor dat de actine- en myosinefilamenten in elkaar schuiven
4. De *glycogeenkorrels* verbinden de actine- en myosinefilamenten

235) Het samentrekken van spieren kost veel *energie*.

1. Welk celorganel maakt die *energie* in de vorm van *ATP*?
2. Welke brandstof wordt door het bij 1 gevraagde celorganel gebruikt?

236) Wat is er op onderstaand plaatje te zien?

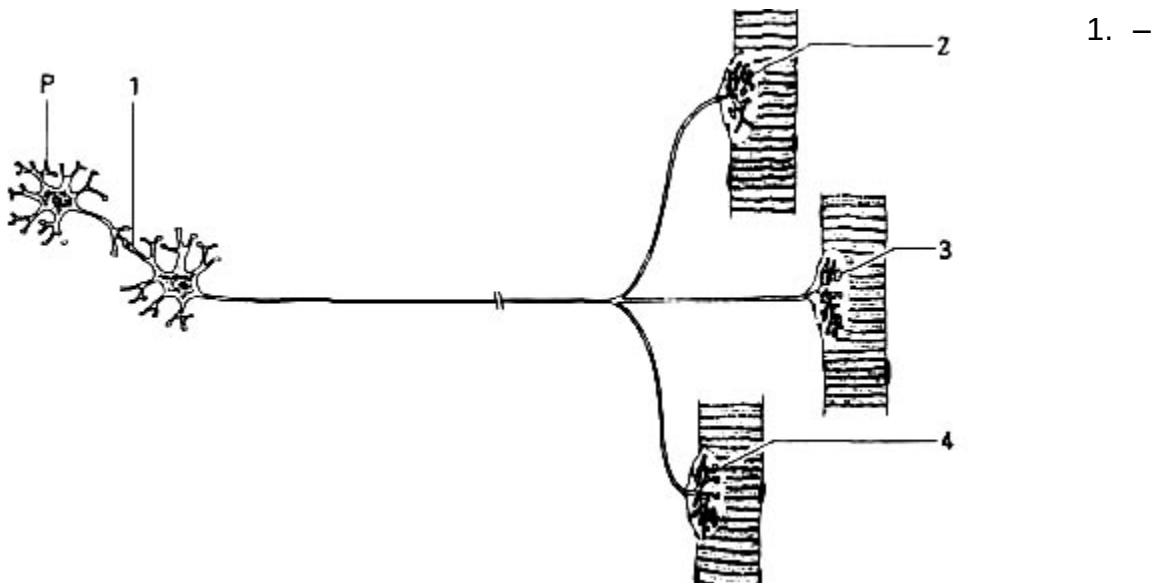


1. Een *motorische eenheid*
2. Een motorisch eindplaatje
3. Een *actine-filament*
4. *Spiervezel* met *glycogeenkorrels*

237) Wat is een *motorische eenheid*?

1. De waarde die de kracht van een spier bij maximale contractie aanduidt
2. Het aantal *neuronen* dat één *spiervezel* innerveert
3. Het aantal *spiervezels* dat door één *neuron* wordt geïnnerveerd
4. De *motorische eenheid* geeft aan hoeveel *spiervezels* bij één contractie zijn betrokken

238) Uit hoeveel *spiervezels* bestaat de *motorische eenheid* van onderstaand plaatje?



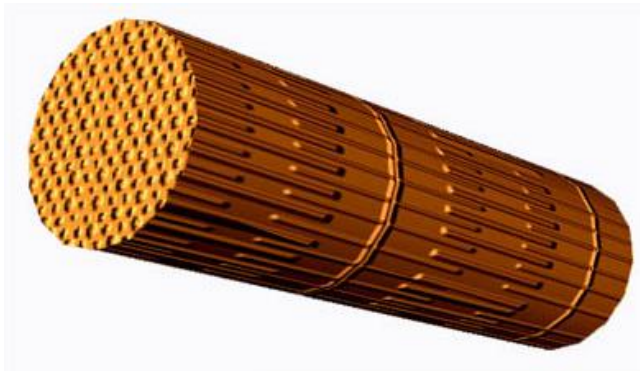
239) Het *neuron* in de bovenstaande afbeelding geleid een *impuls* die boven de *drempelwaarde* van een *spiervezel* ligt. Zullen alle *spiervezels* van de *motorische eenheid* samentrekken, of kan het zijn dat bepaalde vezels wel samentrekken en andere niet?

1. Ja, alle *spiervezels* zullen dan samentrekken
2. Nee, niet alle *spiervezels* hoeven samen te trekken

240) Spieren werken volgens de “*alles-of-niets-wet*”. Dit wil zeggen dat ze:

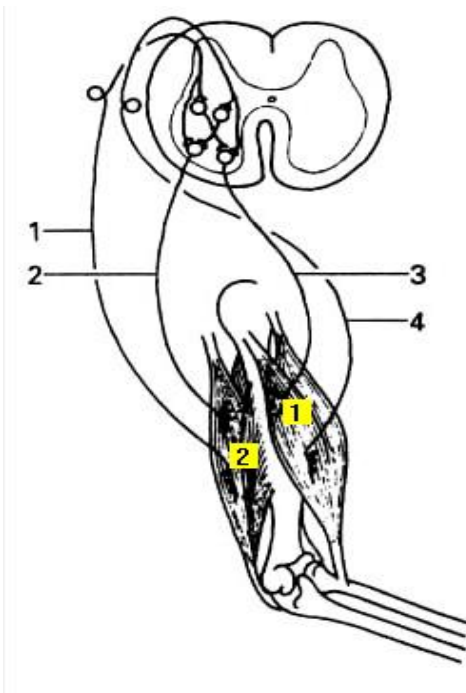
1. Bij een zwakke *impuls* minder sterk samentrekken dan bij een sterke *impuls*
2. Bij een *impuls* onder de *drempelwaarde* minder sterk samentrekken en bij een *impuls* boven de *drempelwaarde* maximaal samentrekken
3. Alleen bij een *impuls* boven de *drempelwaarde* samentrekken, maar dat de impulssterkte de kracht van het samentrekken beïnvloedt
4. Zodra een *impuls* boven de *drempelwaarde* ligt maximaal samentrekken, ongeacht de impulssterkte of –frequentie

241) Onderstaande afbeelding laat een spierfibril zien. Welke beweringen zijn juist?



1. *Spierfibrillen* bestaan uit meerdere motorische eenheden
2. De actinefilamenten schuiven in de myosinefilamenten
3. De actine- myosinefilamenten schuiven bij het opheffen van de *impuls* vanzelf uit elkaar
4. Actine- en myosine komen ook voor in glad *spierweefsel*

242) In de onderstaande afbeelding zie je de *reflexboog* van de bovenarm. Iemand brandt zijn hand en trekt in een reflex zijn arm terug. Welke spier moet daarvoor samentrekken?



1. Spier nummer 1
2. Spier nummer 2

243) Spier 1 is de biceps, spier 2 de triceps. Spiergroep 1 en 2 hebben een tegengestelde werking. Het zijn

1. –

Hoofdstuk 11: Gedrag

244) Jonge patrijzen drukken zich tegen de grond zodra ze de alarmgroep van de ouders horen. Door hun goede camouflage zijn ze dan beter beschermd tegen predatoren. Als je de jonge patrijzen als een “black-box” ziet, dan is



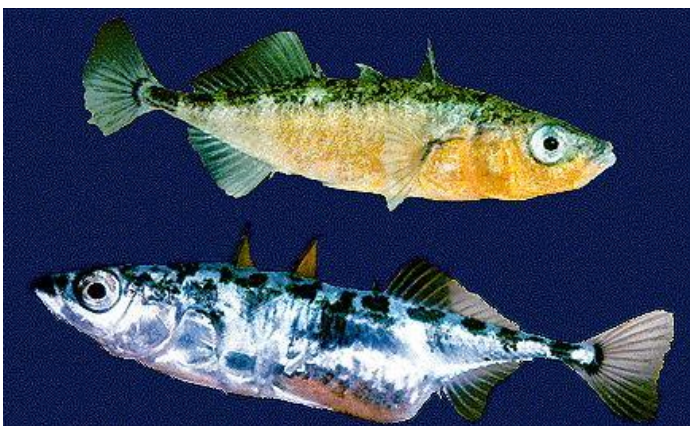
Tegen de grond drukken = 1. –

Alarmroep ouders = 2. –

245) In de voortplantingsperiode verjagen mannelijke stekelbaarzen mannelijke soortgenoten. Ook het rode dopje van een cola fles proberen ze te verjagen. Wat is in dit voorbeeld de *stimulus* (1) en wat is de *respons* (2)? Kies uit mannelijke *stekelbaars*, de kleur rood, een rond voorwerp (dopje), *gedragselement*, verjagen en vechten

1. –

2. –



De bovenste vis is het mannetje, de onderste vis is een vrouwtje van het driedoornig *stekelbaarsje*.

- 246)** Roodborstjes zijn erg territoriaal. Ze verjagen alle soortgenoten uit hun territorium. In een experiment worden in het territorium van een roodborstje twee opgezette exemplaren gezet. Eén exemplaar is een “gewoon” roodborstje, het andere exemplaar is geheel rood geverfd. Er wordt geteld welk exemplaar het vaakst wordt aangevallen. Het blijkt dat het roodgeverfde exemplaar het meest wordt aangevallen. Van wat voor een soort *prikkel* is er sprake?



1. –

- 247)** Uit experimenten met roodborstje blijkt dat roodborstjes alleen reageren op de kleur rood. Roodborstjes waarvan de rode borstveren in een andere kleur geverfd zijn, laten ze ongemoeid. Wat voor soort *prikkel* is de rode kleur?

1. –

- 248)** Nachtpauwoogvrouwtjes geven in de paartijd een bepaalde geurstof af (feromonen). Mannetjes kunnen deze geur op kilometers afstand waarnemen met hun antennes en vliegen *Linéa recta* op het vrouwtje af om vervolgens te paren.



1. Wat is de motivatie voor dit gedrag?
2. Wat is de *stimulus*?

Kies uit voortplanting, vrouwtje, feromoon, antenne en *summatio*

1. –
2. –

- 249)** Bij kippen neemt de paringsbereidheid toe met lengen van de dagen. Wat voor een soort factor is hier in het spel?

Kies uit biotische factor, abiotische factor, motiverende factor, stimulerende factor, demotiverende factor en erfelijke factor

1. –

- 250)** Bij kippen neemt de paringsbereidheid toe met het lengen van de dagen. Wat is de abiotische factor in dit geval?

1. –

251) Merels hebben een soortspecifieke zang. Jonge mannetjes mereltjes worden bij hun ouders weggehaald en in een laboratorium opgekweekt. Ze krijgen gedurende een jaar regelmatig een bandje te horen met de zang van een vink. Na dat jaar blijkt dat de mannetjes een erg simpel lied ten gehore brengen, dat niet lijkt op de zang van een vink, maar ook niet op dat van een merel.

Is de soortspecifieke zang van merels erfelijk bepaald?

1. Ja
2. Nee
3. Dat is niet uit de gegevens af te leiden

252) Een man heeft drie katten, Op een gegeven moment ontdekt de man dat één van zijn katten de koelkast kan openen om bij het blikvoer te komen. Van welk leerproces is hier sprake?

1. Gewenning
2. *Imitatie*
3. *Conditionering*
4. Altruïsme

253) Een man heeft drie katten. Op een gegeven moment ontdekt de man dat één van zijn katten de koelkast kan openen om bij het blikvoer te komen.

Na drie maanden kunnen de andere katten dit ook.

Van welk leerproces is hier sprake?

1. Gewenning
2. *Imitatie*
3. *Conditionering*
4. Altruïsme

254) Als een egel zich bedreigd voelt, rolt hij zich op. Wat voor een soort gedrag is dit?



1. *Oversprong gedrag*
2. Agnostisch gedrag
3. Beschermingsgedrag
4. Conflict gedrag

255) Een egel zal zich oprollen zodra er een hond nadert. Een egeltje dat van jongs af aan met een hond samenleeft, vertoont dit gedrag niet meer. Dit komt door

1. *Habituatie*
2. *Inprenting*
3. *Latent leren*
4. Proefondervindelijk leren

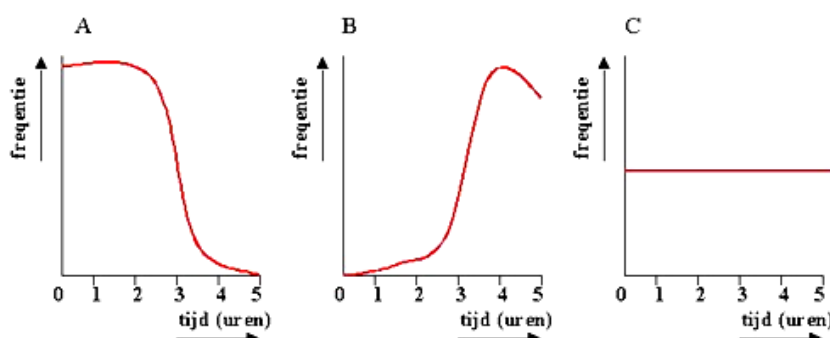
256) Twee katten vechten met elkaar. Eén van de dieren dreigt het onderspit te delven en vertoont onderwerpsgedrag. Het dier dat aan het winnen was begint zijn vacht te poetsen. Van welk gedrag is hier sprake?

1. *Ritualisatie*
2. *Omgericht gedrag*
3. *Oversprong gedrag*
4. Agnostisch gedrag

257) Twee dieren vechten. Eén van de dieren vertoont onderwerpsgedrag. Het andere dier vertoont als reactie daarop *omgericht gedrag*. Welk van de onderstaande gedragingen is een voorbeeld van *omgericht gedrag*?

1. Het dier vlucht
2. Het dier gaat zijn vacht poetsen
3. Het dier bijt in een tak
4. Het dier gaat voedsel zoeken

258) Een hongerige rat wordt in een “Skinner-box” gezet. Als het dier op een hefboompje drukt valt er een voedselbrokje in de voerbak. De rat heeft nog nooit eerder in een dergelijke “Skinner-box” gezeten. De frequentie waarmee een rat op de hefboom drukt wordt gemeten en in een grafiek uitgezet. Welke grafiek is juist?



1. Grafiek A
2. Grafiek B
3. Grafiek C

259) Welke grafiek hierboven geeft de frequentie van het hefboomdrukken van een ervaren rat weer?

1. Grafiek A
2. Grafiek B
3. Grafiek C

260) Waarom daalt de drukfrequentie bij A na verloop van tijd?

1. De motivatie neemt af
2. De *stimulus* daalt
3. Geen van de verklaringen is correct

261) Hoe wordt het leerproces dat plaatsvindt in een “Skinner-box” genoemd?

1. *Operant conditioneren*
2. Klassiek conditioneren
3. Trial en error
4. *Inzicht*

Hoofdstuk 12: Evolutie

262) Hieronder zie je de tijdsschaal zoals afgebeeld in de syllabus. Is het leven in zee of op land ontstaan?



1. In de zee
2. Op het land

263) Welke dieren waren de eerste gewervelden?

1. –

264) Tijdens het koloniseren van nieuw gebied (bijvoorbeeld van zee naar land) is er sprake van een bepaalde trend. Welke is dit?

1. De *evolutie* van planten en dieren verloopt gelijktijdig
2. De eerste kolonisten zijn planten, de dieren volgen daarna
3. De eerste kolonisten zijn dieren, de planten volgen daarna

265) Is de kans dat een *recessief*, gemuteerd gen tot expressie komt het grootst in een kleine of grote populatie, of maakt dat niet uit?

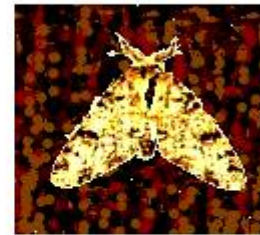
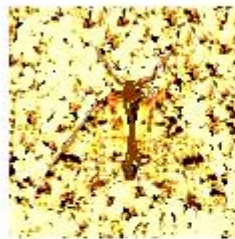
1. De kans is het grootst in een kleine populatie
2. De kans is het grootst in een grote populatie
3. De kans is in een kleine populatie even groot als in een grote populatie

266) Binnen een populatie zebra's ontstaat een mutant waarvan de poten veel langer zijn dan van de andere individuen. Zal dit dier in het voordeel zijn?

1. Ja, want het dier kan harder rennen en is dus moeilijker te vangen door predatoren
2. Nee, door de lange poten kan het dier niet goed grazen (de nek is niet langer geworden)
3. De *mutatie* kan voordeling en/of nadelig zijn. Het is vooral afhankelijk van de biotische en abiotische factoren.

267) Inderdaad, het al dan niet voordelig zijn van een *mutatie* lift grotendeels aan de biotische en abiotische factoren. Berkespanners zijn motten die op de stammen van berkenbomen leven. Door hun schutkleur vallen ze nauwelijks op. In Engeland zijn in 1850 tellingen verricht. Het bleek dat 99% van de motten licht-grijs gekleurd was en 1% donker. Berken hebben namelijk een witte stam, de licht-grijze dieren zijn dus in het voordeel; ze vallen minder op. In 1900 bleek dat 99% donker was en nog maar 1% lichtgrijs. Door de industrialisatie werden de berken bedekt met roet en zijn de donkere dieren in het voordeel. Is dit verschijnsel veroorzaakt door abiotische en/of biotische factoren?

1. Alleen door abiotische factoren
2. Alleen door biotische factoren
3. Door abiotische en biotische factoren



Berkespanners rustend op een lichte ondergrond



Berkespanners rustend op een donkere ondergrond

268) Wat is in het geval van de berkespanner de (1) abiotische factor en wat is de (2) biotische factor?

Kies uit roet op boomstammen, vogels, de mens, *genfrequentie* en adaptatie

1. –
2. –

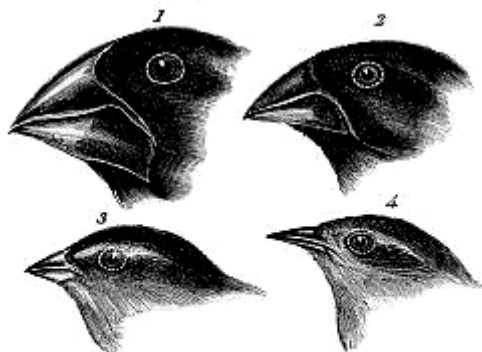
269) Waardoor is het bij de berkespanner beschreven verschijnsel veroorzaakt?

1. –

270) Donkere kleurvarianten komen bij veel dieren in industriegebieden voor. Daardoor zijn ze beter aangepast aan de omgeving waarin ze leven. Hoe wordt dit ook wel genoemd?

1. –

271) Hieronder een afbeelding van *Darwinvinken*. De vogels stammen af van één gemeenschappelijke voorouder. De dieren zijn dus nauw verwant. Onderling kruisen ze niet. Zijn het nu varianten of aparte soorten?



1. *Geospiza magnirostris* 2. *Geospiza fortis*
3. *Geospiza parvula* 4. *Certhidea olivacea*

Finches from Galapagos Archipelago

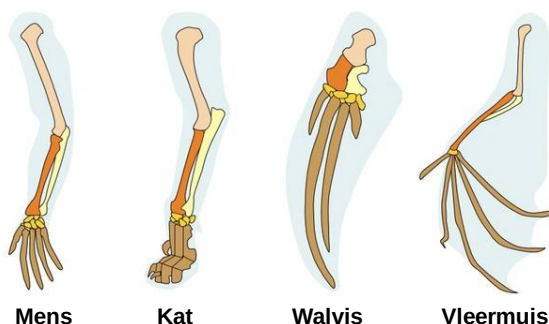
1. Het zijn varianten
2. Het zijn aparte soorten

272) De lichaamsvorm en kleur van de veren is bij alle soorten *Darwinvinken* nagenoeg hetzelfde gebleven. De vorm van de snavel echter is per soort sterk verschillend. Deze is geheel aangepast aan het type voedsel waarvan de betreffende soort leeft. Zijn de verschillende snavelvormen ontstaan door *natuurlijke selectie*, diversiteit in genotypen of beide?

1. Door *natuurlijke selectie*
2. Door diversiteit in genotypen
3. Door beide

273) Welk bewijs voor de *evolutie* is hieronder afgebeeld?

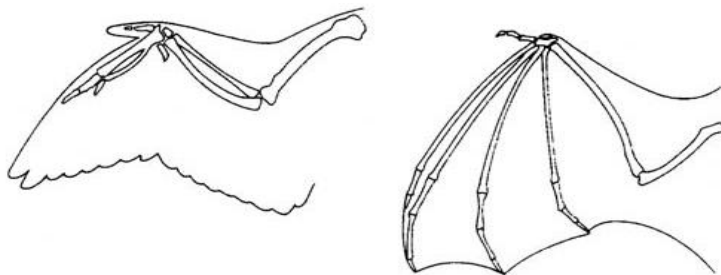
Kies uit *fossielen*, vergelijkende embryologie, vergelijkende anatomie, rudimentaire organen en vergelijkende biochemie



1. –

274) Welk bewijs voor *evolutie* is hieronder afgebeeld?

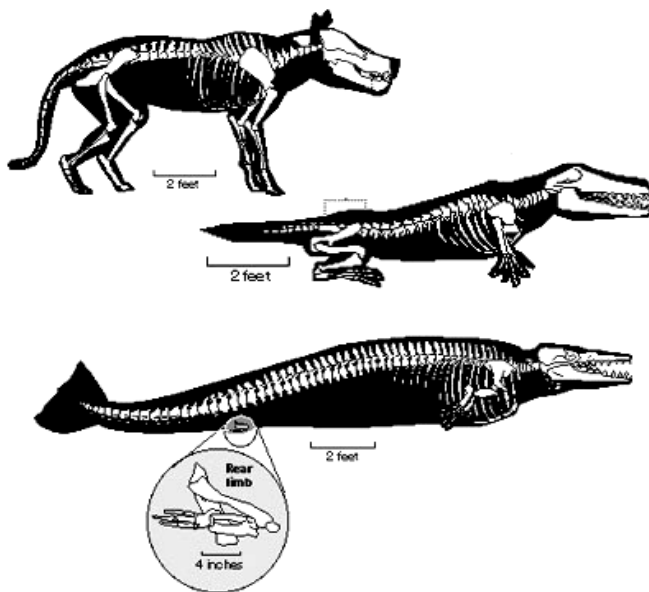
Kies uit *fossielen*, vergelijkende embryologie, vergelijkende anatomie, rudimentaire organen en vergelijkende biochemie



1. —

275) Hieronder zie je de *evolutie* van de walvis. Welk bewijs voor de *evolutie* is er afgebeeld?

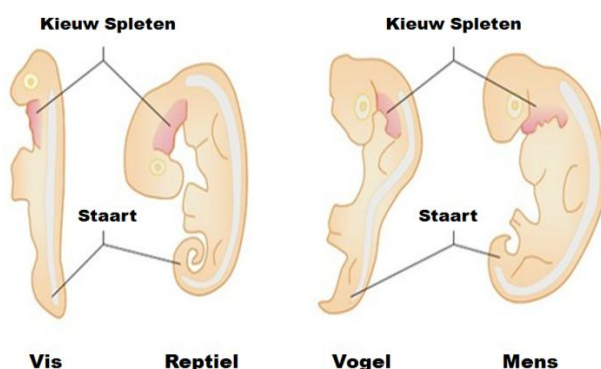
Kies uit *fossielen*, vergelijkende embryologie, vergelijkende anatomie, rudimentaire organen en vergelijkende biochemie



1. —

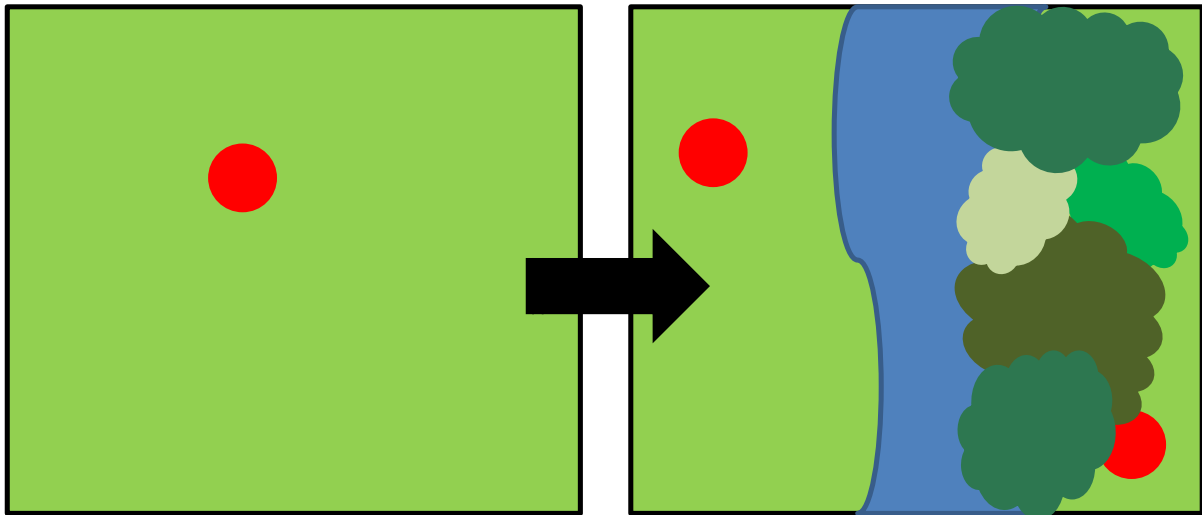
276) Welk bewijs voor de *evolutie* is hieronder afgebeeld?

Kies uit *fossielen*, vergelijkende embryologie, vergelijkende anatomie, rudimentaire organen en vergelijkende biochemie

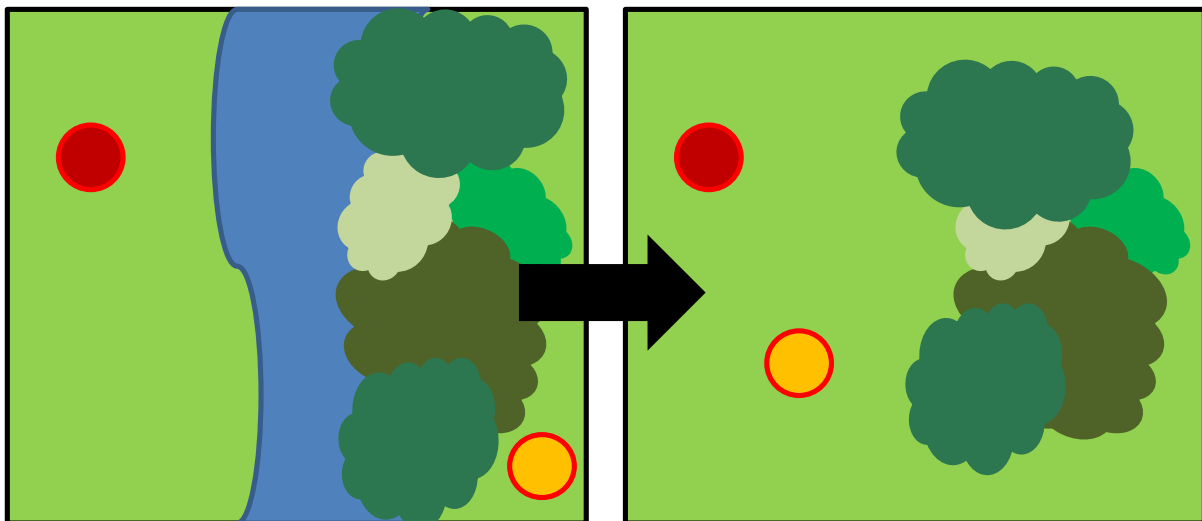


1. —

In de nu volgende reeks afbeeldingen wordt het principe van soortvorming stap voor stap uitgewerkt. Eerst 2 afbeeldingen over soortvorming door isolatie. Daarna 4 afbeeldingen over de soortvorming van Chicliden (vissen) in het Victoria meer in Afrika.

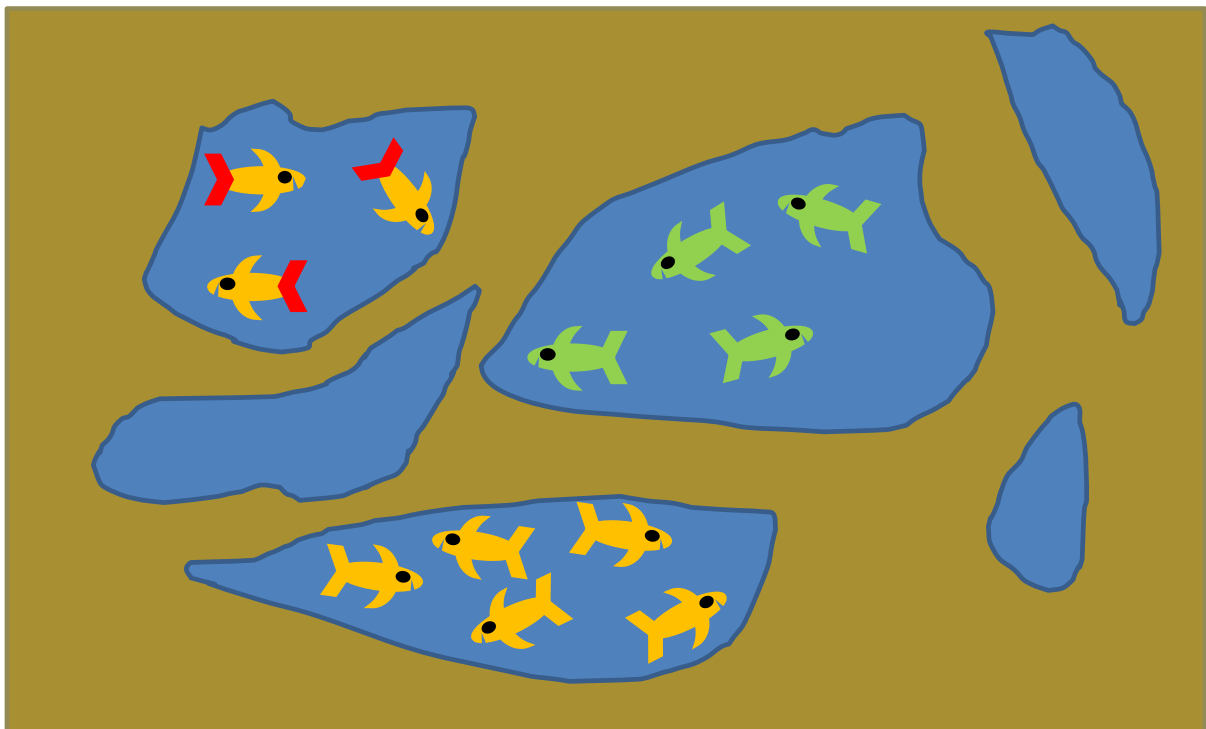


Een soort verdeelt zich in twee of meer dochtersoorten wanneer haar populatie lang genoeg door geografische barrières van elkaar gescheiden zijn. In dit geval is de oorspronkelijke soort (rode bolletje) wijd verspreid over een gebied dat voornamelijk uit grasland bestaat (1). Het lokale klimaat verandert in de loop van de jaren; het wordt vochtiger en de populatie wordt door de komst van een rivier in tweeën gesplitst. Daardoor leeft één deel van de populatie in een gebied met grasland en de andere populatie in een vochtig gebied.

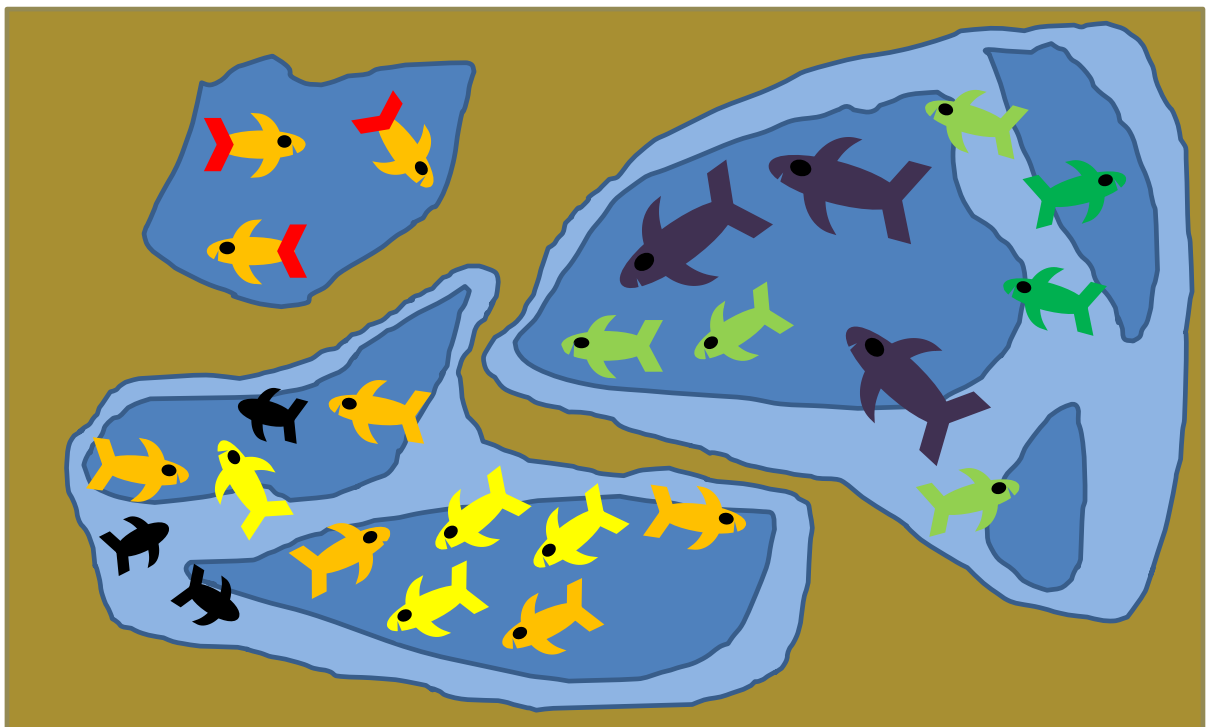


Na verloop van tijd evolueren de twee populaties onafhankelijk van elkaar, tot zij de status van nieuwe soort hebben gekregen (1). Als de geografische barrière (de rivier) verdwijnt, zijn de twee ontstane vormen in staat zonder onderlinge kruising samen te leven. In dit geval is de oorspronkelijke soort verdwenen. Het kan ook zijn dat de oorspronkelijke soort blijft bestaan en dat alleen de soort die in een nieuwe omgeving komt evolueert.

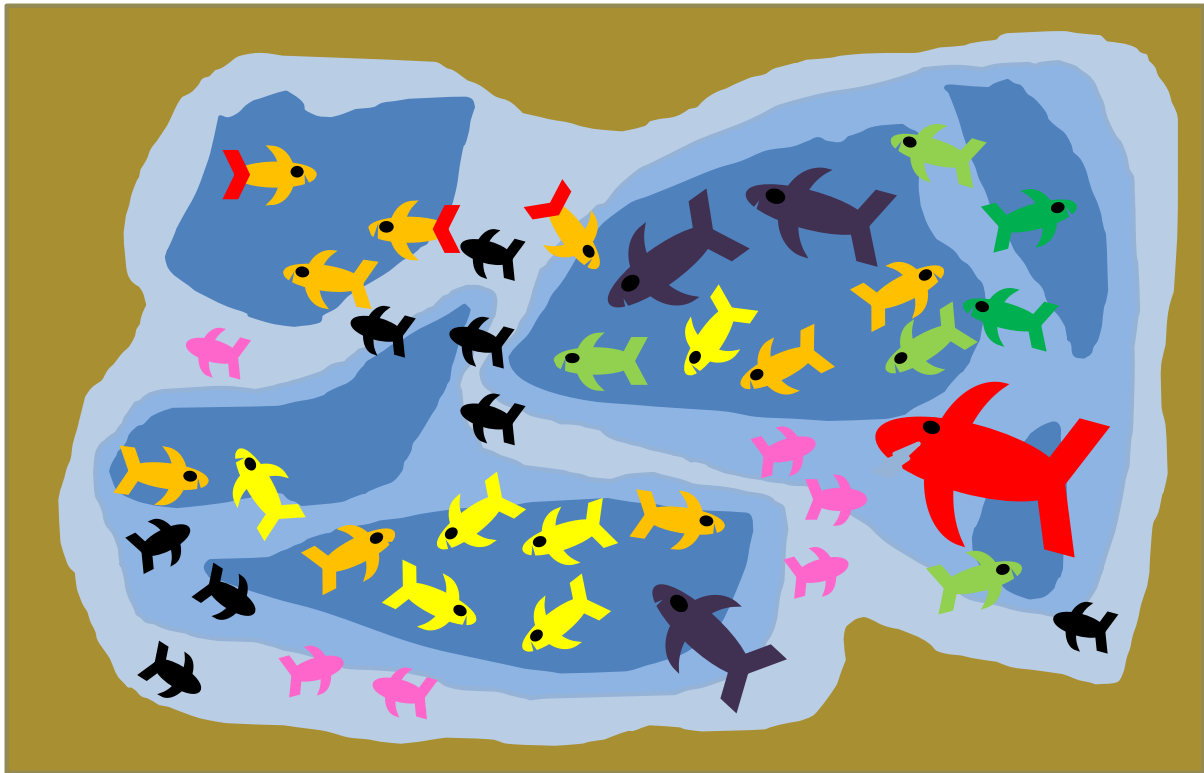
Soortvorming van cichliden in het Victoria meer.



Het Victoria meer is ontstaan uit verschillende meertjes die met elkaar in verbinding kwamen te staan. Aanvankelijk leefden er waarschijnlijk slechts twee of drie verschillende soorten cichliden in de rivieren en nieuw gevormde meertjes.



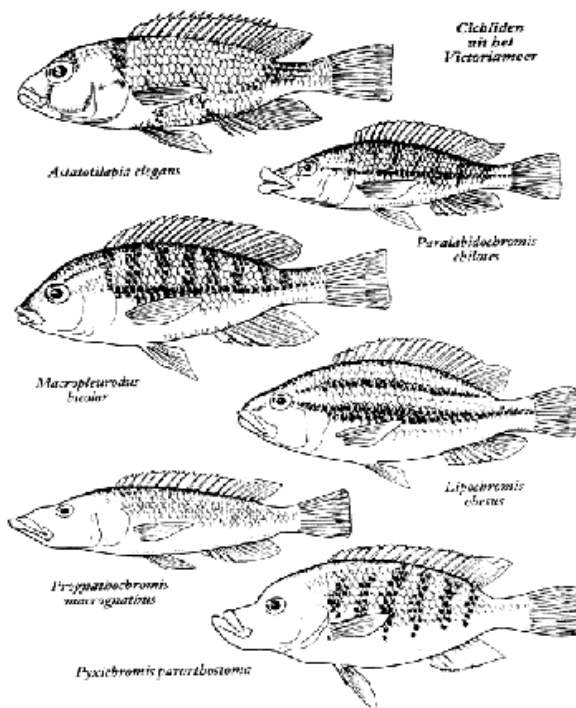
Naarmate de meren groeiden ontstonden er nieuwe habitats (=leefomgevingen). Door *natuurlijke selectie* raakten groepen vissen aangepast aan de nieuwe omgevingen en voedselbronnen.



Toen de meren vervolgens samenvloeiden, kwamen de groepen vissen bij elkaar. Ze waren echter zo verschillend geworden dat er geen kruising meer mogelijk was. Het waren **verschillende soorten** geworden.

Vanaf toen zijn er nog allerlei veranderingen in de meren opgetreden waardoor zich

nu nog meer soorten konden ontwikkelen. Op een gegeven moment waren er in het Victoria meer dan 300 verschillende soorten cichliden.



Vanwege de invoering van de nijlbaars en de waterhyacint, ontbossing dat leidde tot aanslibbing, en overbevissing, hebben zijn veel soorten in het Victoriameer weggevaagd of drastisch verminderd. Rond 1980, leverde visserij in het meer slechts 1 procent cichliden, een drastische daling van 80 procent in de voorgaande jaren. Ongeveer tweederde van endemische cichliden (ongeveer 300 soorten), vooral bodemvissen, werd bedreigd of is uitgestorven. Sommige overlevenden

hebben zich aangepast door steeds kleinere of door te hybridiseren met andere soorten.

Antwoorden

Hoofdstuk 1: Elementaire biochemie

- 1) 3
- 2) 2
- 3) Diwaterstofoxide
- 4) 2
- 5) *Assimilatie*
- 6) 1
- 7) 2
- 8) 1
- 9) 1. Slokdarm
2. Maag
3. Dunne darm
4. Endeldarm
5. Appendix (blinde darm)
6. Dikke darm
7. Galblaas
8. *Lever*
- 10) 1. Wervelkolom
2. Long
3. Ribben
4. Nier
5. Dikke darm
6. Dunne darm
7. *Eierstokken*
8. *Baarmoeder*
9. Blaas
- 11) 2
- 12) B
- 13) 1. Arm
2. Long
3. Wervelkolom
4. Hart
- 14) 7
- 15) 8
- 16) 1
- 17) 4
- 18) 9
- 19) 2

- 20) 2
21) 4
22) 3
23) 3
24) 3
25) 1. *Substraat*
2. *E-S-complex*
3. Product
26) Concurrerende remmer
27) 1. Mitochondrium
2. *Celkern*
3. *Endoplasmatisch reticulum*
4. *Golgi-systeem*
5. *Celmembraan*
28) 4
29) *Eiwitsynthese*
30) Transporteren en Synthetiseren
31) 1. Ribosoom
2. *Endoplasmatisch reticulum*
3. *Golgi-systeem*
4. Mondholte
32) 2
33) Kernporie
34) 3
35) 2
36) 3
37) 1
38) *Diffusie*
39) 3
40) 2
41) B
42) 12
43) 2
44) 2
45) 1. *Interfase*
2. *Mitose*
46) 2
47) TGGCAAG
48) 4
49) 1
50) 1. Schaambeen
2. Blaas
3. Prostaat
4. Zaadleider

- 5. Bijbal
- 6. Testikel
- 51) 1 en 2
- 52) 3
- 53) 2
- 54) 2
- 55) 4
- 56) 4
- 57) 2
- 58) 2
- 59) 1
- 60) 1. Bijbal
2. Zaadleider
3. *Zaadblaasje*
4. Prostaat
5. Urinebuis
6. Vagina
7. *Baarmoeder*
8. Eileider
- 61) 1. Stelling A is onjuist
2. Stelling B is juist
3. Stelling C is onjuist
4. Stelling D is onjuist
5. Stelling E is juist
6. Stelling F is onjuist
7. Stelling G is juist
- 62) 1
- 63) 1. *LH* en FSH
2. O
3. P
4. T
5. O
6. *LH*
7. *LH*
8. *LH*
9. P
- 64) 4
- 65) 3
- 66) 1. *Oestrogeen*
2. *Progesteron*
- 67) *Ovulatie*
- 68) 2
- 69) 4

- 70) 3
71) 3
72) 1. *Trofoblast*
2. *Embryonaalknop*
3. Chorionholte
73) *Trofoblast*
74) 1
75) 3
76) 1. Stelling A is correct
2. Stelling B is correct
3. Stelling C is fout
4. Stelling D is correct
77) 1. Stelling A is fout
2. Stelling B is correct
3. Stelling C is fout
4. Stelling D is fout
78) 1
79) 1
80) 2
81) 3
82) 4
83) 3
84) 4
85) 3
86) 2
87) 4
88) 1
89) 23
90) 1 en 3
91) 1
92) 3
93) 2
94) 1
95) *Homozygoot*
96) 1. KkWW
2. kkWw
97) 2
98) 4
99) 1. KkWW
2. kkWW
100) 1. KkWw
2. kkWw
101) 1. 2
2. 2

3. 0
4. 0
- 102) 2
103) A
104) D
105) C
106) D
107) 1
108) 2
109) 3
110) 3
111) GUUACCAUCAACUA
112) 1. *Celkern*
2. *Ribosomen*
3. *Eiwitsynthese*
4. *Translatie*
113) 1. *mRNA*
2. *RRNA*
3. *tRNA*
114) ECAJDJD
115) 1. GCG
2. GAG
3. GAU
4. ACC
116) 1
117) 3
118) 3
119) 2
120) 4
121) 4
122) *Crossing-over*
123) 3
124) 2
125) 2
126) 1
127) 3
128) 3
129) 4
130) 4
131) 2
132) 3
133) 1. *Receptoren*
2. *Effectoren*
134) 1

- 135) 1. *Myelineschede*
2. Insnoering
- 136) 1
- 137) 4
- 138) 3
- 139) 3
- 140) 1
- 141) 1 en 4
- 142) 1. Pre-synaptisch element
2. Mitochondrie
3. Blaasjes met *neurotransmitter*
4. *Synapsspleet*
5. Post-synaptisch membraan
6. Post-synaptisch element
- 143) 2
- 144) 3
- 145) 2
- 146) 2
- 147) 3
- 148) 1. Hersenschors
3. Spinale ganglia
5. *Neuron*
6. Vlindervormige merg
- 149) 3
- 150) 4
- 151) 1
- 152) 1
- 153) 4
- 154) 3
- 155) 1
- 156) *Drempelwaarde*
- 157) 1
- 158) 3
- 159) 2
- 160) 7
- 161) De oogspier
- 162) 3
- 163) 1
- 164) 13
- 165) 9
- 166) 1. 8
2. *Gele vlek*
- 167) *Neuron*
- 168) 1

- 169)** 2
- 170)** 1. 3
2. Vaatvlies
3. Hard oogvlies
- 171)** 1. *Neuron*
2. Kegeltje
3. *Staafje*
- 172)** 2
- 173)** 1
- 174)** 1. Nee
2. Ja
3. Ja
- 175)** 7
- 176)** 9
- 177)** 3
- 178)** 3
- 179)** 4
- 180)** 1. Oorschelp
2. Gehoorgang
3. *Trommelvlies*
4. *Buis van Eustachius*
5. Bot
6. *Hamer*
7. Evenwichtsorgaan
8. *Slakkenhuis*
9. Gehoorszenuw
- 181)** 1. *Trommelvlies*
2. *Hamer*
3. *Aambeeld*
4. *Stijgbeugel*
5. *Ovale venster*
6. Ronde venster
- 182)** 1. *Voorhofstrap*
2. *Vliezige slakkenhuis*
3. *Trommelholtetrap*
- 183)** 4
- 184)** 2
- 185)** 3
- 186)** 1
- 187)** 2
- 188)** 3
- 189)** 3
- 190)** 4
- 191)** 2

- 192)** Hypofyse en *hypothalamus*
- 193)** 4
- 194)** 4
- 195)** 1. *Hypothalamus*
2. Hypofyse
3. *Schildklier*
4. *Bijnieren*
5. *Pancreas*
6. *Ovaria*
7. Testes
- 196)** 2
- 197)** 1
- 198)** 4
- 199)** 3
- 200)** 3124
- 201)** 2
- 202)** 2
- 203)** 3
- 204)** 1
- 205)** Releasing factor
- 206)** Poortaderstelsel
- 207)** Hormonen
- 208)** *Vasopressine*
- 209)** 2
- 210)** 3
- 211)** 1
- 212)** 2
- 213)** 1. Nierkanaaltje
2. Aanvoerende (slag)ader
3. *Glomerulus*
4. *Lis van Henle*
5. Afvoerende ader
- 214)** 2
- 215)** 3
- 216)** 1. Blijft gelijk
2. Neemt toe
- 217)** 2
- 218)** 3
- 219)** 1. *Pancreas*
2. Afvoerbuis galblaas
3. Afvoerbuis spijsverteringssap
4. *Pancreas*
5. Twaalfvingerige darm
- 220)** Aan het einde van de *pancreas*

- 221) 2 en 5
222) 2
223) 2
224) 1
225) 2
226) 2
227) 3
228) 1. *Hypothalamus*
2. *Vasopressine*
3. Minder
229) 2, 3 en 4
230) 2 en 4
231) Dwarsgestreepte
232) Somatisch
233) 1
234) 2
235) 1. *Mitochondriën*
2. Glucose
236) 2
237) 3
238) 3
239) 1
240) 4
241) 2 en 4
242) 1
243) *Antagonisten*
244) 1. *Respons*
2. *Stimulus*
245) 1. De kleur rood
2. Verjagen
246) *Supranormale prikkel*
247) Sleutelprikkel
248) 1. Voortplanting
2. Feromoon
249) Abiotische factor
250) Licht
251) Nee
252) *Conditionering*
253) *Imitatie*
254) 3
255) 1
256) 3
257) 3
258) 2

- 259)** 1
- 260)** 1
- 261)** 1
- 262)** 1
- 263)** Vissen
- 264)** 2
- 265)** 1
- 266)** 3
- 267)** 3
- 268)** 1. Roet op boomstammen
2. Vogels
- 269)** *Natuurlijke selectie*
- 270)** Adaptatie
- 271)** 2
- 272)** 3
- 273)** Vergelijkende anatomie
- 274)** Vergelijkende anatomie
- 275)** Rudimentaire organen
- 276)** Vergelijkende embryologie

Trefwoorden

aambeeld, 78, 179, 214
 accommoderen, 75
 acetylcholine, 19, 65, 66, 71, 170, 171
 ACTH, 87, 185, 186
 actiepotentiaal, 61, 62, 63, 64, 73
 actine-filament, 193
 Activator, 19
 activeringsenergie, 18
 adenine, 11, 24
 adequate prikkel, 73, 174
 ADH, 85, 94, 96, 185, 187, 188
 adrenaline, 71, 87, 98, 99, 182, 185, 187, 192
 aeroob, 11
 allel, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 47, 152
 alles-of-niets-wet, 63, 101, 194
 alveesklier, 84, 89, 125, 189
 ambivalent gedrag, 111
 aminozuren, 10, 11, 18, 20, 49, 50, 51, 52, 57, 87, 90, 115, 119, 124, 129, 159, 160, 162, 190
 amnionholte, 33
 anaeroob, 11
 anorganische stof, 8, 9, 12
 antagonist, 102, 216
 anticodon, 53, 160, 161
 assimilatie, 9, 19, 20, 70, 129, 208
 atomen, 6, 7, 8, 10, 11, 18, 19, 86, 123
 ATP, 11, 13, 193
 australopithecus, 120
 autonome zenuwstelsel, 58, 59, 64, 68, 70, 72, 75, 82, 87, 91, 98, 99, 166, 167, 183, 185, 189
 autotroof, 8, 115
 axon, 59, 60, 64, 65, 66, 85, 165, 167, 168, 170
 baarmoeder, 29, 30, 31, 33, 36, 37, 57, 98, 125, 141, 143, 146, 147, 208, 210
 balts, 104, 105, 111
 basaal membraan, 180
 basisch, 8, 29, 30
 beenmerg, 98
 bevruchting, 30, 31, 33, 38, 55, 56, 141, 146
 bijballen, 28
 bijnieren, 82, 87, 184, 185, 187, 215
 bijnierschors, 87, 186
 bijziend, 75
 black box, 103
 blastula, 33
 bloedsuikerspiegel, 89, 90, 91, 96, 189, 190
 buis van Eustachius, 78, 179, 214
 celcyclus, 20, 139
 celdeling, 20, 21, 23, 26, 27, 33, 49, 56, 57, 139, 142, 144, 147
 celdifferentiatie, 31
 celkern, 13, 21, 22, 23, 26, 49, 50, 52, 55, 56, 60, 83, 98, 99, 132, 133, 134, 137, 138, 149, 158, 209, 212
 cellen van Schwann, 60
 celmembraan, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 26, 30, 60, 61, 62, 64, 72, 82, 83, 84, 90, 132, 134, 158, 183, 209
 celorganellen, 13, 21, 26, 59, 133, 134
 centraal kanaal, 67, 68
 centrale zenuwstelsel, 58, 59, 60, 70, 73
 centromeer, 23, 27, 56
 charles Darwin, 116
 chiasma opticum, 78, 178
 chromatiden, 21, 23, 25, 27, 56, 57, 138
 chromosomen, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 39, 41, 43, 45, 47, 52, 55, 56, 57, 120, 137, 138, 139, 144, 149, 152, 153, 155, 162
 citroenzuurcyclus, 11, 20
 concentratie, 15, 16, 17, 18, 19, 37, 79, 81, 84, 89, 91, 129, 132, 136, 137, 148, 168, 182, 190
 concurrerende remming, 19
 conditionering, 107, 108, 112, 198, 216
 corpus callosum, 68
 corpus luteum, 30, 183
 cortisol, 87, 186
 CRF, 87, 186
 crossing-over, 57, 163, 212
 cytoplasma, 13, 20, 21, 23, 28, 33, 49, 50, 51, 53, 83, 158, 170, 183
 cytosine, 24
 dakmembraan, 79, 180
 darwin, 116, 117, 122, 203
 darwinvink, 203
 dendriet, 59, 60, 64, 165, 167, 169
 Dendriet, 169
 depolarisatie, 61, 62, 63, 65, 66, 76, 168, 170
 diafyse, 98
 diffusie, 15, 16, 18, 33, 209
 dihybride, 43, 45, 48, 153
 dissimilatie, 9, 11, 13, 19, 20, 70, 86, 129
 Dissimilatie, 9
 disulfiram, 20, 132
 DNA, 10, 13, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 39, 49, 50, 51, 54, 55, 57, 83, 119, 120, 138, 139, 149, 158
 dochtercellen, 20, 21, 23, 26, 56, 147
 doelwitorgaan, 70, 82, 84, 88, 182, 183, 184
 dominant, 40, 41, 42, 43, 45, 47, 48, 55, 110, 149, 150, 151, 153, 155, 156, 157
 dooierzak, 33
 down, 163
 downsyndroom, 56
 drempelwaarde, 61, 63, 65, 66, 73, 76, 79, 80, 81, 101, 168, 174, 177, 183, 194, 213
 dubbele innervatie, 71
 ectoderm, 34
 effector, 60, 66, 68, 71, 72, 96, 212
 eicel, 22, 27, 28, 29, 30, 31, 36, 37, 38, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 55, 141, 143, 144, 152, 155
 eierstokken, 28, 29, 30, 125, 208
 eilandjes van Langerhans, 82, 84, 89
 eileiders, 29
 eisprong, 30, 36, 37, 145
 eiwitsynthese, 13, 20, 49, 50, 52, 53, 57, 133, 158, 159, 209, 212
 eiwitten, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 21, 49, 50, 51, 52, 61, 65, 66, 83, 86, 124, 159, 183
 elektronen, 6
 elementen, 6, 7, 10, 103, 111, 123
 embryo, 28, 29, 31, 33, 35, 37, 55, 57, 141, 143, 147, 148
 embryoblast, 33
 embryogenese, 31, 33, 35
 embryonaalknop, 33, 148, 211
 endocriene klier, 82

endoplasmatisch reticulum, 13, 53, 59, 132, 133, 134, 209
 energie, 9, 10, 11, 15, 18, 91, 101, 124, 133, 191, 193
 energie drempel, 18
 entoderm, 148
 enzym, 18, 19, 20, 26, 33, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 60, 65, 83, 84, 89, 120, 122, 129, 130, 131, 132, 161, 171, 177, 182
 enzymsubstraat complex, 18
 enzym-substraat complex, 19
 equatoriaal vlak, 23, 27
 erfelijkheidsleer, 39
 E-S-complex, 19, 132, 209
 evolutie, 110, 114, 116, 118, 119, 120, 121, 201, 203, 204
 exciterende neurotransmitters, 65
 exocriene klier, 82
 feedback, 84
 fenotype, 39, 40, 41, 45, 49, 55, 57, 116, 149, 150, 151
 filli, 42
 foetus, 33
 follikel, 30, 36, 37, 144, 145
 fosfolipiden, 10, 15, 82
 fossielen, 118, 120, 121, 203, 204
 galapagos, 117
 ganglion, 70
 gastrulatie, 33
 gedragselement, 103, 104, 105, 110, 111, 112, 196
 gedragsketen, 104, 105
 gedragssysteem, 104, 105, 111
 gele lichaam, 37, 144, 145
 gele vlek, 74, 76, 176, 213
 generatio spontanae, 114
 genetica, 39, 41, 49, 149, 158
 genfrequentie, 117, 202
 genotype, 39, 42, 43, 44, 47, 55, 117, 149, 150, 151, 152, 154, 156
 geslachtscellen, 44, 45, 46, 55, 56, 106, 154
 geslachtschromosomen, 45, 56, 152, 153, 155
 geslachtskenmerken, 37, 38, 106, 148
 glasachtig lichaam, 75
 glasachtig lichaam, 74, 175
 glomerulus, 93, 188, 215
 glucagon, 83, 89, 90, 91, 96, 182, 190
 glycogeen, 87, 90, 91, 100, 101, 189, 190, 193
 glycolyse, 11, 20
 golgi-systeem, 14, 53, 132, 134, 158, 209
 grijze stof, 67, 68
 grote hersenen, 58, 68, 69, 71, 77, 79, 165, 171
 guanine, 24
 habituatie, 107, 199
 hamer, 78, 179, 214
 haploid, 22, 27, 28, 45, 56, 138, 144, 164
 hersenbalk, 68, 128
 hersenblaasjes, 35
 hersenstam, 35, 58, 68, 69, 70, 71, 84, 106, 165, 171
 hersenvloeistof, 68
 heterotroof, 8, 9
 heterozygoot, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 149, 150, 151, 152, 153
 hiërarchie, 110
 homeostase, 82, 89, 96, 187, 189
 homo, 120, 121
 homozygoot, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 149, 150, 151, 153, 211
 honger, 91, 106, 187
 hoornvlies, 74
 hormoon, 36, 37, 38, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 94, 143, 145, 148, 182, 184, 185, 186, 187, 191, 192
 hormoonklier, 82, 84, 86, 88, 183, 184
 hydrofiel, 15
 hydrofoob, 15
 hypofyse achterkwab, 85, 185, 187
 hypofyse voorkwab, 85, 185
 hypothalamus, 35, 68, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 95, 96, 106, 183, 184, 185, 189, 215, 216
 imitatie, 109, 112, 198, 216
 impuls, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 84, 87, 88, 94, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 108, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 177, 180, 185, 186, 189, 194, 195
 impulsgeleiding, 63, 64, 65, 100
 inhiberende neurotransmitter, 65, 66
 inprenting, 107, 199
 insuline, 83, 89, 90, 91, 92, 96, 182, 189, 190
 interfase, 20, 21, 23, 139, 209
 inzicht, 109, 112, 200
 ionen, 7, 8, 13, 18, 60, 123
 lonen, 7
 isotoon, 136
 katalyseren, 10, 19
 kegeltjes, 76, 77, 81, 175, 176, 177
 kernplasma, 13, 50, 51, 55
 kiembladen, 34, 38
 kleine hersenen, 35, 58, 68, 69, 80, 171
 klievingsdeling, 147
 klinefelter, 56, 163
 koolhydraten, 8, 9, 10, 17, 90
 Korte beenderen, 98
 lading, 6, 7, 60, 61
 latent leren, 110, 112, 199
 lens, 74, 75, 175
 lensbandje, 75
 lever, 82, 89, 90, 91, 95, 125, 182, 190, 208
 LH, 36, 37, 38, 143, 145, 146, 185, 210
 lichaamstemperatuur, 68, 89, 95, 96, 167, 190, 191
 lipiden, 10
 lis van Henle, 188, 215
 locus, 39, 149
 luchttrillingen, 81
 MAOI, 132
 meiose, 27, 28, 30, 38, 45, 56, 142, 144
 mendel, 39, 47
 menstruatiecycclus, 36
 metabolisme, 9, 12
 miller-Urey, 115
 mitochondriën, 13, 18, 20, 29, 64, 86, 100, 101, 120, 133, 192, 216
 mitose, 20, 21, 25, 26, 27, 28, 56, 139, 140, 142, 147, 209
 moleculen, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 18, 19, 21, 25, 52, 115, 138
monohybride, 41, 42, 43, 48
 morula, 33, 148
 motorisch neuron, 60, 66, 71, 166
 motorische eenheid, 100, 101, 102, 193, 194
 motorische eindplaat, 66, 100, 101, 102
 mRNA, 20, 50, 51, 52, 53, 83, 159, 160, 161, 212

mutatie, 54, 55, 56, 57, 116, 163, 164, 202
 myelineschede, 60, 63, 67, 167, 213
 myosine filament, 100, 101
 n, 165
 nachtblindheid, 76
 NAD, 11
 natrium-kalium pomp, 60, 168
 natuurlijke selectie, 116, 117, 118, 122, 203, 206, 217
 neanderthaler, 121
 netvlies, 35, 74, 75, 76, 77, 81, 175, 176, 177
 neuron, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 79, 84, 85, 91, 100, 101, 102, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 194, 213, 214
 neurosecretie, 85, 183
 neurotransmitter, 19, 64, 65, 66, 71, 96, 166, 169, 170, 213
 neurulatie, 35
 nierbekken, 93
 niereenheid, 93
 nieren, 70, 85, 87, 92, 93, 94, 95, 187
 niermerg, 93
 niet adequate prikkel, 73
 niet-concurrerende remming, 19
 non-disjunctie, 56, 163
 normwaarde, 87, 89, 94, 95, 96
 nucleotide, 24, 25, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 139
 oestrogeen, 38, 143, 145, 146, 210
 omgericht gedrag, 112, 199
 oogvlies, 74, 214
 oor, 73, 78, 80, 81
 oorsmeerklier, 78
 operant conditioneren, 109, 200
 organische stof, 8, 9, 12
 ormoon, 145
 osmoreceptoren, 94, 173
 osmose, 15, 16, 17
 osmotische balans, 92, 93, 96, 187
 osmotische waarde, 17, 89, 92, 94, 135, 187, 188
 ovale venster, 78, 79, 179, 214
 ovaria, 29, 36, 82, 184, 215
 overerving, 39, 43, 46, 47, 48, 153
 oversprong gedrag, 198, 199
 ovulatie, 30, 36, 37, 48, 106, 141, 143, 145, 146, 210
 oxidatieve fosforylering, 11
 oxytocine, 85, 185
 pancreas, 89, 91, 125, 184, 189, 215
 parasympatisch, 58, 70, 71, 166, 167
 Parentes, 41
 pavlov, 108, 113
 perifere zenuwstelsel, 58, 59, 72
 permeabel membraan, 136
 permeasen, 18
 pH, 8, 19, 28, 30, 73, 93
 placenta, 33, 37, 148
 plasmagroei, 21, 28, 33, 147
 platte beenderen, 98
 ploidiemutatie, 55, 56
 polyandrie, 111
 polygynie, 111
 polymerase, 50, 51, 52, 158
 poolcel, 28, 147
 postsynaptisch element, 64, 170
 potentiaalverschil, 61, 62
 prikkel, 10, 58, 59, 61, 62, 63, 65, 69, 71, 72, 73, 81, 103, 106, 107, 108, 112, 165, 168, 173, 197, 216
 primair optisch centrum, 69
 primair sensorisch centrum, 69
 progesteron, 37, 83, 143, 145, 146, 210
 prolactine, 146
 promotor, 51
 proprioreceptoren, 73, 173
 protonen, 6
 psychologie, 39, 112
 Psychologie, 103
 puntmutatie, 55, 162
 pupil, 71, 74, 192
 receptoreiwit, 65, 66, 83, 84, 182, 183, 184
 recessief, 40, 41, 42, 45, 47, 48, 55, 149, 150, 151, 152, 153, 157, 201
 redi, 114
 reflexboog, 71, 72, 75, 165, 166, 195
 refractaire periode, 62, 168, 177
 releasing factors, 85
 repolarisatie, 62, 63, 168
 respons, 103, 104, 106, 107, 112, 196, 216
 retinine, 76
 reuk, 59, 73, 81
 ribosomen, 13, 14, 20, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 57, 59, 83, 133, 158, 160, 212
 ritualisatie, 110, 199
 RNA, 10, 49, 50, 51, 52, 55, 57, 158, 159
 robert hooke, 13
 rodopsine, 76, 77, 177
 rRNA, 51, 52
 rudimentair, 119
 ruggenmerg, 35, 58, 67, 68, 70, 71, 72, 165, 171
 rustpotentiaal, 60, 61, 62, 64, 66, 73
 saltatoire impulsgeleiding, 64
 schakelneuron, 60, 64, 67, 72, 166, 169
 schildklier, 82, 86, 87, 183, 184, 185, 189, 215
 schleiden, 13
 schwann, 13, 60, 63
 scotopsine, 76
 second messenger, 84, 182
 secretie, 14
 secundair sensorisch centrum, 69
 secundaire motorische centra, 70
 semipermeabel membraan, 16, 136
 sensorisch neuron, 64, 71, 73, 166
 skelet, 31, 97, 98, 99, 102
 skinner, 109, 113
 slakkenhuis, 78, 79, 80, 81, 179, 180, 181, 214
sleutelprikkel, 106, 107, 112
 smaak, 81, 109
 somatisch, 58
 somatische zenuwstelsel, 58, 59, 64, 66, 99
 sperma, 29
 spierbundel, 100
 spierfibrillen, 100, 102, 193, 195
 spierschede, 99
 spiertonus, 101
 spiervezel, 99, 100, 101, 102, 166, 193, 194
 spierweefsel, 98, 99, 192, 195
 spoelfiguur, 23
 staafje, 76, 77, 81, 175, 176, 177, 214
 stamboom, 48, 156, 157
 startcodon, 52, 53, 160, 161
 stekelbaars, 104, 111, 196
 stijgbeugel, 78, 79, 179, 214

stikstofbasen, 24, 158
 stimulus, 103, 106, 107, 108, 110, 112, 196, 197, 200, 216
 stofwisseling, 9, 12, 86, 92, 95
 stopcodon, 53, 160
 substraat, 18, 19, 129, 131, 132, 209
 suikers, 10
 sommatie, 65, 66, 170, 197
 supranormale prikkel, 106, 107, 216
 sympatisch, 70, 71, 166, 167, 183
 synaps, 64, 65, 66, 72, 77
 synapsknopje, 64
 synapsspleet, 64, 65, 169, 170, 171, 213
 targets, 70
 teelballen, 28, 37
 testosteron, 38, 83, 145, 146, 148
 TH, 86, 183, 185
 thymine, 24, 49
thyroid, 86
 thyroid, 183
 thyroxine, 83, 86, 87, 185
 tinbergen, 104
 transcriptie, 49, 50, 51, 57, 83, 158, 184
 translatie, 50, 53, 83, 158, 160, 184, 212
 transmitterstof, 64, 65, 71, 171
 TRF, 86, 87, 183, 185
 trial-and-error, 109, 110
 triplet, 52, 53, 162
 tRNA, 51, 52, 53, 158, 160, 161, 212
 trofoblast, 33, 148, 211
 trommelholte, 78, 79
 trommelholtetrap, 79, 180, 181, 214
 trommelvlies, 78, 79, 81, 179, 214
 TSH, 86, 87, 183, 185
 turner, 56, 163
tweling, 48, 57, 143
 uracil, 49
 urine, 85, 94, 140, 187, 188
 vasopressine, 85, 185, 187, 215, 216
 verbindingen, 6, 7, 8, 11, 18, 19, 25
 verziend, 75
 vetten, 8, 9, 10, 11, 17
 voorhofstrap, 79, 180, 181, 214
 voorurine, 93, 94, 188
 vruchtvlies, 33
 vruchtwater, 33, 140, 141
 wervelkanaal, 67
 witte stof, 60, 68, 171
 X-chromosoom, 45, 46, 47, 56, 152
 Y-chromosoom, 45, 46, 47, 56, 152
 zaadblaasje, 29, 140, 143, 210
 zaadcel, 13, 22, 27, 28, 29, 30, 31, 37, 42, 43, 44, 45, 46, 142, 143
 zaadcelmoeder cel, 28, 142, 143
 zaadkanaaltjes, 28, 38
 zenuwcel, 58, 59, 67, 72, 101, 168
 zenuwstelsel, 19, 31, 34, 49, 58
 zilvermeeuw, 106, 107, 112
 zintuigcel, 59, 60, 64, 71, 73, 74, 76, 79, 80, 81, 96, 103, 167, 169, 173, 174, 175, 180
 zuur, 8, 11
zuurgraad, 8, 19
 zwangerschap, 29, 30, 36, 37, 120, 143, 145
 zygote, 27, 31, 33, 38, 48, 55, 56, 147, 148

Literatuurlijst en bronvermelding

- Biemans A.L.B.M., Jochems A.A.F., Weyers A.J.A.M.C. (1986)
Fundamentele biologie,
Elsevier, Amsterdam,
Eerste druk
- Bos A., Kalverda O., Passier R., Smits G., Waas B. Westra R (2012)
Biologie voor jou VWO 4, VWO 5 en VWO 6
Malmberg
5^e druk
- Houwen P.J.W., Hallmann P.P.H., Marquenie J.G.M., van der Pluijn J.E., van Ree W., Schraag J.A. (1977)
Scheikunde voor de biologie,
Thieme, Zutphen
- <http://biologiepagina.nl/>
- Kalat J.W. (2001)
Biological Psychology
Wadsworth/Thomson Learning, USA,
Seventh edition
- Kolb B., Whishaw I.Q. (2011)
An introduction to brain and behaviour
Worth Palgrave Macmillan
Third edition
- Stonebraker T.B. Kalat J.W. (1995)
Instructor's Resource Book to accompany Biological Psychology,
Brooks/Cole Publishing Company, USA,
Fifth edition
- Passier R., Smits G., Waas B (1992),
Biologie voor jou deel 4V, 5V en 6V,
Vereniging de Samenwerkende Landelijke Pedagogische Centra, Malberg, Den Bosch
- Van der Schoot E.J. (1998)
VWO biologie samengevat,
Onderwijspers BV, Leiden
- Verschuuren G.M.N., de Bruin H., Halsema M.W. (1985)
Grondslagen van de biologie, deel 2 Organismen,
Stenfert Kroese BV, Leiden

Bronvermelding afbeeldingen en schema's*:

"biologie voor jou" 4V (1992): 2.11, 2.12, 2.9, 2.13, 3.9, 4.2, 4.3, mono- en dihybride kruisingsschema en Tabel II,

"biologie voor jou" 5V (1992): 1.6, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 en 2.6

"biologie voor jou" 6V (1992): 5.2, 5.4, 5.5, 5.6, 6.4, 6.5, 6.6, 8.1, 8.3, 8.4, 11.1 en 11.4

"VWO biologie samengevat": 2.7 en 11.3

"Fundamentele biologie": embryogenese schema (hoofdstuk 3), 3.7 en 9.5

"Grondslagen van de biologie", deel 2 "Organismen": 6.3, 7.2 en 10.4

*Geen van de figuren en of schema's zijn rechtstreeks uit de gebruikte literatuur overgenomen, maar door de auteurs als voorbeeld gebruikt (m.u.v. 11.3). Overige afbeeldingen zijn door de auteurs vervaardigd of van [wikimedia commons: http://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page](http://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page) afgehaald.