BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU

Bewaar dit boek! · Het bevat examenstof ·

MAX

BIOLOGIE 5A

VWO

NAAM EN KLAS

MALMBERG

BVJ

BIOLOGIE VOOR JOU

Biologie voor
de bovenbouw

5 VWO

deel A

EINDREDACTIE
Claud Biemans
Arthur Jansen

AUTEURS
Arthur Jansen
Michelle Sparnaaij

MAX RELEASE 7.0

Malmberg 's-Hertogenbosch
www.biologievoorjou.nl

Deel A

Thema 7

REGELING

ORIËNTATIE

Sensatiezoekers 8
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Regeling en homeostase 10
2 Hormonale regulatie 18
3 Het zenuwstelstel 36
4 Reflexen en het autonome zenuwstelsel 50
5 Impulsgeleiding 57
6 Spieren en beweging (SE) 70

SAMENHANG

Alcohol is niet altijd gezellig 84

EXTRA STOF

Verliefdheid is chemie
De effecten van drugs

ONDERZOEK

Practica 86

AFSLUITING

Samenvatting 91
Examenopgaven 98

Thema 8

WAARNEMING EN GEDRAG (SE)

ORIËNTATIE

Daar zit geen luchtje aan 106
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Zintuigen 108
2 De werking van het oog 118
3 Gedrag 132
4 Vorming van gedrag 140
5 Sociaal gedrag bij dieren 152
6 Gedrag bij mensen 164

SAMENHANG

Prairiewoelmuizen zoeken troost 174

EXTRA STOF

Gedrag van pissebedden

ONDERZOEK

Practica 176

AFSLUITING

Samenvatting 180
Examenopgaven 186

Register 192
Colofon 194

Deel B

Thema 9

STOFWISSELING IN DE CEL

ORIËNTATIE

Snellere stofwisseling
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Chemie in cellen
2 Enzymen
3 Koolstofassimilatie
4 Voortgezette assimilatie
5 Dissimilatie

SAMENHANG

Pandabeer overleeft kou door bacteriën

EXTRA STOF

Eiwitturnover

ONDERZOEK

Practica

AFSLUITING

Samenvatting
Examenopgaven

Thema 10

DNA

ORIËNTATIE

Hoe uniek is jouw DNA?
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 De bouw en functie van DNA
2 DNA-replicatie
3 Transcriptie
4 Translatie en eiwitsynthese
5 Genregulatie
6 Mutaties
7 Biotechnologie

SAMENHANG

Een designerbaby met CRISPR-CAS

EXTRA STOF

Erfelijke ziekten en afwijkingen bij de mens
Ideeën voor onderzoek

ONDERZOEK

Practica

AFSLUITING

Samenvatting
Examenopgaven

Thema 11

PLANTEN

ORIËNTATIE

Zijn planten intelligent?
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Bouw, groei en ontwikkeling
2 Transport in planten
3 Stofwisseling
4 Voortplanting
5 Reageren op de omgeving

SAMENHANG

Acacia

EXTRA STOF

Dubbele bevruchting bij zaadplanten
Het tropische regenwoud

ONDERZOEK

Practica

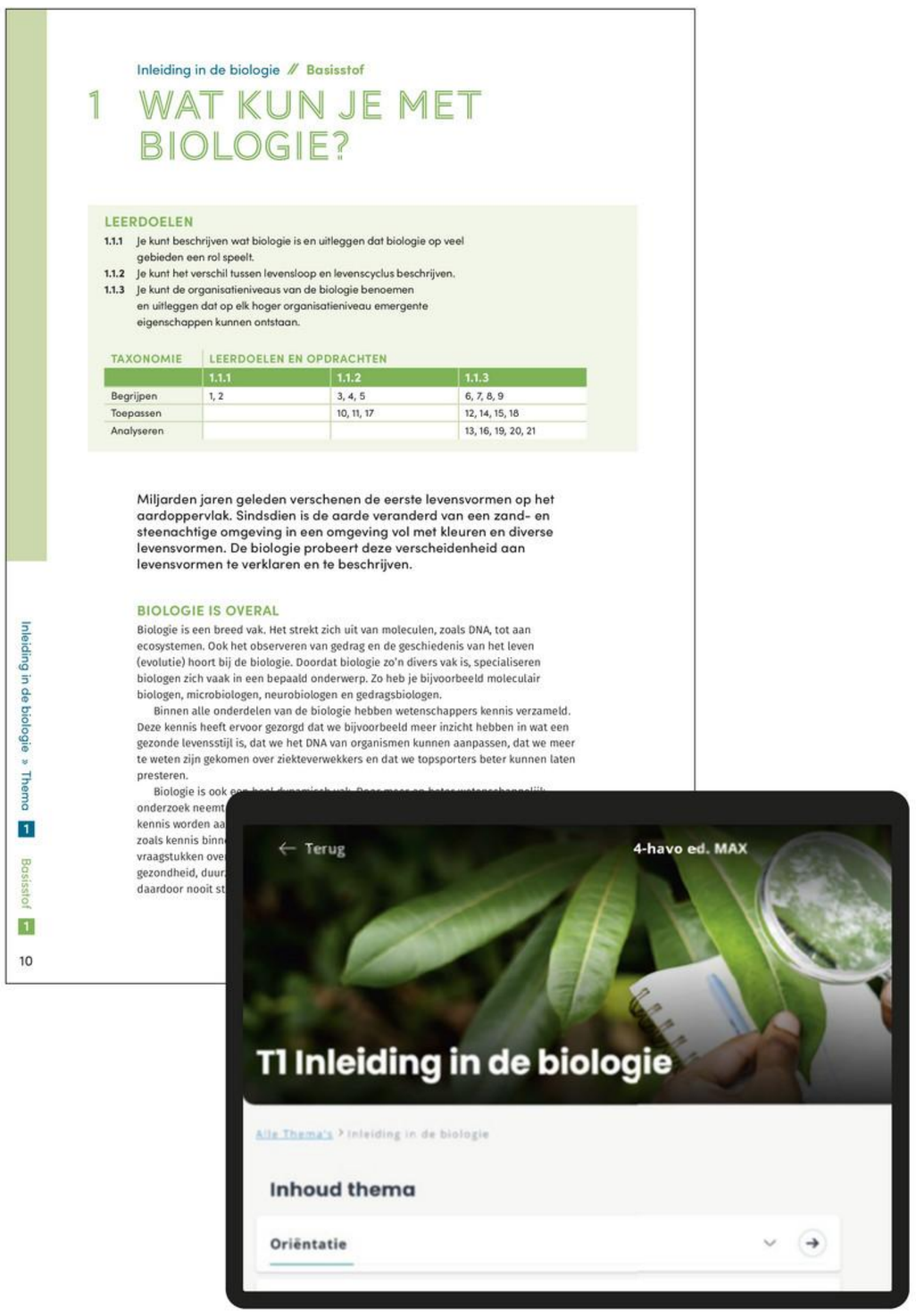
AFSLUITING

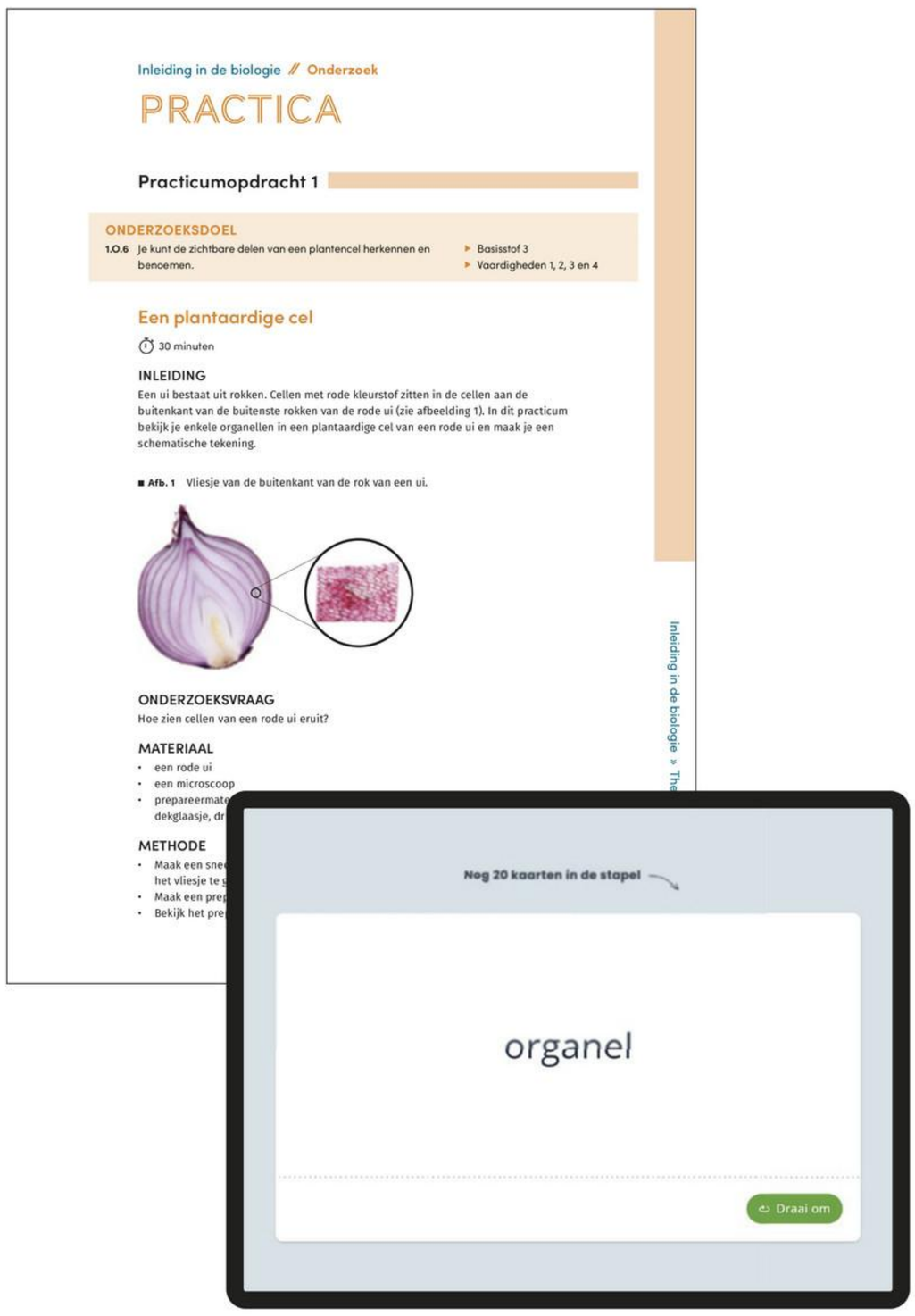
Samenvatting
Examenopgaven

EXAMENTRAINER

AAN DE SLAG MET BIOLOGIE VOOR JOU

Biologie is overal om je heen. Met *Biologie voor jou* heb je alles binnen handbereik om dit te ervaren, te beleven en te ontdekken! Je leert waar het vak om draait en welke rol biologie speelt in het dagelijkse leven.





WERK IN JE BOEK ÉN ONLINE!

Er zijn twee boeken per leerjaar en er is een online leeromgeving. Je docent kiest wat je online doet (met laptop, tablet of telefoon) en wat in je boek. Elk thema start met de Oriëntatie (inclusief *Voorkennistoets* en *Voorkennisfilmpjes*), gevolgd door de *Basisstof*, *Samenhang*, *Extra stof*, *Onderzoek* en *Afsluiting*. Aan het begin van elke basisstof staat met leerdoelen aangegeven wat je gaat leren en op welk taxonomieniveau je het geleerde oefent bij de opdrachten. In het onderdeel *Onderzoek* vind je de vaardigheden en ga je met practica aan de slag. In de *Afsluiting* vind je de samenvatting en examenopgaven ter voorbereiding op het examen.

VOORDELEN VAN ONLINE

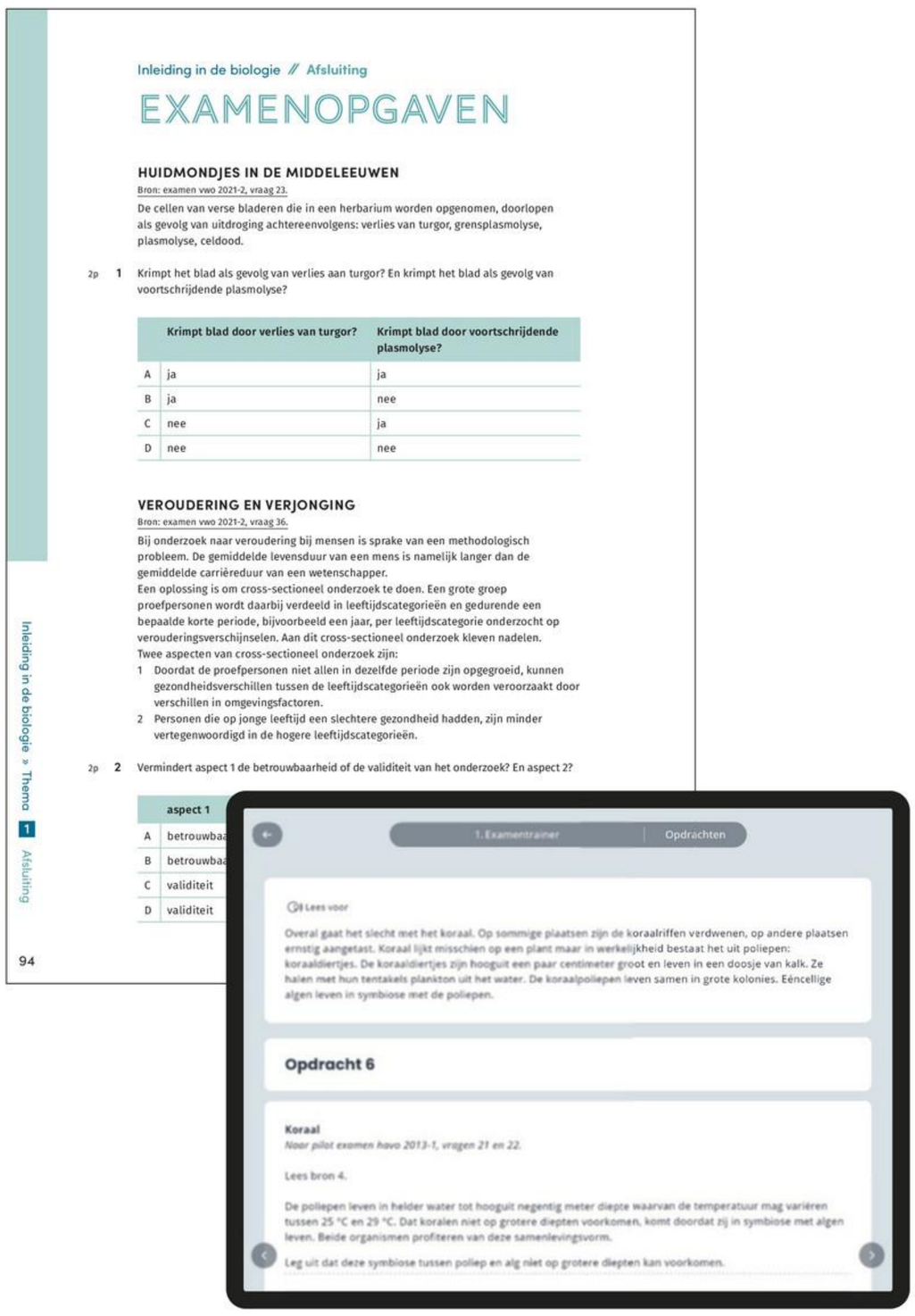
- Je ziet snel wat je goed of fout doet.
- Je leert de begrippen met de *Flitskaarten*.
- Je meet of je de stof beheerst met de *Test jezelf*, *Oefentoets* en *Examenopgaven*.
- Je kunt op een hoger of lager niveau en leerjaar werken.
- Je docent volgt hoe het met je gaat.

SAMENHANG

Aan het einde van elk thema is er een onderdeel *Samenhang*. Met de *Samenhang* ontdek je hoe de leerstof van belang is in de wereld om je heen. Ook leer je verbanden te zien tussen de verschillende basisstoffen van het thema en is er aandacht voor de interactie tussen de verschillende organisatieniveaus. Een goede oefening voor het examen!

GOEDE VOORBEREIDING OP DE TOETS EN HET EXAMEN!

Een thema eindigt met een Afsluiting (*Samenvatting* en *Examenopgaven*). In de online leeromgeving vind je ook *Flitskaarten*, *Test jezelf* en de *Examentrainer*.



VOORDELEN VAN HET BOEK

- Je hebt snel overzicht in wat je gaat leren.
- Je leest lange teksten op papier.
- Je markeert in de tekst en maakt aantekeningen.

BETEKENIS SYMBOLEN

Deze opdracht maak je het best in je boek.

Ga naar de online leeromgeving voor handige extra's.

Een uitdagende opdracht uit de biologie-olympiade.

Met dit practicum ben je zó lang bezig.

11

Thema 7

REGELING

Dit thema gaat over de bouw, functie en samenwerking van het hormoonstelsel, het zenuwstelsel en het spierstelsel. Als je sport, beweeg je met behulp van je spierstelsel. Het hormoonstelsel en het zenuwstelsel regelen dat processen zoals je hartslag en ademhaling worden aangepast aan de activiteit. Deze orgaanstelsels werken samen om de omstandigheden in je lichaam min of meer constant te houden.

Inhoud

ORIËNTATIE

Sensatiezoekers 8
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Regeling en homeostase 10
2 Hormonale regulatie 18
3 Het zenuwstelsel 36
4 Reflexen en het autonome zenuwstelsel 50
5 Impulsgeleiding 57
6 Spieren en beweging (SE) 70

SAMENHANG

Alcohol is niet altijd gezellig 84

EXTRA STOF

Verliefdheid is chemie
De effecten van drugs

ONDERZOEK

Practica 86

AFSLUITING

Samenvatting 91
Examenopgaven 98

SENSATIEZOEKERS

Max Verstappen voelt het in de tarzanbocht op het circuit van Zandvoort. Klimster Babsi Zangerl ervaart het als ze met haar vingers aan een steile rots hangt. En skydiver Felix Baumgartner maakte een sprong van veertig kilometer hoog en voelde het toen hij met een snelheid van 1300 kilometer per uur naar beneden suisde. Het gevoel van sensatie.

Mensen die net als Max Verstappen, Babsi Zangerl of Felix Baumgartner van extreme uitdagingen houden en de grenzen van hun kunnen opzoeken, noem je ook wel sensatiezoekers, thrillseekers of adrenalinejunkies. Zij doen aan formule 1-racen, beklimmen rotsen (zie afbeelding 1) of ze springen met een wingsuit de diepte in (zie afbeelding 2). Ze zijn op zoek naar het gevoel van euforie, onoverwinnelijkheid en een moment van intens leven.

Dit gevoel ontstaat als reactie van je lichaam op stress. Deze reactie ontstaat in een speciaal gebied in je hersenen dat is betrokken bij het herkennen van gevaar en emotie. Dit gebied reageert op gevaar door verschillende stoffen af te geven, zoals adrenaline. Adrenaline zet lichaamsprocessen in gang die nodig zijn om je lichaam voor te bereiden op gevaar.

De afgifte van adrenaline aan je bloed zorgt er onder andere voor dat je hart sneller gaat kloppen en dat er meer bloed naar je spieren wordt vervoerd. Ook verhoogt het je ademhalingssnelheid, waardoor je bloed meer zuurstof opneemt. Hierdoor vervoer je ook extra zuurstof naar je hersenen, waardoor je alerter wordt.

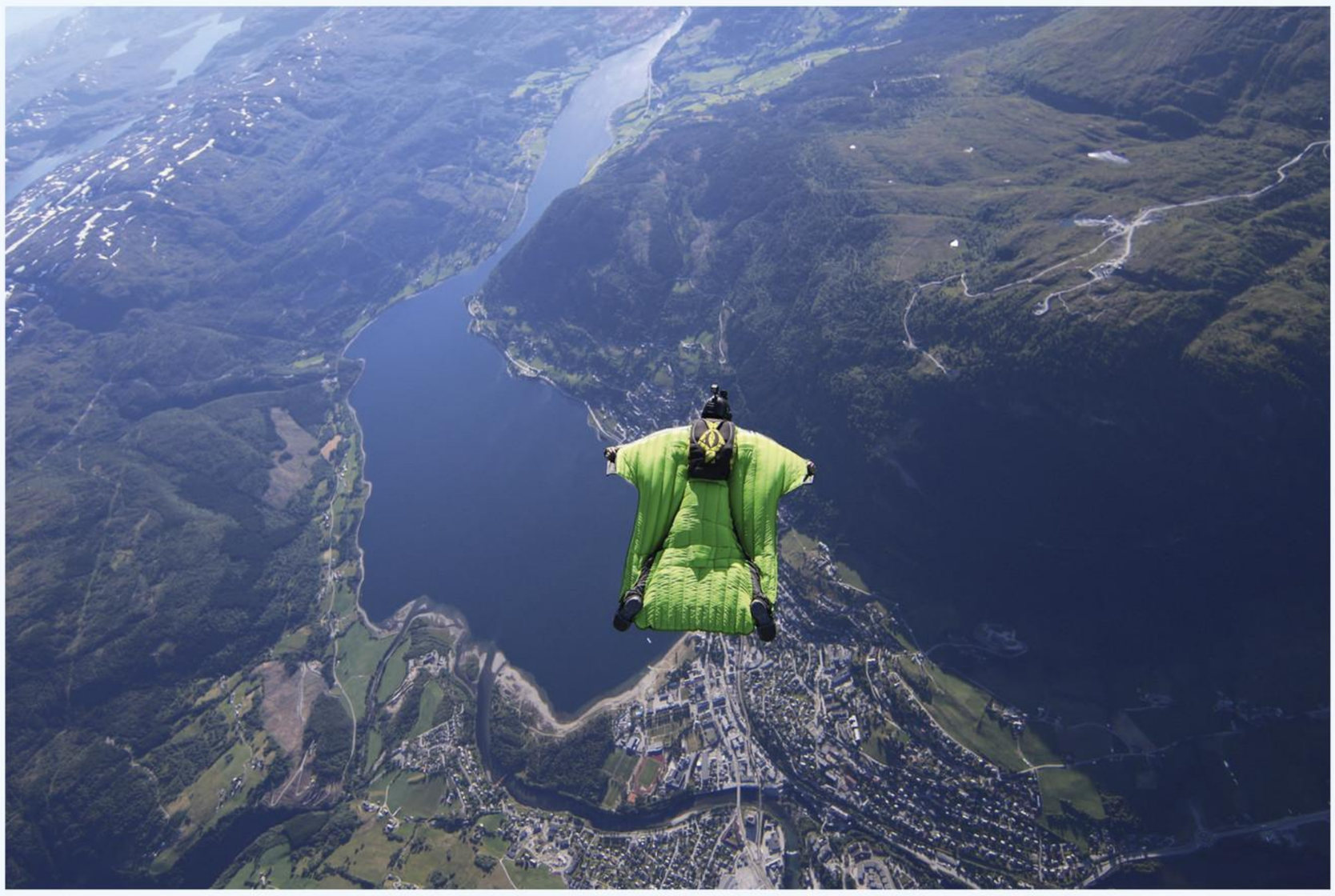
Dopamine is een hormoon dat vrijkomt als je een goed resultaat behaalt. Dopamine maakt onderdeel uit van het beloningssysteem. Het beloningssysteem is verantwoordelijk voor motivatie en plezier en speelt een belangrijke rol bij overleven. Vandaar dat dopamine onder andere vrijkomt bij eten en seks. Deze activiteiten ervaar je daarom als plezierig. Ook bij gedrag dat grensverleggend kan zijn, zoals extreme activiteiten, komt dopamine vrij. Als je met succes een grens verlegt, kan dat je overlevingskans vergroten. Je wordt daarbij beloond met de afgifte van dopamine.

De stressreactie die je lichaam voorbereidt op dreigend gevaar is een oeroude respons die al aanwezig was bij onze verre voorouders. Zij deden niet aan skydiven, maar wel aan andere stressverhogende activiteiten. Meer dan 20 000 jaar geleden jaagden ze bijvoorbeeld op grote zoogdieren zoals de wolharige mammoet. Of ze probeerden simpelweg te ontsnappen aan gevaarlijke roofdieren.

Tegenwoordig is het leven in Nederland op veel plaatsen zo veilig en gecontroleerd geworden dat je echt moet zoeken naar een beetje gevaar. Vechten tegen een wolharige mammoet met een speer kan niet meer. Vandaar dat je misschien voor je plezier gaat kitesurfen of raften om dezelfde chemische reactie in je hersenen op te wekken.

■ **Afb. 1** Babsi Zangerl hangt met haar vingers aan een rots.

■ **Afb. 2** Skydiven met een wingsuit.



Opdrachten

1 Leg uit waardoor mensen verslaafd kunnen raken aan extreme activiteiten.

2 Waarom is het beter om niet te spreken van adrenalinejunkies als het gaat over mensen die van extreme uitdagingen houden en de grenzen van hun kunnen opzoeken?

3 Waardoor zorgt een verhoogde afgifte van adrenaline ervoor dat je je omgeving beter kunt waarnemen?

4 Waarom is het belangrijk dat er bij dreigend gevaar meer bloed naar je spieren gaat en minder naar je verteringsstelsel?

5 Een op de dertig mensen heeft een verminderde gevoeligheid voor dopamine.
Leg uit dat deze mensen eerder op zoek gaan naar nieuwe spannende uitdagingen.

Ga naar de *Voorkennistoets* en het *Voorkennisfilmpje*.

1p **1** Licht toe dat cAMP een second messenger wordt genoemd.

Drie uitspraken die de werking van progesteron bij menstruerende zoogdieren in verband brengen met een toename van cAMP in baarmoederslijmvliescellen zijn:

1 Progesteron vormt met de membraanreceptor een complex dat aan het DNA bindt en zo de expressie van cAMP verhoogt.
2 Progesteron zet bepaalde cellen aan tot de afgifte van een signaalstof die bindt aan de membraanreceptor op baarmoederslijmvliescellen.
3 Progesteron veroorzaakt in baarmoederslijmvliescellen verminderde expressie van het enzym adenylcyclase.

2p **2** Schrijf de nummers 1, 2 en 3 onder elkaar en noteer erachter of de betreffende uitspraak wel of niet juist kan zijn.

Tijdens de zwangerschap en de daaropvolgende zoogperiode ligt de menstruatiecyclus van menstruerende zoogdieren stil. Het zuigen van het jong beïnvloedt de afgifte van GnRH en LH bij het moederdier.

2p **3** Wordt door het zogen de afgifte van GnRH bij de moeder gestimuleerd of geremd? En wordt de afgifte van LH dan gestimuleerd of geremd?

	GnRH-productie	LH-productie
A	gestimuleerd	gestimuleerd
B	gestimuleerd	geremd
C	geremd	gestimuleerd
D	geremd	geremd

LACHGAS, GEEN ONSCHULDIGE PARTYDRUG

Naar: examen vwo 2022-1, vragen 29, 33 en 34.

Lachgas (N_2O) wordt door jongeren steeds vaker gebruikt als partydrug. Zij beschouwen het als een relatief onschadelijk middel dat je een lachkick bezorgt. Vwo-scholier Lia liep ernstige zenuwschade op door het gebruik van lachgas.

Bij lachgasgebruik wordt een ballon gevuld met het gas. Vervolgens wordt een paar keer in- en uitgeademd in de ballon. Hierdoor ontstaat een kortdurend vrolijk gevoel. Dit gevoel ontstaat waarschijnlijk doordat lachgas NMDA-receptoren in synapsen in de hersenen blokkeert. Er ontstaat ook duizeligheid door een tijdelijk zuurstofgebrek in de hersenen.

De NMDA-receptor is een ionkanaal dat wordt geactiveerd als glutaminezuur en glycine er tegelijk aan binden. Geactiveerde NMDA-receptoren veroorzaken excitatie van het postsynaptisch neuron.

2p **4** Bevindt de NMDA-receptor zich in het presynaptisch of in het postsynaptisch membraan? En voorkomt binding van N_2O depolarisatie, repolarisatie of hyperpolarisatie van het postsynaptisch neuron?

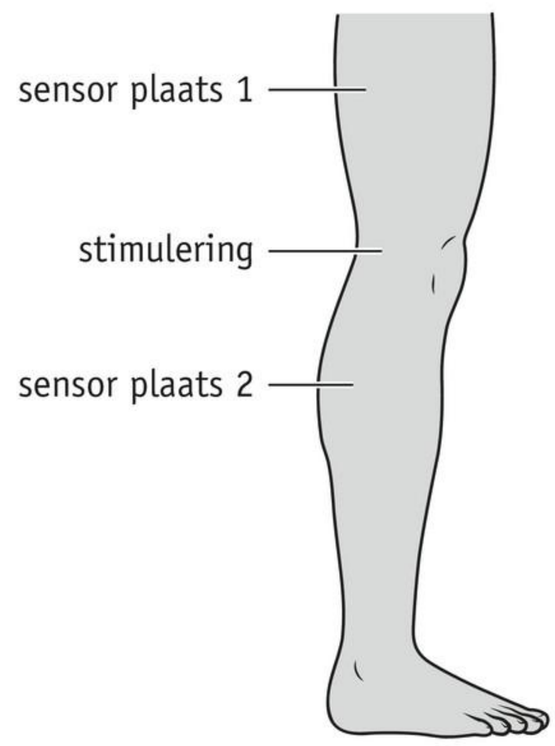
	Plaats NMDA-receptor	Binding van N_2O voorkomt
A	presynaptisch membraan	depolarisatie
B	presynaptisch membraan	repolarisatie
C	presynaptisch membraan	hyperpolarisatie
D	postsynaptisch membraan	depolarisatie
E	postsynaptisch membraan	repolarisatie
F	postsynaptisch membraan	hyperpolarisatie

Het is niet altijd meteen duidelijk dat zenuwschade het gevolg kan zijn van lachgasgebruik. Lia kreeg minder gevoel in haar benen en ze kreeg moeite met lopen. Toen ze met deze klachten bij haar huisarts kwam, verwees die haar door naar een neuroloog. De neuroloog onderzocht haar beenreflexen en vermoedde een probleem in de impulsgeleiding als gevolg van aantasting van de myelineschedes. Lia vertelde niet over haar lachgasgebruik.

1p **5** In welk deel van het zenuwstelsel bevinden zich myelineschedes?
A alleen in het centraal zenuwstelsel
B alleen in het perifeer zenuwstelsel
C zowel in het centraal zenuwstelsel als in het perifeer zenuwstelsel

De neuroloog testte de geleiding van de zenuwen in het been door op een bepaalde plaats de zenuw te stimuleren en met sensoren te meten wanneer de opgewekte impuls op een andere plaats aankomt. In afbeelding 2 zijn de plaatsen van de twee sensoren en de plaats van stimulering aangegeven.

■ **Afb. 2** Het meten van de zenuwgeleiding.



Uit de metingen bleek dat bij Lia de impulsgeleiding was verstoord. De impulsen komen bij Lia later aan dan bij iemand bij wie de myelineschedes wel goed functioneren.

1p **6** Verklaar waardoor de impulsen bij Lia niet even snel aankomen als bij een gezond persoon.

DOMESTICATIESYNDROOM

Naar: examen vwo 2022-3, vragen 29 en 30.

Het was Charles Darwin al opgevallen dat onze huisdieren een verzameling eigenschappen vertonen die je niet ziet bij hun wilde verwanten. Dit wordt het domesticatiesyndroom genoemd. Een internationale groep evolutiebiologen denkt hiervoor de verklaring te hebben gevonden.

Domesticatie is het proces waarmee de mens door selecteren en kruisen de eigenschappen van dieren heeft veranderd, zodat deze dieren steeds geschikter zijn voor het leven dicht bij en in dienst van de mens.
Gedomesticeerde dieren (huisdieren) zijn tam: zij hebben geen angstige of agressieve reacties op hun menselijke verzorgers. Gedomesticeerde dieren delen echter ook eigenschappen waar in eerste instantie niet op was geselecteerd. Ze hebben vaak witte vlekken in de vacht (afbeelding 3), kleine tanden, een korte snuit, hangoren en/of een krulstaart; eigenschappen die hun wilde soortgenoten niet hebben.

■ **Afb. 3** Gedomesticeerde dieren.

Darwin veronderstelde dat het domesticatiesyndroom verband houdt met de milde abiotische omstandigheden en de ruime voedselvoorziening van huisdieren.
Bij veel gedomesticeerde dieren ontbreekt de ‘stressrespons’ (de fysiologische reactie op een stressprikkel) bij contact met mensen vrijwel geheel. De stressrespons bestaat uit een snelle respons en een langzamere respons.

2p **7** De snelle respons leidt tot de afgifte van een hormoon onder invloed van het autonome zenuwstelsel.

a Noteer de naam van dit hormoon.

b Noteer de naam van het deel van het autonome zenuwstelsel dat de afgifte van dit hormoon stimuleert.

2p **8** De langzamere respons leidt tot de afgifte van het hormoon cortisol. De afgifte hiervan gebeurt onder invloed van de hypothalamus en de hypofyse.

a Noteer de naam van het hormoon dat door de hypothalamus wordt afgegeven om uiteindelijk de afgifte van cortisol te stimuleren.

b Verklaar waardoor bij de stressrespons de afgifte van cortisol langzamer op gang komt dan de afgifte van het hormoon van de snelle respons.

Ga naar de *Examentrainer*.

NOTITIES

Thema 8

WAARNEMING EN GEDRAG (SE)

Om te overleven, moeten dieren kunnen reageren op hun omgeving. Dat geldt dus ook voor jou. Je zintuigcellen geven informatie uit je interne én externe milieu door aan je centrale zenuwstelsel. Daar wordt deze informatie verwerkt, waardoor bewuste en onbewuste reacties ontstaan. Al deze reacties samen vormen het gedrag van een mens of dier. Hoe reageer jij op je omgeving en welk gedrag vertoon jij?

Inhoud

ORIËNTATIE

Daar zit geen luchtje aan 106
Voorkennistoets
Voorkennisfilmpje

BASISSTOF

1 Zintuigen 108
2 De werking van het oog 118
3 Gedrag 132
4 Vorming van gedrag 140
5 Sociaal gedrag bij dieren 152
6 Gedrag bij mensen 164

SAMENHANG

Prairiewoelmuizen zoeken troost 174

EXTRA STOF

Gedrag van pissebedden

ONDERZOEK

Practica 176

AFSLUITING

Samenvatting 180
Examenopgaven 186

DAAR ZIT GEEN LUCHTJE AAN

'Ik ruik al weken niks meer, niet eens mijn eigen oksels' en 'Mijn eten is helemaal aangebrand, maar dat merkte ik pas toen het brandalarm afging.' De media stonden vol verhalen van mensen die hun reuk kwijt waren door het virus SARS-CoV-2. Dit coronavirus beïnvloedt de receptoren voor geur in je neus, waardoor er geen impulsen meer naar de reukcentra in de hersenen worden gestuurd. Het gevolg is een verminderd of geen reukvermogen (anosmie) als vroeg symptoom van een COVID-infectie.

Veel mensen die na een aantal weken hun reuk weer terugkregen, klaagden dat daarna vrijwel alles rook naar 'zwavel', 'rotte eieren' of 'een onbepaalde chemische geur'. De nasleep van COVID leidde tot een enorme toename van de aandoening parosmie, ofwel vervormd reukvermogen. Sanne Boesveldt is reukzinonderzoeker aan de Universiteit Wageningen. Ze vertelt dat de vervormde waarneming van geur mogelijk juist een teken van herstel is. Ze vergelijkt dit met een vastgelopen computer, waarbij je het systeem opnieuw moet opstarten, maar dit niet zonder fouten gaat. Als de impulsgeleiding tussen neus en reukcentra in de hersenen na de COVID-infectie weer langzaam op gang komt, verloopt deze niet zonder storingen en moeten er mogelijk zelfs nieuwe verbindingen in de hersenen worden aangelegd. Ook kunnen andere delen van de hersenen zijn beschadigd door ontstekingen, veroorzaakt door de COVID-infectie.

Naast alle mensen met een verminderde reuk, veroorzaakte het SARS-CoV-2-virus minstens zoveel klachten over een verminderde smaak. Een kleine greep uit de vele uitspraken: 'Zelfs met een hele pot kruiden smaakt alles nog flauw', 'Ik heb geen zin meer in eten', 'Ik krijg geen vlees meer weg' en zelfs 'Mijn bruidstaart smaakte verrot.' Bij het overgrote deel van de (ex-)COVID-patiënten werd deze aantasting van de smaak echter niet veroorzaakt door een beschadiging van de smaakreceptoren in de mond (verantwoordelijk voor de basissmaken zoet, zuur, zout, bitter of umami), maar ook door de aantasting van het reukvermogen. Dat komt doordat smaak grotendeels wordt bepaald door geur. Andere dingen die meespelen zijn bijvoorbeeld mondgevoel, emoties en eerdere ervaringen.

Het heeft dus een behoorlijke impact op je leven als je langdurig niet of anders ruikt. Daar kan Charlotte Landman over meepraten. Zij kan namelijk al haar hele leven niks ruiken. Haar ouders ontdekten dat toen ze 3 jaar oud was. De huisarts wist niet wat hij eraan kon doen. Jaren later, na verwijzing door de GGD, bleek uit een MRI-scan dat de zenuwbaan die de neus met de hersenen verbindt, ontbreekt. Ondanks het gebrek aan reuk kan ze wel genieten van eten. Ze denkt dat haar smaakpapillen gevoeliger zijn voor de vijf basissmaken. Daarnaast geniet ze van verschillende structuren in haar eten en kan ze smullen van combinaties van warm en koud, zoals warme appeltaart met ijs. Verder heeft Charlotte naar eigen zeggen niet zoveel last van haar anosmie, omdat ze ermee is geboren en dus niet weet wat ze mist. Wel is ze blij dat er nu meer aandacht is voor anosmie, want het ongeloof of onbegrip van andere mensen is wel vervelend.

■ **Afb. 1** Als je neus het wel goed doet.

Opdrachten

1 De tekst noemt twee manieren van waarnemen: ruiken en proeven.
Welke andere manieren van waarnemen ken je? Noteer er drie.

2 In welke organen liggen de receptoren voor reuk en de receptoren voor smaak?

3 Leg uit dat een verminderd reuk- of smaakvermogen je eetgedrag kan beïnvloeden.

4 Leg uit dat emoties en eerdere ervaringen de smaak van je voedsel kunnen beïnvloeden.

5 Ruiken is belangrijk voor je veiligheid.
Leg uit aan de hand van een voorbeeld dat niet kunnen ruiken gevaren kan opleveren.

Ga naar de *Voorkennistoets* en het *Voorkennisfilmpje*.

1 ZINTUIGEN

LEERDOELEN

8.1.1 Je kunt de werking van zintuigen in relatie met het zenuwstelsel beschrijven.
8.1.2 Je kunt de reactie van een zintuig op een adequate prikkel beschrijven.
8.1.3 Je kunt de delen van het oog en hun functie beschrijven.

- Vaardigheden 4, 6 en 7 (thema 1)
- Practica 1, 2 en 3

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	8.1.1	8.1.2	8.1.3
Begrijpen	2a, 4ab, 11b	1, 2bc	3, 4cd, 5
Toepassen		8, 9, 11a	6, 10ac
Analyseren	10b, 11d, 12	7, 11c	

Zintuigen zijn gevoelige organen die prikkels uit het interne en externe milieu kunnen waarnemen. Veel mensen denken dat je vijf zintuigen hebt: gehoor, gezichtsvermogen, reukzin, smaakzin en tastzin, maar je hebt er meer. Kun jij nog andere voorbeelden noemen?

ZINTUIGLIJKE WAARNEMING

In het vorige thema is besproken hoe regeling in het menselijk lichaam door het zenuwstelsel tot stand komt. Dit gebeurt op basis van informatie uit receptoren (zintuigcellen) van je zintuigen. De informatie wordt omgezet in impulsen en via neuronen naar de hersenen geleid. Het regelcentrum van de hersenen (de thalamus) filtert de binnenkomende impulsen. De impulsen die het regelcentrum doorlaat, worden in speciale hersencentra in de schors verwerkt. Hierdoor word je je bewust van de waarneming (zie afbeelding 1). Vervolgens worden deze impulsen verder verwerkt in andere hersengebieden, waardoor je kunt reageren op prikkels door het aansturen van spieren en klieren. Ook kunnen de zintuiglijke waarnemingen in je geheugen worden opgeslagen.

1 REGELING EN HOMEOSTASE

LEERDOELEN

7.1.1 Je kunt uitleggen wat homeostase is.

7.1.2 Je kunt uitleggen hoe regelkringen een rol spelen bij het handhaven van de homeostase bij de mens.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	7.1.1	7.1.2
Begrijpen	1, 2, 3b, 10a	3a, 4
Toepassen	6, 7a, 10b, 13	5a, 7b
Analyseren	5c, 9, 11	5b, 7c, 8, 12

Elk organisme neemt stoffen op uit de omgeving en geeft stoffen af aan de omgeving. Denk bijvoorbeeld aan de opname van zuurstof en voedingsstoffen en de afgifte van koolstofdioxide, urine, ontlasting en zweet.

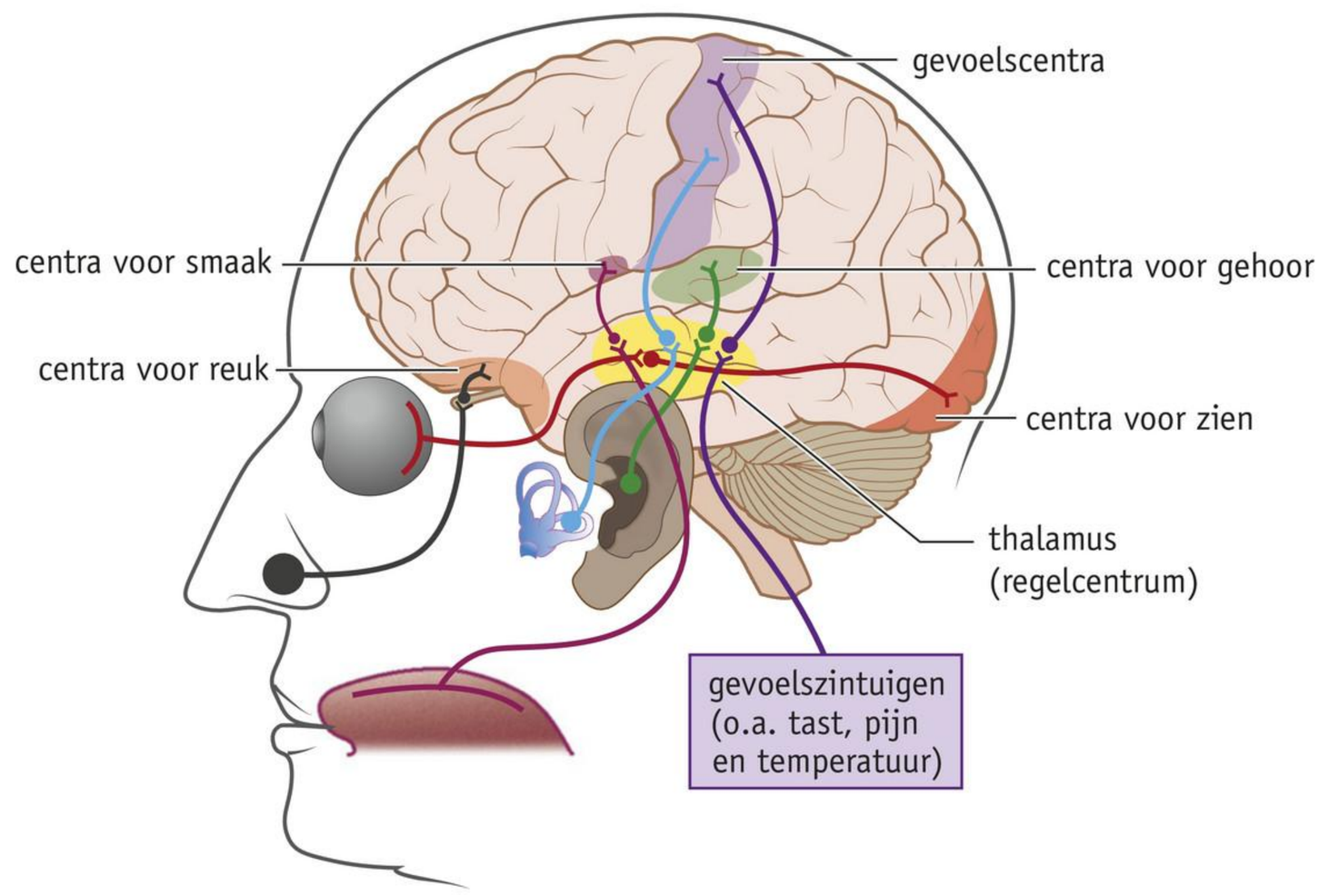
HOMEOSTASE

Je lichaam handhaaft veel factoren rondom een bepaalde waarde: de normwaarde. Dat geldt bijvoorbeeld voor de **zuurstofconcentratie** en **glucoseconcentratie** in je bloed, de osmotische waarde van lichaamsvloeistoffen en je lichaamstemperatuur. Deze waarden zijn niet altijd precies gelijk (constant), maar mogen ook niet te ver afwijken van de normwaarde. Je spreekt daarom van een **dynamisch evenwicht**. Je lichaamstemperatuur schommelt rondom een normwaarde van 36,4 °C, doordat factoren zoals de omgevingstemperatuur en lichamelijke activiteiten je lichaamstemperatuur continu beïnvloeden. Een **regelkring** zorgt ervoor dat de waarde van een bepaalde factor rondom een normwaarde schommelt. Daardoor wordt je lichaamstemperatuur niet veel hoger of lager dan 36,4 °C. Het in stand houden van een dynamisch evenwicht in het **inwendige milieu** van organismen noem je **homeostase** (Grieks: *homoios* = gelijk, *stasis* = toestand). Homeostase is een voorbeeld van zelfregulatie van een organisme. Het organisme houdt zichzelf hierdoor in leven.

REGELKRINGEN

In de techniek gebruik je ook regelkringen. Bijvoorbeeld om de kamertemperatuur in een huis min of meer constant te houden. Dat gebeurt met behulp van centrale verwarming. Dit systeem bestaat uit een thermostaat, een verwarmingsketel en radiatoren. Om een min of meer constante temperatuur in huis te kunnen handhaven, vormen deze delen samen een regelkring die bestaat uit een sensor, een controlecentrum en een **effector** (= uitvoerder) (zie afbeelding 1). De thermostaat is de sensor. Deze hangt in een kamer en kun je instellen op een bepaalde temperatuur, de normwaarde. De thermostaat meet de temperatuur in deze ruimte.

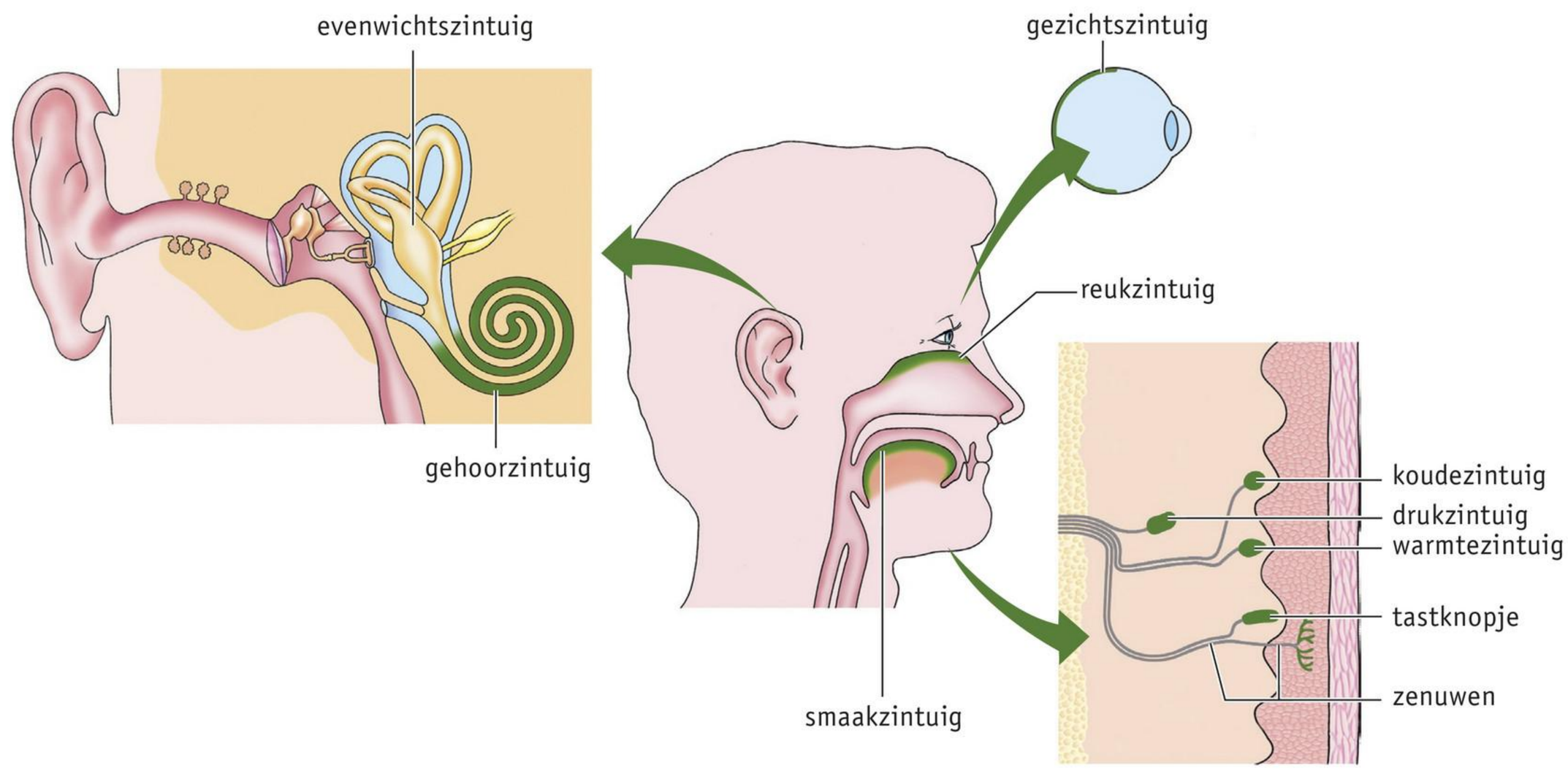
■ **Afb. 1** Hersengebieden betrokken bij zintuiglijke waarneming.



INTERNE EN EXTERNE PRIKKELS

Er bestaan veel verschillende **zintuigen**. In afbeelding 2 is de ligging van enkele zintuigen bij de mens weergegeven. In de groene gebieden liggen de receptoren (zintuigcellen). Sommige zintuigen, zoals het gehoorzintuig en het gezichtszintuig, ontvangen prikkels uit het externe milieu (externe prikkels). Voor het handhaven van de homeostase worden receptoren gebruikt die prikkels ontvangen uit het inwendige milieu (interne prikkels), bijvoorbeeld: osmoreceptoren en temperatuurreceptoren. Osmoreceptoren in de hypothalamus nemen de osmotische waarde van het bloedplasma waar en beïnvloeden de urineproductie. Temperatuurreceptoren registreren veranderingen in de lichaamstemperatuur en beïnvloeden de zweetproductie en doorbloeding van de huid. Dit zijn voorbeelden van regelkringen die het dynamische evenwicht van het inwendige milieu handhaven.

■ **Afb. 2** De ligging van enkele zintuigen en hun receptoren (groen).

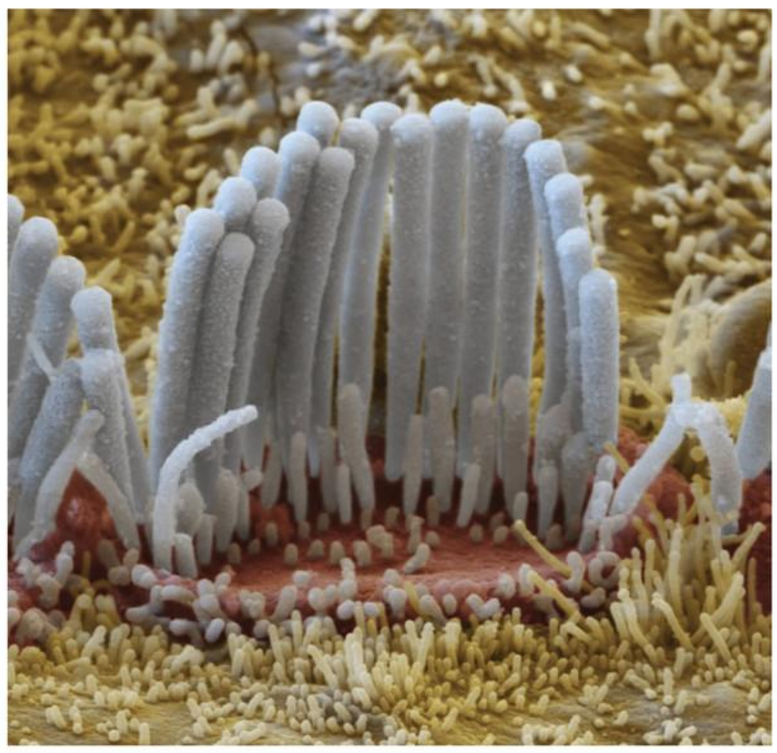


RECEPTOREN

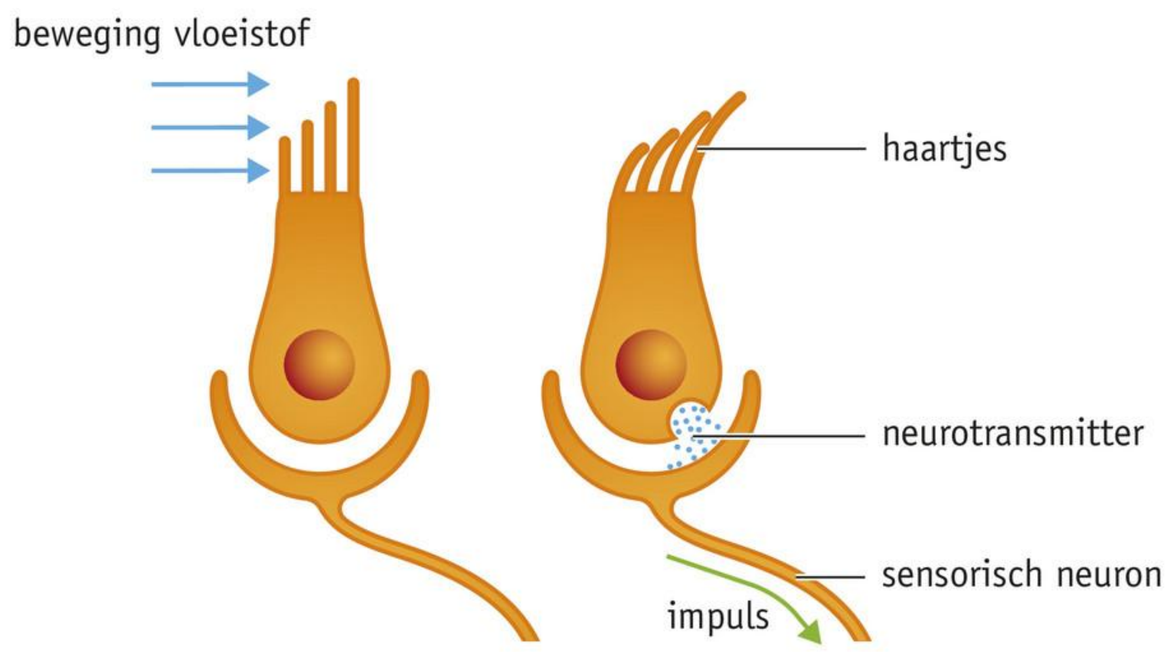
Afhankelijk van het type prikkel waar receptoren op reageren, kun je verschillende groepen onderscheiden.

- **Chemische receptoren** kunnen bepaalde moleculen uit de omgeving binden. Voorbeelden van chemische receptoren zijn de smaakreceptoren van het smaakzintuig in je tong en de reukreceptoren van het reukzintuig in je neus. Smaakreceptoren kunnen opgeloste moleculen binden en reukreceptoren kunnen moleculen uit de lucht binden.
- **Mechanische receptoren** geven een impuls af als hun celmembraan buigt of uitrekt door aanraking, druk, beweging of geluid (trillingen in de lucht). Voorbeelden van mechanische receptoren zijn de receptoren van je gehoorzintuigen, receptoren van je evenwichtszintuigen, spierspoeltjes, tastreceptoren en drukreceptoren. De receptoren van je gehoorzintuigen en evenwichtszintuigen in je oor hebben fijne haartjes. Als de vloeistof waarin zij zich bevinden beweegt, buigen de haartjes en vervormt het celmembraan. Hierdoor ontstaat een impuls (zie afbeelding 3).
  In **tastreceptoren** en drukreceptoren in de huid ontstaat een impuls als het celmembraan wordt vervormd door lichte aanraking of druk. Tastreceptoren liggen vlak onder de opperhuid. Drukreceptoren liggen dieper in de huid. Spierspoeltjes of peesspoeltjes reageren op een verandering in spierspanning.
- **Temperatuurreceptoren** in de huid en hypothalamus reageren op warmte en kou. Wanneer de temperatuur in zo'n receptor boven of onder een bepaalde normwaarde komt, ontstaat een impuls.
- **Lichtreceptoren** (fotoreceptoren) zijn receptoren waarin een impuls ontstaat door zichtbaar licht.
- **Pijnreceptoren** bevinden zich in het hele lichaam en zijn de uiteinden van bepaalde zenuwen. Er ontstaat een impuls in deze receptoren door extreme druk, door extreme temperaturen of door chemische stoffen die vrijkomen bij beschadiging of ontsteking van weefsel.

■ **Afb. 3** Receptoren in de gehoorzintuigen.



1 haartjes in het slakkenhuis



2 het ontstaan van een impuls door beweging van de haartjes

HET ONTSTAAN VAN IMPULSEN IN RECEPTOREN

Receptoren zijn gespecialiseerde zenuwcellen of uitlopers van zenuwcellen. In receptoren ontstaan impulsen als zij een prikkel opvangen die sterker is dan de drempelwaarde. Je noemt deze **drempelwaarde** de prikkeldrempel. Elk type receptor heeft voor elk type prikkel een prikkeldrempel. De lichtreceptoren van je oog bijvoorbeeld hebben een lage prikkeldrempel voor licht. Licht is de **adequate prikkel** voor lichtreceptoren. Voor andere, niet-adequate prikkels ligt de prikkeldrempel veel hoger. Wanneer er een lichte druk op je ogen wordt uitgeoefend, ontstaan er geen impulsen in de lichtreceptoren. Maar als je flink op je oogbol duwt, ontstaan er wel impulsen en dan zie je 'sterretjes'.

De prikkelsterkte bepaalt vervolgens de impulsfrequentie in de aangesloten sensorische neuronen: hoe sterker de prikkel, hoe hoger de impulsfrequentie. Fel licht op de receptoren in je oog leidt dus tot een hogere impulsfrequentie dan schemerlicht.

Wanneer een prikkel echter enige tijd aanhoudt, wordt de prikkeldrempel hoger en neemt de impulsfrequentie af. Hierdoor wordt het zintuig minder gevoelig en voel je bijvoorbeeld na enige tijd de druk van de kleren op je huid niet meer. De aanpassing van de gevoeligheid van een zintuig aan een aanhoudende prikkelsterkte heet **adaptatie** of **gewenning**. Adaptatie voorkomt in dit geval dat het centraal zenuwstelsel met onbelangrijke informatie overbelast raakt. Stel je voor dat je je altijd bewust bent van je precieze houding of de kleding op je huid (zie afbeelding 4)!

Ook een verlaging van de prikkeldrempel noem je adaptatie. Wanneer je bijvoorbeeld van een verlichte kamer een donkere ruimte instapt, zie je eerst niets. Langzaam wennen je lichtreceptoren aan het donker en kun je weer dingen waarnemen (donkeradaptatie). Deze vorm van adaptatie zorgt ervoor dat je zenuwstelsel toch voldoende informatie krijgt.

■ **Afb. 4** Door adaptatie voel je na enige tijd je houding of de druk van kleren op je huid niet meer.

Opdrachten KENNIS

1 **a** Vul tabel 1 verder aan met de ontbrekende begrippen (receptoren, ligging, adequate prikkel). Gebruik hierbij eventueel afbeelding 2.

b Pijnreceptoren worden beschouwd als een aparte categorie receptoren.
Leg uit dat je pijnreceptoren ook zou kunnen indelen in drie andere categorieën receptoren op basis van hun werking.

Tabel 1

Receptoren	Ligging	Adequate prikkel
MECHANISCHE RECEPTOREN		
Gehoorreceptoren		
		zwaartekracht
Drukreceptoren		
		lichte aanraking
CHEMISCHE RECEPTOREN		
	in de neus	
Smaakreceptoren		
TEMPERATUURRECEPTOREN		
		kou
	in de huid en hypothalamus	
PIJNRECEPTOREN		extreme druk, extreme temperaturen, chemische stoffen die vrijkomen bij beschadiging of ontsteking van weefsel
LICHTRECEPTOREN		

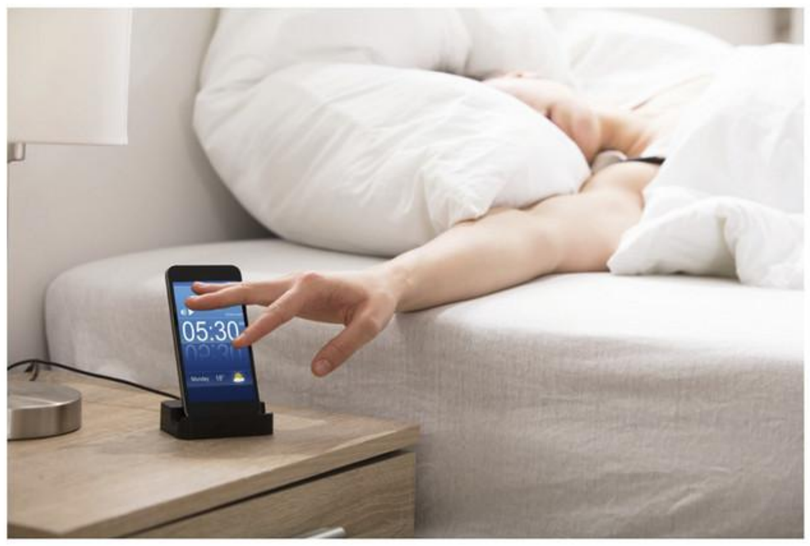
2 Je ligt heerlijk in je bed. Ineens herken je een irritant geluid, de wekker gaat af (zie afbeelding 5). Je realiseert je dat het tijd is om op te staan.

a Welke weg hebben de impulsen afgelegd die ervoor zorgen dat je je bewust wordt van het geluid van je wekker? Benoem alle celtypen en eindig met het hersengebied waar de bewustwording plaatsvindt.

b De wekker blijkt al een behoorlijke tijd te zijn afgegaan: je kunt je vaag herinneren dat je hem een kwartier geleden al hoorde, maar toen toch verder sliep. Gelukkig heb je de wekker zo ingesteld dat het volume steeds harder wordt als je niet reageert. Anders had je je verslapen.
Leg uit hoe het kan dat je niet meer reageert op het lagere volume van de wekker. Gebruik in je antwoord de begrippen: *adaptatie – gevoeligheid – prikkeldrempel*.

c Waarom word je wel wakker na de volumeverhoging van je wekker? Leg je antwoord uit.

Afb. 5 Wakker worden door de wekker.



DE BOUW VAN HET OOG

In afbeelding 6.1 zie je een buitenaanzicht van een oog. De wenkbrauwen boven je ogen houden zweet en stofdeeltjes tegen, zodat deze niet in je ogen terechtkomen. Tussen je wenkbrauw en je oog liggen traanklieren onder de huid. Ze maken traanvocht dat door de oogleden over het oog wordt verspreid. Het traanvocht beschermt het oog tegen uitdroging. Ook spoelt het kleine stofjes of prikkelende stoffen weg uit het oog. In elke ooghoek zitten twee openingen naar een traanbuis waardoor traanvocht kan worden afgevoerd naar de neusholte.

Aan de buitenkant van het oog zijn oogspieren bevestigd. Zij draaien de ogen in de gewenste richting.

De buitenste witte laag van een oog heet het harde oogvlies (zie afbeelding 6.1). Dit stevige vlies geeft bescherming aan het binnenste van een oog. Aan de voorzijde gaat het harde oogvlies over in het hoornvlies (zie afbeelding 6.2). Dit is doorzichtig, zodat licht het oog kan binnenvallen.

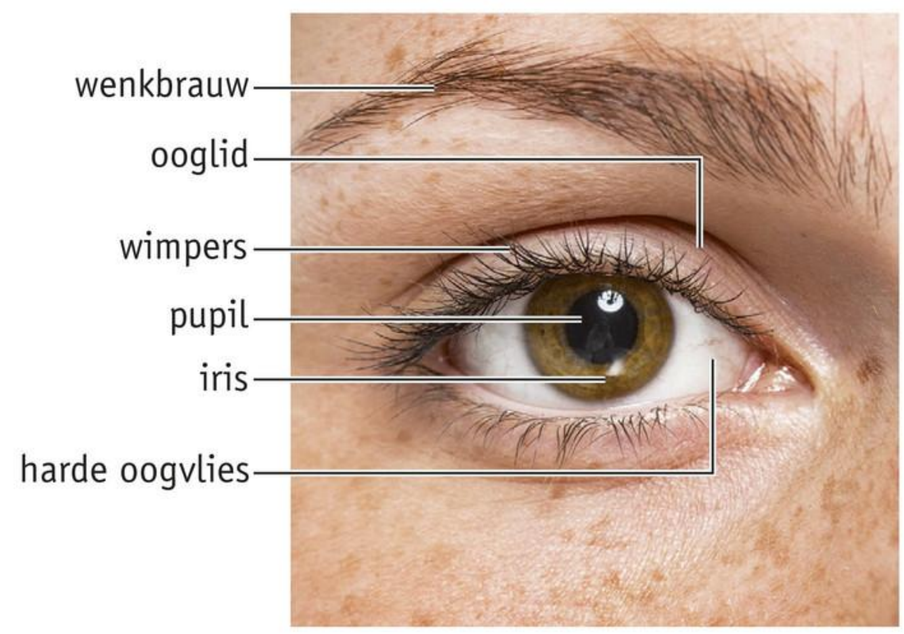
Onder het harde oogvlies ligt het vaatvlies. Deze middelste laag van de wand van je oog bevat veel bloedvaten en voorziet een groot deel van het oog van voedingsstoffen en zuurstof. Aan de voorkant van het oog gaat het vaatvlies over in de iris of het regenboogvlies. De iris is het gekleurde gedeelte van je oog. De kleur wordt bepaald door pigmenten. De opening in de iris noem je de **pupil**. Spieren in de iris kunnen de pupil groter of kleiner maken en bepalen zo hoeveel licht het oog binnenvalt.

Achter de iris en de pupil bevindt zich de **ooglens**. Het hoornvlies en de ooglens breken de lichtstralen die het oog binnenvallen. Door het straalvormig lichaam rondom de lens kan de lens van vorm veranderen, zodat je altijd een scherp beeld kunt waarnemen.

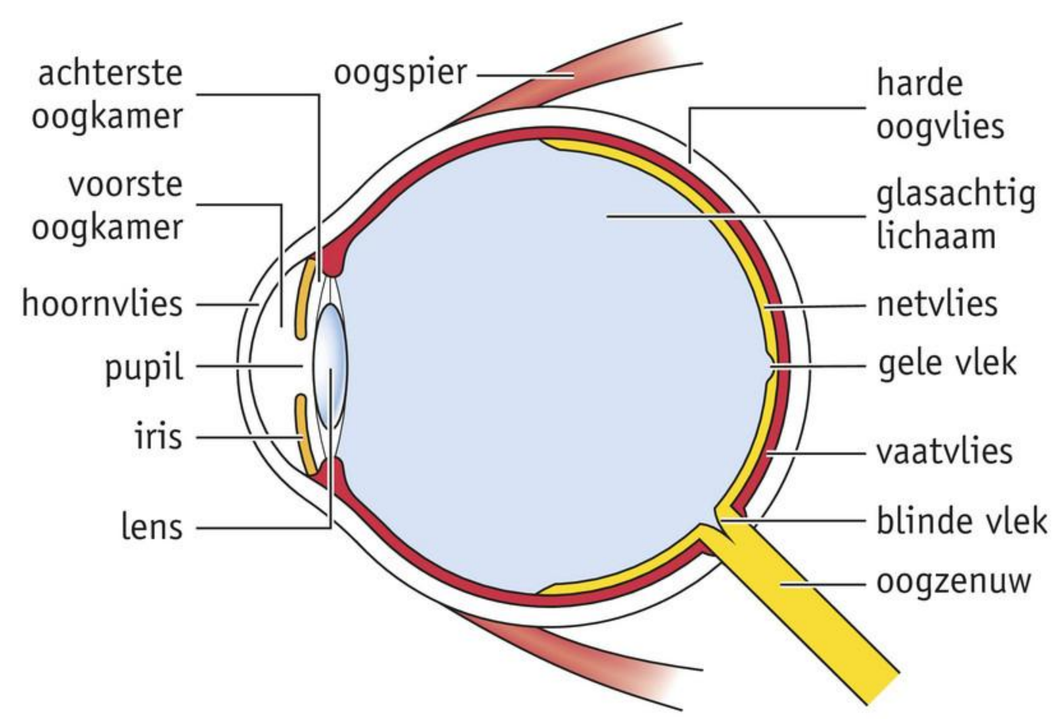
Tussen het hoornvlies en de iris bevindt zich de **voorste oogkamer**. Tussen de iris en de ooglens ligt de **achterste oogkamer**. Beide kamers zijn gevuld met vocht.

De binnenste laag van de wand van het oog is het **netvlies**. Het wordt op zijn plaats gehouden door een geleiachtige massa: het glasachtig lichaam (zie afbeelding 6.2). Het oog is hier voor het grootste deel mee gevuld. In het netvlies liggen de lichtreceptoren. In het centrum van het netvlies, recht achter de pupil, ligt de **gele vlek**. Met de lichtreceptoren in de gele vlek kun je het scherpst zien. Via de oogzenuw worden impulsen naar de hersenen geleid, waar met behulp van alle informatie afkomstig uit de zintuigcellen één beeld wordt gevormd. Eventuele ontbrekende informatie wordt door de hersenen verder ingevuld op grond van eerdere ervaringen en verwachtingen, zodat er een scherp en volledig beeld ontstaat. De plaats van het netvlies waar de oogzenuw het oog verlaat is de **blinde vlek**. Dit is ook de doorgang voor bloedvaten. In de blinde vlek liggen geen lichtreceptoren.

■ **Afb. 6** Het oog.



1 buitenaanzicht van het oog

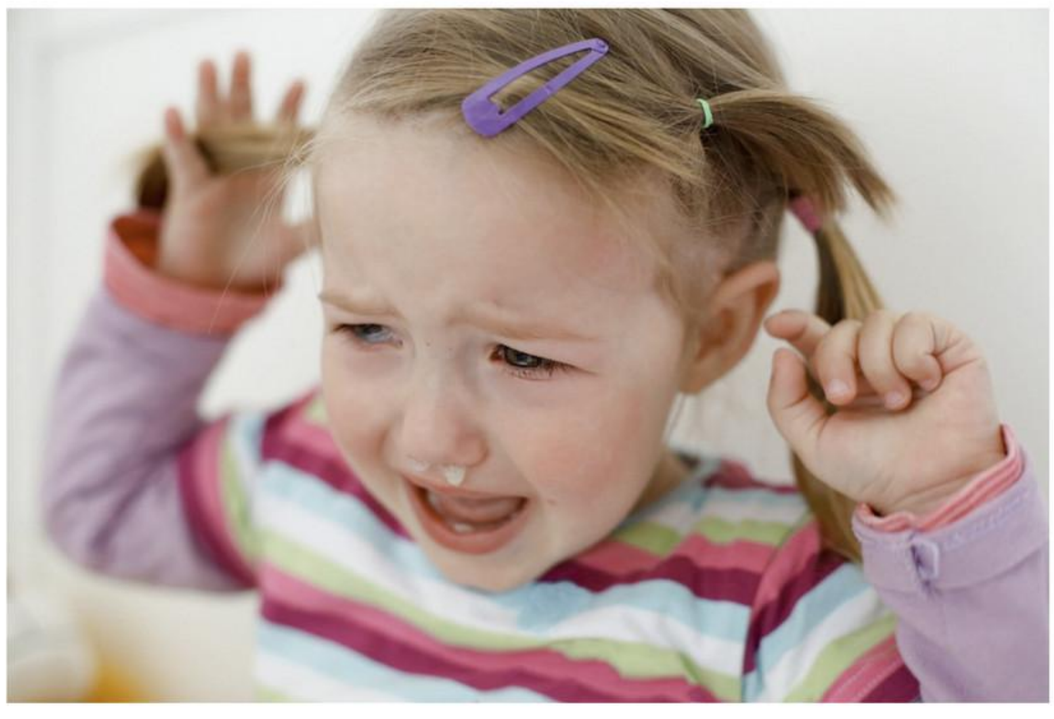


2 dwarsdoorsnede van het oog

Opdrachten KENNIS

3 Een peuter heeft een woedeaanval en huilt onbedaarlijk (zie afbeelding 7). Waarom krijgt het kind ook een loopneus tijdens deze flinke huilbui?

■ **Afb. 7** Peuter met een woedeaanval.



4 In dit kleine experiment onderzoek je de werking van de pupillen. Voer dit proefje alleen of met zijn tweeën uit, in een goed verlichte ruimte. Sluit één oog en houd gedurende één minuut je hand voor dat oog. Haal dan je hand weg.
Wat gebeurt er met de pupillen van je ogen als je je hand weghaalt? Als je alleen werkt, kijk je in een spiegel wat er gebeurt. Als je samenwerkt, kijkt je duopartner wat er gebeurt.

a Welke invloed heeft het afdekken van je oog op het ontstaan van impulsen in dat oog? Leg je antwoord uit.

b Zullen er nog impulsen aankomen in de centra voor zien tijdens het afdekken van het oog? Licht je antwoord toe.

c Beschrijf wat er gebeurde met de pupillen van beide ogen zodra je je hand weggehaalde en leg dit uit.

d Welke delen van het oog passeerden de lichtstralen achtereenvolgens, voor ze op het netvlies vielen? Noteer de onderdelen in de juiste volgorde.

5 Via de dierenambulance wordt er op het Natuurhulpcentrum een verzwakte albino-egel binnengebracht. Albinisme is een erfelijke aandoening waarbij er weinig of geen pigment (melanine) wordt aangemaakt. Met zijn witte huid, stekels en rode ogen is de egel een opvallende verschijning (zie afbeelding 8). Waarom heeft de albino-egel rode ogen?

■ **Afb. 8** Albino-egel.

Opdrachten INZICHT

6 Om goed te kunnen zien, heb je ook goed bewegende ogen nodig, bijvoorbeeld om een voorwerp te kunnen volgen. Daarom heb je per oog zes verschillende oogspieren (zie *BiNaS* tabel 87C1). Bij het volgen van een mug draait iemand beide ogen naar rechts. Welke oogspier zal zich in ieder geval in het rechteroog samentrekken? En welke oogspier in het linkeroog?

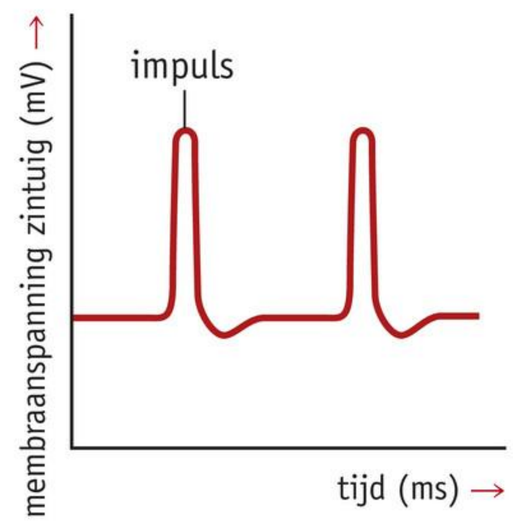
7 De huid bevat onder andere tastreceptoren en drukreceptoren. Beide zijn gevoelig voor aanraking. De twee typen receptoren liggen in verschillende huidlagen. Twee huidlagen zijn de lederhuid en het onderhuids bindweefsel.

a Welk type receptoren verwacht je in de lederhuid? Leg uit.

b En welk type receptoren verwacht je in het onderhuids bindweefsel? Leg uit.

c Tijdens een experiment over de werking van tast- en drukreceptoren wordt een bepaalde druk op de huid van een proefpersoon uitgeoefend. Er ontstaan impulsen in de sensorische zenuwcellen die zijn verbonden met de drukreceptoren. In het diagram van afbeelding 9 staat het resultaat van een meting van de impulsfrequentie in een van die sensorische zenuwcellen.
Ook in de sensorische zenuwcellen die zijn verbonden met de tastreceptoren ontstaan impulsen bij dezelfde uitgeoefende druk.
Hoe verwacht je dat het diagram van deze meting (de impulsfrequentie in een sensorische zenuwcel die is verbonden met een tastreceptor) eruitziet? Teken het diagram en leg uit waarom je dit verwacht.

■ **Afb. 9** Impulsgeleiding in een sensorische zenuwcel van een drukreceptor.



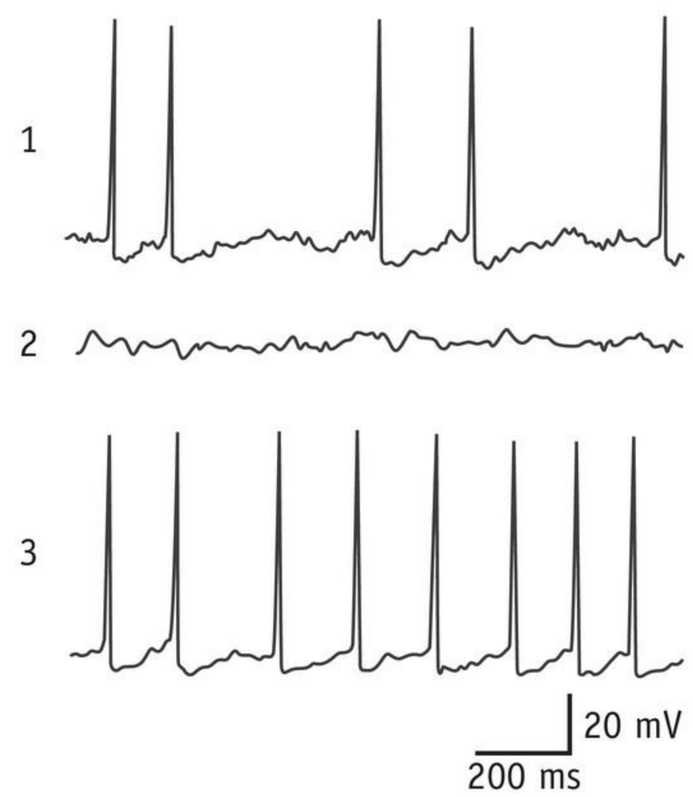
8 Een wolf heeft een veel beter reukvermogen dan de mens. Niet alleen heeft een wolf veel meer reukreceptoren, ook de centra voor reuk in de hersenschors zijn vele malen groter. De prikkeldrempel van de geurreceptoren verschilt ook tussen wolf en mens. Wie heeft de laagste prikkeldrempel, wolf of mens? Licht je antwoord toe.

9 **Thermoregulatie**

Naar: Nederlandse Biologie Olympiade 2023, vraag 32.

Zoogdieren zijn in staat om hun lichaamstemperatuur constant te houden, ook als de omgevingstemperatuur sterk afwijkt.
De controle van de lichaamstemperatuur wordt geregeld door de hypothalamus. Die ontvangt informatie van de temperatuurreceptoren in de huid, van receptoren in het lichaam en de hypothalamus zelf. Wetenschappers onderzochten de invloed van temperatuur op de frequentie van de actiepotentialen in neuronen in de hypothalamus die reageren op koude (koudeneuronen). De resultaten zijn weergegeven in de grafieken 1, 2 en 3 van afbeelding 10.
De frequentiebepalingen zijn uitgevoerd bij temperaturen van 32 °C, 34 °C en 37 °C. Uit de resultaten is af te leiden bij welke temperatuur elke bepaling heeft plaatsgevonden.
Geef bij elke temperatuur het nummer van de bijbehorende grafiek.

■ **Afb. 10** Bepaling van de frequentie van de actiepotentialen in neuronen in de hypothalamus.



10 Met dit eenvoudige proefje kun je je eigen zicht testen. Je hebt een blauwe pen, een rode stift, een wit A4-papier en een liniaal of geodriehoek nodig.

- Leg het A4-papier horizontaal voor je neer.
- Teken een blauwe stip met een diameter van ongeveer 1 cm.
- Noteer met de blauwe pen 1,5 cm rechts naast de stip het cijfer 1. Noteer 1,5 cm daarnaast het cijfer 2.
- Ga zo door tot en met het cijfer 7 (zie afbeelding 11.1).
- Houd het papier 20 cm van je neus met de stip voor je linkeroog.
- Dek je rechteroog af en kijk met je linkeroog rustig naar de cijfers. Begin bij 1.

a Bij welk cijfer zie je de stip niet meer?
Leg uit hoe het kan dat je op een bepaald moment de stip niet meer ziet.

b Teken nu met de rode stift een lijn dwars door de stip en de getallen 1 tot en met 7 en herhaal de proef (zie afbeelding 11.2).
Weer zul je op een gegeven moment de stip niet meer zien, maar je ziet dan wel de rode lijn op die plek. Bij het eerdere experiment zag je wit op de plek van de stip.
Verklaar hoe het kan dat je geen echte blinde vlek hebt, dus niet zwart ziet op de plek van de stip, maar wit bij het eerste experiment en rood bij het tweede experiment.

c Je kunt beide proeven ook herhalen voor je rechteroog.
Beschrijf wat je dan bij de proefopzet moet aanpassen.

■ **Afb. 11** Een eenvoudig proefje.

1 voorbeeld van de proefopzet

2 voorbeeld van de uitvoering

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Leefwereld

DE GEUR VAN HERINNERINGEN

Weet jij nog naast wie je in de klas zat toen je 8 jaar was? Waarschijnlijk niet. Toch kan het zien, horen, ruiken, voelen of proeven van iets wat je toen ook hebt ervaren, je ineens terugvoeren naar die specifieke situatie. Dit noem je het proust-effect: het effect waarbij door een zintuiglijke ervaring onverwacht herinneringen of emoties naar boven komen. Marcel Proust is de schrijver die dit effect in 1922 in één van zijn romans beschreef. Pas jaren later werd dit ook door de wetenschap onderzocht.

Van alle zintuiglijke ervaringen is dit effect het sterkst bij geur: een bepaalde geur kan je meteen terugbrengen naar een situatie in het verleden én naar het gevoel dat je daarbij had. Dit heeft mogelijk te maken met de verwerking van geur in de hersenen. De impulsen komen via de voorkant van de hersenen binnen en worden daar meteen verwerkt door de reukcentra. Deze staan in directe verbinding met de amygdala en de hippocampus, de hersenstructuren die samen voor de verwerking van emotionele herinneringen zorgen.

Heb jij specifieke herinneringen of emoties bij specifieke geuren? Vast wel! Het reukzintuig ontwikkelt zich snel gedurende de jeugd en als kind maak je al kennis met een heleboel nieuwe geuren. Daarom leidt een geur dikwijls terug naar een herinnering uit je kindertijd (afbeelding 12). De geur van het huis van je opa en oma, de geur van het parfum van je eerste vriendje/vriendinnetje, of de geur van versgebakken brood, waardoor je ineens terugdenkt aan die heerlijke vakantie ...

■ **Afb. 12** Geuren roepen herinneringen op.

Opdrachten

11 Hanneke loopt 's ochtends de trap af. Ineens beseft ze dat haar vader in de keuken brood aan het bakken is. Naarmate ze dichter bij de keuken komt, wordt de geur sterker. Hierdoor wordt ze meteen vrolijk.

a Welke prikkel is in dit geval verantwoordelijk voor het ontstaan van het vrolijke gevoel?

b In welk type receptoren ontstaat er een impuls? Leg uit.

c Verklaar waarom Hanneke het brood pas ruikt als ze de trap afloopt én waarom dit sterker wordt naarmate ze dichter bij de keuken komt.

d Het is inderdaad Hannekes vader die het brood aan het bakken is, zoals Hanneke dacht. Toch was dit geen vaststaand gegeven, want er zijn meer gezinsleden in het huis aanwezig.
Leg uit waarom Hanneke deze conclusie kan hebben getrokken.

12 Dat vooral geuren heel snel een emotie of herinnering kunnen oproepen, heeft volgens de tekst mogelijk te maken met de directe verwerking van geuren in de hersenen.
Leg met behulp van afbeelding 1 uit dat de verwerking van geuren in de hersenen inderdaad op een directere manier gebeurt dan de verwerking van impulsen van andere zintuigen.

2 DE WERKING VAN HET OOG

LEERDOELEN

8.2.1 Je kunt de beeldvorming door de ooglenzen uitleggen.
8.2.2 Je kunt uitleggen hoe de pupilreflex werkt.
8.2.3 Je kunt de bouw en werking van het netvlies uitleggen.
8.2.4 Je kunt uitleggen hoe je diepte kunt zien.

- Vaardigheden 4, 6 en 7 (thema 1)
- Practica 1, 2 en 3

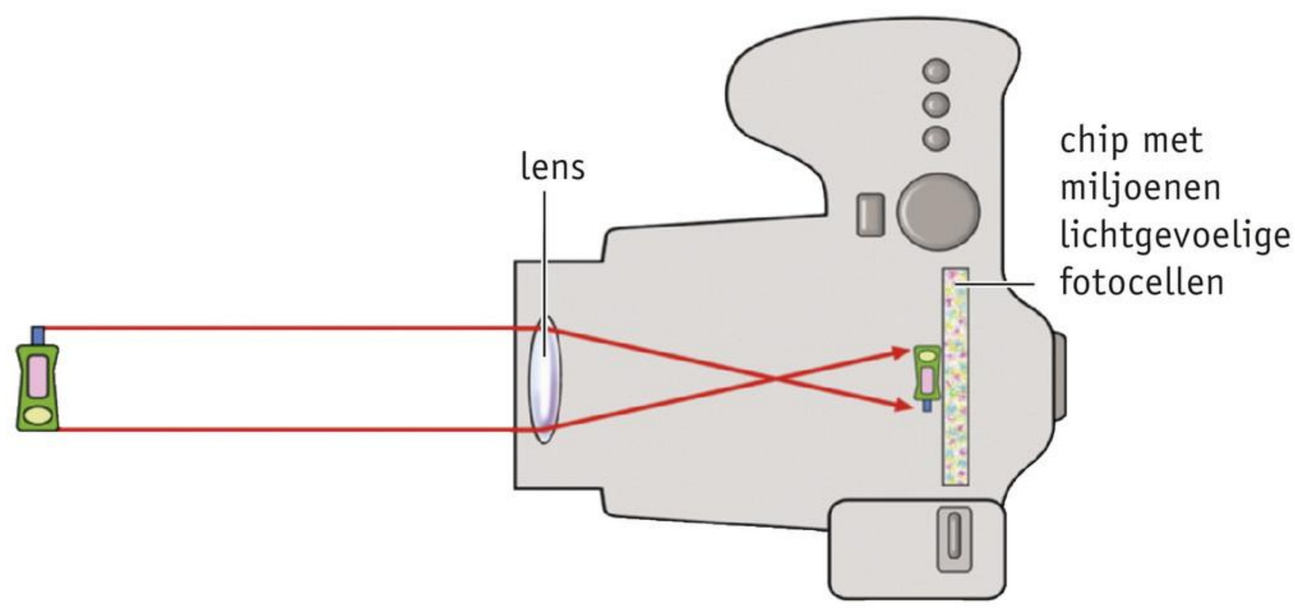
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN			
	8.2.1	8.2.2	8.2.3	8.2.4
Begrijpen	13, 14, 15, 16a	16b	17	
Toepassen	19, 23, 26	20b	24	22b
Analyseren	27		20a, 21, 22a, 28	18, 25

Je ogen worden weleens vergeleken met een camera, maar ze zijn veel complexer. Je oog heeft een verstelbare lens om op verschillende afstanden scherp te kunnen zien. Je netvlies bevat meer dan 100 miljoen lichtreceptoren die via zenuwcellen zijn verbonden met de centra voor zien in je hersenen. Door de samenwerking tussen je ogen en je hersenen ontstaat een driedimensionaal beeld in kleur.

BEELDVORMING

Wanneer je ergens naar kijkt, valt het beeld op je netvlies. Dit beeld is verkleind en omgekeerd, net als in een camera (zie afbeelding 13). De impulsen die in je netvlies ontstaan worden door sensorische zenuwcellen naar de **centra voor zien in de hersenschors** geleid. Deze verwerken de impulsen zodat jij het beeld rechtopstaand en in het juiste formaat waarneemt.

■ **Afb. 13** Beeldvorming door lenzen.

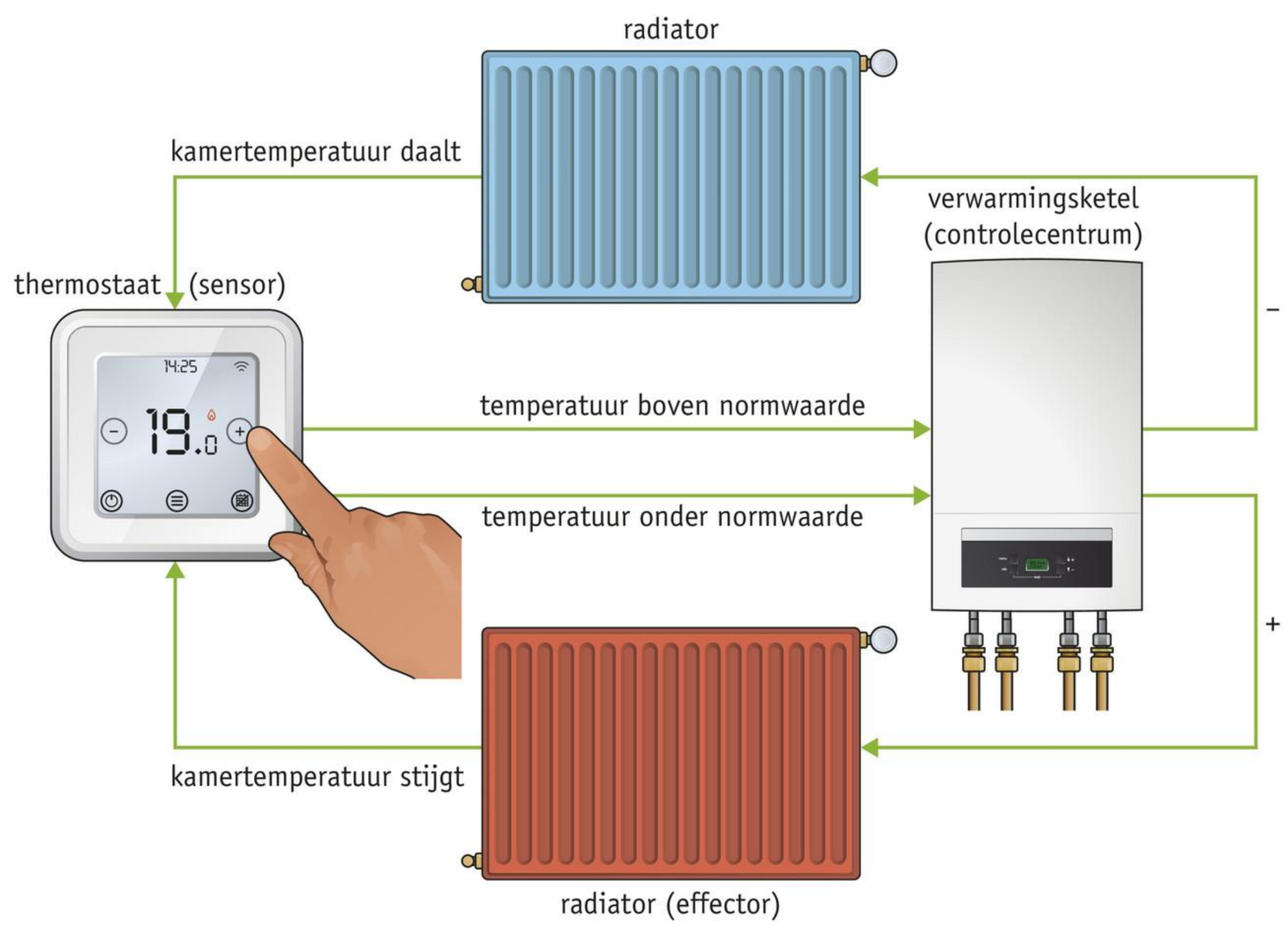


1 beeldvorming bij een camera

Als de temperatuur onder de normwaarde komt, geeft de thermostaat een signaal af aan de verwarmingsketel (het controlecentrum). De verwarmingsketel verwarmt water en pompt dat naar de radiatoren (effectoren). De temperatuur in de kamer stijgt. Wanneer de normwaarde is bereikt, geeft de thermostaat geen signaal meer af aan de verwarmingsketel. Die stopt dan met het verwarmen van water. De temperatuur van het water in de radiatoren daalt, waardoor ook de kamertemperatuur langzaam omlaaggaat. Zodra de temperatuur onder de normwaarde zakt, krijgt de verwarmingsketel opnieuw een signaal van de thermostaat en slaat weer aan. Op deze manier blijft de temperatuur in de kamer min of meer gelijk.

Bij een regelkring waarin een toename van het resultaat een remming van het proces veroorzaakt, spreek je van **negatieve terugkoppeling** (negatieve feedback, zie ook *BiNaS* tabel 89C). Bij een stijging van de temperatuur slaat de verwarmingsketel af en wordt het water in de radiatoren koud. Een afname van het resultaat veroorzaakt een stimulering van het proces. Bij een daling van de temperatuur slaat de verwarmingsketel aan. In afbeelding 1 is dit aangegeven met – en +. Op deze manier blijft de temperatuur in de kamer ongeveer gelijk. Bij een regelkring waarin een toename van het resultaat het proces versterkt, spreek je van **positieve terugkoppeling** (positieve feedback).

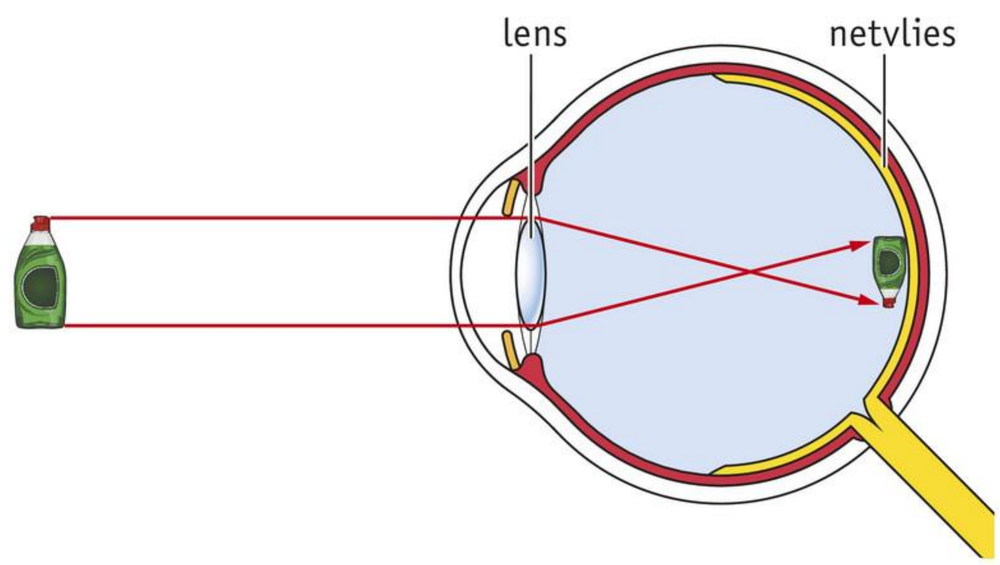
■ **Afb. 1** Een voorbeeld van een regelkring: het verwarmingssysteem in een huis.



IN- EN UITWENDIG MILIEU

Bij meercellige organismen hebben de meeste cellen geen direct contact met het **uitwendige milieu** (de omgeving), doordat ze worden omgeven door andere cellen. Tussen de cellen van een weefsel bevindt zich weefselvloeistof. Samen met het bloed vormt de weefselvloeistof het inwendige milieu van een organisme. Tussen het inwendige en het uitwendige milieu bevindt zich ten minste één cellaag. De inhoud van darmen, longen en blaas hoort bij het uitwendige milieu.

Homeostatische regelkringen in je lichaam zorgen ervoor dat de omstandigheden in het inwendige milieu niet te veel veranderen.

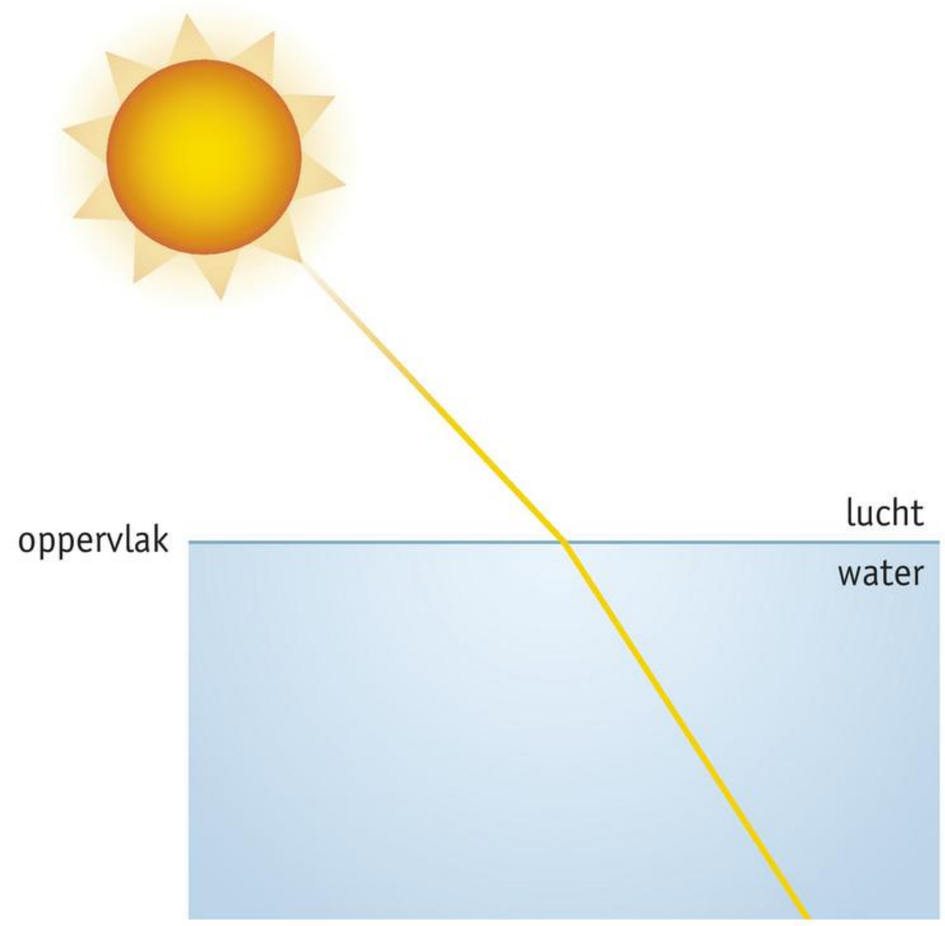


2 beeldvorming bij een oog

LICHTBREKING DOOR POSITIEVE EN NEGATIEVE LENZEN

Lichtstralen worden gebroken op plaatsen waar ze overgaan van het ene medium (gas, vloeibaar of vast) naar het andere medium (zie afbeelding 14). Lichtstralen worden zo in een andere richting gebogen.

■ **Afb. 14** Breking van licht door water.

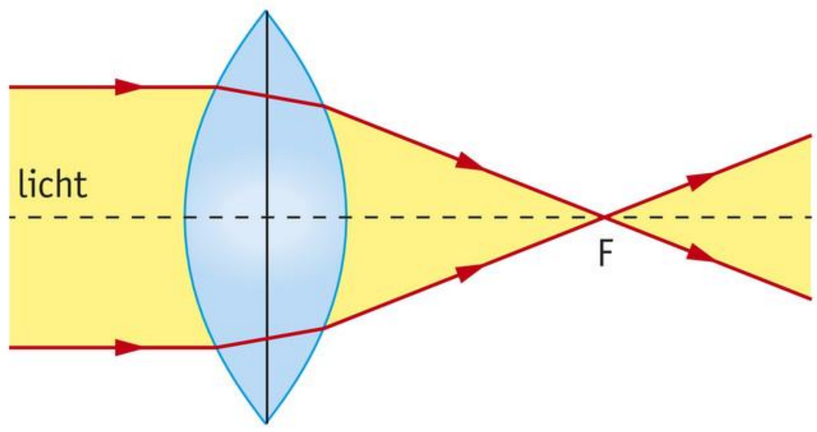


Dit gebeurt ook met lichtstralen wanneer ze door je hoornvlies, ooglens en alle andere delen van je oog schijnen. Dit noem je de **lenswerking** van het oog.

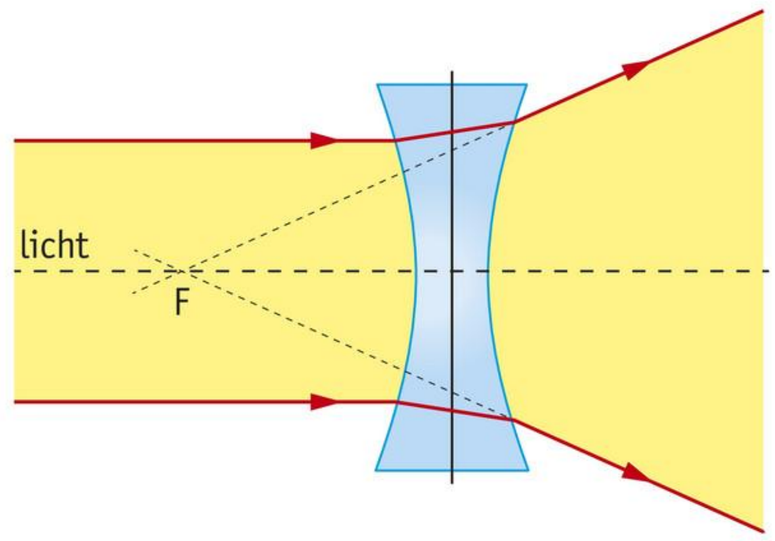
Er zijn twee soorten lenzen:

- Bolle of positieve lenzen zijn in het midden dikker dan aan de randen en buigen de lichtstralen naar elkaar toe. Dit heet convergeren. De lichtstralen komen achter de lens bij elkaar in het brandpunt (F). Hoe boller de lens, hoe kleiner de afstand is tussen de as van de lens en het brandpunt (zie afbeelding 15.1).
- Holle of negatieve lenzen zijn in het midden dunner dan aan de randen en spreiden (divergeren) het licht. De lichtstralen die de lens verlaten, lijken uit één punt afkomstig te zijn (zie afbeelding 15.2). Bij holle lenzen ligt het brandpunt vóór de lens. De brandpuntsafstand heeft dan een negatieve waarde.

■ **Afb. 15** Lichtbreking door lenzen.



1 door een bolle lens



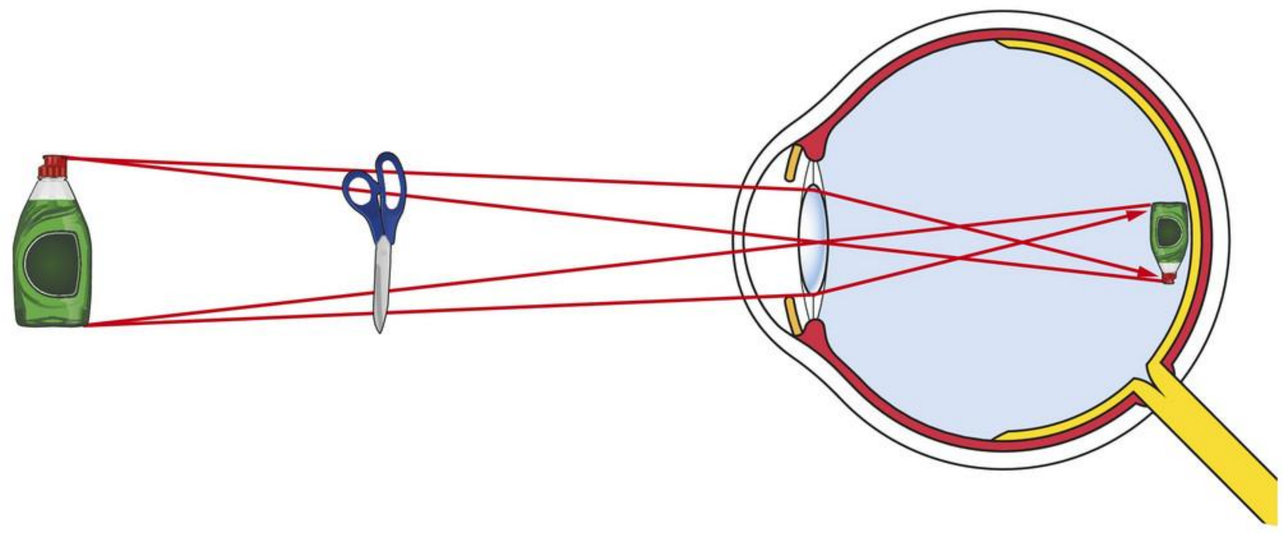
2 door een holle lens

LICHTBREKING DOOR DE OOGLENZEN

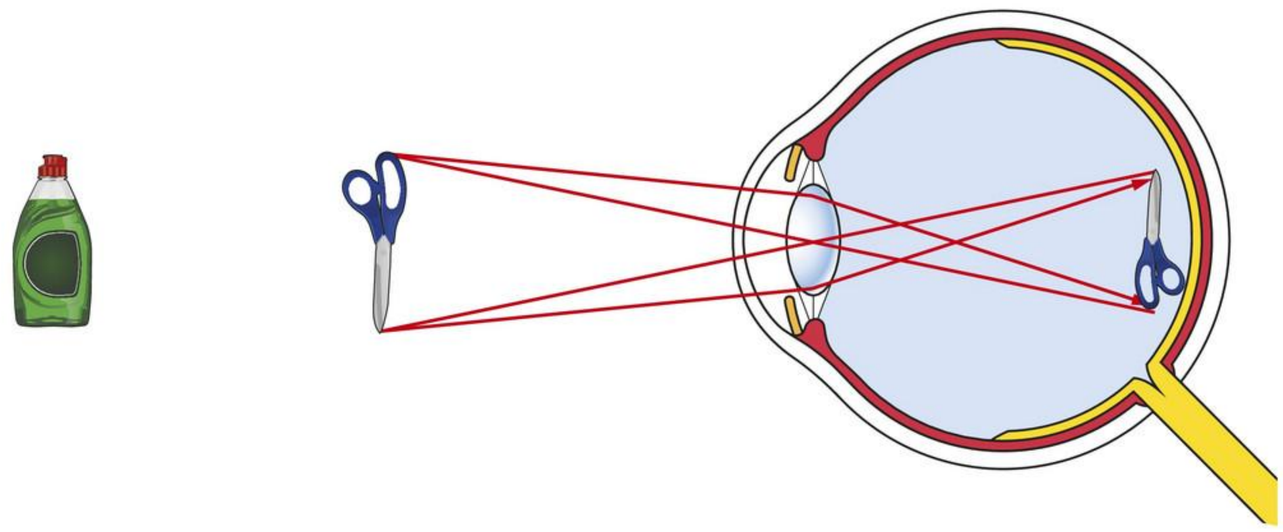
Een ooglens is altijd bol, net als het hoornvlies. Wanneer je naar een voorwerp kijkt, worden lichtstralen van alle kanten van het voorwerp opgevangen door het hoornvlies en de lens en gebundeld in het brandpunt. Het hoornvlies heeft een sterkere convergerende werking dan de ooglens, maar alleen bij de ooglens kan deze variëren.

Het ene moment kijk je naar een voorwerp dat dichtbij is en het andere moment naar iets wat ver weg is. In beide gevallen wordt op het netvlies een scherp beeld gevormd, maar je kunt nooit beide voorwerpen, dichtbij en veraf, tegelijkertijd scherp zien. Bij mensen kan de ooglens van vorm veranderen om scherp te stellen bij een andere voorwerpsafstand, de afstand van het voorwerp tot de lens. Ooglenzen kunnen boller of platter worden (zie afbeelding 16). Dit noem je **accommodatie**. Als reactie op een onscherp beeld op het netvlies verandert door de accommodatiereflex de mate van samentrekking van de kringspieren in de straalvormige lichamen. Je noemt deze kringspieren daarom ook wel accommodatiespieren.

■ **Afb. 16** Accommoderen van de ooglens.



1 Kijken naar een voorwerp in de verte. De lens is platter.

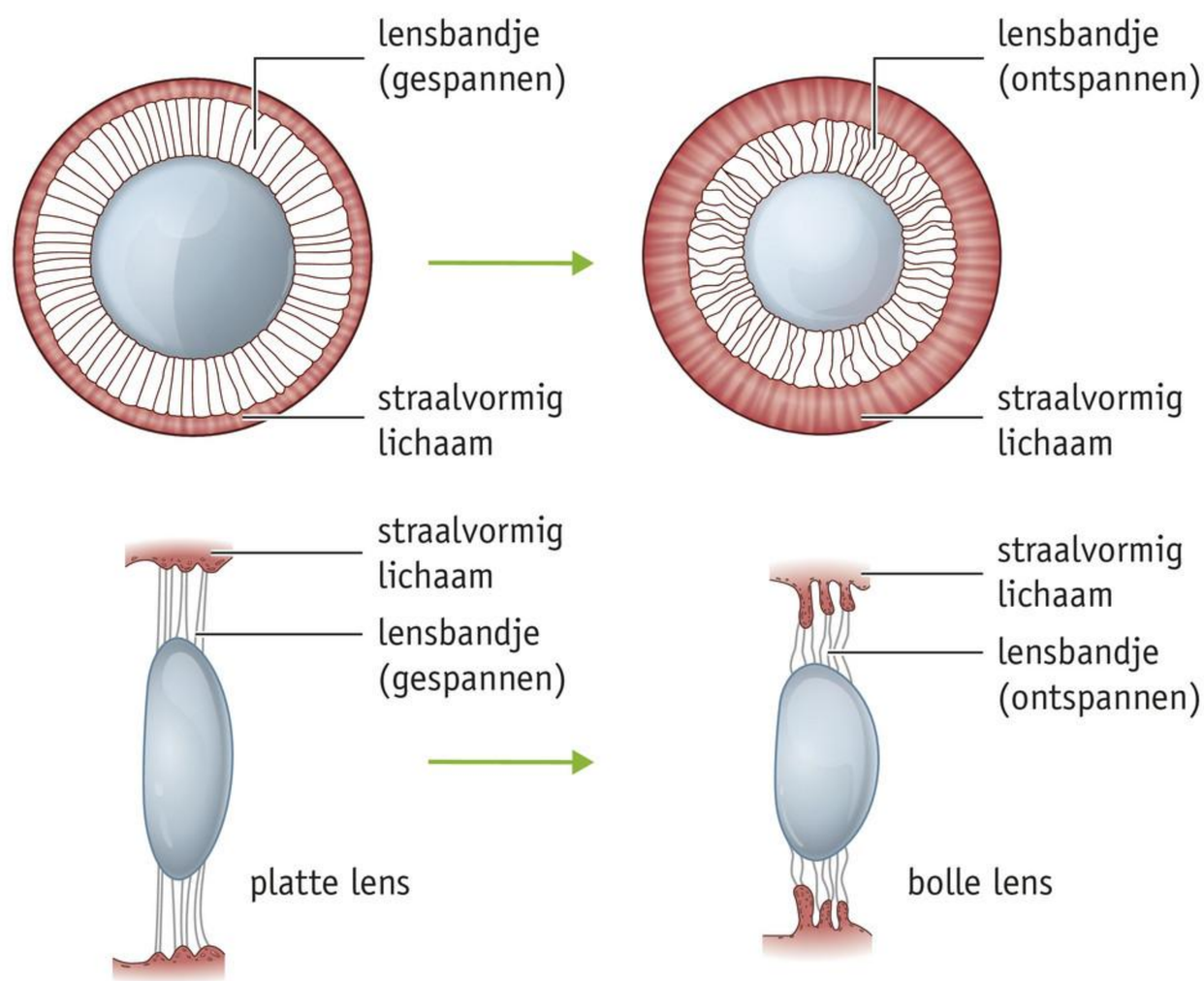


2 Kijken naar een voorwerp dichtbij. De lens is boller.

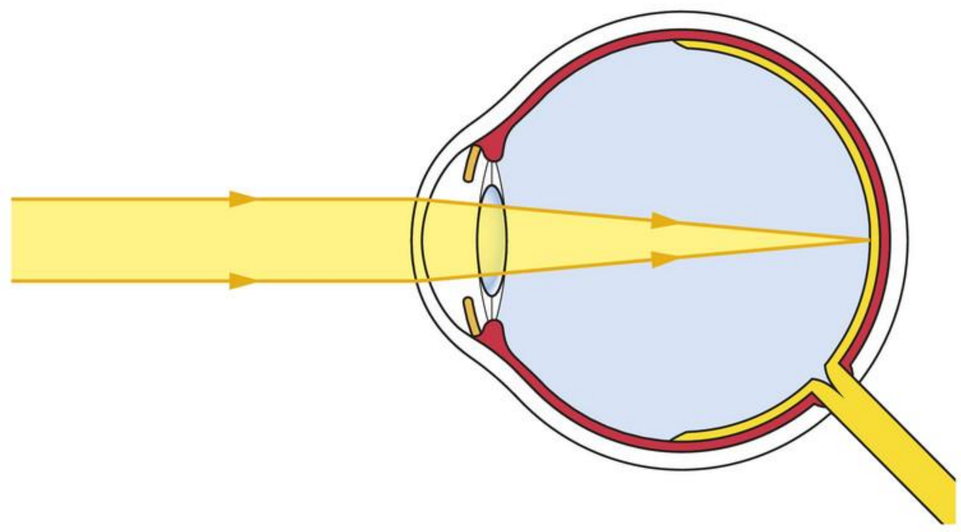
De bolle ooglens hangt met lensbandjes in het straalvormig lichaam (zie afbeelding 17). Als je kijkt naar een voorwerp in de verte (op meer dan vijf meter afstand), zijn de kringspieren in het straalvormig lichaam ontspannen. Je ogen zijn in rusttoestand. De doorsnede van het straalvormig lichaam is groot, waardoor de lensbandjes strakgespannen zijn en aan de ooglenzen trekken. De ooglenzen worden hierdoor platter (minder bol) en het beeld van het voorwerp in de verte komt scherp op het netvlies (zie afbeelding 18.1).

Als je daarna focust op een voorwerp dichtbij, valt er geen scherp beeld op het netvlies (zie afbeelding 18.2). Dit komt doordat de lichtstralen niet evenwijdig op de lens vallen, zoals bij een voorwerp in de verte (zie afbeelding 18.1), maar divergerend. Hierdoor worden de lichtstralen onvoldoende gebroken door de lens, waardoor het brandpunt achter het netvlies komt te liggen (zie afbeelding 18.2). Het onscherpe beeld zet de accommodatiereflex in werking. De kringspieren in het straalvormig lichaam trekken samen, waardoor de doorsnede van het straalvormig lichaam kleiner wordt. Daardoor zijn de lensbandjes minder strak gespannen en trekken ze minder aan de ooglenzen. De ooglenzen worden boller, met als gevolg een sterkere breking van de lichtstralen, waardoor het brandpunt nu wel op je netvlies valt (zie afbeelding 18.3). Hierdoor krijg je toch een scherp beeld van het voorwerp dichtbij.

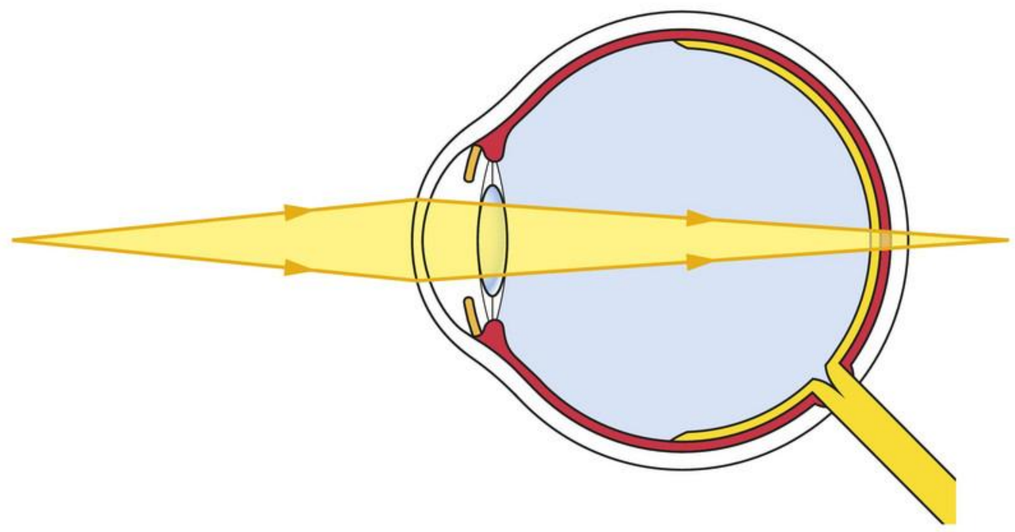
■ **Afb. 17** Het straalvormig lichaam tijdens accommodatie.



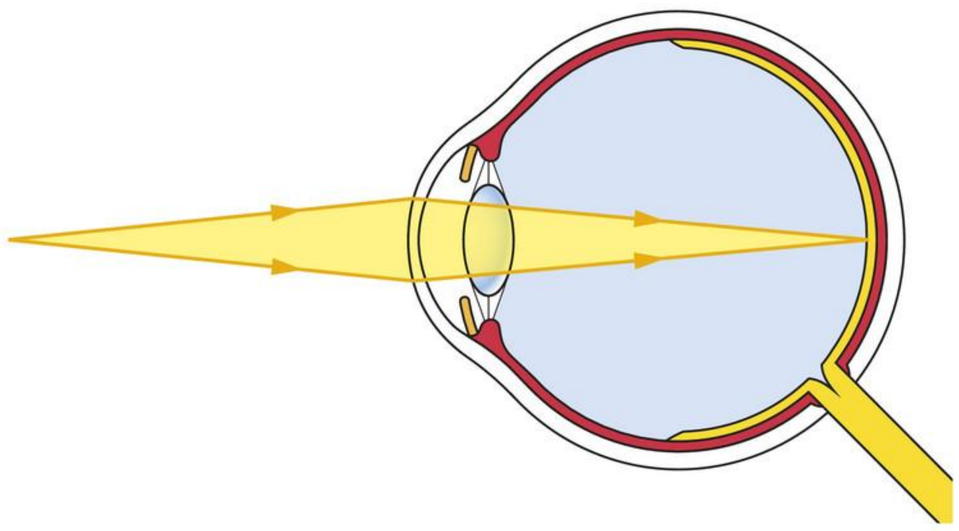
■ **Afb. 18** Accommodatiereflex.



1 Kijken naar een voorwerp ver weg.



2 Kijken naar een voorwerp dichterbij. Het brandpunt valt achter het netvlies.



3 Kijken naar een voorwerp dichtbij na accommodatie. Het brandpunt valt op het netvlies.

OOGAFWIJKINGEN

Mensen die **bijziend** zijn, zien voorwerpen van dichtbij scherp, maar voorwerpen van veraf niet. Dit kan worden veroorzaakt doordat:

- de oogbol te lang is,
- het hoornvlies of de lens de lichtstralen te sterk breekt.

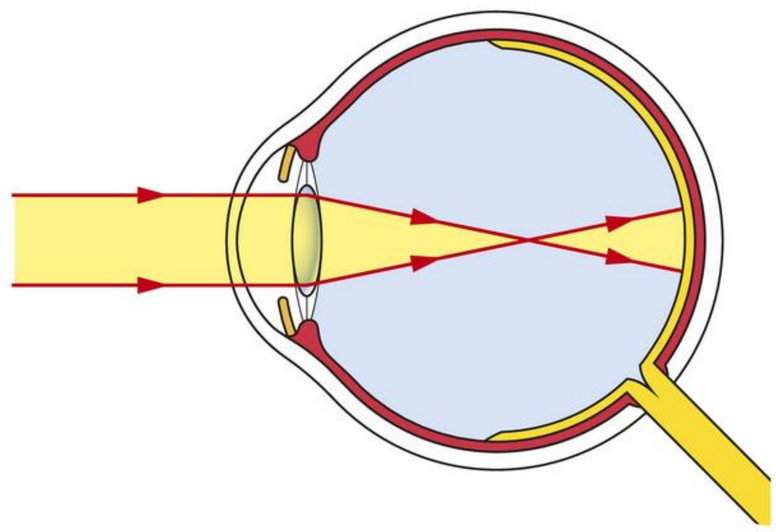
Bij bijziende mensen valt het brandpunt voor het netvlies (zie afbeelding 19.1). In afbeelding 19.2 kun je zien hoe je dit kunt corrigeren met holle (negatieve) brillenglazen of contactlenzen.

Mensen die **verziend** zijn, zien voorwerpen van veraf scherp, maar voorwerpen van dichtbij niet. Dit kan worden veroorzaakt doordat:

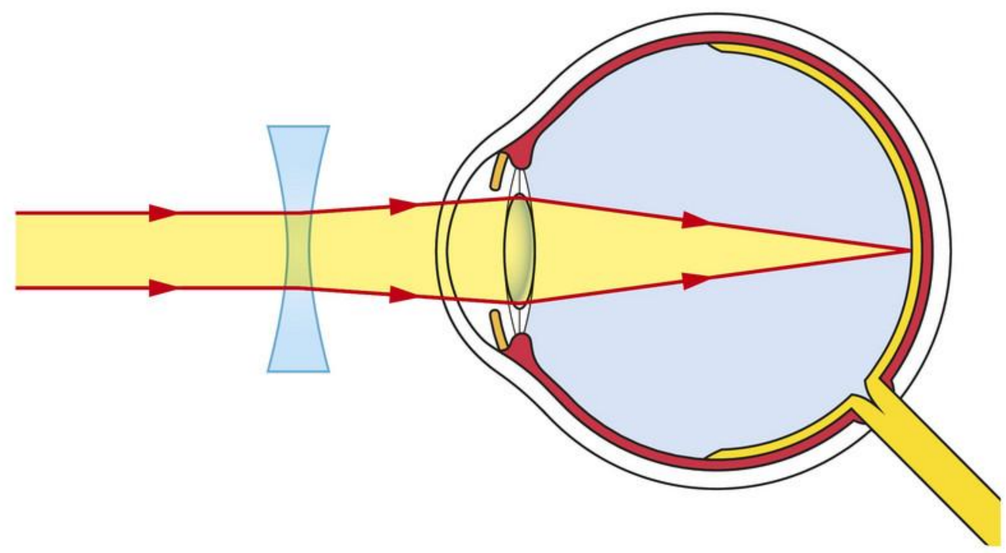
- de oogbol te kort is,
- het hoornvlies of de lens de lichtstralen niet voldoende breekt.

Bij verziende mensen valt het brandpunt achter het netvlies (zie afbeelding 19.3). Hoe je dit kunt corrigeren met bolle (positieve) brillenglazen of contactlenzen, zie je in afbeelding 19.4.

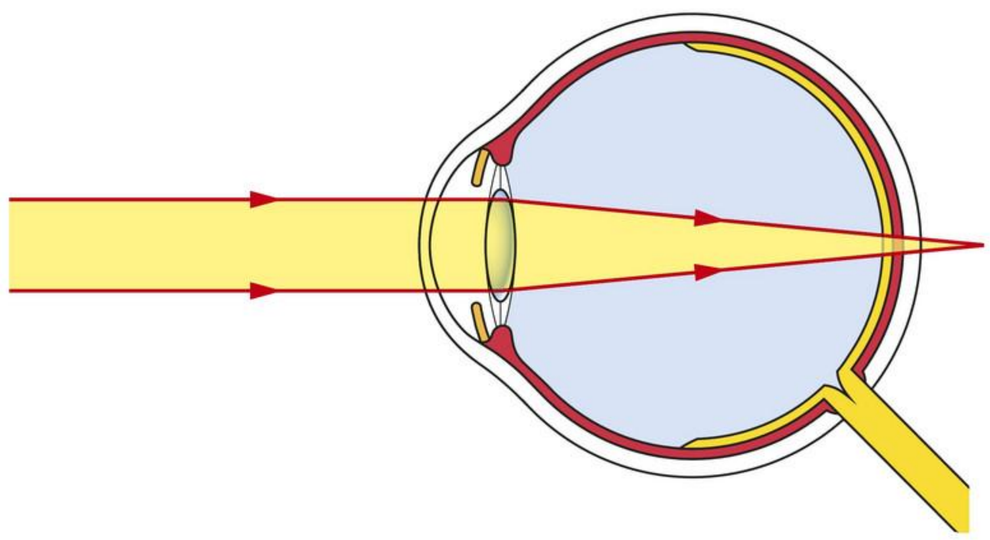
■ **Afb. 19** Bijziend en verziend.



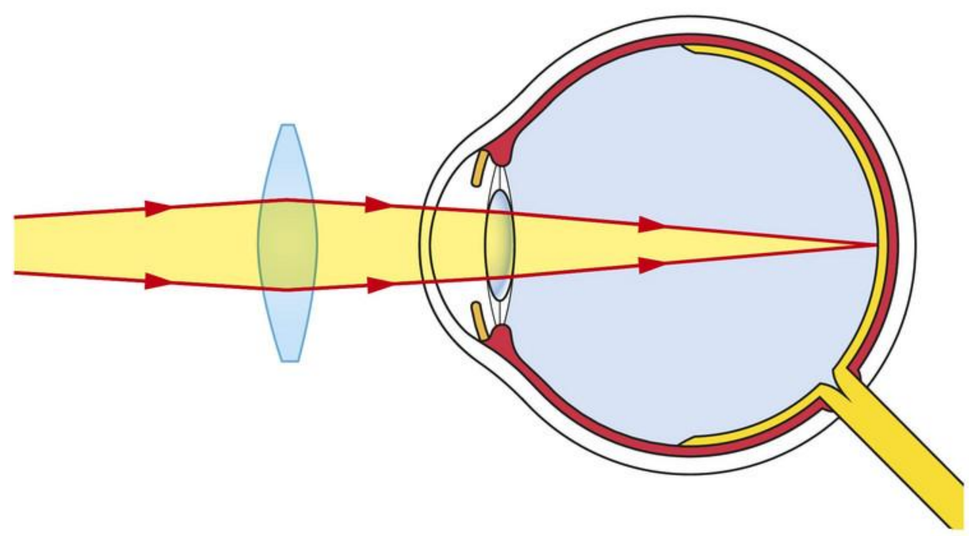
1 lichtbreking in een bijziend oog



2 correctie door een negatieve lens



3 lichtbreking in een verziend oog



4 correctie door een positieve lens

Opdrachten KENNIS

13 Bij het scherp zien op afstand, wordt er getrokken aan de van nature bolle ooglens, waardoor deze opgerekt en platter wordt. Veel leerlingen vinden het verwarrend dat deze toestand de rusttoestand van het oog wordt genoemd.
Leg uit waarom je dit de rusttoestand noemt.

14 In afbeelding 18 over de accommodatiereflex zie je achtereenvolgens de volgende drie situaties: een oog bij een voorwerp ver weg, een oog bij een voorwerp dichterbij en een oog bij een voorwerp dichtbij na accommodatie.

a Stel, de betreffende persoon kijkt vervolgens direct hierna weer naar een voorwerp veraf. Wat zal er dan gebeuren?

b Vul afbeelding 18 aan met een vierde illustratie, waarbij je laat zien wat er in het oog zou gebeuren wanneer deze reflex om weer scherp veraf te kunnen zien, (nog) niet is opgetreden. Maak een duidelijke schets.

15 Leg uit dat een bijziend persoon met negatieve contactlenzen kan worden geholpen.

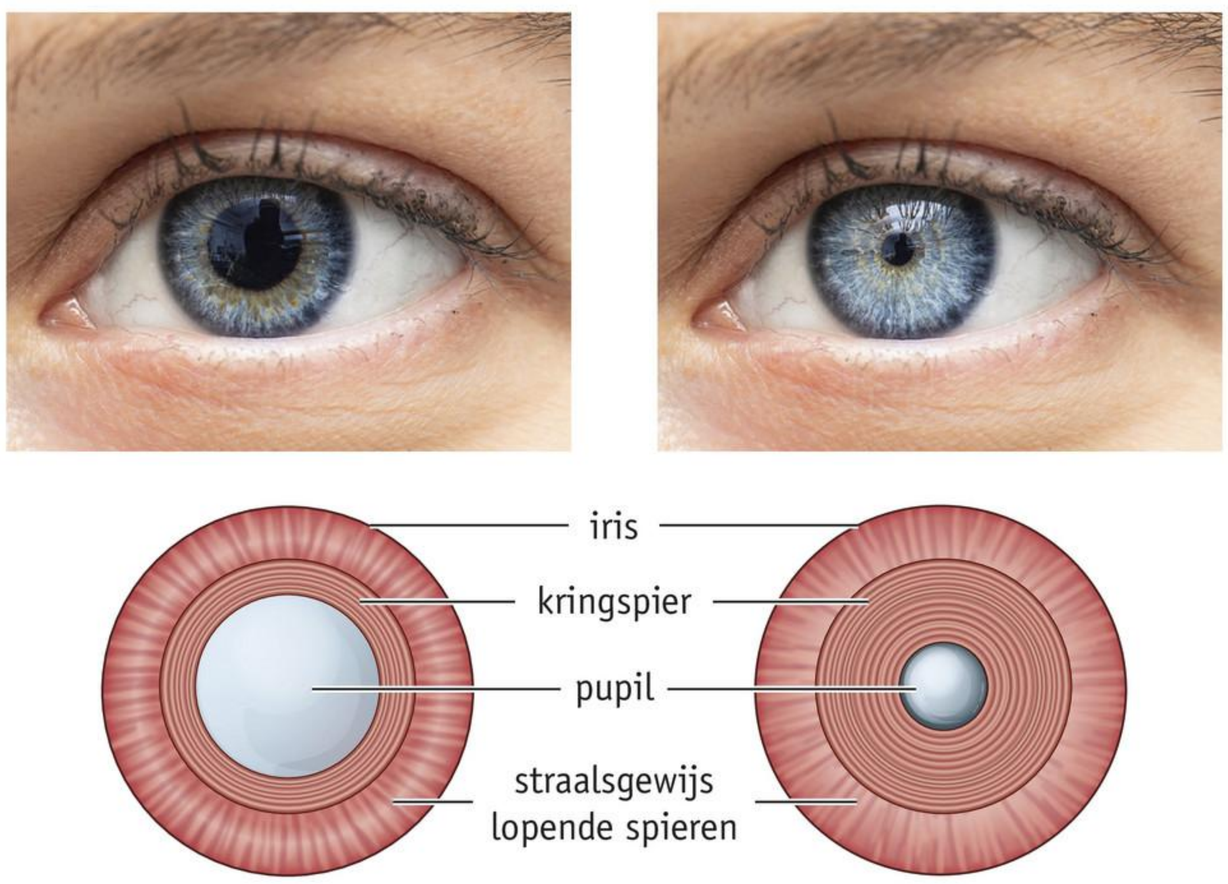
DE PUPILREFLEX

Als er te veel of te fel licht op je netvlies valt, kan dat de lichtreceptoren in het netvlies beschadigen. Je wimpers vormen een eerste bescherming tegen te fel licht, maar de pupilreflex is de belangrijkste bescherming. De **pupilreflex** regelt de hoeveelheid licht die op je netvlies valt.

In de iris bevinden zich kringspieren en straalsgewijs lopende spieren (zie afbeelding 20). Samen bepalen zij de pupilgrootte. Als de kringspieren zich samentrekken, wordt de pupil kleiner. Als de straalsgewijs lopende spieren zich samentrekken, wordt de pupil groter.

De pupilreflex heeft geen invloed op het accommoderen van je ooglenzen. De spieren voor de pupilreflex bevinden zich in de iris. De spieren voor de accommodatiereflex bevinden zich in het straalvormig lichaam.

■ **Afb. 20** Werking van de pupilreflex.

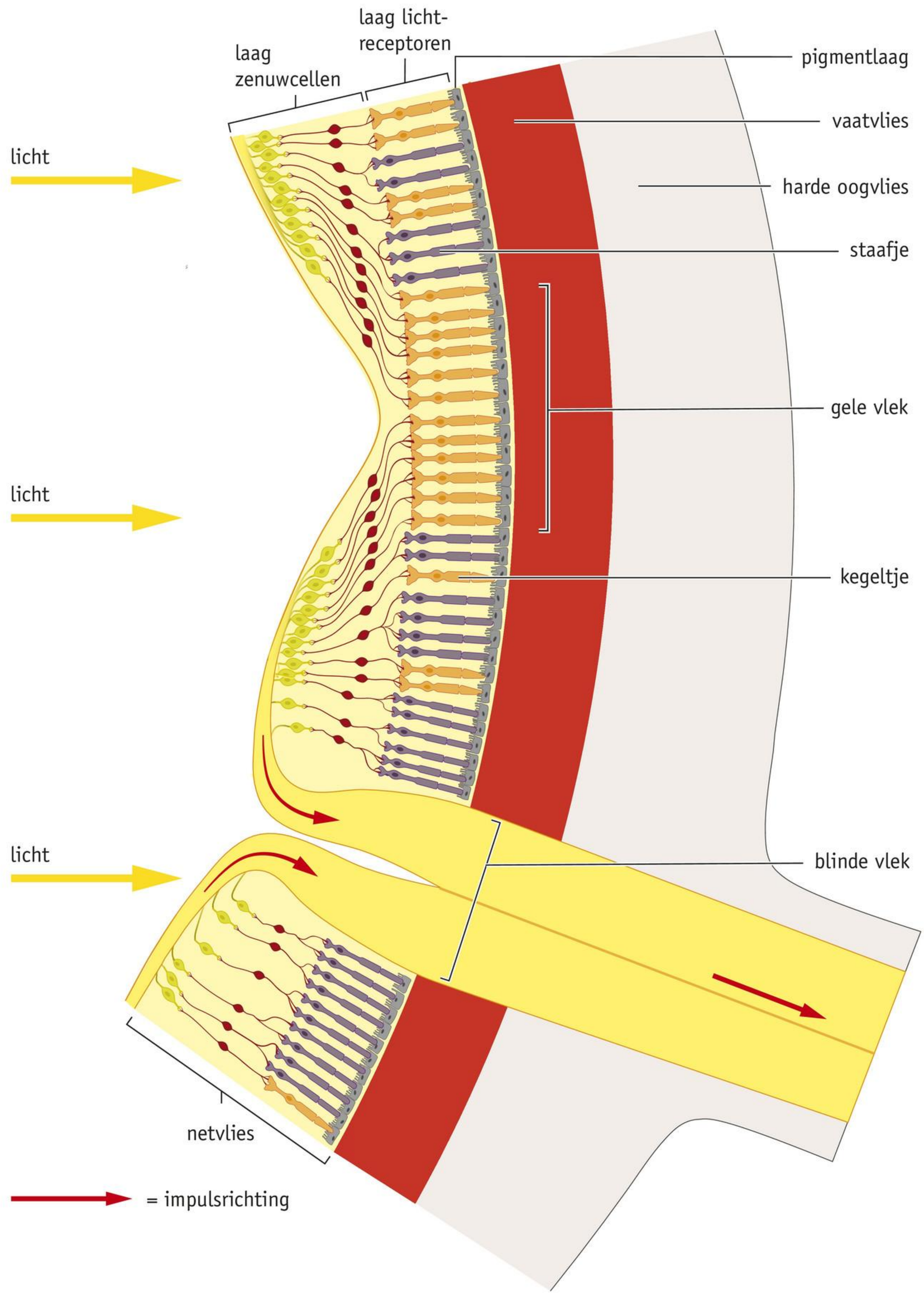


DE BOUW VAN HET NETVLIES

Vanaf het glasachtig lichaam bestaat het netvlies achtereenvolgens uit een laag zenuwcellen, een laag lichtreceptoren (gezichtszintuigcellen) en een laag pigmentcellen (zie afbeelding 21). De laag pigmentcellen ligt tegen het vaatvlies aan. Het pigment absorbeert licht en beschermt zo de lichtreceptoren tegen te sterke lichtprikkels. Het lichtgevoelige deel van de lichtreceptoren ligt tegen de donkere pigmentlaag aan. Licht dat een oog binnenvalt, gaat in het netvlies dus eerst door de laag zenuwcellen heen voordat het de lichtreceptoren bereikt. De zenuwcellen en lichtreceptoren zijn transparant.

De impulsen die in de lichtreceptoren ontstaan, worden naar de zenuwcellen geleid. Uitlopers van de zenuwcellen verlaten het oog via de oogzenuw. In de blinde vlek gaan de uitlopers door het netvlies, het vaatvlies en het harde oogvlies heen. Daarom komen er op deze plaats in het netvlies geen lichtreceptoren voor.

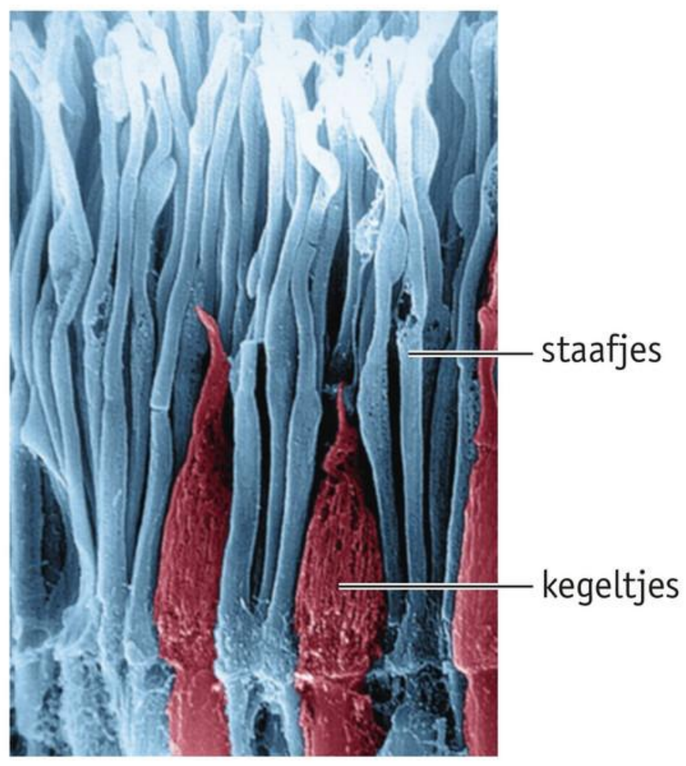
■ **Afb. 21** Doorsnede van het netvlies.



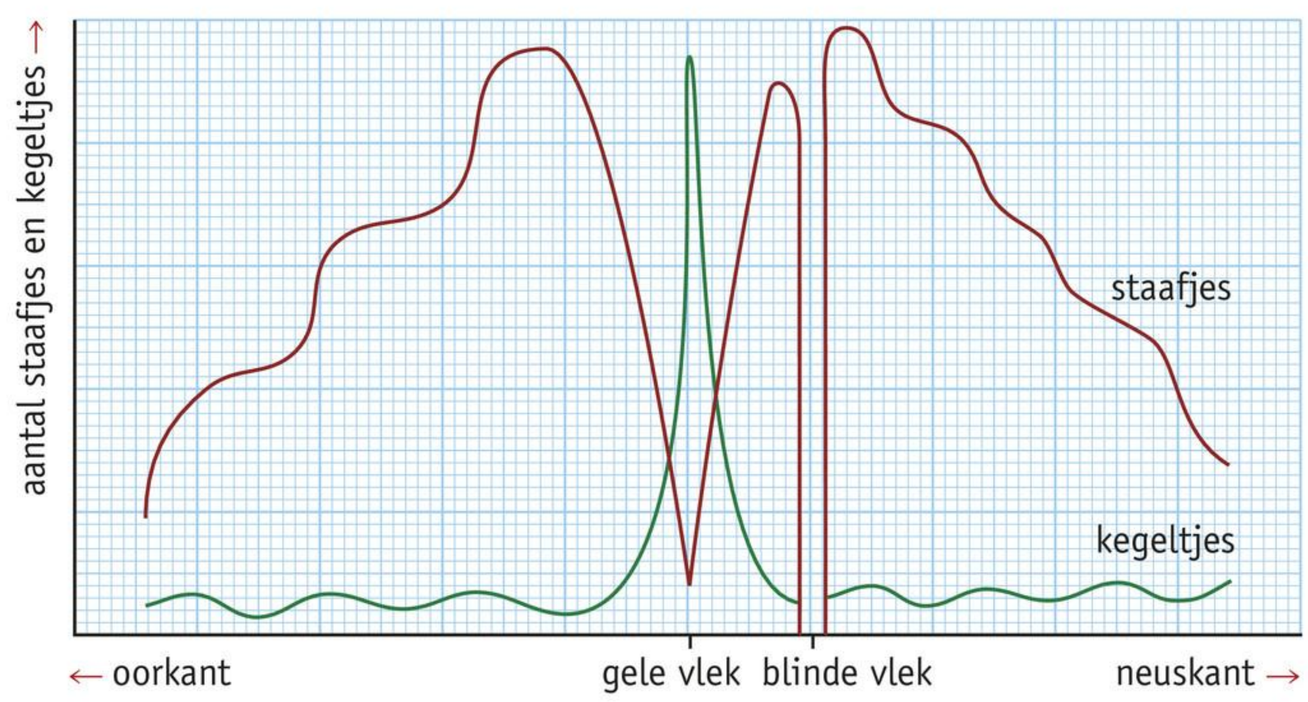
STAAFJES EN KEGELTJES

In het netvlies liggen twee soorten lichtreceptoren die je vanwege hun vorm staafjes en kegeltjes noemt (zie afbeelding 22 en *BiNaS* tabel 87C2 en 3). De lichtreceptoren bestaan voor 95% uit **staafjes**. De staafjes liggen verspreid over het hele netvlies, maar nauwelijks in de gele vlek en helemaal niet in de blinde vlek (zie afbeelding 23). De staafjes hebben een lage prikkeldrempel voor licht. Ze zijn gevoelig voor bijna alle kleuren licht, maar vrijwel ongevoelig voor rood licht. De impulsen die de staafjes doorgeven, worden door de hersenen alleen als contrast in zwart-grijs-wit waargenomen. Staafjes geven een minder gedetailleerd beeld dan kegeltjes, omdat er vijftig tot honderd staafjes met één zenuwcel zijn verbonden.

■ **Afb. 22** Staafjes en kegeltjes in het netvlies.

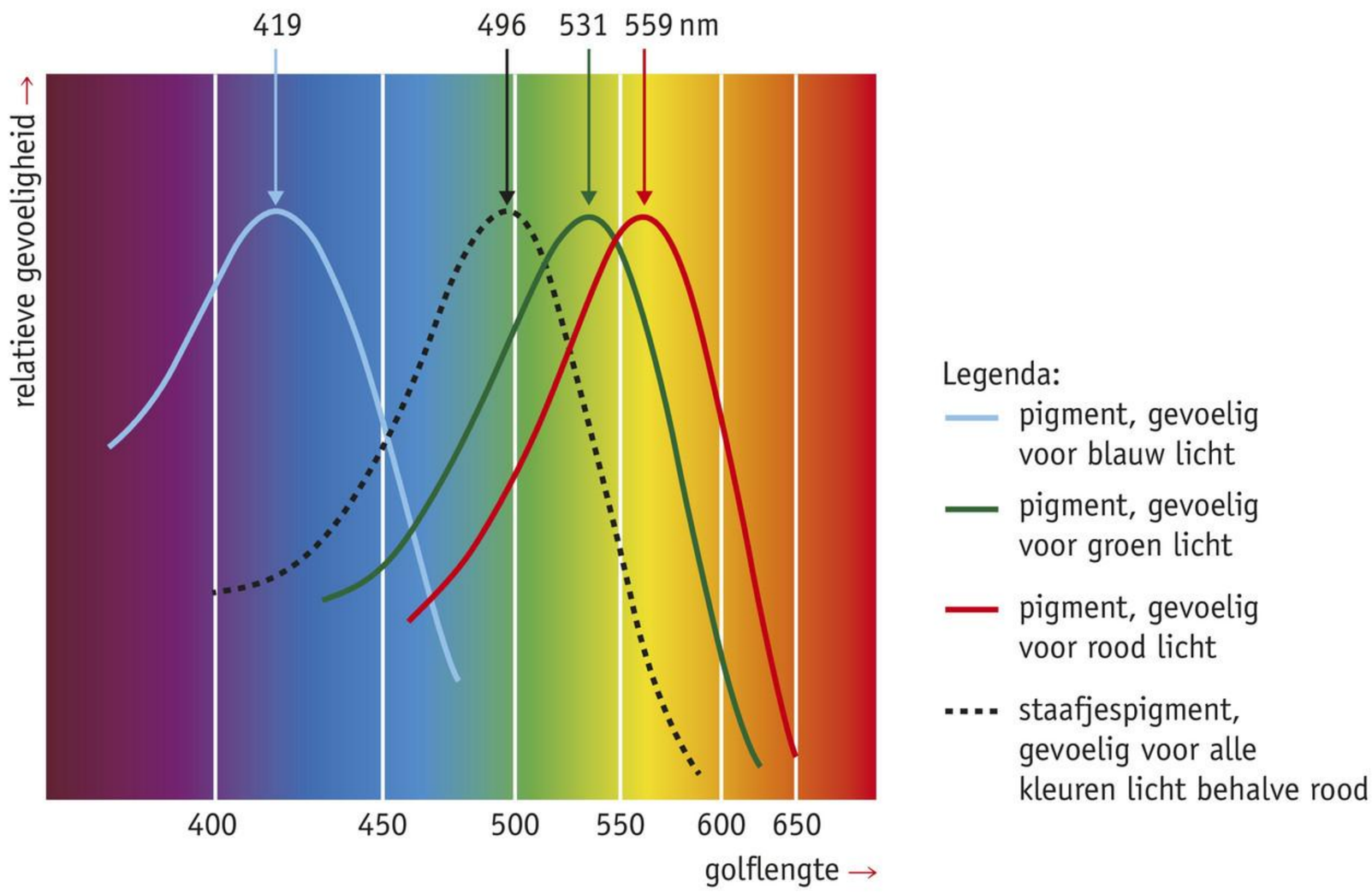


■ **Afb. 23** De verdeling van staafjes en kegeltjes over het netvlies.



Met **kegeltjes** kun je kleuren waarnemen. Er zijn drie typen kegeltjes die elk gevoelig zijn voor een andere kleur licht. Met één type neem je rood licht waar, met een ander type neem je groen licht waar en met het derde type blauw licht. De drie typen kegeltjes bevatten elk een ander lichtgevoelig pigment. De gevoeligheid van deze pigmenten voor de verschillende golflengten van het licht is in afbeelding 24 weergegeven. Doordat de drie typen kegeltjes in verschillende mate tegelijkertijd kunnen worden geprikkeld, kun je veel verschillende kleuren zien. Dit is vergelijkbaar met de vorming van kleuren door pixels op een beeldscherm (zie afbeelding 25). Wanneer de drie typen even sterk worden geprikkeld, zie je wit licht.

■ **Afb. 24** Absorptiespectra lichtreceptoren.



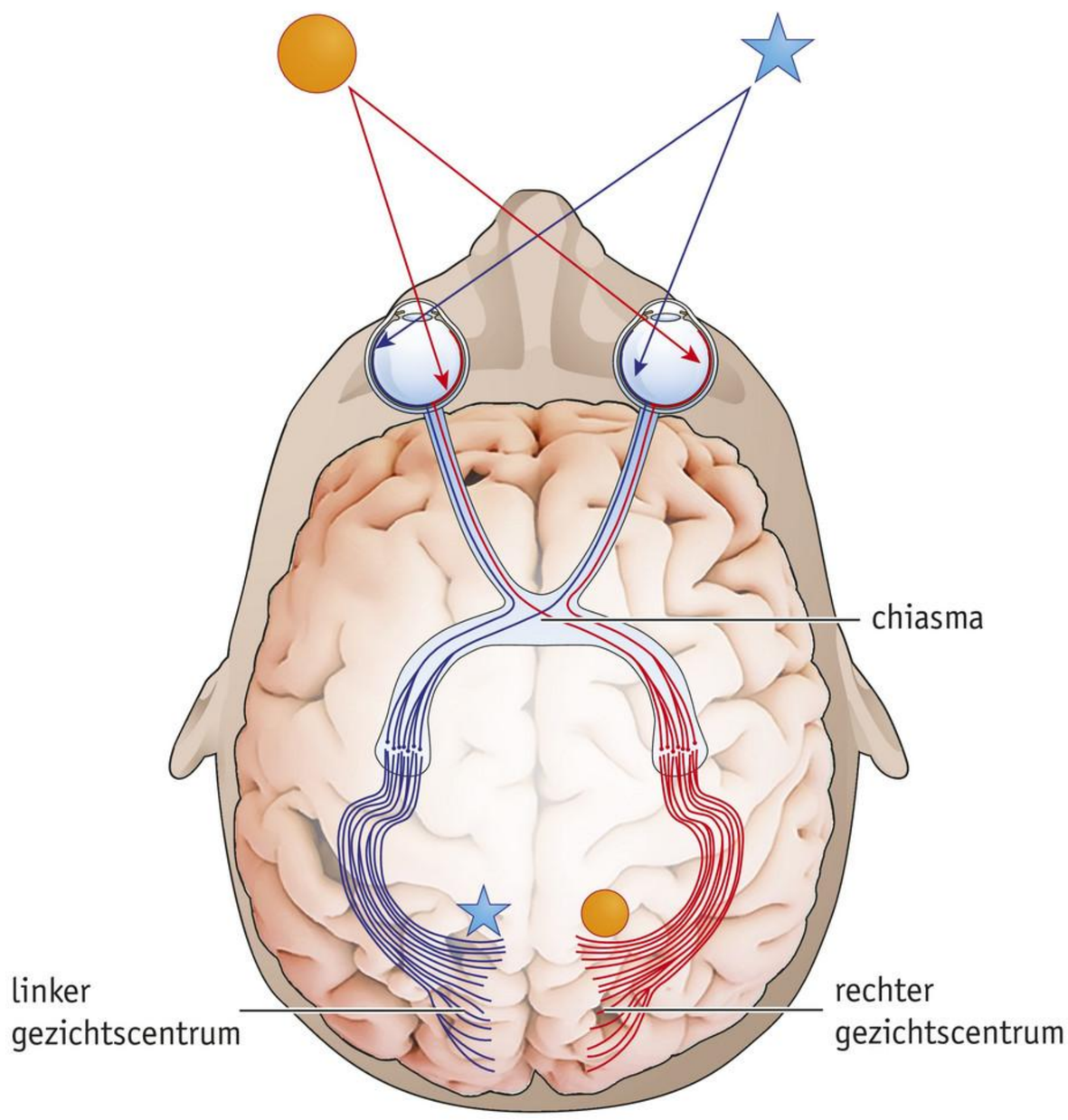
■ **Afb. 25** Rood-groen-blauw-kleurenvorming.

Kegeltjes hebben een hogere prikkeldrempel voor licht dan staafjes. Hierdoor kun je bij een lage verlichtingssterkte geen kleuren zien. Kegeltjes liggen vooral in de gele vlek en de directe omgeving daarvan (zie afbeelding 23). Met dit deel van het netvlies kun je daarom het scherpst zien. Kegeltjes zorgen voor een scherper beeld dan staafjes, omdat ze elk zijn verbonden met één apart neuron, waardoor in het gezichtscentrum een veel gedetailleerder beeld kan worden gevormd. Aan de rand van het netvlies komen geen kegeltjes voor.

OPTISCH CHIASMA

Als je om je heen kijkt, valt het rechterdeel van je gezichtsveld op het linkerdeel van de netvliezen in je ogen. Het linkerdeel van je gezichtsveld valt op het rechterdeel van je netvliezen. Impulsen van het linkerdeel van de netvliezen gaan via de oogzenuwen naar het linker gezichtscentrum. Impulsen van het rechterdeel van de netvliezen gaan via de oogzenuwen naar het rechter gezichtscentrum. Net boven de hypothalamus kruisen de uitlopers in beide oogzenuwen elkaar gedeeltelijk (zie afbeelding 26). Deze kruising heet het **optisch chiasma** (zie *BiNaS* tabel 87C4).

■ **Afb. 26** Optisch chiasma.



STEREOSCOPIE

Als je naar een voorwerp kijkt, valt het beeld op zowel het netvlies van je linker- als je rechteroog. Met je linkeroog bekijk je het voorwerp vanuit een iets andere hoek dan met je rechteroog.

De gezichtscentra in de hersenen vergelijken de beelden van beide ogen met elkaar en verwerken ze tot één beeld. Het verschil tussen beide beelden levert informatie over de afstand waarop een voorwerp zich bevindt. Hoe dichterbij het voorwerp is, des te groter is namelijk het verschil in beelden. Dit zorgt ervoor dat je diepte kunt zien (**stereoscopie**) en afstanden kunt inschatten.

Opdrachten KENNIS

16 **a** Noteer de receptoren en de effectoren van de accommodatiereflex.
b Noteer de receptoren en de effectoren van de pupilreflex.

Opdrachten KENNIS

1 Door slechtzittende schoenen of door lange afstanden te lopen kunnen blaren ontstaan. Er vormt zich dan een klein zakje gevuld met vocht tussen je huid en het onderliggende weefsel (zie afbeelding 2).
Behoort het vocht in een blaar tot het inwendige of tot het uitwendige milieu?

■ **Afb. 2** Het verzorgen van een blaar.

2 Via de buis van Eustachius kun je door te slikken de luchtdruk in je middenoor achter het trommelvlies gelijkmaken aan de luchtdruk die buiten heerst.
- **a** Behoort lucht in de buis van Eustachius tot het inwendige of uitwendige milieu? Leg je antwoord uit.
- **b** De inhoud van darmen, longen en blaas hoort bij het uitwendige milieu.
  Waar hoort het vocht tussen de cellen van de darmwand, het longweefsel en de blaaswand bij? Leg je antwoord uit.

3 Gebruik voor deze opdracht *BiNaS* tabel 89C.
- **a** Is de aanmaak van testosteron een voorbeeld van positieve of negatieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.
- **b** Leg uit dat bij de aanmaak van testosteron onder normale omstandigheden een dynamisch evenwicht ontstaat.

4 De oxytocineregelkring speelt een rol bij de bevalling. Oxytocine is het hormoon dat zorgt voor het regelmatig samentrekken van spieren in de baarmoederwand: de weeën. Door de weeën wordt het hoofdje van de baby tegen de uitgang van de baarmoeder gedrukt. Dat leidt tot de afgifte van oxytocine. Hierdoor neemt de druk van het hoofdje nog meer toe.
Is hier sprake van positieve of negatieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.

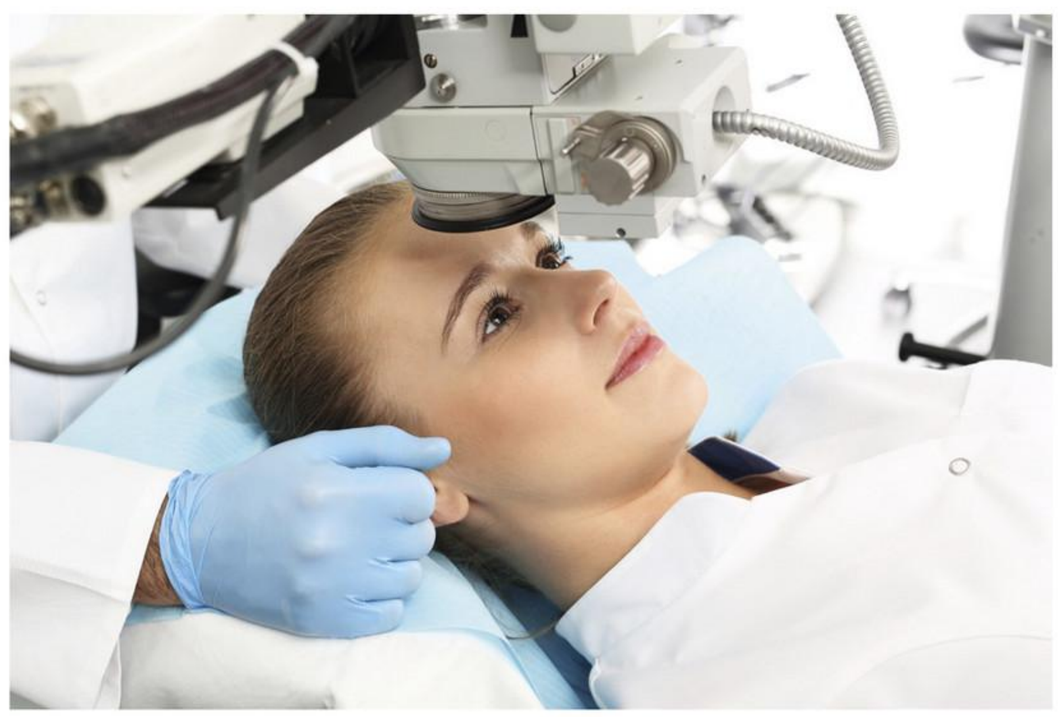
17 **a** Hoe neem je groen licht waar dat door je staafjes wordt geabsorbeerd?
b Hoe neem je groen licht waar bij absorptie door de kegeltjes?
c Neem je bij een hoge of lage lichtintensiteit groen licht waar als grijs? Leg je antwoord uit.
d Bij gelijke prikkeling van welke twee specifieke lichtreceptoren zul je geel waarnemen?

Opdrachten INZICHT

18 Een afwijking die bij albino's vaak voorkomt is het volledig gekruist zijn van de oogzenuwbanen.
Leg uit wat het gevolg hiervan is voor het zicht.

19 Bij een ooglaserbehandeling (zie afbeelding 27) wordt de vorm van het hoornvlies aangepast. Iemand heeft last van verziendheid en ondergaat een ooglaserbehandeling. Enkele dagen na deze behandeling kan zij weer scherp zien.
Is het hoornvlies boller of platter na deze laserbehandeling? Leg je antwoord uit.

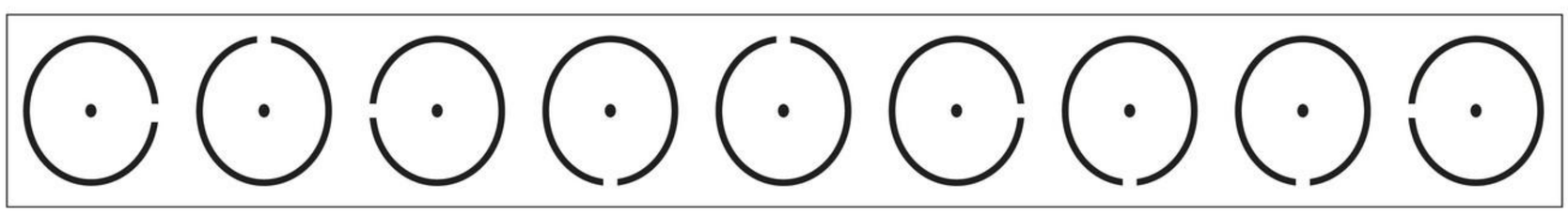
■ **Afb. 27** Ooglaserbehandeling.



20 In programma's waarbij personen iets moeten doen in het donker, zoals 'Daten in het donker', wordt vaak rood licht gebruikt voor de filmopnamen. Verder is er geen licht.
a Leg uit waarom de gefilmde personen nog steeds de ervaring hebben dat het donker is, terwijl er wel degelijk rood licht is. Wees volledig in je uitleg.
b Bij welke spieren in de iris kun je contractie verwachten bij de personen die meedoen aan het daten in het donker? Leg uit.

21 Als je met één oog focust op de stip van de middelste cirkel in afbeelding 28, terwijl je het andere oog gesloten houdt, kun je de opening aan de bovenkant van de cirkel moeiteloos waarnemen. Maar waarschijnlijk zie je de openingen van de cirkels verder van het midden niet meer precies.
Leg aan de hand van de bouw van het netvlies uit waarom je, naarmate je verder van het midden komt, niet meer precies kunt zeggen waar de opening in de cirkels zich bevindt.

■ **Afb. 28** Tot waar kun jij de openingen zien?



22 Piraten droegen vaak een ooglapje, ook al werkten hun beide ogen prima. Op deze manier zouden ze zowel in het donker als in het licht goed kunnen zien.
Een piraat met ooglapje die benedendeks verder moet vechten, nadat hij eerst bovendeks in de felle zon heeft gevochten, doet snel zijn ooglapje af.
Dit biedt hem een voordeel ten opzichte van zijn tegenstander die geen ooglapje droeg: hij kan beter zien in het donker.

a Leg uit waarom hij beter kan zien en benoem hoe dit proces heet.

b Leg uit dat er ook een flink nadeel kleeft aan het dragen van een ooglapje voor het zicht van de piraat.

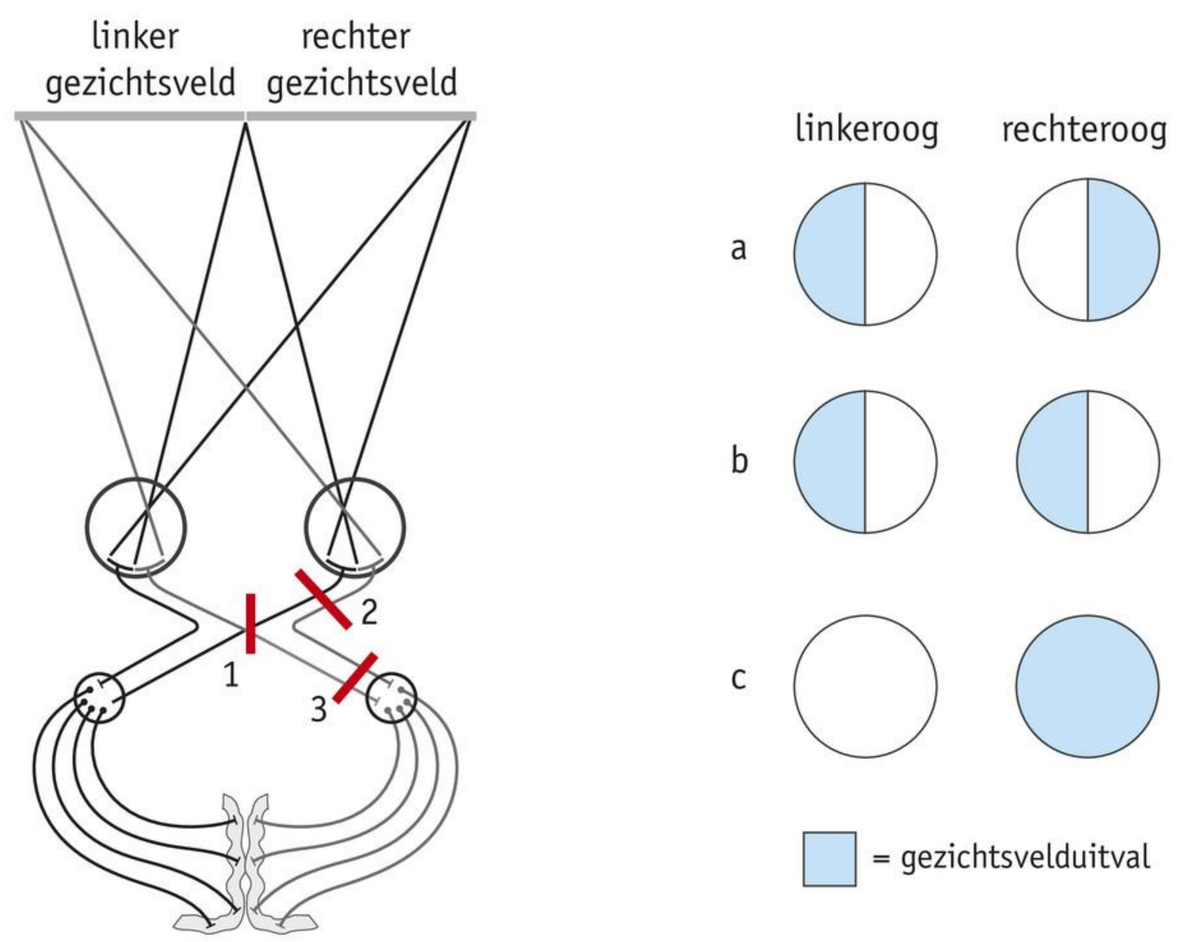
■ **Afb. 29** Kind verkleed als piraat met ooglapje.

23 Het licht valt door het oog door verschillende mediums (vloeistoffen, lens en netvlies). De brekingsindex verschilt per medium. Bij elke overgang van het ene medium naar het andere, verandert het licht dus een klein beetje van richting. Als de brekingsindex van het eerste medium veel verschilt van het tweede medium, is de breking sterker. Lucht heeft een brekingsindex van 1,00.
Leg aan de hand van de bouw van het oog en *BiNaS* tabel 18 uit dat het hoornvlies een veel grotere rol speelt bij de lichtbreking in het menselijk oog dan de lens.

24 Bij inktvissen is het netvlies iets anders opgebouwd dan bij de mens. De laag zintuigcellen ligt tegen het glasachtig lichaam aan. De laag neuronen ligt tegen het vaatvlies.
Leg uit dat daardoor in het oog van een inktvis geen blinde vlek voorkomt.

25 Hemianopsie (uitval van een gedeelte van het gezichtsveld) kan verschillende vormen aannemen, afhankelijk van de plek van de beschadiging van de zenuwbanen. In afbeelding 30.1 zijn drie verschillende beschadigingen van de zenuwbanen weergegeven. In afbeelding 30.2 zijn drie verschillende vormen van hemianopsie weergegeven.
Geef voor de nummers 1, 2 en 3 aan welk type gezichtsvelduitval (a, b, c) hierbij hoort.

■ **Afb. 30** Beschadigingen van de zenuwbanen.



1 beschadigingen van de zenuwbanen **2** vormen van hemianopsie

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Leefwereld

EEN MYOPIE-EPIDEMIE

Oogartsen waarschuwen: bijziendheid (myopie) wordt een epidemie. Steeds vaker zien ze bijziende jongeren op hun spreekuur. Uit diverse wetenschappelijke onderzoeken blijkt hetzelfde: in welvarende landen neemt het aantal kinderen met bijziendheid en hoge bijziendheid (vanaf −6) razendsnel toe.

Dit is zorgwekkend, want hoge bijziendheid is één van de grootste risicofactoren om op latere leeftijd slechtziend of zelfs blind te worden. Preventie en vroege behandeling van deze hoge bijziendheid is belangrijk, want als er eenmaal sprake van is, is er bij volwassenen weinig meer aan te doen. Zo'n 30% van de hoog-bijzienden zal rond middelbare leeftijd slechtziend aan beide ogen worden.

Erfelijke factoren spelen een rol bij het ontstaan van bijziendheid. De enorme toename van de afgelopen twintig jaar is echter toe te schrijven aan onze veranderde levensstijl, in het bijzonder aan het toegenomen gebruik van beeldschermen. Waren het vroeger vooral de boekenwurmen die bijziendheid ontwikkelden, tegenwoordig groeit bijna elk kind op met tablets en mobiele telefoons (zie afbeelding 31). Dit resulteert in veel te veel dichtbij kijken en een aanpassing van het nog groeiende oog hierop om dichtbij zien te vergemakkelijken. Tegelijkertijd spelen kinderen veel minder buiten, terwijl dit juist beschermt tegen myopie. Niet alleen omdat je buiten veel in de verte moet kijken. De grotere hoeveelheid licht zorgt voor de afgifte van dopamine door het netvlies, waardoor de groei van de oogbol wordt tegengegaan.

■ **Afb. 31** Kinderen met hun tablet.

Opdrachten

26 **a** Leg uit dat vroeger vooral kinderen die veel boeken lazen myopie ontwikkelden.
b Preventie en vroege behandeling van myopie is belangrijk.
Welke rol kan een oogarts hierbij spelen? Zoek eventueel aanvullende informatie op internet.
c Waarom zal een oogarts vooral kinderen met hoge myopie op zijn spreekuur zien?

27 Bij het veel dichtbij kijken op jonge leeftijd groeit de oogbol om het dichtbij zien te vergemakkelijken.
Welke vorm zal de oogbol krijgen en waarom vergemakkelijkt dit het dichtbij zien?

28 Hoge myopie kan op latere leeftijd tot slechtziendheid of blindheid leiden.
De vervormde oogbol kan zorgen voor beschadigingen aan diverse delen van het oog, doordat er te veel spanning op komt te staan. Zo kan het netvlies bijvoorbeeld zo dun worden, dat het niet meer kan functioneren.
Geef nog één ander voorbeeld van schade aan het oog, veroorzaakt door een vervormde oogbol.
Leg uit waardoor dan slechtziendheid optreedt.

3 GEDRAG

LEERDOELEN

8.3.1 Je kunt toelichten wat gedrag is en hoe gedrag is ingedeeld.
8.3.2 Je kunt uitleggen hoe gedrag tot stand komt en dat gedrag het resultaat is van de relatie van een organisme met zijn omgeving.
8.3.3 Je kunt beschrijven wat ethologie inhoudt en een eenvoudig gedragsonderzoek uitvoeren.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	8.3.1	8.3.2	8.3.3
Begrijpen	29, 30a, 31, 32c	30b, 32ab, 34	33
Toepassen	36ab, 38a		37bc, 39b
Analyseren	38c	36c, 38b, 39a	35, 37ad

Slaan met deuren, mopperen op je ouders, je verslapen en het uitstellen van huiswerk: het zijn allemaal voorbeelden van typisch pubergedrag. Pubergedrag is niet voor iedereen gemakkelijk. Maar wist je dat het gedrag van een puber biologisch gezien heel normaal is en dat ook ratten en apen pubergedrag vertonen?

ETHOLOGIE

Het vakgebied binnen de biologie waarbij het gedrag van dieren centraal staat, noem je ethologie. Ethologen bestuderen het gedrag van dieren. Onder **gedrag** verstaan biologen alle waarneembare activiteiten van dier en mens. Voorbeelden van gedrag zijn: geluiden maken, slapen, van kleur veranderen, geurstoffen uitscheiden, bewegen of een bepaalde lichaamshouding aannemen.

Gedrag van dieren is vaak gericht op het handhaven of verbeteren van de lichamelijke toestand of de omgevingssituatie. Daarom drinken dieren bijvoorbeeld wanneer ze dorst hebben en graven ze een hol om in te leven (zie afbeelding 32). De overlevingskans en fitness van een dier worden vergroot wanneer het gedrag goed is aangepast aan de omstandigheden. Dit noem je **adequaat gedrag**.

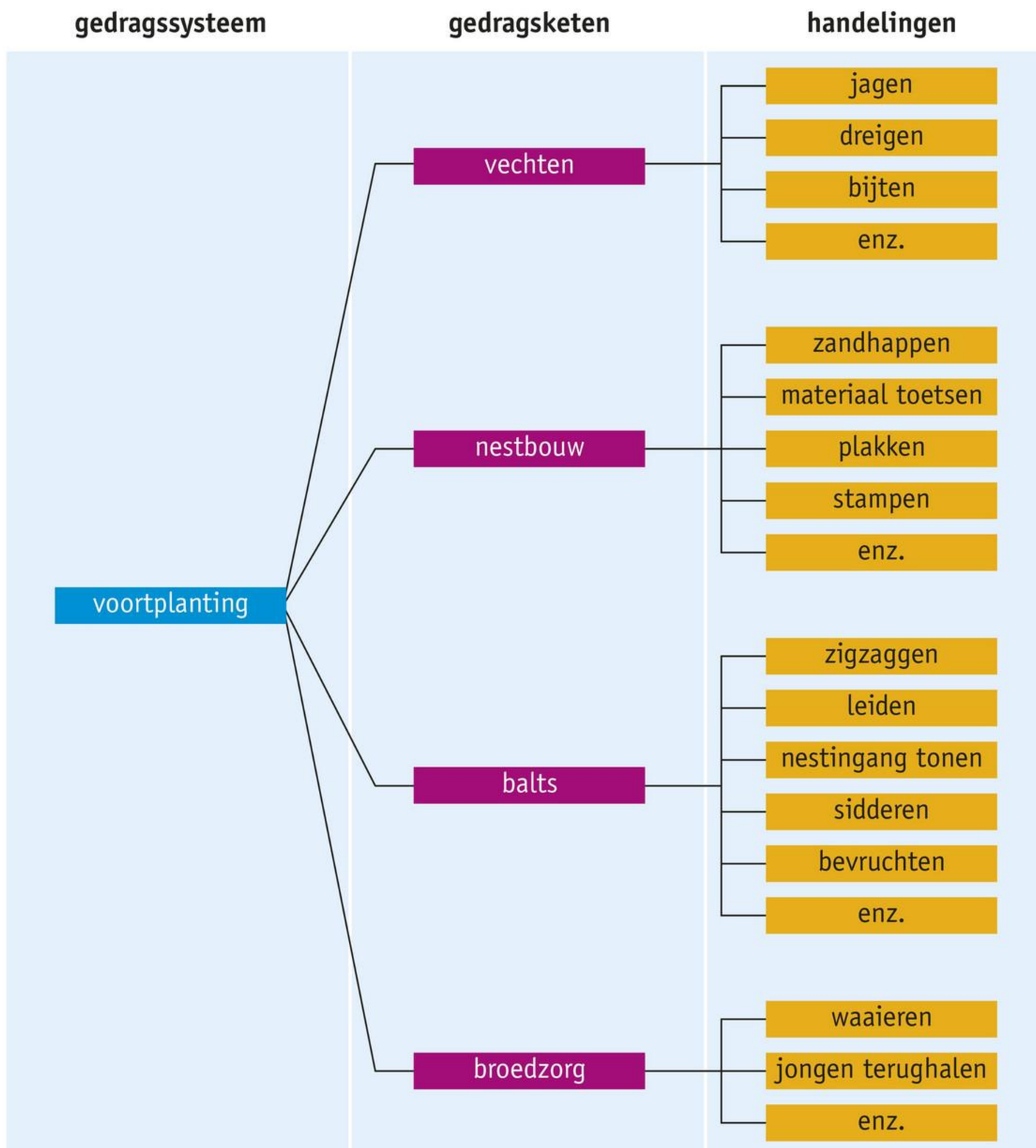
■ **Afb. 32** Konijn in hol.

VAN PRIKKEL TOT HANDELING

Gedrag is opgebouwd uit opeenvolgende handelingen, ook wel **gedragselementen** genoemd. Bij de meeste handelingen reageert een dier of mens op prikkels, deze reactie noem je een **respons**. De impulsen die in receptoren onder invloed van prikkels ontstaan, worden verwerkt in het centraal zenuwstelsel, waarna door effectoren (spieren en klieren) de handeling tot stand komt.

Handelingen met een gemeenschappelijk doel vormen samen een **gedragssysteem**. **Voedingsgedrag** en **voortplantingsgedrag** zijn voorbeelden van gedragssystemen. De handelingen in een gedragssysteem kunnen elkaar in een vaste volgorde opvolgen. Voedingsgedrag bestaat bijvoorbeeld uit voedsel zoeken en verzamelen voordat het wordt gegeten. Als het effect van de ene handeling leidt tot de volgende handeling, spreek je van een gedragsketen. Een voorbeeld van zo'n gedragsketen bij voortplantingsgedrag van stekelbaarzen is de balts (zie afbeelding 33). Als een geslachtsrijp mannetje een vrouwtje tegenkomt, zal hij overgaan tot de opeenvolgende handelingen die behoren bij de balts.

■ **Afb. 33** Ordening van gedragsketens bij voortplantingsgedrag van een mannelijke stekelbaars.



Opdrachten KENNIS

29 Hieronder staan drie uitspraken met betrekking tot gedrag.
1 Als iemand lacht als hij pijn heeft, is dat een voorbeeld van gedrag.
2 Als een haas wegrent voor zijn predator is dit een voorbeeld van adequaat gedrag.
3 Gedrag komt altijd tot stand door de werking van spieren.
Noteer bij elke uitspraak of deze juist of onjuist is.

30 Onderzoek heeft aangetoond dat planten die werden blootgesteld aan wind en licht uit een bepaalde richting hierop reageerden. De richting van waaruit de wind kwam, was ook steeds de richting van waaruit de planten werden belicht. De planten pasten hierop hun groeirichting aan en groeiden in de richting van de wind, wat eerder niet het geval was.
a Is dit groeien van de planten een vorm van gedrag?
b Planten reageren op prikkels.
Wat zijn de prikkels waarop de plant in de hierboven beschreven tekst reageert? En wat is de respons?

31 **a** Noem een voorbeeld van een gedragssysteem dat alleen bij mensen voorkomt.
b Noem drie mogelijke opeenvolgende handelingen bij dit gedragssysteem.

MOTIVATIE

Prikkels kunnen afkomstig zijn uit de omgeving (**externe factoren**) of uit het lichaam (**interne factoren**). Mensen en dieren kunnen niet op alle externe prikkels reageren. Stel je eens voor van wel, dan zou je letterlijk doordraaien. Het regelcentrum (de thalamus) functioneert als een filter voor alle binnenkomende impulsen als gevolg van prikkels en laat maar een fractie door voor verdere verwerking. Gedrag komt tot stand door een combinatie van externe prikkels en motivatie. Motivatie (drang) is de bereidheid om bepaald gedrag uit te voeren. Hierbij bepalen interne prikkels de motivatie voor dat gedrag.

Een voorbeeld van motivatie is voedingsdrang. Als inwendige receptoren signaleren dat er te weinig voedingsstoffen aanwezig zijn, resulteert dit in honger. Hierdoor word je veel gevoeliger voor externe prikkels die met voedsel hebben te maken en zul je bepaald gedrag vertonen om voedsel tot je te nemen (zie afbeelding 34). Als je voldoende hebt gegeten, neemt de voedingsdrang af en dus ook de bereidheid om dat gedrag te vertonen. Adequaat gedrag heeft gezorgd voor een afname van de interne prikkels en de motivatie. Hierdoor wordt energieverspilling door onnodige gedragshandelingen voorkomen. Met behulp van dergelijke regelmechanismen wordt de homeostase van het interne milieu gehandhaafd. Twee andere voorbeelden van motivatie zijn vluchtdrang (behoefte aan veiligheid) en voortplantingsdrang (paringsdrang).

■ **Afb. 34** Op zoek naar voedsel.

PERIODIEKE INVLOEDEN

Veel processen in het lichaam van organismen volgen een bepaald ritme. Het mechanisme dat hiervoor verantwoordelijk is, noem je de **biologische klok**. Bij mensen bevindt deze zich in de hypothalamus. De biologische klok regelt niet alleen het slaap-waakritme en de timing van de voortplanting. Het mechanisme heeft ook invloed op de stofwisseling. Bij mensen die bijvoorbeeld te veel of juist te weinig slapen kan dit leiden tot **stofwisselingsveranderingen**, zoals een verhoogde kans op diabetes type 2.

Voortplantingsdrang komt voor een deel tot stand door de afgifte van hormonen. Een verandering van de concentratie van geslachtshormonen veroorzaakt een interne voortplantingsprikkel. Voor voortplantingsgedrag zijn ook externe prikkels nodig, zoals de aanwezigheid van een nestplaats en een geschikte partner.

Bij mensen zorgt een verandering in de concentratie geslachtshormonen bijvoorbeeld voor gedragsveranderingen in de puberteit en adolescentie. Dit is ook het geval bij bijvoorbeeld apen en ratten. Bij andere dieren verandert de hormoonspiegel maandelijks of jaarlijks, bijvoorbeeld door veranderingen in de daglengte of temperatuur. Dit zijn voorbeelden van periodieke invloeden. Periodieke invloeden zijn regelmatig terugkerende schommelingen in interne of externe prikkels.

Onder invloed van de toenemende hoeveelheid licht in het voorjaar geeft bijvoorbeeld bij vogels de hypofyse hormonen af. Onder invloed van deze hypofysehormonen komen de geslachtsorganen tot ontwikkeling en produceren ze geslachtshormonen, waardoor de motivatie voor voortplantingsgedrag kan toenemen. In het najaar neemt de afgifte van hypofysehormonen weer af en krimpen de geslachtsorganen.

GEDRAGSONDERZOEK

Een etholoog verzamelt gegevens over externe prikkels waaraan een dier wordt blootgesteld (input) en gegevens over hoe het dier hierop reageert (output). Door deze gegevens te bestuderen probeert een etholoog conclusies te trekken over de processen die zich in een dier afspelen (de zogenaamde black box, zie afbeelding 35). Hierbij maakt de etholoog gebruik van kennis over het zintuigstelsel, het zenuwstelsel en het hormoonstelsel.

■ **Afb. 35** Van prikkel tot respons.

Een objectieve beschrijving van de verschillende handelingen van een diersoort heet een **ethogram**. De beschrijving mag geen mening, waardeoordeel of opvatting van de waarnemer bevatten. Wanneer een hond bijvoorbeeld met zijn staart kwispelt, is de objectieve beschrijving daarvan: 'De hond beweegt zijn staart heen en weer.' De beschrijving 'De hond is blij', is een opvatting van de waarnemer over het gedrag.

Met behulp van een ethogram kun je het gedrag van een dier bestuderen. Bijvoorbeeld door bij te houden hoe vaak en hoelang een dier elke handeling uitvoert. Deze gegevens geef je weer in een **protocol**, een overzicht van de achtereenvolgens waargenomen handelingen van het dier. Gedragsonderzoek is dus meestal beschrijvend onderzoek. Wanneer de invloed van een bepaalde prikkel op het gedrag van een dier wordt onderzocht, kan gedragsonderzoek ook hypothesetoetsend zijn.

In afbeelding 36 zie je een gedragsonderzoek met daarin een ethogram en een protocol (zie afbeelding 36.1 en 36.2) over de woestijnspringmuis (zie afbeelding 37).

■ **Afb. 36** Gedrag van een woestijnspringmuis.

ONDERZOEK	HET GEDRAG VAN EEN WOESTIJNSPRINGMUIS
Inleiding	Een woestijnspringmuis vertoont handelingen die tot verschillende gedragssystemen kunnen behoren.
Onderzoeksvraag	Welk gedrag komt het meest voor bij een woestijnspringmuis?
Observatie	Een woestijnspringmuis wordt vijf minuten geobserveerd. Iedere minuut worden per vijf seconden de uitgevoerde handelingen van de muis genoteerd. De observaties worden weergegeven in een gedragsprotocol. De mogelijke handelingen van de muis worden eerst weergegeven in een ethogram.
Resultaat	

Handeling	Afk.	Beschrijving
bijten	bij.	knagen aan materiaal anders dan voer
drinken	dr.	water oplikken uit flesje of bak
eten	et.	pakken van voer in de bek waarop een kauwende beweging volgt
graven	gr.	met de voorpoten in de grond heen en weer bewegen.
hoogspieden	hs.	recht omhoog staan op de achterpoten
lopen	lo.	zich voortbewegen op 4 poten
springen	sp.	zich voortbewegen op 2 poten

1 deel van het ethogram

	1e min.	2e min.	3e min.	4e min.	5e min.
0-5 s	gr.	gr.	lo.	dr.	sp.
6-10 s	gr.	lo.	lo.	dr.	sp.
11-15 s	gr.	lo.	sp.	lo.	gr.
16-20 s	gr.	lo.	sp.	lo.	hs.
21-25 s	gr.	bij.	bij.	lo.	gr.
26-30 s	gr.	bij.	bij.	et.	gr.
31-35 s	gr.	bij.	bij.	et.	gr.
36-40 s	gr.	lo.	lo.	et.	gr.
41-45 s	hs.	sp.	lo.	et.	sp.
46-50 s	hs.	sp.	lo.	et.	sp.
51-55 s	hs.	sp.	dr.	sp.	sp.
56-60 s	hs.	sp.	dr.	sp.	sp.

2 deel van het protocol

Conclusie	Het gedrag springen komt het meest voor bij een woestijnspringmuis.

Met behulp van een protocol kun je onder andere de volgende vragen beantwoorden:

- Hoe vaak komt elke handeling voor?
- Hoelang duurt elke handeling?
- Komen er gedragsketens voor?

■ **Afb. 37** Een woestijnspringmuis.

Opdrachten KENNIS

32 In afbeelding 33 is het voortplantingsgedrag van een mannelijke stekelbaars weergegeven.

a Welke motivatie zorgt ervoor dat stekelbaarsmannetjes tot de balts overgaan als ze een vrouwtje zien?

b Door welke interne prikkels komt deze motivatie tot stand?

c Leidt het zien van het vrouwtje tot de handeling 'sidderen' bij het geslachtsrijpe mannetje? Leg je antwoord uit.

33 Valentina voert voor biologie een gedragsonderzoek uit. Ze observeert haar hond en begint aan een ethogram.

Handeling	Afkorting	Beschrijving
Drinken	dr	De hond heeft dorst.
Schuin kijken	sk	De hond kijkt mij schuin aan, omdat hij meer water wil.

a Wat klopt er niet aan het ethogram?

b Pas het ethogram zo aan dat het wel klopt.

34 'In mei leggen de vogeltjes een ei.'
Leg uit waarom vogels inderdaad in het voorjaar een ei leggen.

Opdrachten INZICHT

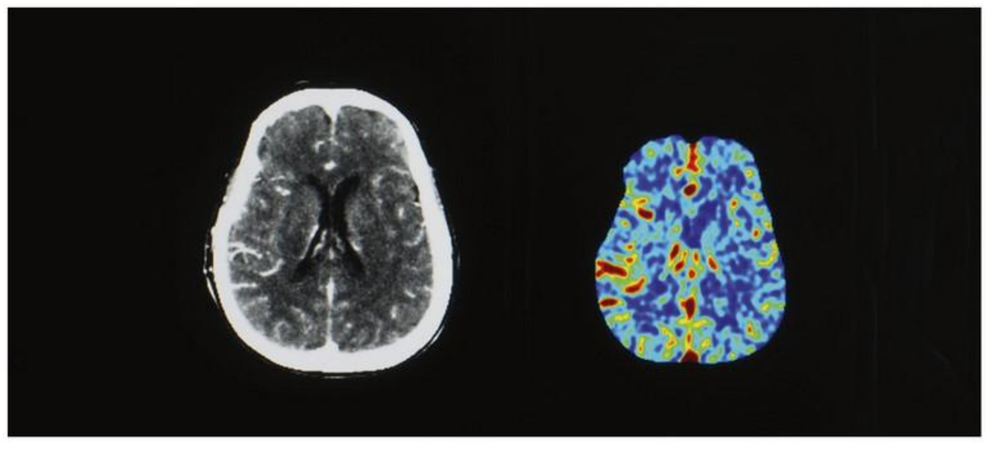
35 Met behulp van een fMRI-scan kun je de hersenactiviteit van een dier of persoon in beeld brengen. Hiervoor moet je ongeveer een half uur stilliggen in een soort tunnel (zie afbeelding 38.1). In de scan bevinden zich magnetische spoelen die als ze in werking worden gezet een magnetisch veld veroorzaken. Zuurstofrijk en zuurstofarm bloed hebben verschillende magnetische eigenschappen. Als een bepaald gebied van de hersenen actief is tijdens het uitvoeren van een opdracht, zal dat gebied meer zuurstof gebruiken. Dit is zichtbaar op de fMRI (zie afbeelding 38.2).

a Wat kan fMRI betekenen voor het gedragsonderzoek?

b In de praktijk wordt de fMRI bij gedragsonderzoek vooral gebruikt bij mensen. Leg uit waarom fMRI lastig is te gebruiken voor gedragsonderzoek bij dieren.

■ **Afb. 38** fMRI bij gedragsonderzoek.

1 fMRI-tunnel



2 fMRI-scan van de hersenen

36 Voor biologie heb je enkele opgaven als huiswerk opgekregen.

a Vormen de opeenvolgende handelingen bij huiswerk maken een gedragssysteem? Leg je antwoord uit.

b Wanneer jij huiswerk maakt, vormen de opeenvolgende handelingen bij jou dan een gedragsketen? Leg je antwoord uit.

c Uit onderzoek blijkt dat de aanwezigheid van een mobiele telefoon tijdens het huiswerk maken niet bevorderlijk is.
Geef hiervoor een mogelijke verklaring op basis van het tot stand komen van gedrag.

37 Stel dat je onderzoeker bent en dat je zelf gedragsonderzoek wilt uitvoeren met behulp van een ethogram en protocol. Je mag zelf bepalen welk gedrag je wilt onderzoeken en van welk dier.

a Stel een onderzoeksvraag op en geef aan of het een hypothesetoetsend of beschrijvend onderzoek is.

b Bestudeer het gedrag van het dier naar keuze enkele minuten. Leg de handelingen vast in een ethogram (zie tabel 2).

c Zet je observatie vervolgens vijf minuten voort en maak een gedragsprotocol (zie tabel 3).

d Welke conclusie kun je trekken naar aanleiding van je onderzoek?

Tabel 2 Ethogram.

BIOLOGISCHE TECHNIEK	EEN ETHOGRAM MAKEN
Doel	Een ethogram is een lijst met objectieve beschrijvingen van de handelingen die bij een diersoort kunnen voorkomen.
Werkwijze	Observeer de handelingen uit het gedragssysteem van enkele dieren die representatief zijn voor de soort. • Maak een tabel met drie kolommen: Handeling, Afkorting, Beschrijving. • Noteer in de eerste kolom een woord dat de handeling beschrijft. • Noteer in de tweede kolom een afkorting voor het gekozen woord. • Noteer in de derde kolom de objectieve beschrijving van het gedrag.

Tabel 3 Protocol.

BIOLOGISCHE TECHNIEK	EEN PROTOCOL MAKEN
Doel	Een protocol is een overzicht van de achtereenvolgens waargenomen handelingen van een dier gedurende een bepaalde periode. Aan de hand van een protocol kun je uitspraken doen over het gedrag van een dier.
Werkwijze	Observeer gedurende een bepaalde tijd, bijvoorbeeld vijf minuten of een uur, het gedrag van een dier. • Maak een tabel met de tijden. • Noteer bij elk tijdstip de op dat moment voorkomende handeling. Gebruik daarbij de afkortingen uit het ethogram.

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Opdrachten INZICHT

5 Bloedstolling is een complex proces waarbij veel verschillende stoffen een rol spelen. Na het ontstaan van een wond hechten bloedplaatjes aan de beschadigde bloedvatwand. Eenmaal gehecht, worden de bloedplaatjes geactiveerd door de stof trombine, waarna de bloedplaatjes uit elkaar vallen. Daarbij komt onder andere de stof adenosinedifosfaat (ADP) vrij. ADP trekt nog meer bloedplaatjes aan.

a Is er bij deze fase van het proces sprake van positieve of negatieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.

b Waarom is het belangrijk dat deze terugkoppeling optreedt bij bloedstolling?

c Hoe kan een snel bloedstollingsproces helpen om de homeostase van het inwendige milieu in stand te houden?

6 Bij een infectie met een ziekteverwekker komen stoffen vrij. Deze stimuleren reacties in de hypothalamus, waardoor de normwaarde voor de lichaamstemperatuur stijgt. Een patiënt krijgt dan een koortsaanval.

a Heeft de patiënt het aan het begin van de koortsaanval koud of warm? Leg je antwoord uit.

b Enkele dagen later voelt de patiënt zich warm en gaat zweten.
Leg uit wat er met de normwaarde voor de lichaamstemperatuur is gebeurd.

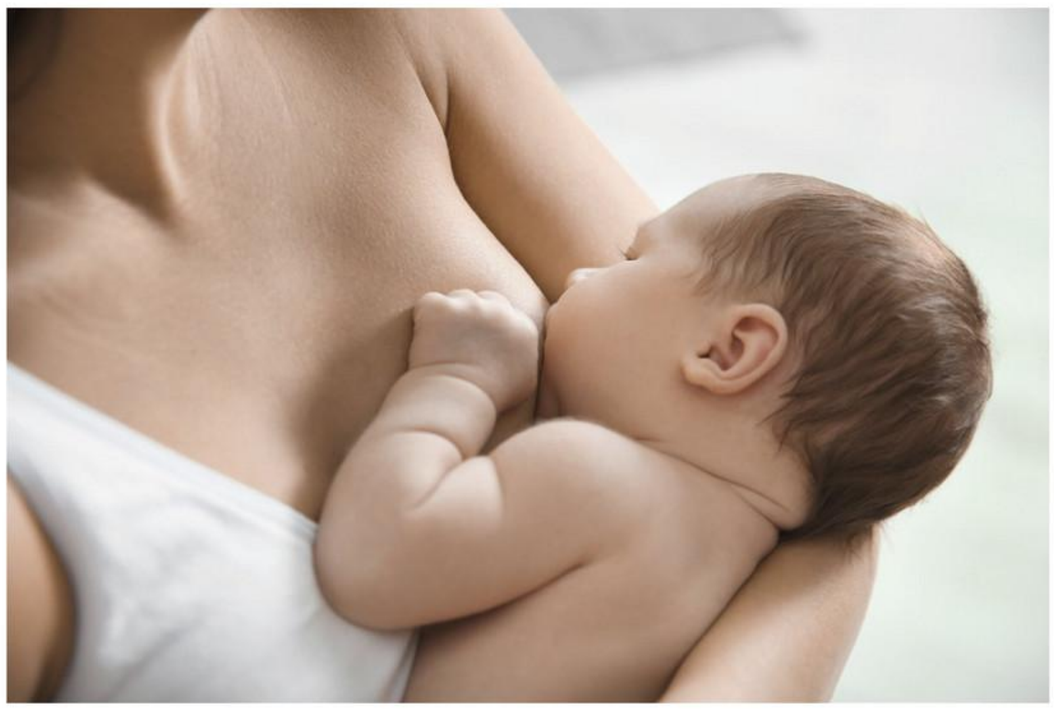
7 Het hormoon prolactine is onder andere verantwoordelijk voor de melkproductie bij vrouwen. Na de bevalling stijgt de concentratie prolactine in het bloed van de moeder en komt de melkproductie op gang. Wanneer de baby drinkt uit de borst (zie afbeelding 3), prikkelt dit gevoelige zenuwuiteinden in de tepel. De hersenen van de moeder krijgen dan een signaal om de prolactineafgifte te verhogen. Dit zorgt ervoor dat de melkklieren voldoende melk voor de volgende voeding maken.

a Noteer van deze regelkring de sensoren, het controlecentrum en de effectoren.

b Is de afgifte van prolactine een voorbeeld van negatieve of positieve terugkoppeling? Leg je antwoord uit.

c Wanneer de borst te lang vol blijft, neemt een bepaalde stof in de moedermelk toe. De hersenen krijgen dan het signaal om de afgifte van prolactine te verminderen. Moeders kunnen het best stoppen met het geven van borstvoeding door in een paar weken langzaam af te bouwen. Zo geeft een moeder haar baby steeds minder voedingen per dag.
Leg uit hoe dat de afgifte van prolactine en de productie van melk beïnvloedt.

■ **Afb. 3** Borstvoeding.



Context Leefwereld

VERKEERSGEDRAG OP DE FIETS

Het risico op een ernstig verkeersongeluk is voor jongeren van 12 t/m 19 jaar vier keer zo groot als voor volwassenen (40 t/m 49 jaar). Het aantal verkeersdoden in Nederland neemt af, maar het aantal jongeren dat omkwam, neemt tegen de landelijk trend in juist iets toe. Die toename is vooral te zien bij het aantal (brom-)fietsongelukken.

Jongeren gedragen zich riskanter, omdat ze risico's minder goed kunnen inschatten. Dit zie je ook in het verkeer. Jongeren zijn gevoeliger voor groepsdruk, dus als vrienden risicovol gedrag vertonen in het verkeer, zijn ze sneller geneigd dit ook te doen. Daarnaast blijkt uit onderzoek dat jongeren veel vaker afleidende handelingen in het verkeer uitvoeren dan volwassenen. Zo leest ruim 59% van de jongeren tijdens het fietsen weleens berichten op hun mobiele telefoon. Ook praten jongeren met anderen, kijken ze om zich heen, of luisteren ze naar muziek.

Aan ruim 80% van alle fietsongevallen gaat afleiding vooraf. Jongeren zijn ook de meest onervaren weggebruikers en dan is het logisch dat zij de meest kwetsbare groep vormen. Reden voor de stichting TeamAlert om daar iets aan te doen.

TeamAlert doet onderzoek naar het risicogedrag van jongeren. De stichting voert campagnes en organiseert bijeenkomsten op bijvoorbeeld scholen en festivals. Het doel is om het gedrag te veranderen en jongeren zich bewust te maken van gevaren, om zo het aantal dat is betrokken bij een verkeersongeval te verminderen. De droom: nul verkeersslachtoffers onder jongeren.

■ **Afb. 39** Appen op de fiets.

Opdrachten

38 **a** Noteer drie handelingen uit het gedragssysteem: verkeersgedrag op de fiets.
b Uit onderzoek van TeamAlert blijkt dat leerlingen na de projecten op scholen meer kennis hebben over verkeersveiligheid. Welke gedragsverandering wil TeamAlert veroorzaken?
c Is het verkeersgedrag dat TeamAlert wil stimuleren een vorm van adequaat gedrag? Licht je antwoord toe.

39 De kans op een ongeluk is vijf keer groter als je tijdens het fietsen je telefoon gebruikt. Daarom ontwikkelt TeamAlert interventies rondom het thema kwetsbare verkeersdeelnemers. Zoek op de website https://teamalert.nl/zakelijk naar een mogelijke interventie die de stichting op scholen uitvoert.
a Kies een interventie die je het meest interesseert en noteer drie prikkels die TeamAlert toepast in dit project om een gedragsverandering te bewerkstelligen.
b Ben je je na deze tekst en het bestuderen van de website van TeamAlert ook meer bewust van jouw eigen verkeersgedrag? Zijn er dingen die jij wilt veranderen aan je verkeersgedrag en zo ja, hoe ga je dat doen?

4 VORMING VAN GEDRAG

LEERDOELEN

8.4.1 Je kunt verklaren dat gedrag deels erfelijk is bepaald.
8.4.2 Je kunt leerprocessen herkennen en beschrijven en de functie daarvan uitleggen.

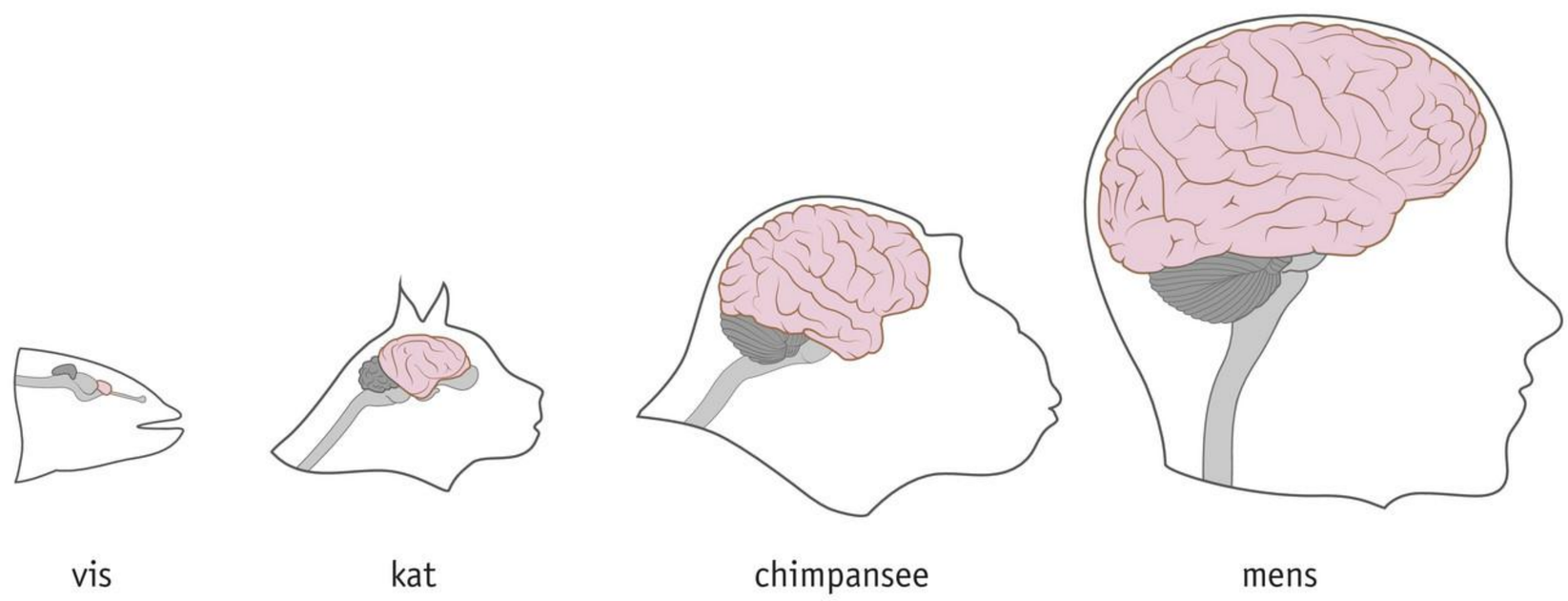
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	8.4.1	**8.4.2**
Begrijpen	40, 41, 42, 43b	43a, 44, 45
Toepassen	46abc, 49a, 50a	47b, 48c, 49b
Analyseren	46de, 51	47a, 48ab, 50b

Baby's zoeken al snel na de geboorte de weg naar de tepel van hun moeder, als respons op aanraking van wang of mond. Dat is bijzonder, want niemand heeft ze geleerd hoe dat werkt. En het is belangrijk, want zo krijgen ze voeding. Naarmate ze ouder worden, wordt het zoekgedrag gerichter en uiteindelijk verdwijnt de reflex zelfs, omdat deze niet meer nodig is.

NATURE VERSUS NURTURE

Bij het tot stand komen van gedrag spelen **erfelijke** eigenschappen (**aangeboren**) en **aangeleerde** eigenschappen (ervaring) een rol. De mate waarin gedrag tot stand komt door deze eigenschappen verschilt nogal per diersoort, niet alle diersoorten zijn in staat om evenveel te leren. Dit heeft vooral te maken met de evolutie van het brein (zie afbeelding 40). De hersenen van iedere soort zijn op zo'n manier geëvolueerd dat het dier zo goed mogelijk kan functioneren binnen zijn leefomgeving. Dieren met een meer ontwikkelde hersenschors kunnen meer leren. Het staat ook vast dat erfelijkheid een rol speelt bij het gedrag van het dier met de meest ontwikkelde hersenschors, de mens. Hoe groot die rol is, staat nog altijd ter discussie. Het **nature-nurture**debat, dat gaat over het tot stand komen van gedrag, is zeer actueel en vormt een bron voor onderzoek.

■ **Afb. 40** Evolutie van het brein.



Welke handeling een dier of mens op een bepaald moment uitvoert, hangt af van de actuele prikkels uit zijn interne en externe milieu. De hersenen combineren deze informatie met erfelijke of aangeleerde gedragsinformatie. Als respons kan het dier erfelijk of aangeleerd gedrag uitvoeren. Dit gedrag heeft weer effect op de omgeving, waar het dier weer op kan reageren. Een respons kan ook bestaan uit nieuw gedrag, dat als het adequaat blijkt te zijn, waarschijnlijk vaker zal worden herhaald (zie afbeelding 41).

■ **Afb. 41** Vorming van gedrag.

Adequaat gedrag kan genetisch of via leerprocessen worden doorgegeven aan nakomelingen (en bij leerprocessen ook aan soortgenoten). Door natuurlijke selectie neemt de frequentie van adequaat gedrag in de populatie toe.

AANGEBOREN GEDRAG

Aangeboren gedrag noem je ook wel **instinct**. Een instinct is soortspecifiek en zorgt ervoor dat dieren in bepaalde situaties vaste reacties op prikkels geven. Deze reacties verhogen vaak de overlevingskans van het organisme en dus de kans op voortplanting. Zo vluchten kakkerlakken naar een donkere schuilplek als er licht op hen schijnt. Jonge vogels sperren hun bek open als ze honger hebben en hun ouder zien (zie afbeelding 42.1). Baby's huilen vanaf het moment dat ze worden geboren (zie afbeelding 42.2). Huilen is op dat moment de meest efficiënte manier om aandacht te trekken van de ouders en aan te geven dat de baby iets nodig heeft (bijvoorbeeld melk, warmte, slaap).

■ **Afb. 42** Voorbeelden van aangeboren gedrag.

1 Een hongerige hop spert zijn bek, veilig verscholen in zijn nest.

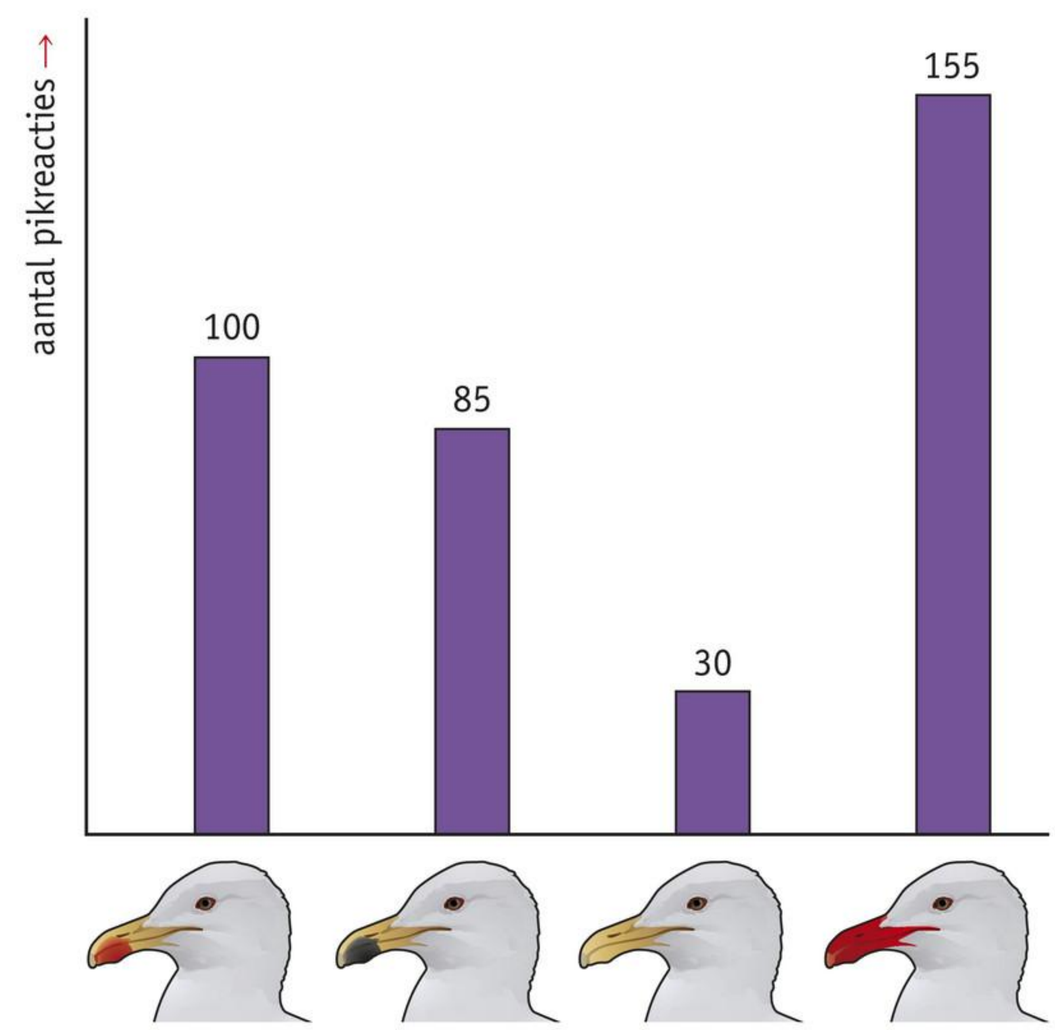
2 Een baby huilt direct na de geboorte.

SLEUTELPRIKKELS EN SUPRANORMALE PRIKKELS

De etholoog Niko Tinbergen nam waar dat een meeuw voedsel uitbraakt voor een kuiken, wanneer die naar de rode vlek op de snavel van zijn ouder pikt. Hij deed vervolgens onderzoek naar dit gedrag van meeuwenkuikens. Hieruit bleek dat hongerige meeuwenkuikens ook naar de rode snavelvlek op een model van een kop van een meeuw pikken (zie afbeelding 43). Naar een model met een zwarte snavelvlek of zonder snavelvlek pikken ze minder vaak. De rode vlek is voor de meeuwenkuikens een prikkel voor pikgedrag. Een prikkel die een doorslaggevende rol speelt bij het veroorzaken van bepaald gedrag, noem je een **sleutelprikkel**. De rode snavelvlek is een sleutelprikkel voor het pikgedrag van de kuikens. Door sleutelprikkels komt erfelijk gedrag tot uiting.

Tinbergen bood hongerige meeuwenjongen ook een model met een volledig rode snavel aan. Hier pikten zij vaker naar dan naar de snavel met een rode vlek (zie afbeelding 43). Een prikkel die nog effectiever is in het oproepen van bepaald gedrag dan een sleutelprikkel noem je een **supranormale prikkel**. Ook uit andere experimenten blijkt dat bepaalde prikkels zorgen voor een grotere kans op een respons dan de sleutelprikkel.

■ **Afb. 43** Pikreacties van meeuwenkuikens.



De respons op sleutelprikkels en supranormale prikkels is gebaseerd op erfelijke informatie. De respons is voorspelbaar. Andere dieren kunnen deze voorspelbaarheid van de erfelijke respons handig gebruiken. Zo leggen koekoeken hun eieren in het nest van andere vogels. Koekoeksjongen hebben een felrode binnenkant van de bek. Dit werkt als een supranormale prikkel voor de voedende pleegouders, waardoor het koekoeksjong alle aandacht en al het eten krijgt (zie afbeelding 44).

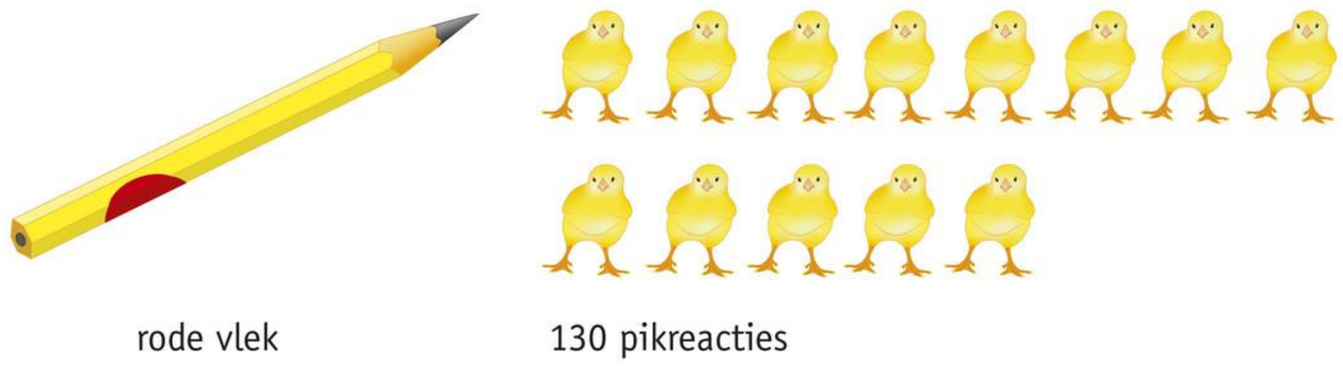
■ **Afb. 44** Koekoeksjong maakt gebruik van supranormale prikkel.

Opdrachten KENNIS

40 **a** Leg uit dat je reflexen ook tot aangeboren gedrag kunt rekenen.
b Benoem de sleutelprikkel en de respons van de pupilreflex.
c Leiden reflexen tot adequaat gedrag? Leg je antwoord uit.
d Er zijn ook reflexen die gedurende het leven minder worden of verdwijnen (in een normale situatie), zoals de tepelzoekreflex en de zuigreflex.
Waardoor is dit geen probleem?

41 Een potlood met een rode vlek (zie afbeelding 45) blijkt bij meeuwenjongen een sterker pikgedrag op te wekken dan een model met een rode snavelvlek. Het zien van zo'n potlood kun je zowel een sleutelprikkel als een supranormale prikkel noemen.
Leg dit uit.

■ **Afb. 45** Sleutelprikkel of supranormale prikkel?



AANGELEERD GEDRAG

Aangeleerde eigenschappen zijn minstens zo belangrijk als aangeboren eigenschappen voor het overleven van een dier. Erfelijk gedrag is in een onverwachte situatie niet altijd effectief, omdat het voorgeprogrammeerd en dus star is. Aangeleerd gedrag biedt veel meer flexibiliteit. Zo moeten dieren leren zichzelf van voedsel te voorzien, ook wanneer de omstandigheden veranderen. Voor olifanten is het bijvoorbeeld belangrijk om te leren waar ze water kunnen vinden, ook in tijden van droogte. Als er weinig prooien zijn, leren vrouwtjesleeuwen hoe ze efficiënter een prooi kunnen vangen door goed samen te werken. Met een goed gecoördineerde groepsjacht kunnen ze zelfs een olifant vellen (zie afbeelding 46).

■ **Afb. 46** Vrouwtjesleeuwen met hun olifantenprooi.

LEERPROCESSEN

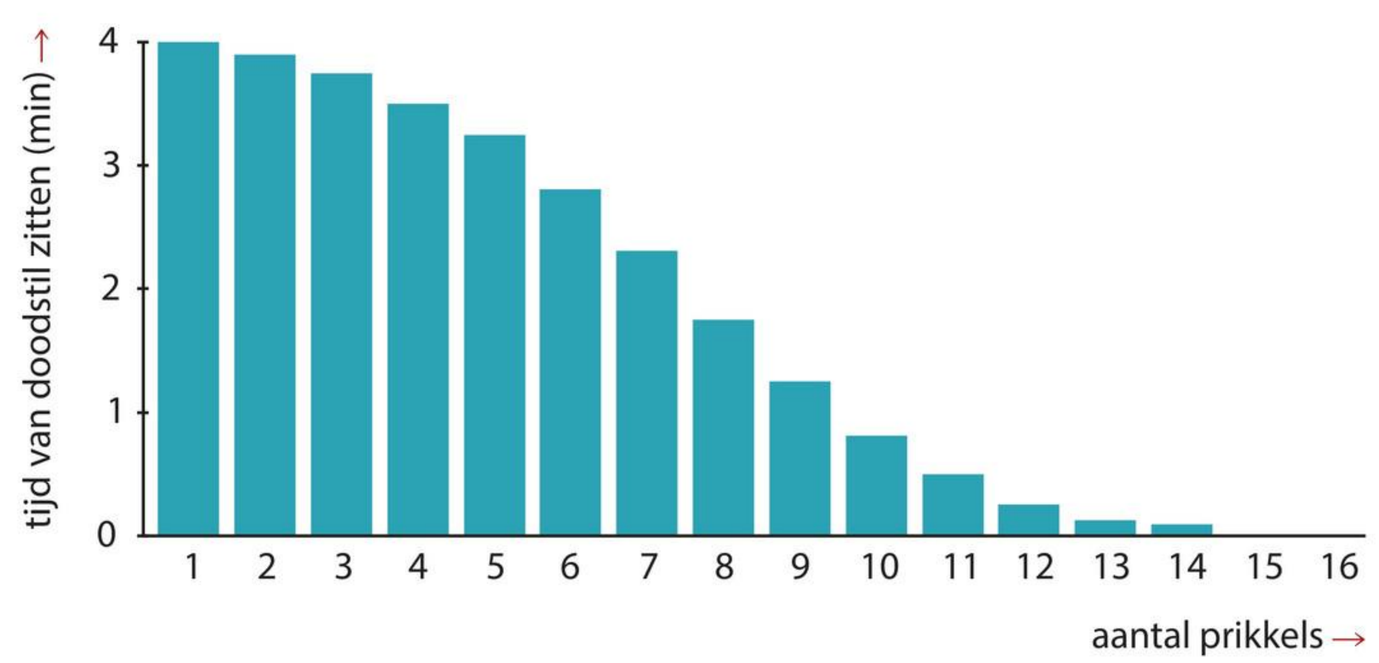
Aangeleerd gedrag komt tot stand door leerprocessen. Een leerproces verandert het gedrag van een dier langdurig. Op basis van ervaringen kan een dier adequaat gedrag ontwikkelen door leerprocessen. Er bestaan verschillende typen leerprocessen. Belangrijke leerprocessen zijn:

- gewenning
- inprenting
- imitatie
- conditionering
- inzicht

GEWENNING

Als de kans op een reactie op een prikkel afneemt bij herhaaldelijk toedienen van een prikkel, spreek je van **gewenning**. Een muis vertoont een schrikreactie na een hard geluid. Een muis duikt dan in elkaar en blijft even doodstil zitten. Wanneer het geluid wordt herhaald, duurt de schrikreactie steeds korter (zie afbeelding 47). Op een gegeven moment blijft de schrikreactie zelfs helemaal uit. Het dier is dan gewend aan het geluid. Bij gewenning gaat het om het afleren van reacties op bepaalde prikkels uit het milieu.

■ **Afb. 47** Gewenning bij een muis.



INPRENTING

Je spreekt van **inprenting** wanneer dieren iets alleen leren in een bepaalde, korte periode in hun leven (gevoelige periode). Het leren herkennen van ouders of soortgenoten berust bij veel diersoorten op inprenting. Babyeendjes die net uit het ei komen zien het eerst bewegende dier of voorwerp in hun omgeving aan voor hun moeder. Gedurende de eerste dag na het uitkomen prenten ze zich in wie hun moeder is. In deze periode kunnen ze ook een ander bewegend dier of bewegend voorwerp als hun moeder aanvaarden (zie afbeelding 48).

■ **Afb. 48** Babyeendjes denken dat de hond hun moeder is.

IMITATIE

Wanneer dieren leren door het gedrag van soortgenoten na te doen, spreek je van **imitatie** (nabootsing). Jonge vogels leren de zang door de geluiden van ouders of andere soortgenoten na te bootsen. Soms wordt nieuw ontwikkeld gedrag geïmiteerd. Dat werd bijvoorbeeld waargenomen bij een groep makaken (apen) die werden bijgevoerd met aardappels. Een van de jonge wijfjes ging de aardappels wassen voordat ze deze at. Dit gedrag werd overgenomen door de andere dieren.

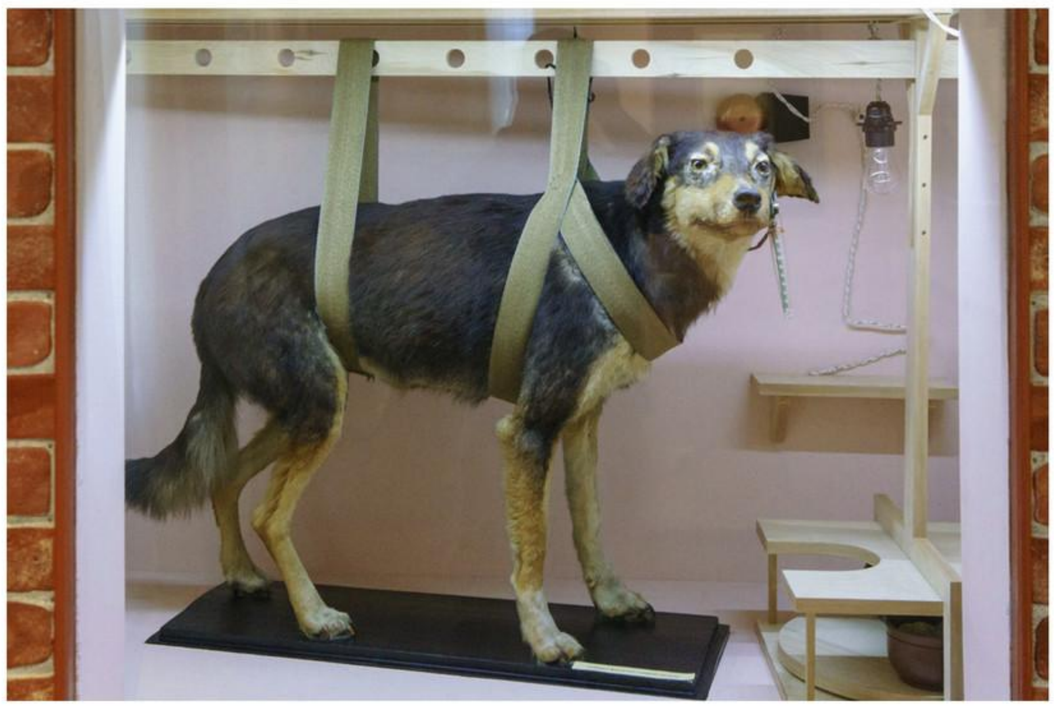
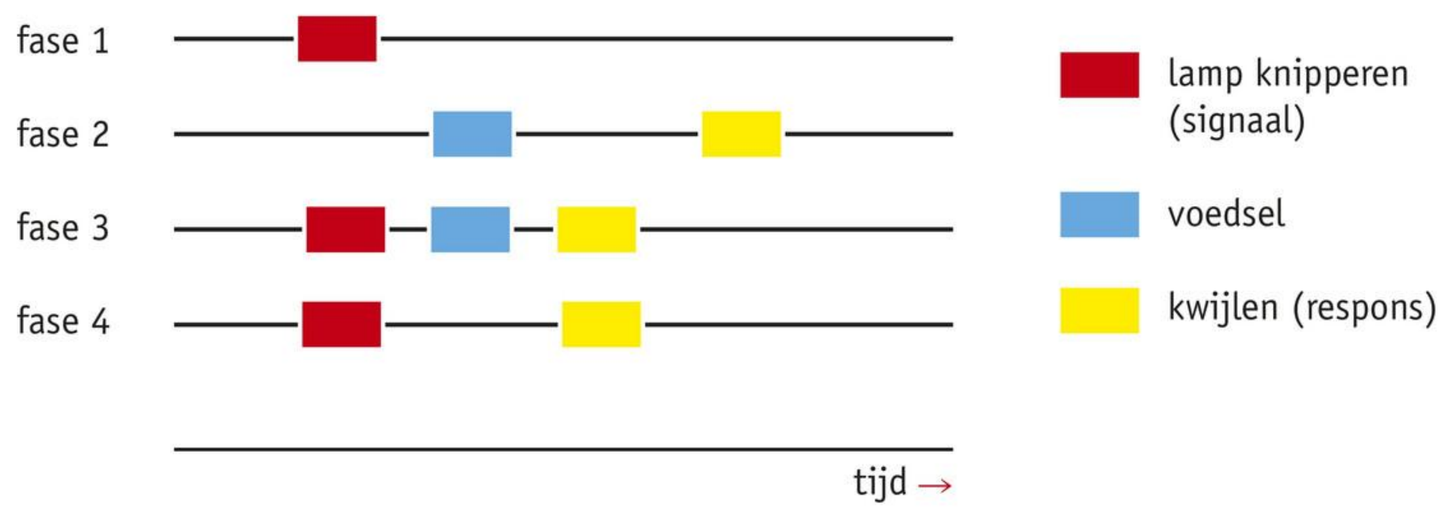
CONDITIONERING

Bij **conditionering** leert een dier of mens bepaald gedrag door positieve of negatieve ervaringen. Conditionering onder natuurlijke omstandigheden heet proefondervindelijk leren. Een insectenetende vogel vermijdt bijvoorbeeld alle zwartoranje gekleurde rupsen, nadat hij enkele keren de vieze smaak van een zwartoranje rups heeft geproefd. Je noemt proefondervindelijk leren ook wel leren door '**trial and error**'.

Als een uitgevoerde handeling geen positieve of negatieve gevolgen heeft, neemt de frequentie van de handeling af. Heeft een uitgevoerde handeling wel positieve gevolgen, dan neemt de frequentie van de handeling toe. Dieren en mensen kunnen door middel van beloning het meest uiteenlopende gedrag aanleren. Daarom wordt deze methode bijvoorbeeld toegepast bij het trainen van honden en bij het dresseren van dolfijnen. Ook in opvoeding en onderwijs speelt conditionering een rol.

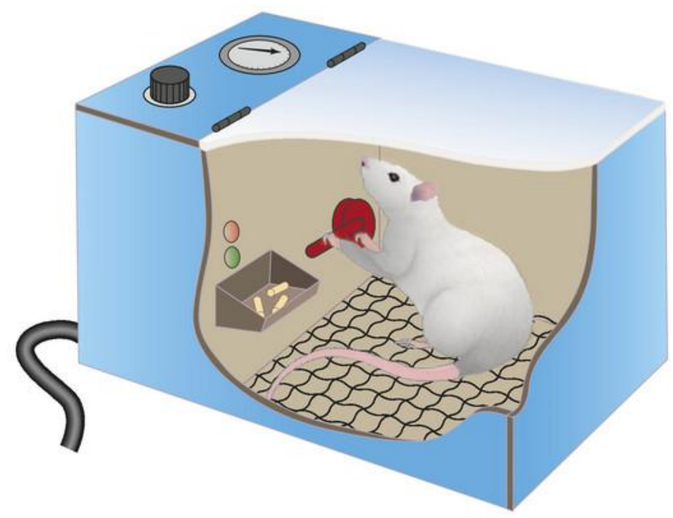
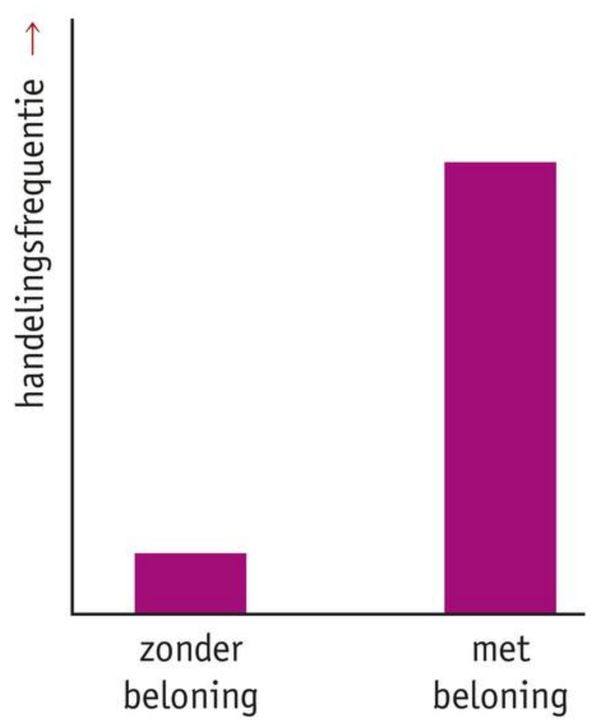
Een voorbeeld van **klassiek conditioneren** zijn de proeven van de Russische gedragsonderzoeker Ivan Pavlov. Hij liet zien dat je een natuurlijke prikkel (voedsel) kunt vervangen door een kunstmatige prikkel (een belgeluid of een knipperende lamp) bij het veroorzaken van een natuurlijke respons (zie afbeelding 49). Pavlov noemde deze reactie een geconditioneerde reflex, die nu bekendstaat als de pavlovreactie. Vaak wordt ook de term klassiek conditioneren gebruikt. Er wordt een verband aangeleerd tussen gedrag en de daaraan voorafgaande prikkels.

■ **Afb. 49** Pavlovreactie.

ONDERZOEK	PAVLOVREACTIE
Inleiding	Als een hond voedsel in zijn bek krijgt (natuurlijke prikkel), gaan zijn speekselklieren speeksel produceren (respons).
Onderzoeksvraag	Kan een kunstmatige prikkel dezelfde respons veroorzaken als een natuurlijke prikkel?
Hypothese	Een kunstmatige prikkel kan dezelfde respons veroorzaken als een natuurlijke prikkel.
Experiment	Pavlov bracht door de wang van de hond een buisje aan in een speekselklier, zodat hij de hoeveelheid geproduceerd speeksel kon meten (zie afbeelding 49.1).  **1** opstelling van Pavlov Hij onderscheidde vier fasen: 1 Laat alleen een lamp knipperen. 2 Geef het dier alleen voedsel. 3 Bied een aantal malen voedsel aan, dit wordt telkens voorafgegaan door een knipperende lamp. 4 Laat tot slot opnieuw alleen een lamp knipperen. Meet bij elke fase of en wanneer er speeksel wordt geproduceerd.
Resultaat	 **2** resultaten van de proef
Conclusie	Een kunstmatige prikkel kan dezelfde respons veroorzaken als een natuurlijke prikkel.

De Amerikaanse psycholoog Skinner werkte een andere vorm van conditioneren uit die bekendstaat als **operant conditioneren**. Skinner publiceerde een manier om gedrag te beïnvloeden door middel van beloning. Hij ontwikkelde onder andere een 'leermachine' voor dieren, de skinnerbox (zie afbeelding 50). Door een beloning na een handeling wordt in de hersenen de neurotransmitter dopamine afgegeven. Dit veroorzaakt een geluksgevoel. Bij dieren en mensen kan door beloning het meest uiteenlopende gedrag worden aangeleerd. Bij operant conditioneren wordt een verband aangeleerd tussen gedrag en het daaropvolgende resultaat.

■ **Afb. 50** Operant conditioneren.

ONDERZOEK	**SKINNERBOX**
Inleiding	Met de skinnerbox liet Skinner zien hoe je gedrag door beloning kunt beïnvloeden. Een hongerige rat die je in een kooi zet, zal vroeg of laat op het hefboompje drukken.
Onderzoeksvraag	Kun je het gedrag van een rat beïnvloeden door gewenst gedrag te belonen?
Hypothese	Gedrag kun je beïnvloeden door gewenst gedrag te belonen.
Experiment	In de skinnerbox bevindt zich een hefboompje. Wanneer een rat daarop drukt, valt een voedselbrokje in de voerbak. Het aantal keren dat de rat het hefboompje indrukt, wordt geregistreerd.  **1** skinnerbox
Resultaat	 **2** behandeling en resultaat
Conclusie	

INZICHT

Je spreekt van **inzicht** wanneer een dier of mens in een nieuwe situatie de oplossing van een probleem vindt door ervaringen uit het verleden op een andere manier te combineren. Zo kunnen chimpansees door inzicht een noot uit een smalle buis halen die vastzit aan hun kooi. Ze kunnen niet met hun vingers bij de noot. Door water in hun mond te nemen en dat in de buis te spugen, komt de noot bovendrijven, waardoor ze deze eenvoudig kunnen pakken (zie afbeelding 51).

■ **Afb. 51** Chimpansee heeft inzicht.

1 Chimpansee ziet probleem.

2 Chimpansee lost probleem op door inzicht.

Opdrachten KENNIS

42 Voor elke handeling is het aandeel van erfelijke factoren en het aandeel van aangeleerde factoren verschillend. Enkele handelingen bij schapen (zie afbeelding 52) zijn:

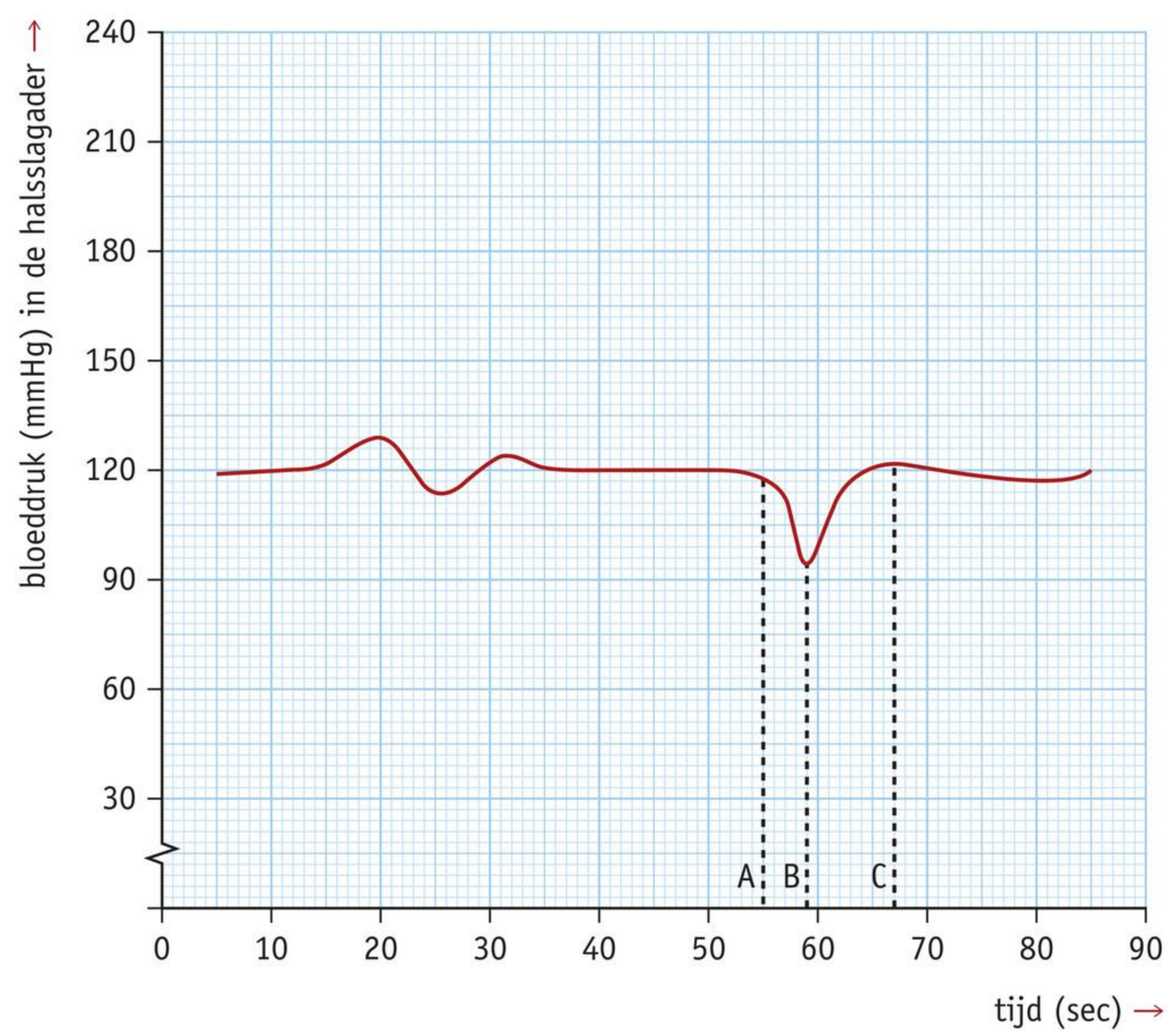
- Een ram (mannetjesschaap) dekt een ooi (vrouwtjesschaap).
- Een pasgeboren lammetje drinkt binnen een half uur bij de moeder.
- Een schaap blijft rustig staan tijdens het scheren.

Vermeld voor elke van de drie genoemde handelingen of die grotendeels wordt bepaald door erfelijke factoren of grotendeels door leerprocessen.

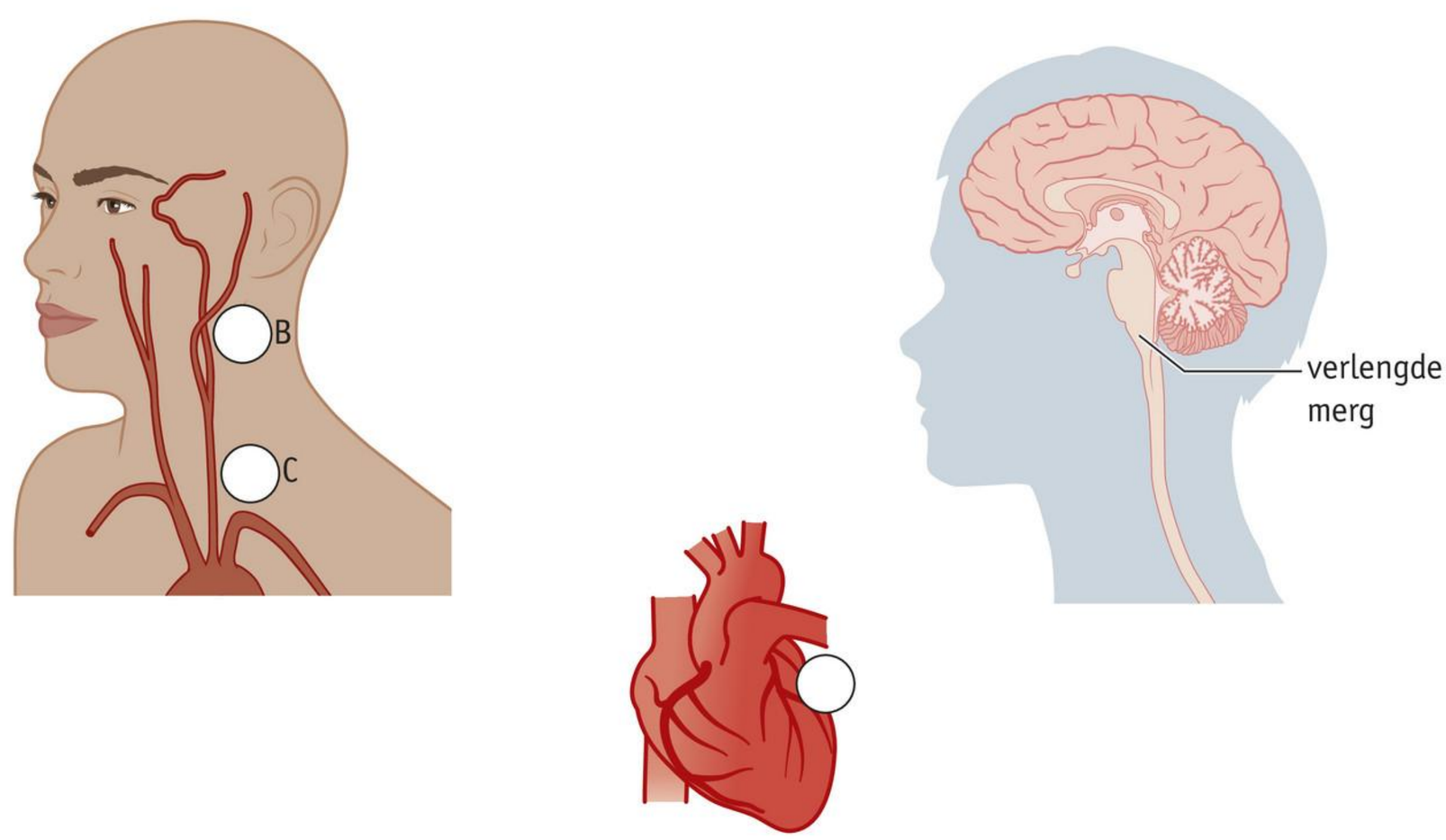
■ **Afb. 52** Schaap steekt tong uit.

8 De bloeddruk is de druk die bloed uitoefent op de wanden van bloedvaten. Verandert de bloeddruk, dan verandert ook de diameter van de bloedvaten. Deze verandering wordt door bloeddrukzintuigen in de aorta en halsslagader waargenomen. De halsslagader vervoert bloed naar de hersenen. De bloeddruk kent een bovendruk en een onderdruk. In afbeelding 4 staat alleen de bovendruk uitgezet tegen de tijd.
Op tijdstip A staat Quinn op vanuit zijn stoel. Daardoor daalt zijn bloeddruk en komt er bij hem voor korte tijd minder bloed in zijn hersenen. Hierdoor wordt het bij hem even zwart voor zijn ogen.
Verbind in afbeelding 5 de verschillende onderdelen met pijlen, zodat er een regelkring ontstaat die de beschreven situatie weergeeft (B en C). Zet in de cirkels een + (voor toename of hoge) of – (voor afname of lage).

■ **Afb. 4** Bloeddruk in de halsslagader.



■ **Afb. 5** Regelkring voor het handhaven van de bloeddruk.



43 Ken je het sprookje van Andersen over het lelijke eendje? Het verhaal gaat over een eendje dat door alle eenden in de vijver wordt verstoten, omdat hij er anders uitziet (zie afbeelding 53). Na de winter komt hij erachter dat hij helemaal geen lelijke eend is, maar een prachtige witte zwaan.

a De moedereend heeft per ongeluk ook een zwanenei uitgebroed. Door welk leerproces dacht het zwaantje dat de eend zijn moeder was?

b Het uitbroeden van het zwanenei duurde veel langer dan het uitbroeden van de andere eieren, toch bleef de moeder broeden. De moeder was ook de enige eend die het wel voor haar zoon bleef opnemen.
Is dit gedrag van de moeder vooral bepaald door erfelijke eigenschappen of door aangeleerde eigenschappen?

■ **Afb. 53** 'Lelijke eendjes' met de juiste moeder.

44 Bij een muis is gewenning opgetreden aan een bepaald hard geluid. De muis reageert niet meer op het geluid.

a Verwacht je een reactie als je deze muis aan een felle lichtflits blootstelt? Leg je antwoord uit.

b Wat is onder natuurlijke omstandigheden het nut van gewenning?

45 Er wordt in deze methode *Biologie voor jou* onderscheid gemaakt tussen 'opdrachten kennis' en 'opdrachten inzicht'.
Leg uit waarom de opdrachten onder het kopje 'opdrachten inzicht' zo worden genoemd.

Opdrachten INZICHT

46 Insecten leven meestal kort, toch laten ze vaak bijzonder ingewikkelde gedragspatronen zien. De solitaire pottenbakkerswesp leeft maar één zomer. Een vrouwtje moet, nadat ze uit haar pop is gekomen, meteen aan de slag. Haar aantrekkelijke geur is extra sterk als ze net is ontpopt. De kans is groot dat ze daardoor meteen wordt opgemerkt door een mannetje en tot paring over kan gaan. Vervolgens moet ze een nest graven, dat ze soms moet verdedigen tegen andere vrouwtjes. Ook moet ze de juiste prooien (spinnen) vangen, verdoven en het nest in duwen. Als ze voldoende voedsel heeft vergaard, legt ze een ei en sluit ze de eerste cel van het nestje af. Vervolgens zoekt ze weer nieuwe prooien voor de volgende cel. Nadat ze alle cellen heeft gevuld met prooien en eitjes, sluit ze haar nest af. Haar werk (en leven) zit erop.

a Wat is de sleutelprikkel voor het mannetje om tot paringsgedrag over te gaan?

b Wat is de supranormale prikkel voor het mannetje om tot paringsgedrag over te gaan?

c Wat is de motivatie voor dit complexe gedrag van het vrouwtje?

d Leg uit waarom het vrijwel direct overgaan tot paring na het ontpoppen adequaat gedrag is voor de soort.

e Leg uit waarom aangeboren gedrag vooral heel belangrijk is voor dieren zonder broedzorg en een korte levensduur.

47 **Aandrang om te plassen**

Naar: Nederlandse Biologie Olympiade 2022, vraag 5.

Er worden vraagtekens gezet bij het plassen onder de douche. Doe dit niet als routine, zeggen sommige urologen en bekkenfysiotherapeuten. Normaal ontstaat aandrang om te plassen alleen bij een volle blaas. Maar als je te vaak onder de douche plast, kun je later alleen al bij het geluid van stromend water aandrang voelen.

a Wat vormt gewoonlijk de prikkel om te plassen?

b Welk leerproces veroorzaakt de aandrang die ontstaat door het geluid van stromend water, als je vaak plast tijdens het douchen? Leg je antwoord uit.

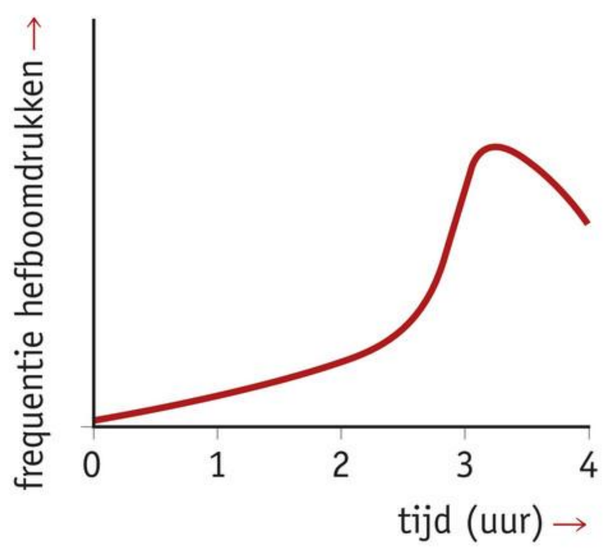
48 In afbeelding 50 zie je het experiment van Skinner.

a Geef aan waarom het voor het leerproces van de rat in het experiment van belang is dat de rat hongerig is.

b Met behulp van de resultaten kun je ook een diagram van de handelingsfrequentie opstellen (zie afbeelding 54).
Verklaar het verloop van het diagram.

c In afbeelding 50 ontbreekt de conclusie van het onderzoek met de skinnerbox.
Formuleer de conclusie.

■ **Afb. 54** Diagram van de handelingsfrequentie.



Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Beroep

MENSEN ZIJN NET DIEREN, EN ANDERSOM!

De wereldberoemde etholoog en primatoloog Frans de Waal heeft zijn carrière gewijd aan het bestuderen van gedrag van dieren. Hij studeerde biologie en promoveerde aan de Universiteit Utrecht met een proefschrift over agressie en vorming van bondgenootschappen bij Java-apen. Tot 1981 werkte hij in Nederland, daarna zette hij zijn loopbaan voort in de Verenigde Staten. Hij is professor in de psychologie aan de Emory Universiteit en directeur van Living Links, onderdeel van een groot onderzoekscentrum in Atlanta. Vanaf een observatietoren bestudeert hij daar het gedrag van chimpansees.

Frans de Waal heeft, naast vele wetenschappelijke publicaties, ook tal van populairwetenschappelijke boeken gepubliceerd. Door deze boeken werd zijn onderzoek toegankelijk voor een groot publiek. Met zijn eerste boek *Chimpanseepolitiek* werd hij in één klap bekend, omdat hij het gedrag van chimpansees vergeleek met het gedrag van politici. Al zijn bestsellers zijn spraakmakend: ze gaan over apengedrag en hoezeer dat op menselijk gedrag lijkt, en andersom. De mens is immers ook een dier, een opvatting die niet door iedereen in gelijke mate wordt gedeeld. In het verleden focusten ethologen zich bij dieren dan ook vooral op instinctief gedrag en eenvoudige leerprocessen. Ze dachten dat alleen de mens complexere leerprocessen en gedrag kon vertonen. Inmiddels ligt dit wel anders. Zogenaamde 'menselijk eigenschappen' werden door wetenschappers eerst aangetoond bij mensapen en daarna ook bij andere apen, bij andere zoogdieren en vogels en uiteindelijk zelfs bij ongewervelden. En er valt, zoals Frans de Waal laat zien, nog veel meer te ontdekken binnen de ethologie.

■ **Afb. 55** Frans de Waal.

Opdrachten

Bij alle onderstaande vragen kun je gebruikmaken van internet om aanvullende informatie op te zoeken.

49 **a** Wat doet iemand die primatoloog van beroep is?
b Frans de Waal is gepromoveerd in de wetenschap.
Leg uit wat promoveren inhoudt.

50 Een etholoog kan het gedrag van dieren in het wild observeren (veldonderzoek) of in een speciale onderzoekssetting (laboratorium).
a In welke setting vindt het ethologisch onderzoek van Frans de Waal bij Living Links in Atlanta plaats?
b Een mogelijk nadeel van gedragsonderzoek in een laboratorium is dat het gedrag van het dier niet (geheel) natuurlijk is, omdat het gedrag wordt beïnvloed door factoren die anders zijn dan in hun natuurlijke setting.
Noteer het grote voordeel van ethologisch onderzoek in een labsituatie.

51 Volgens Frans de Waal is een combinatie van veldonderzoek en laboratoriumonderzoek het best om het gedrag van dieren te onderzoeken. Stel, je bent etholoog en je observeert in het wild een chimpansee die voedsel weggeeft aan soortgenoten. Je stelt de volgende hypothese op: de motivatie voor dit gedrag is een gebrek aan honger.
Hoe kun je deze verklaring in een laboratoriumonderzoek toetsen?

5 SOCIAAL GEDRAG BIJ DIEREN

LEERDOELEN

8.5.1 Je kunt de functie van verschillende vormen van sociaal gedrag uitleggen en aangeven hoe dit gedrag de overlevingskansen van organismen beïnvloedt.

8.5.2 Je kunt uitleggen hoe sociaal gedrag evolueert.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	8.5.1	**8.5.2**
Begrijpen	52, 53a, 54, 55, 56, 62	53bc, 57
Toepassen	58ac, 60a, 61, 65	
Analyseren	59b	58b, 59a, 60b, 63, 64

Bij kippen is er één hen die alle andere hennen domineert door naar ze te pikken en ze op die manier te verdringen bij het verkrijgen van voedsel. De hen boven aan de pikorde heeft het hoogste testosterongehalte in haar bloed. De hen onder aan de pikorde is de dupe en wordt door alle andere hennen gepikt.

■ **Afb. 56** Bij kippen is een pikorde.

SOCIAAL GEDRAG

Bij veel dieren en bij mensen wordt het gedrag beïnvloed door soortgenoten. Gedrag van soortgenoten ten opzichte van elkaar noem je **sociaal gedrag**. Sociaal gedrag kan verschillende functies hebben. Bijvoorbeeld vaststelling van de rangorde en taakverdeling, territoriumgedrag, voortplantingsgedrag en verzorgingsgedrag.

Als individuen van een soort onafhankelijk van elkaar (solitair) leven, dan vindt tijdens de voortplantingsperiode paarvorming plaats. Bij sommige diersoorten worden paren gevormd voor een of meer seizoenen, soms zelfs voor het leven (monogaam). Monogamie komt voor bij sommige soorten vissen, bij veel soorten vogels en bij enkele zoogdieren (zie afbeelding 57.1). Veel diersoorten leven samen in groepen. Dit komt voor bij insecten, vissen, vogels en zoogdieren (zie afbeelding 57.2).

■ **Afb. 57** Samenlevingsvormen bij dieren.

1 twee zeepaardjes

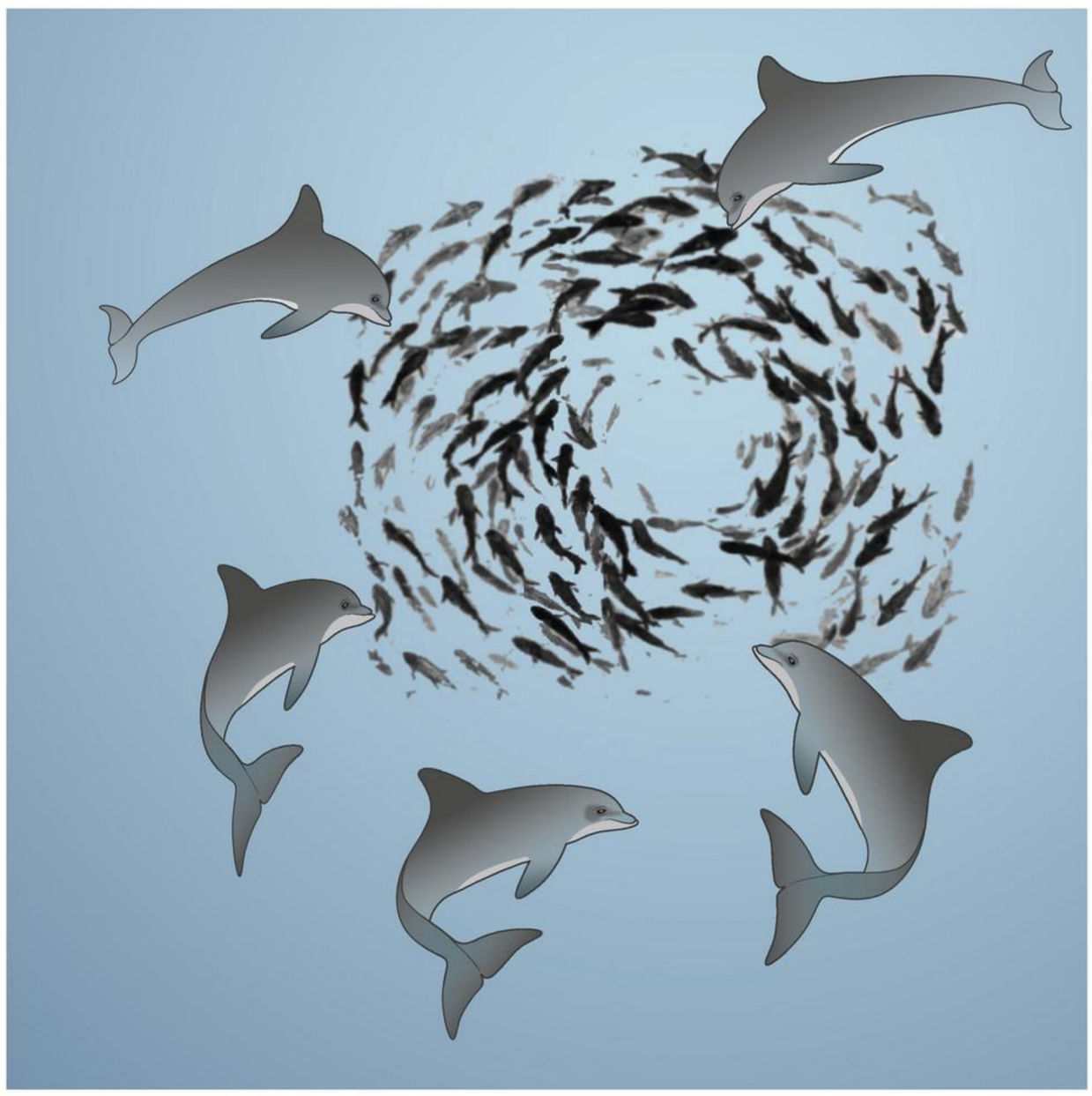
2 een kudde olifanten

EVOLUTIE VAN SOCIAAL GEDRAG

Samenleven in een groep kan de overlevingskans vergroten, zowel voor een individu als voor de hele groep. Tuimelaars (een dolfijnensoort) werken bijvoorbeeld samen bij het vangen van vis (zie afbeelding 58). Nakomelingen worden beschermd en verzorgd door de groep en kunnen leren van hun groepsgenoten.

Binnen groepen kunnen ook conflicten ontstaan over de verdeling van macht, ruimte, voedsel en seksuele partners. Het vormen van territoria, een duidelijke onderlinge rangorde of een strakke taakverdeling zijn manieren om ernstige conflicten tussen soortgenoten te voorkomen.

■ **Afb. 58** Tuimelaars sluiten samen een school vissen in.



Soms kan sociaal gedrag een risico vormen voor een individu, maar is het gedrag voordelig voor het overleven van de groep. Een stokstaartje dat op wacht staat, moet met een luide roep de rest waarschuwen voor roofdieren (zie afbeelding 59). Hij is daardoor zelf een opvallend doelwit voor een roofdier. De stokstaartjes wisselen de rol van wachter af, waardoor het risico per dier afneemt.

Als door sociaal gedrag de totale overlevingskans van de individuen van een soort toeneemt, dan vindt selectiedruk plaats in het voordeel van dit gedrag. Het gedrag zal zich dan binnen de populatie verspreiden. Dieren en mensen zullen dus vooral samenleven en sociaal gedrag vertonen als de voordelen voor de soort groter zijn dan de nadelen.

■ **Afb. 59** Een stokstaartje houdt de wacht.

SIGNALEN

Bij sociaal gedrag is een handeling van een individu de prikkel voor een handeling van een soortgenoot. Je noemt de prikkels (handelingen) bij sociaal gedrag signalen. Signalen zoals kleuren, geuren, geluiden, houdingen, gebaren en taal maken **communicatie** tussen soortgenoten mogelijk.

Bij de balts van een stekelbaars gaat het mannetje zigzaggend zwemmen als hij een vrouwtje ziet met een dikke buik gevuld met eitjes. Deze zigzagdans is voor het vrouwtje een signaal om een bepaalde houding aan te nemen. En dat is voor het mannetje een signaal om het vrouwtje naar het nest te leiden.

Opdrachten KENNIS

52 De merel (zie afbeelding 60) is een van de luidruchtigste vogels in Nederland. Na de winter bevechten merels fel hun territorium, meestal mannetje tegen mannetje en vrouwtje tegen vrouwtje. Soms zijn de gevechten zo heftig dat één van de twee echt gewond raakt en het met de dood moet bekopen.
Twee merelmannetjes vechten om een territorium.

a Is hier sprake van sociaal gedrag? Leg je antwoord uit.

b Merels zijn zangvogels, toch zijn het vrijwel altijd de mannetjes die je melodieus zult horen zingen. Het vrouwtje zingt maar zelden en dan dient het vrijwel altijd als paringszang in de richting van een zingende mannetjesmerel.
Wat is het signaal voor de vrouwtjesmerel om te gaan zingen?

■ **Afb. 60** Een mannetjesmerel (zwart) en een vrouwtjesmerel (bruin).

53 Eksters (zie afbeelding 61) eten soms jonge vogels. Luid kwetterend werkt een merelpaar samen om een ekster te verjagen van hun nest. Beide merels vliegen daarbij vol tegen de veel grotere ekster aan. De ekster druipt uiteindelijk af.

a Is hier sprake van sociaal gedrag? Zo ja, benoem het sociale gedrag dat hier plaatsvindt.

b Wat is het risico voor de merel bij het gevecht met de ekster?

c Leg uit waarom er toch selectiedruk plaatsvindt in het voordeel van dit gedrag.

■ **Afb. 61** Ekster.

RANGORDE

Bij dieren die in groepen leven, zoals wolven en bavianen, bestaat in de groep een duidelijke rangorde. Een rangorde is een volgorde binnen een populatie van dominant naar minst dominant die dient om conflicten te voorkomen. Bij kippen noem je de rangorde pikorde.

Bij Afrikaanse wilde honden hebben mannetjes en vrouwtjes afzonderlijke rangorden. Het dominante mannetje en vrouwtje vormen een paar en zorgen voor de meeste nakomelingen. De rest van de groep bestaat vaak uit mannelijke nakomelingen die in eerdere jaren in de roedel zijn geboren en uit vrouwtjes die afkomstig zijn uit andere roedels. Het dominante paar bepaalt waar de roedel heengaat en mag als eerste eten. In ruil daarvoor beschermen zij de groep en leiden zij de jacht.

In het voortplantingsseizoen vertoont het dominante paar agressiever gedrag om te voorkomen dat andere leden uit de groep zich ook voortplanten. Vaak is **dreiggedrag** voldoende om een conflict te beëindigen. Bij het dreigen kunnen de dieren **imponeergedrag** vertonen: De dominante hond doet dan de staart omhoog, het hoofd naar beneden en de oren naar achteren, soms laat hij zijn tanden zien (zie afbeelding 62.1). Tegenover het dreiggedrag van een dominant mannetje vertoont het ondergeschikte dier vaak **verzoeningsgedrag**. Het verzoeningsgedrag is een signaal waardoor de agressie van het dominante dier afneemt. Het onderdanige dier maakt zich klein en likt de onderkant van de bek van het dominante dier of rolt op zijn rug (zie afbeelding 62.2).

■ **Afb. 62** Gedrag van Afrikaanse wilde honden.

1 imponeergedrag

2 verzoeningsgedrag

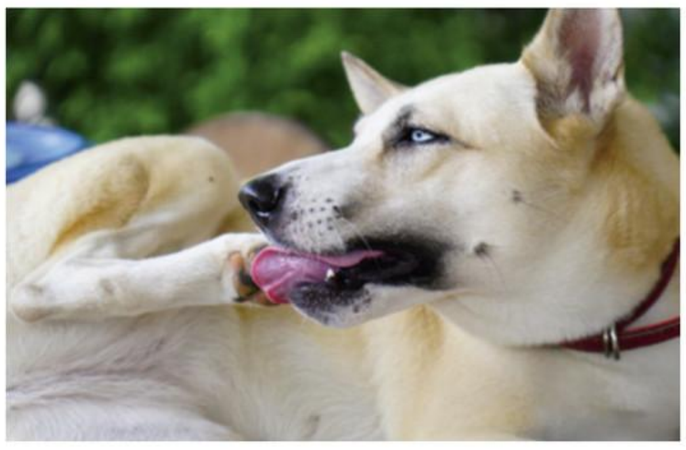
TERRITORIUMGEDRAG EN CONFLICTGEDRAG

Bij veel diersoorten probeert een individu een territorium af te bakenen. Hierdoor wordt een zekere hoeveelheid voedsel en ruimte veiliggesteld om nakomelingen groot te kunnen brengen. Ook ontstaan er dan minder conflicten met soortgenoten. Door middel van **territoriumgedrag** verdedigt een individu zijn gebied tegen binnendringende soortgenoten. Veel dieren vertonen op de grens van hun territorium dreiggedrag als een indringer nadert. Een soortgenoot die het territorium is binnengedrongen, wordt meestal aangevallen, maar soms vlucht het individu dat zijn territorium verdedigt.

Er zijn situaties waarin een dier niet weet tot welk gedrag hij moet overgaan, omdat hij (te veel) tegenstrijdige prikkels ervaart. De motivatie voor beide gedragssystemen (bijvoorbeeld vecht- en vluchtgedrag) is even groot. Op dat moment ontstaat er conflictgedrag: het dier vertoont gedrag dat niet logisch is voor de situatie. Een voorbeeld van conflictgedrag is **oversprongdgedrag**. Bij een (inwendig) conflict tussen twee gedragssystemen wordt gedrag uit een derde gedragssysteem vertoond. Zo kan bij twijfel tussen vecht- of vluchtgedrag een haan ineens voer gaan pikken (voedingsgedrag, zie afbeelding 63.1), een hond kan zich ineens gaan likken of krabben (poetsgedrag, zie afbeelding 63.2) en een stekelbaars kan overgaan tot zandhappen (nestbouwgedrag, zie afbeelding 63.3). Deze gedragingen hebben niets met het verdedigen van het territorium te maken, maar hebben vaak wel een signaalfunctie.

■ **Afb. 63** Oversprongedrag.

1 voerpikken bij hanengevecht



2 likkende hond

3 zandhappen bij de stekelbaars

VOORTPLANTINGSGEDRAG

Voordat ze paren, vertonen veel diersoorten baltsgedrag. Dat bestaat uit een aantal kenmerkende signalen die een gedragsketen vormen. De **balts** bevat meestal een combinatie van overdreven of versnelde handelingen uit verschillende gedragssystemen, zoals voortplantingsgedrag, aanvals- en vluchtgedrag, voedingsgedrag en verzorgingsgedrag. Je spreekt dan van geritualiseerd gedrag. Baltsgedrag is opvallend en trekt daardoor mogelijke partners aan (zie afbeelding 64.1). Baltsgedrag heeft als doel de bereidheid tot paren te vergroten. De balts vermindert agressie tussen partners en kan de paarband versterken (zie afbeelding 64.2). De signalen bij de balts zijn specifiek voor de soort, waardoor alleen paring met soortgenoten plaatsvindt.

Bij zoogdieren noem je de periode van paringsbereidheid **bronst**. Mannelijke edelherten produceren in de bronsttijd een brullend geluid (burlen, zie afbeelding 65.1) om vrouwtjes te lokken en de mannetjes vechten met elkaar om te bepalen wie het sterkst is (zie afbeelding 65.2).

■ **Afb. 64** Baltsgedrag.

1 Een boomkikker maakt zichzelf extra aantrekkelijk.

2 knobbelzwanen op de versiertoer

■ **Afb. 65** Edelherten tijdens de bronst.

1 een burlend mannetje

2 gevecht tussen twee mannetjes

Na de balts of bronst volgt de paring. Het gedrag dat dieren laten zien tijdens deze paring heet **paringsgedrag** (zie afbeelding 66).

■ **Afb. 66** Parende vlinders.

Vissen en amfibieën leggen eieren tijdens de paring. Reptielen en vogels leggen de eieren enkele dagen tot weken na de paring. Bij zoogdieren ontwikkelen de nakomelingen zich in de baarmoeder.

De meeste vogels en zoogdieren zorgen voor hun eieren en nakomelingen, dit heet **broedzorg**. Bij veel vogels wordt de broedzorg door beide ouders uitgevoerd. Zo wisselen bij zwanen het mannetje en het vrouwtje elkaar af op het nest om de eieren uit te broeden. Bij zoogdieren volgt na de geboorte van de nakomelingen een zoogperiode, dat is de tijd waarin de jongen melk drinken bij hun moeder (zie afbeelding 67.1). Bij vissen, amfibieën en reptielen komt broedzorg minder vaak voor, maar er zijn wel soorten die een bepaalde tijd voor hun eieren of zelfs nakomelingen zorgen. Zo bewaakt een stekelbaarsmannetje het nest en waaiert hij vers water naar de eieren. Een moederkrokodil blijft bij haar eieren, draagt vervolgens haar uitgekomen jongen in haar bek naar het water en blijft dan ook nog een tijd in de buurt (zie afbeelding 67.2). Daarentegen legt een schildpad haar eieren in een grote kuil op het strand, om zich daarna niet meer om haar nakomelingen te bekommeren.

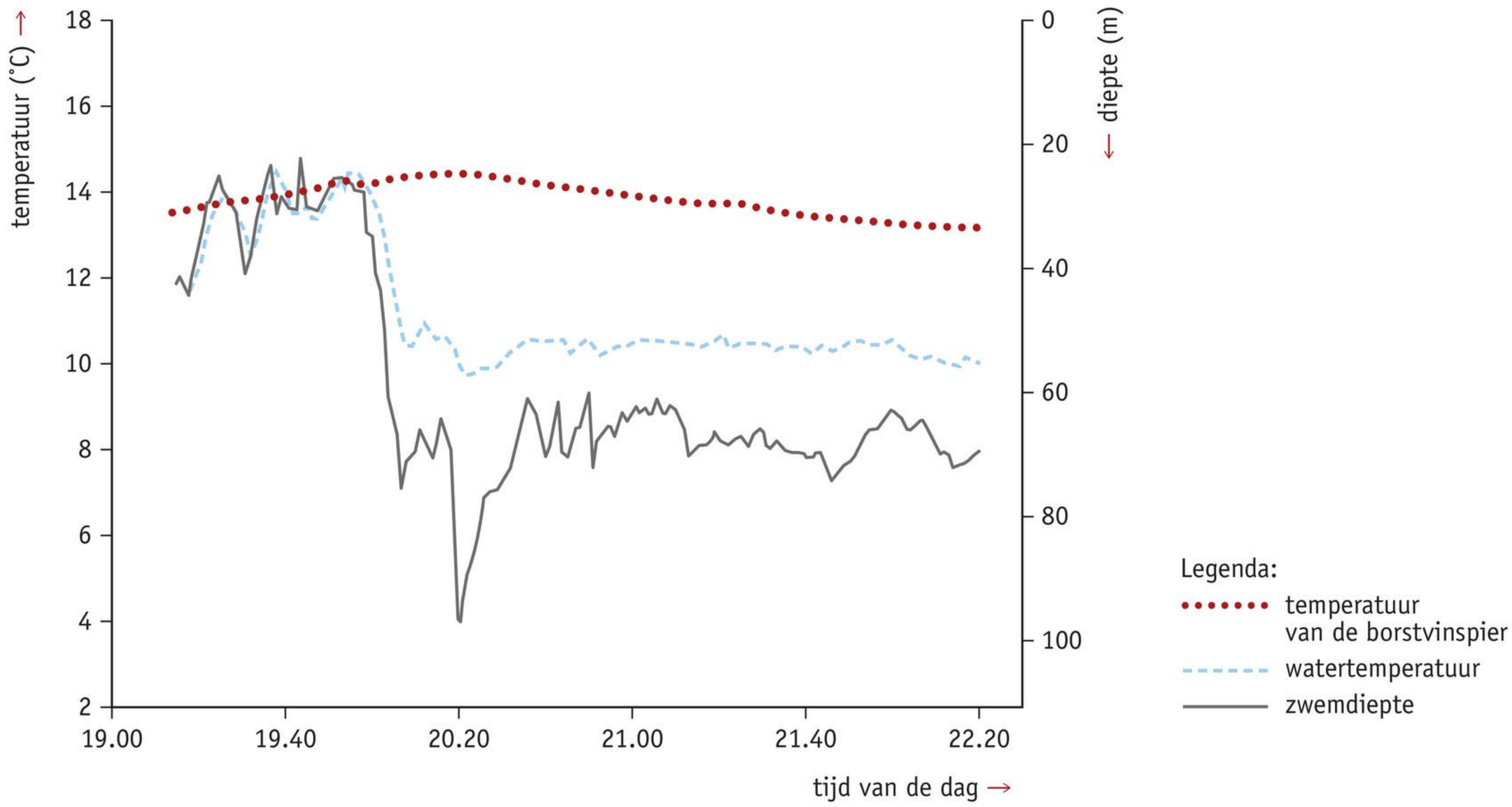
■ **Afb. 67** Sommige soorten kennen broedzorg.

1 Een giraffe zoogt haar kalf.

2 Een moederkrokodil draagt haar jong naar het water.

9 De koningsvis is tot zover bekend de enige vis die zijn lichaamstemperatuur kan regelen.
Leg aan de hand van afbeelding 6 uit dat de koningsvis een normwaarde voor lichaamstemperatuur heeft.

■ **Afb. 6** Lichaamstemperatuur van de koningsvis.



Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

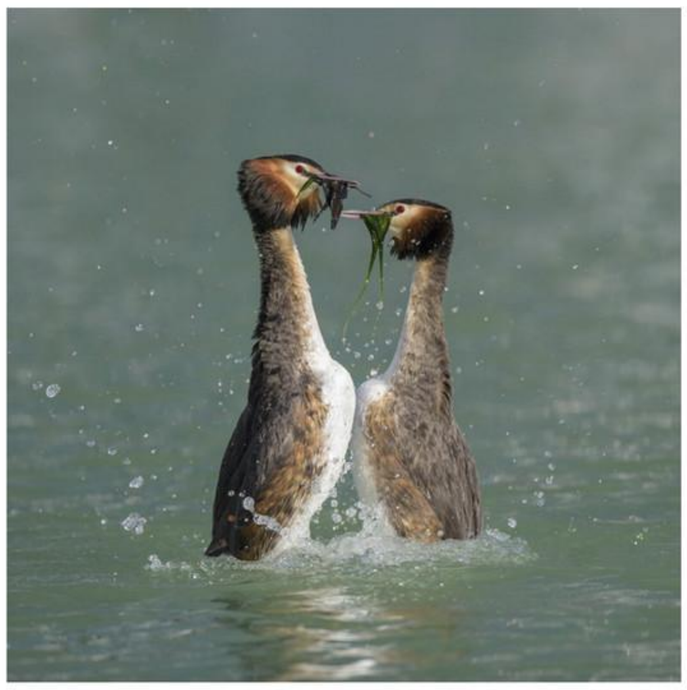
Opdrachten KENNIS

54 Futen zijn echte romantici. Hun spectaculairste baltsritueel is de 'pinguïndans', waarbij mannetje en vrouwtje eerst van elkaar wegzwemmen en tegelijkertijd onderduiken. Vervolgens zwemt het paar op elkaar af, om uiteindelijk met de borst tegen elkaar aangedrukt al watertrappelend recht omhoog te komen, waarbij ze elkaar waterplanten aanbieden (zie afbeelding 68.1).

a Welke functie heeft de balts voor dit paar futen?

b De futendans is genoemd naar de paringsdans van pinguïns, een andere watervogelsoort (zie afbeelding 68.2). Die benaming is onjuist. Een pinguïn zal niet reageren op het baltsgedrag van een fuut.
Leg uit waarom niet.

■ **Afb. 68** Pinguïndans.



1 balts bij futen

2 paringsdans van pinguïns

55 Een kraaghagedis vertoont een bepaald gedrag aan de grens van zijn territorium als een indringer nadert (zie afbeelding 69).
Welk soort gedrag is dit?

■ **Afb. 69** Een kraaghagedis aan de rand van zijn territorium.

56 Als een mannetjeseend (woerd) in het voorjaar een vrouwtje tegenkomt, kan hij een bepaald poetsgedrag vertonen als onderdeel van de balts.

a Leg uit dat dit niet ongebruikelijk is.

b Iemand beweert dat de mannetjeseend bij het zien van het vrouwtje aanvankelijk twijfelde tussen aanvalsgedrag en paargedrag, maar uit verwarring poetsgedrag ging vertonen.
Hoe zou je het gedrag dan in dit geval noemen?

57 Als dieren in zogenaamde roedels leven, betekent dit dat er een sterke hiërarchie binnen de groep heerst. Bij hondachtigen wordt een roedel doorgaans geleid door een alfareu (mannetje) en een alfateef (vrouwtje).
Wat is het voordeel van leven in een roedel?

Opdrachten INZICHT

58 De grootte van chimpanseepopulaties kan flink variëren, maar er bestaat altijd een duidelijke rangorde. Uit een onderzoek blijkt dat mannetjes op een andere manier opklimmen binnen de rangorde dan vrouwtjes. Mannetjes proberen aan de macht te komen door de dominantere mannetjes uit te dagen en te bevechten, terwijl de vrouwtjes gewoon wachten tot de vrouwtjes met een hogere rang sterven. De onderzoekers denken dit verschil te kunnen verklaren doordat het voortplantingssucces van mannetjes en vrouwtjes op een andere manier wordt bepaald.

a Leg uit dat bij chimpanseemannetjes dominantie heel belangrijk is voor het voortplantingssucces.

b Een vrouwtje krijgt om de drie tot acht jaar één enkel jong, na een draagtijd van acht maanden. Hoewel ook vrouwtjes baat hebben bij een hoge rangorde in de groep (waaronder een grotere overlevingskans voor hun jongen), vertonen zij geen vechtgedrag om een dominantere positie te bemachtigen. In plaats daarvan wachten zij rustig af.
Verklaar hoe dit sociale gedrag zo kan zijn geëvolueerd.

c De verzorging van een chimpanseejong is de taak van de moeder. Jarenlang slapen en eten ze samen.
Leg uit dat een chimpanseejong van een dominantere moeder een grotere overlevingskans heeft.

59 Sommige soorten insecten zoals bijen leven in staten. Dit zijn enorm grote populaties met een duidelijke taakverdeling. In elke bijenstaat komt een koningin voor, haar taak is het leggen van eieren. Uit onbevruchte eieren ontstaan darren, uit bevruchte eieren ontstaan werkbijen. Ook hun taken zijn duidelijk vastgelegd in de populatie (zie afbeelding 70).

■ **Afb. 70** Taakverdeling bij honingbijen.

1 Koningin. Taak: legt de eieren.

2 Werkbij. Taak: verzamelt voedsel en verzorgt larven.

3 Dar. Taak: bevrucht de koningin.

Of een larve uit een bevrucht ei uitgroeit tot een werkbij of een koningin, hangt af van het voedsel in de eerste week van haar leven. De bij die na drie dagen ook nog wordt gevoed met de speciale koninginnengelei, ontwikkelt zich tot koningin. Ze gaat eenmalig het nest uit om te paren met meerdere darren (bruidsvlucht) en keert dan terug om tot wel tweeduizend eitjes per dag te leggen. De koningin kan eitjes blijven leggen gedurende de rest van haar levensduur van ongeveer vier jaar.

a De koningin hoeft maar één keer in haar leven op bruidsvlucht.
Leg uit dat het van groot belang is voor het voortbestaan van deze staat dat zij deze bruidsvlucht goed uitvoert.

b Zodra de koningin heeft gepaard, worden darren uit het nest verjaagd die dan sterven.
Leg uit dat het wegjagen van darren in deze situatie adequaat gedrag is.

60 De kleur van Mexicaanse roodmussen kan bij mannetjes variëren van vaalgeel tot dieprood. De kleur wordt bepaald door de hoeveelheid carotenoïden die ze via hun voeding binnenkrijgen. Hoe meer carotenoïden, des te roder kleurt het mannetje. Deze voedingsstoffen zijn echter vrij schaars in hun leefgebied. In het broedseizoen is er sprake van seksuele selectie op kleur: de meest rood gekleurde mannetjes zijn het meest in trek bij de vrouwtjes.
Een vrouwtje reageert bij het zien van twee mannetjes (zie afbeelding 71) op het baltsgedrag van het dieprode mannetje en negeert de baltssignalen van het oranje mannetje. Er vindt uiteindelijk paring plaats met het dieprode mannetje.

a Wat communiceert de dieprode kleur van een mannetje naar een vrouwtje?

b Uit onderzoek blijkt dat carotenoïden ook een belangrijke rol spelen bij de afweer. Ze binden zogenaamde vrije radicalen die vrijkomen bij een infectie. Een infectie zorgt dus voor een afname van carotenoïden.
Leg op basis van de informatie uit de gehele tekst uit hoe het gedrag van het vrouwtje – het paren met het meest rood gekleurde mannetje – kan zijn geëvolueerd.

■ **Afb. 71** Twee Mexicaanse roodmusmannetjes.

61 In een onderzoek naar sociaal gedrag van hommels werden enkele hommels (de 'leermeesters') getraind om toegang te krijgen tot een suikerbeloning in een puzzeldoos. Dit kon op twee manieren:

- Methode 1: door het deksel linksom open te draaien door tegen een rood lipje te duwen.
- Methode 2: door het deksel rechtsom open te draaien door tegen een blauw lipje te duwen.

Beide methoden zijn even efficiënt om de doos te openen. Sommige leermeesters werden getraind in methode 1, andere werden getraind in methode 2. Ongetrainde hommels leerden de doos uiteindelijk ook te openen. Ze deden dat soms via methode 1, soms via methode 2.
Als er een leermeester werd losgelaten bij andere hommels uit de kolonie, bleken de koloniegenoten consequent voor de aanpak van de leermeester te kiezen.
Wat toont dit resultaat aan?

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Wetenschap

KWISPELDANS

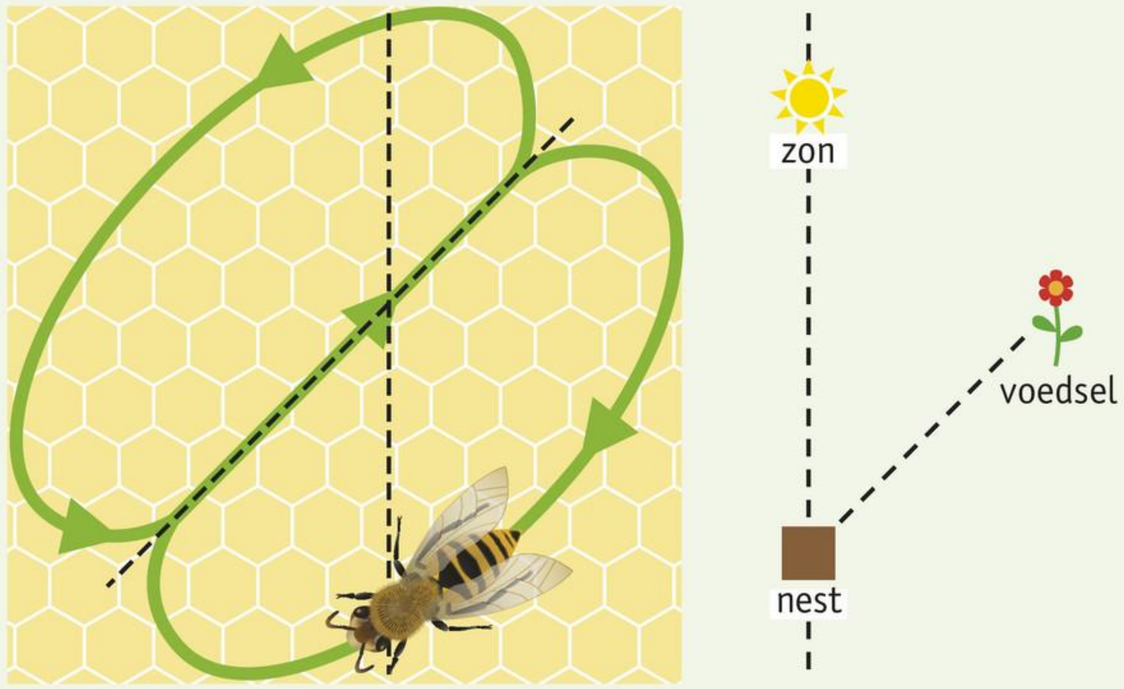
In een artikel in het wetenschappelijke tijdschrift *Science* concluderen onderzoekers dat sociaal leren een rol speelt bij de kwispeldans van bijen. Deze conclusie is opmerkelijk, omdat de kwispeldans gold als een schoolvoorbeeld van complex aangeboren gedrag.

Met deze ingewikkelde dans wijzen werkbijen hun medebijen de precieze plek van een voedselbron op grote afstand. De dans verloopt als volgt. Bij terugkomst in het nest geeft een werkbij eerst voedsel aan haar soortgenoten en vliegt tegen ze aan. Vervolgens begint ze aan de instructie aan haar soortgenoten. Ze danst daarbij in lussen die samen een 8 vormen (zie afbeelding 72). Als de bij de rechte lijn in het midden van de 8 aflegt, kwispelt ze met haar achterlijf. De afstand tot de voedselbron wordt aangegeven door de duur van de dans op de rechte lijn. De hoek die de rechte lijn maakt met de richting van de zon geeft informatie over de richting van de voedselbron.

Het was al eerder aangetoond dat bijen in staat zijn tot leren. Maar het is nieuw dat de kwispeldans ook kan worden aangeleerd. Het onderzoek naar de kwispeldans richtte zich op kolonies van uitsluitend jonge honingbijen. Na twee weken begonnen deze jonge bijen zonder instructie spontaan de kwispeldans te vertonen. De onervaren bijen maakten flinke fouten. Naarmate ze meer ervaring opdeden, verbeterde de nauwkeurigheid in de aangegeven richting wel, maar de afstand gaven ze altijd onnauwkeurig aan. Dit in tegenstelling tot jonge bijen uit kolonies, die wel eerst de kwispeldansen van ervaren bijen konden observeren voordat ze hun eigen dansen vertoonden.

■ **Afb. 72** Kwispeldans.

1 werkbij



2 De hoek geeft informatie over de richting van de voedselbron.

Opdrachten

62 Leg uit waarom de werkbij bij terugkomst in het nest haar soortgenoten eerst voedsel geeft en tegen hen aan vliegt.

63 Welk leerproces draagt mogelijk bij aan een betere kwispeldans? Leg je antwoord uit aan de hand van een gegeven uit de tekst.

64 Leg uit waarom het leergedrag bij de kwispeldans zo geëvolueerd is.

65 **a** Dat aangeboren gedrag een sterke component vormt van de kwispeldans, blijkt ook uit een resultaat van dit onderzoek. Welk resultaat is dit?

b De onderzoeksgroepen bestonden uit kolonies met uitsluitend net uitgekomen bijen (dus van dezelfde generatie). Waaruit bestond de controlegroep in dit onderzoek?

6 GEDRAG BIJ MENSEN

LEERDOEL

8.6.1 Je kunt aan de hand van een context toelichten wat de overeenkomsten en verschillen zijn tussen gedrag bij mensen en dieren.

TAXONOMIE	LEERDOEL EN OPDRACHTEN
	8.6.1
Begrijpen	66, 67, 68, 69
Toepassen	70a, 71bc, 73a, 74bc
Analyseren	70bc, 71a, 72, 73b, 74a, 75, 76

Gedrag van mensen kent veel overeenkomsten met gedrag van dieren. Dat is logisch, want mensen zijn immers dieren. Ook ons gedrag komt tot stand door de reactie op prikkels en een combinatie van erfelijke en aangeleerde eigenschappen. Maar leerprocessen en bewuste keuzen spelen bij de mens wel een grotere rol.

REAGEREN OP PRIKKELS

Net als dieren reageren mensen op interne en externe prikkels. De interne prikkels geven informatie voor de motivatie om bepaald gedrag uit te voeren. Externe prikkels bepalen dan of dit gedrag wel of niet plaatsvindt. Ook als de motivatie laag is, kan een sterke externe prikkel toch bepaald gedrag oproepen. Stel, er staat een lekkere muffin voor je neus, dan hoef je niet per se honger te hebben om die op te eten (zie afbeelding 73). Honger maakt etenswaren die je niet lekker vindt daarentegen wel aantrekkelijker.

■ **Afb. 73** Ook zonder honger gaat een muffin er wel in.

Ook mensen zijn gevoelig voor sleutelprikkels, bijvoorbeeld voor bepaalde kenmerken van een baby. Een rond gezicht, bolle wangen, een hoog naar voren gewelfd voorhoofd, grote ogen, een wipneus, een klein zuigmondje, een in verhouding groot hoofd en mollige lichaamsvormen zijn sleutelprikkels (zie afbeelding 74). Deze sleutelprikkels veroorzaken bij veel mensen een neiging tot verzorgen en vertroetelen.

■ **Afb. 74** Een baby is schattig.

Door sleutelprikkels extra te benadrukken, werken ze als supranormale prikkels. Voorbeelden van supranormale prikkels bij mensen zijn roodgestifte lippen en schoudervullingen in kleding. De reactie op sleutelprikkels en supranormale prikkels is gebaseerd op erfelijke informatie en is voorspelbaar. Andere mensen kunnen deze voorspelbaarheid van de erfelijke respons gebruiken. Zo wordt hier bijvoorbeeld handig op ingespeeld door de speelgoedbranche (zie afbeelding 75).

■ **Afb. 75** Speelgoed met de juiste prikkels.

De respons van mensen op sleutelprikkels en supranormale prikkels is minder voorspelbaar dan bij dieren. Mensen kunnen, dankzij hun bewustzijn, afleren om op deze prikkels te reageren. Dat neemt niet weg dat sleutelprikkels en supranormale prikkels ook voor mensen moeilijk zijn te weerstaan. In de reclamewereld wordt hier handig gebruik van gemaakt (zie afbeelding 76).

■ **Afb. 76** Veelgebruikte manier om reclame te maken voor fastfood.

Opdrachten KENNIS

66 **a** Zijn de grote ogen van het speelgoed uit afbeelding 75 voorbeelden van sleutelprikkels of van supranormale prikkels? Leg je antwoord uit.
b Noem nog een andere prikkel waardoor kinderen het speelgoed schattig vinden.

67 In afbeelding 76 zie je een reclame voor fastfood.
a Welke signaalfunctie vervult het likken aan de vingers door de vrouw?
b Noteer een van de supranormale prikkels waarmee het bedrijf probeert je tot aankoop van een hamburger te verleiden.
c Veel reclames maken bijzonder effectief gebruik van de kennis van onze reactie op prikkels. Toch kunnen mensen deze soms weerstaan.
Noem een voorbeeld van een motivatie waardoor iemand deze reclame kan weerstaan.

AANGEBOREN OF AANGELEERD

Tijdens de opvoeding in de eerste levensjaren geven een kind en de ouders (verzorgers) veel signalen aan elkaar. Deze signalen geven ze meestal onbewust. Geluidjes maken, oogcontact en lichamelijk contact (knuffelen) tussen ouders en kind blijken sterk op elkaar te zijn afgestemd. Door dit contact via signalen leert een kind zich sociaal te ontwikkelen.

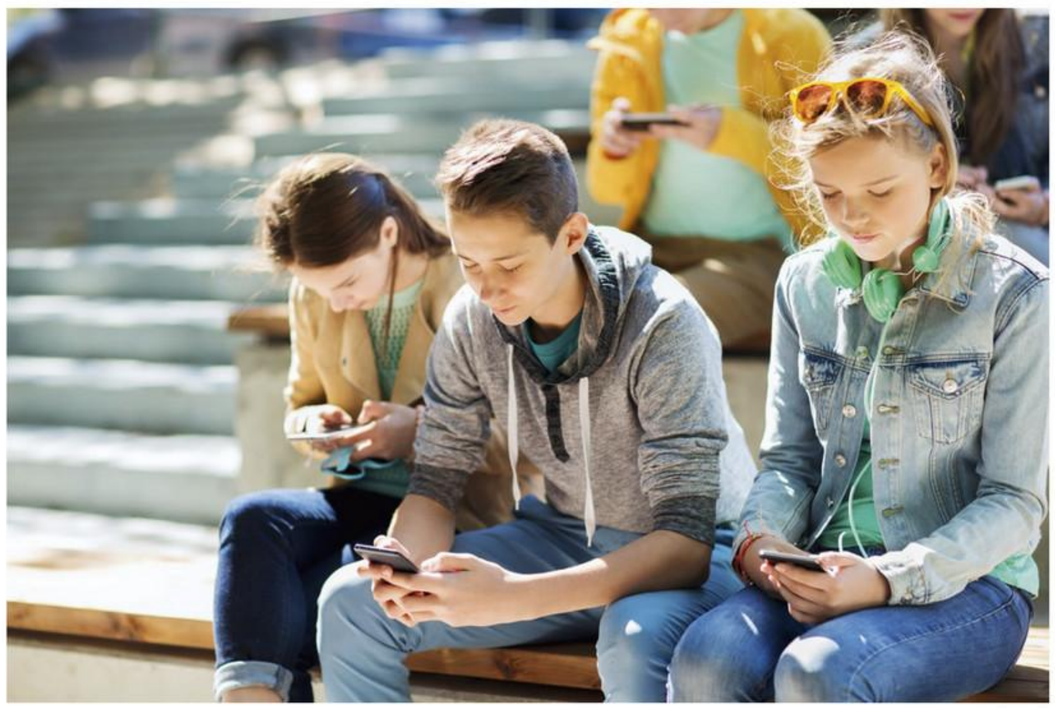
Voorbeelden van gedrag dat grotendeels wordt bepaald door erfelijke factoren zijn onder andere het zuiggedrag van baby's en de gelaatsuitdrukkingen bij emoties als vreugde, woede en angst. Dit laatste blijkt bijvoorbeeld uit het gedrag van kinderen die blind en doof zijn geboren. Deze kinderen vertonen dezelfde gelaatsuitdrukkingen als mensen die wel kunnen zien en horen. Ook blijken veel gelaatsuitdrukkingen die tijdens sociale contacten tussen mensen worden vertoond, in vrijwel alle culturen voor te komen. Zo komt bijvoorbeeld de glimlach (zie afbeelding 77) in alle culturen voor. Een glimlach wordt wereldwijd gezien als signaal waarmee je vriendelijkheid uitstraalt.

■ **Afb. 77** Een glimlach is universeel.

Leerprocessen zijn bij mensen erg belangrijk voor het bepalen van gedrag. Doordat we lang bij onze ouders blijven, hebben zij ook veel tijd om ons te leren wat we nodig hebben. De leerprocessen die hierbij een rol spelen zijn hetzelfde als bij dieren: gewenning, inprenting, imitatie, conditionering en inzicht. Zo leren we praten dankzij de imitatie van geluiden. Ook leren we in ons eerste jaar wie onze ouders of verzorgers zijn en treedt er hechting op. Tijdens het oplossen van puzzels of raadsels en bij het bedenken van oplossingen voor problemen spreken we ons inzicht aan, bijvoorbeeld voor het oplossen van een moeilijke som of voor het oplossen van een ruzie met je beste vriend. Ouders maken tijdens het opvoeden van hun kinderen gebruik van belonen en straffen, voorbeelden van conditionering.

Mensen kunnen er bewust voor kiezen om hun gedrag niet te laten beïnvloeden door een aangeboden beloning. Dit gaat echter niet altijd even gemakkelijk, omdat onze hersenen bij een beloning de neurotransmitter dopamine afgeven. Dopamine geeft je een geluksgevoel en dit geluksgevoel kan verslavend zijn. Zo is het moeilijk om van je telefoon af te blijven om spelletjes te spelen of sociale media te bekijken (zie afbeelding 78). Beide activiteiten zorgen ervoor dat er dopamine in je hersenen vrijkomt.

■ **Afb. 78** Jongeren met hun mobiele telefoon.



SOCIAAL GEDRAG

Voor alle dieren in sociale groepen is het belangrijk om te begrijpen waar hun groepsgenoten zich mee bezighouden. Ook mensen zijn sociale dieren. Je groeit op in een gezin met mensen die je door en door kent, maar gedurende je leven wordt je sociale kring groter. Door communicatie en het delen van levensgebeurtenissen bouw je onderling een emotionele band op. Jij hebt invloed op de mensen om je heen en de mensen om je heen beïnvloeden jou.

Mensen hebben in vergelijking met dieren een groot leervermogen. Hierdoor kunnen mensen hun gedrag in veel sterkere mate aanpassen aan hun omgeving en hun omgeving aan hun behoeften, dan dieren. Je leert van je ouders, van je docenten, maar ook van andere mensen in je omgeving.

Mensen hebben veel meer uitdrukkingsmogelijkheden dan dieren. Een groot verschil is dat mensen, naast de (non-verbale) communicatie die dieren gebruiken, kunnen communiceren met taal (verbale communicatie). Dat kan zowel mondeling als schriftelijk. Naast taal kan de mens ook beelden schriftelijk vastleggen. Schriftelijk vastgelegde informatie is voor veel mensen bereikbaar, bijvoorbeeld via het internet op je smartphone.

Mensen hebben een groot inlevingsvermogen (empathie). Door de werking van onze hersenen kunnen we ons bewust zijn van de situatie, gedachten en emoties van anderen en jezelf, en hiervan een beeld vormen. Dit speelt een rol bij medeleven, waarbij mensen elkaar steunen of troosten (zie afbeelding 79.1), maar ook bij competitie. Een bepaalde mate van inlevingsvermogen is ook aangetoond bij diverse diersoorten, waaronder apen (zie afbeelding 79.2), olifanten en prairiewoelmuizen.

■ **Afb. 79** Troostend gedrag.

1 bij de mens

2 bij slingerapen

CULTUUR

Mensen kunnen nadenken over hun gedrag en hun gedrag beoordelen (moreel bewustzijn). Door de overeenkomsten met dierlijk gedrag in te zien, kun je typisch menselijke eigenschappen herkennen. Omdat je je bewust bent van jezelf en je omgeving, kun je als mens keuzen maken. Hieruit ontstaan gedragsregels, normen en waarden. Deze vormen een basis voor maatschappelijke organisatie en cultuur.

Normen zijn gedragsregels waarvan veel mensen vinden dat je je eraan moet houden. Bijvoorbeeld: je mag niet stelen. Normen zijn gebaseerd op waarden. Dat zijn uitgangspunten die mensen gebruiken bij de inrichting van hun leven. Eerlijkheid is een waarde. Normen en waarden zijn niet voor iedereen hetzelfde. Ze zijn sterk bepaald door de cultuur waarvan iemand deel uitmaakt. Cultuur heeft te maken met de manier waarop mensen met de natuur, met elkaar en met zichzelf omgaan. Wat in de ene cultuur normaal wordt gevonden, is in de andere cultuur niet toegestaan. In Nederland

Context Wetenschap

HORMONEN ZORGEN VOOR WINTERSLAAP

De winterslaap is een bijzonder fenomeen, bedoeld om energie te besparen. Daarvoor gaat de lichaamstemperatuur in korte tijd drastisch omlaag, soms tot onder het vriespunt. Je zou dan verwachten dat een dier doodvriest, maar toch gebeurt dat niet. Met de ontdekking van een hormoon denken onderzoekers dit mysterie op te kunnen lossen.

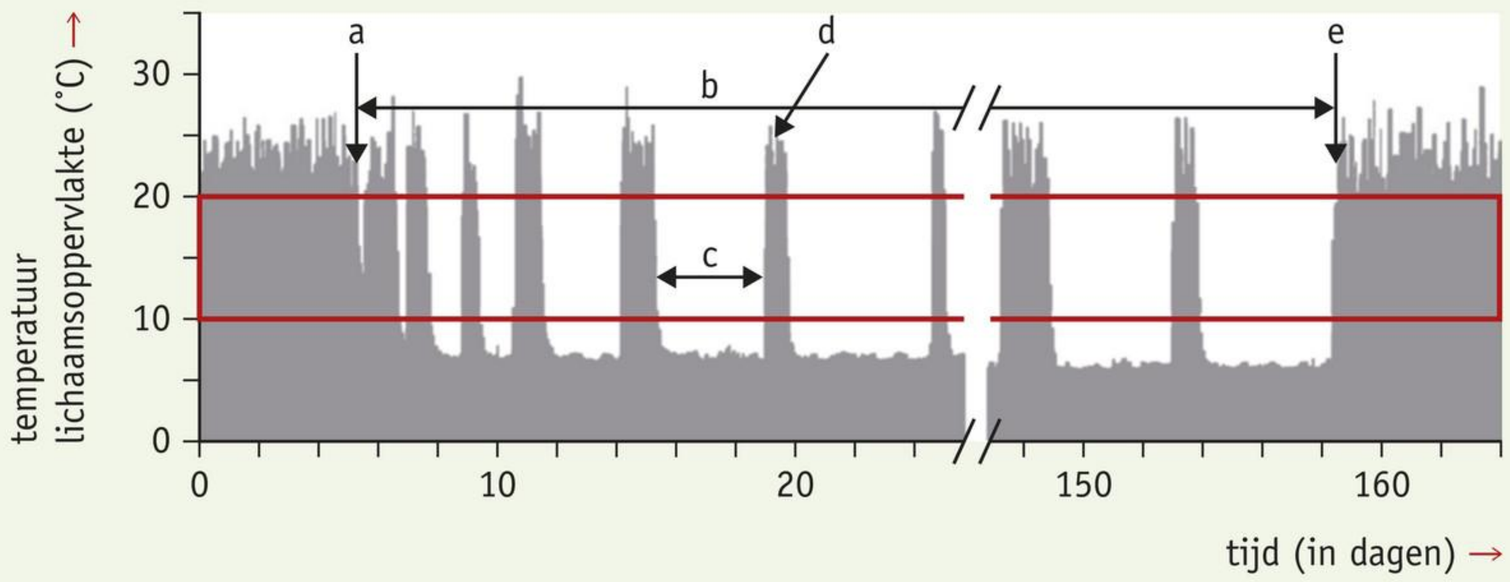
Wetenschappers spreken liever van torpor dan van winterslaap. Een verlaging van de lichaamstemperatuur kan ook in de zomer voorkomen om bijvoorbeeld het gebruik van water te beperken. Door de lage lichaamstemperatuur vertraagt de stofwisseling, waardoor het lichaam aan energiebesparing doet.

Het zijn vooral kleine zoogdieren die aan torpor doen, zoals egels, muizen, grondeekhoorns en vleermuizen. Muizen en vleermuizen doen dagelijks aan torpor, terwijl egels en grondeekhoorns voor een langere periode in torpor gaan. Gedurende die lange tijd zijn er meerdere korte perioden waarin de lichaamstemperatuur wordt hersteld (zie afbeelding 7). Waarschijnlijk worden in die korte perioden verschillende lichaamsfuncties zoals de bloedstolling en het afweersysteem in werking gezet. Daarna gaat het dier weer in torpor.

Als een warmbloedig dier niet wordt voorbereid op lage temperaturen, gaat het dood. Met de ontdekking van het hormoon hibernation-specific protein (HP) bij de grondeekhoorn, denken wetenschappers een belangrijke schakel te hebben gevonden die dieren voorbereidt op de zware omstandigheden van lage lichaamstemperaturen en weinig energie.

HP wordt in de lever gemaakt. Het is in hogere concentraties aanwezig in de hersenen, vlak voordat de lichaamstemperatuur daalt. Door HP in de hersenen te blokkeren, zagen de onderzoekers dat de duur van de winterslaap werd verkort.

■ **Afb. 7** De grondeekhoorn warmt tijdens zijn torpor meerdere keren op.



Legenda:
a = begin torpor
b = totale lengte van de torporperiode
c = duur van de torpor
d = periodiek opwarmingsmoment
e = beëindiging torpor

is het bijvoorbeeld gewoon dat jongens en meisjes samen zwemmen. In sommige andere culturen is dat verboden. Normen en waarden veranderen, ook binnen één cultuur. Over de plaats van mannen en vrouwen in de Nederlandse maatschappij wordt nu anders gedacht dan honderd jaar geleden.

GROEPSGEDRAG, ROLGEDRAG EN ROLPATRONEN

Het samenleven in groepen heeft de mens veel voordeel opgeleverd. Door de zorg en steun van anderen en de verdeling van taken binnen de groep, neemt de overlevingskans van het individu toe. Mensen vertonen hierbij **groepsgedrag**, gedrag dat typisch is voor leden van een bepaalde groep. Onderzoek heeft aangetoond dat mensen instinctief bereid zijn hun eigen belang opzij te zetten als dit goed is voor een groepsgenoot. Groepsgedrag kan ook negatief zijn, bijvoorbeeld pestgedrag.

Bij dieren komen rolpatronen voor. Van een dominant baviaanmannetje wordt door ondergeschikte dieren bepaald gedrag verwacht. Rolgedrag vind je alleen in sociaal georganiseerde groepen zoals bij kuddedieren. Rolgedrag komt ook bij mensen voor.

Rolgedrag is gedrag dat anderen van iemand in een bepaalde situatie verwachten. Van de aanvoerder of aanvoerster van een voetbalelftal wordt bijvoorbeeld leidersgedrag verwacht. Iemand die rolgedrag vertoont, voldoet aan het rolpatroon. Mensen nemen vaak deel aan verschillende groepen en voldoen daarin aan verschillende rolpatronen. Zo heb je thuis de rol van kind, op school de rol van leerling en op je werk de rol van werknemer.

Opdrachten KENNIS

68 Mensen leren tot ongeveer hun tiende levensjaar moeiteloos de taal of talen van de omgeving waarin ze opgroeien. Na deze periode gaat het leren van een taal zeer moeizaam.

a Leg uit van welk leerproces er sprake is bij het moeiteloze leren van een taal tijdens de jeugd.

b Na deze periode gaat het leren van een nieuwe taal moeizaam, maar het kan wel. Denise studeert op de middelbare school voor een toets Spaans, voor haar een vreemde taal, ze is er niet mee opgegroeid. Ze moet hiervoor vijfhonderd woorden leren. Ze wil graag een hoog cijfer halen.
Van welk leerproces is hier sprake?

c In het weekend bezoekt Denise met drie vriendinnen een escaperoom. Ze treden in de voetsporen van een rechercheteam dat door het speuren naar allerlei aanwijzingen en het uitvoeren van berekeningen en analyses een bende criminelen moet oprollen. Door alle sporen op de juiste manier te combineren, slagen Denise en haar vrienden erin om binnen het uur de bende te ontmaskeren en uit de escaperoom te ontsnappen.
Welk leerproces, dat bij mensen een veel grotere rol speelt dan bij andere dieren, heeft waarschijnlijk sterk bijgedragen aan het succes?

69 Er is veel onderzoek gedaan naar de aantrekkingskracht van voedsel dat rijk is aan vetten en suikers. In een van die onderzoeken kreeg een groep muizen een passend dieet met het juiste aantal calorieën en een andere groep muizen kreeg een dieet met veel vetten en suikers en te veel calorieën. Beide onderzoeksgroepen kregen tussen de maaltijden door ook snacks aangeboden. Wat bleek: snackgedrag trad alleen op in de onderzoeksgroep met het vet- en suikerrijke dieet.
Ook was te zien dat het vet- en suikerrijke dieet het beloningssysteem in de hersenen van de muizen activeerde.

a Welke neurotransmitter werd meer afgegeven in de hersenen van de groep met het vet- en suikerrijke dieet?

b Waarom leidt de toegenomen activiteit van het beloningssysteem na het eten van een vet- en suikermaaltijd tot tussentijds snacken? Leg uit.

c Het zou ook kunnen dat calorierijk voedsel in het algemeen het beloningssysteem triggert, en niet per se de combinatie van veel vetten en veel suikers.
In een ander onderzoek kreeg een groep mensen als aanvulling op een normaal eetpatroon dagelijks een pudding die rijk was aan vetten en suikers. De controlegroep kreeg een pudding met evenveel calorieën, maar met een laag vetgehalte. Ook bij dit experiment bleek het beloningssysteem veel actiever in de groep die de vet- en suikerrijke pudding kreeg.
Wat kun je naar aanleiding van deze onderzoeksresultaten concluderen?

Opdrachten INZICHT

70 Verschillende mensen hebben geprobeerd om mensapen te leren communiceren met taal. Dat verliep niet erg succesvol. Sommige mensapen kunnen wel een vorm van gebarentaal leren, maar kunnen daarmee geen echte volzinnen maken. Ook zijn er mensapen die een beperkt aantal woorden leerden begrijpen door in een omgeving met mensen op te groeien.
In de jaren zeventig van de vorige eeuw groeide de chimpansee Nim op in een Amerikaans gezin. Hij leerde een beperkte vorm van gebarentaal.

a Was er sprake van sociaal gedrag tussen chimpansee Nim en de leden van het gezin? Leg je antwoord uit.

b In de Verenigde Staten leven nu nog steeds ongeveer 15 000 mensapen als 'huisdier'. In Nederland is dit al jaren verboden.
Leg uit hoe dit verschil kan ontstaan.

c Noem twee ethologische argumenten tegen het houden van een mensaap als huisdier.

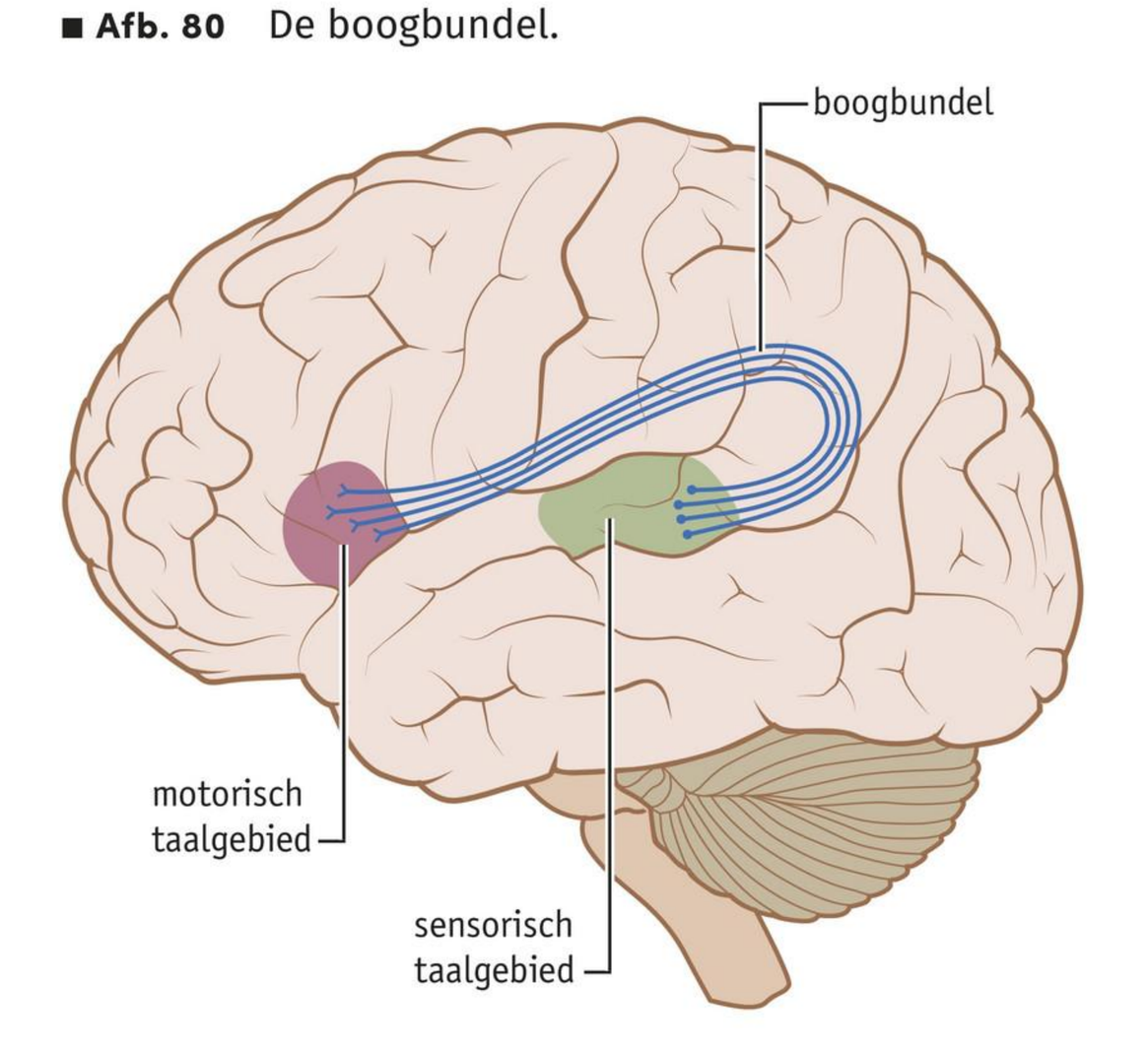
71 Echt leren praten zit er voor mensapen sowieso niet in. Dit komt mede door een andere bouw van het spraakkanaal, waardoor ze niet zo'n uitgebreid klankenrepertoire kunnen produceren als de mens. Daarnaast hebben mensen een drie keer zo grote hersenschors en dus ook grotere gebieden voor de verwerking van taal.

a Wat zegt deze andere anatomie over het vermogen van de mens om te kunnen praten?

b Met een speciale hersenscan toonden onderzoekers aan dat mensapen een specifiek deel van de boogbundel (zie afbeelding 80) missen. De boog vormt een verbinding tussen twee belangrijke gebieden voor taal, één motorisch taalgebied en één sensorisch taalgebied. Deze gebieden liggen elk in een ander deel van de hersenschors, maar de goede verbinding via de boogbundel is onmisbaar gebleken voor de taalverwerking van de mens.
Bestudeer *BiNaS* tabel 88C2 en benoem de twee belangrijke gebieden in de hersenen die door de boogbundel worden verbonden.

c Door een herseninfarct is bij een persoon een van beide taalgebieden aangetast. De man praat wel volop, in lange zinnen, maar lijkt willekeurige woorden te gebruiken. Hij gebruikt woorden niet meer in de juiste betekenis, maar zelf is hij zich daar niet van bewust. Zijn vrouw probeert hem te vragen wat er aan de hand is, maar hij begrijpt haar vraag niet en gaat door met zijn verhaal. De vrouw begint te huilen. De man trekt een boos gezicht.
Een leerling doet de volgende uitspraken met betrekking tot bovenstaande situatie:
1 Het praten in lange zinnen van de man is adequaat gedrag.
2 Er is sprake van communicatie tussen het stel.
3 Het infarct vond plaats in het gebied van Broca.
Noteer de nummers en geef per uitspraak aan of deze juist of onjuist is.

■ **Afb. 80** De boogbundel.



72 Veel kinderen (en behoorlijk veel volwassenen) hebben een teddybeer (zie afbeelding 81). Teddyberen kunnen je troosten of helpen in moeilijke situaties. Hoe komt een teddybeer aan deze geruststellende kracht? Een van de conclusies van een Frans onderzoek was dat het belangrijk is dat een teddybeer er schattig uitziet, lekker ruikt en fijn is om vast te pakken. Grote, zachte teddyberen bleken het meest geruststellend.
Een opvallend resultaat was dat als proefpersonen hun eigen beer moesten vergelijken met acht andere teddyberen, iedereen zijn/haar eigen teddybeer koos als meest geruststellend.
Wat kun je hieruit concluderen?

■ **Afb. 81** Een grote, zachte teddybeer.

73 De smartphone is niet meer weg te denken als communicatiemiddel. Dagelijks versturen mensen een veelvoud aan schriftelijke berichten via whatsapp of sociale media. Deze apps bieden de mogelijkheid om te communiceren met veel verschillende mensen, zelfs op grote afstand. De meerderheid van de mensen gebruikt naast woorden ook emoji's (zie afbeelding 82) in digitale berichten. Het gebruik van deze 'beeldkarakters' (letterlijk vertaald uit het Japans) helpt de ontvanger om de boodschap beter te begrijpen. Schriftelijke communicatie kan namelijk weleens tot misverstanden leiden. Bij een geschreven boodschap krijg je minder informatie dan wanneer je een persoon in het echt spreekt.

a Leg uit hoe emoji's kunnen helpen om dit verschil tussen communicatie in het echt en schriftelijke communicatie te verkleinen.

b De emoji's zijn in Japan ontwikkeld, maar worden wereldwijd gebruikt. Soms wordt de oorspronkelijke betekenis van bepaalde emoji's niet door iedereen juist herkend. Zo denken sommige gebruikers aan een dansje bij de emoji van het meisje dat haar handen om haar hoofd buigt, terwijl dit het ok-gebaar is (zie afbeelding 83.1). De gezichtsuitdrukking-emoji's (zie afbeelding 83.2) worden wereldwijd met dezelfde betekenis gebruikt.
Leg uit waardoor er verschillen in interpretatie van emoji's kunnen ontstaan, maar dat dit niet het geval is voor gezichtsuitdrukking-emoji's.

■ **Afb. 82** Voorbeelden van emoji's.

■ **Afb. 83** Emoji's.

1 het Japanse ok-gebaar

2 gezichtsuitdrukking-emoji's

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Wetenschap

DE WETENSCHAP ACHTER KOPEN

Koop jij weleens iets waar je (even) heel blij van wordt, maar wat je eigenlijk niet nodig hebt? Er is veel onderzoek gedaan naar het gedrag van de mens, de werking van ons brein en de manier waarop we keuzen maken. Onderzoek door neuromarketeers naar koopgedrag lijkt een logisch vervolg. Ons brein blijkt niet geschikt te zijn voor rationele beslissingen over aanschaf van kleding, parfum, elektronica en andere luxeartikelen. Daar speelt de industrie handig op in.

In 2007 schreef Brian Knutson en zijn team geschiedenis met het onderzoek *Neural predictors of purchase*. De wetenschappers toonden aan dat ze door het vergelijken van de activiteit in drie hersengebieden met fMRI konden voorspellen of een proefpersoon een product voor een bepaalde prijs zou kopen.

Deze en diverse andere studies tonen aan dat een beslissing tot aankoop onbewust wordt genomen. Daarnaast laten neurowetenschappers zien dat emoties (zoals bijvoorbeeld vertrouwen en bekendheid, angst en begeerte) uiteindelijk de doorslag geven om wel of niet tot een aankoop over te gaan. Als we het product eenmaal bezitten, ervaren we een gevoel van voldoening door de waarde die we hechten aan materiële zaken. Ook zit er een motief achter ons koopgedrag dat heeft te maken met identiteit: we kopen om uit te stralen wie we zijn, of wie we willen zijn. Allemaal zaken waar reclamemakers gretig gebruik van maken.

■ **Afb. 84** Shoppen maakt gelukkig.

Opdrachten

74 Brian Knutson zag in fMRI-beelden dat de uiteindelijke afweging voor een aankoop bleek te worden gemaakt in het hersengebied dat de prefrontale schors heet. Maar dit gebied was afhankelijk van de balans tussen twee andere gebieden: het 'beloningsdeel' (nucleus accumbens) en de 'pijnknop' (insula).

- **a** Leg uit hoe de balans tussen het beloningsdeel en de pijnknop bepaalt of je wel of niet tot een aankoop overgaat.
- **b** Welke 'pijn' voel je bij een aankoop waardoor de pijnknop wordt geactiveerd?
- **c** Door middel van welke prikkels proberen reclamemakers deze activatie van de pijnknop te verminderen?

75 Bij de aankoop van een product ervaar je een fijn gevoel. Hierdoor zul je sneller opnieuw tot de aankoop van een product overgaan. Leg uit waarom dit zo is.

76 Leg uit waarom er in reclames vaak gebruik wordt gemaakt van bekende personen.

PRAIRIEWOELMUIZEN ZOEKEN TROOST

LEERDOELEN

8.S.1 Je kunt het voorkomen van empathie bij prairiewoelmuizen toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

8.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair denken en vorm-functiedenken toepassen op het empathisch vermogen van de prairiewoelmuis.

Empathie is niet alleen een menselijke eigenschap. Bij steeds meer dieren worden vormen van empathie aangetoond. Ook prairiewoelmuizen troosten elkaar als het even tegenzit. Dat blijkt uit onderzoek bij prairiewoelmuizen door biologen, onder wie de Nederlandse primatoloog Frans de Waal.

Het was al bekend dat prairiewoelmuizen sociale knaagdieren zijn (zie afbeelding 1). Ze behoren tot een van de weinige monogame soorten zoogdieren en de mannetjes helpen bij de opvoeding van de jongen. Troostgedrag was eerder alleen aangetoond bij intelligente dieren, zoals mensapen en olifanten. De vondst van troostgedrag bij prairiewoelmuizen door De Waal en collega's bewijst dat ook dieren met een klein hersenvolume in staat zijn tot empathie.

■ **Afb. 1** Prairiewoelmuizen zijn sociale knaagdieren die in staat zijn tot empathie.

Tijdens het onderzoek werden er twee prairiewoelmuizen per kooi gehouden. Bij de uitvoering van het experiment werd één van de twee prairiewoelmuizen uit de kooi gehaald. Deze prairiewoelmuis kreeg een piep te horen en hij kreeg lichte stroomschokken toegediend. Vervolgens werd de prairiewoelmuis met het kooimaatje herenigd, waarna het gestreste knaagdier uitgebreid door zijn kooigenoot werd gevlooid en gelikt. Bij de controleproef, waarbij het weggehaalde dier niet werd blootgesteld aan stressvolle schokken, trad dit specifieke gedrag bij de hereniging niet op.

Liesbeth Sterck, hoogleraar aan de Universiteit van Utrecht en voorzitter van de Nederlandse Vereniging voor Gedragsbiologie, denkt dat dit natuurlijke empathisch vermogen een evolutionair voordeel biedt voor dieren die langdurige banden met soortgenoten aangaan, zoals de prairiewoelmuis. Het troostgedrag werd niet waargenomen bij graslandwoelmuizen. Die soort is nauw verwant aan de prairiewoelmuis, maar leeft individueler en niet monogaam. Mogelijk is het verschil in sociaal gedrag tussen de twee soorten te verklaren door de andere leefomgeving. De graslandwoelmuis leeft in een voedselrijke, veilige omgeving. De prairiewoelmuis heeft op de schrale prairie meer hulp nodig om te overleven en om kleintjes groot te brengen.

Het is bekend dat het hormoon en neurotransmitter oxytocine een rol speelt bij empathisch gedrag, ook bij de mens. De onderzoekers konden dit nu testen bij de prairiewoelmuizen. Na het blokkeren van de werking van oxytocine met een injectie, bleek het troostgedrag snel voorbij.

Frans de Waal wijst op het belang van dit onderzoeksresultaat. Uit andere onderzoeken blijkt dat oxytocine mensen vriendelijker maakt naar elkaar toe en waarschijnlijk de sociale betrokkenheid van mensen met autisme kan vergroten. De prairiewoelmuis is een ideaal proefdier voor neurologisch onderzoek naar oxytocine en empathie. Bij apen en mensen is dat onderzoek veel lastiger uit te voeren en ethisch gezien controversiëler.

1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau.
Kies uit: *empathie – hersenvolume – individu – mens met autisme – neurotransmitter – oxytocine – paarvormend – sociale betrokkenheid – troostgedrag*.

Organisatieniveau	Begrip
Systeem aarde	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 Is de uitspraak: 'Prairiewoelmuizen troosten elkaar als het even tegenzit', ethologisch correct?
Licht je antwoord toe.

3 **a** Is het weergegeven onderzoek een voorbeeld van een beschrijvend of een hypothesetoetsend onderzoek?
b Wat was de onderzoeksvraag?
c Aan welke voorwaarde moet, naast de controleproef, ook zijn voldaan voor een betrouwbaar resultaat van dit onderzoek?
d Uit welke waarnemingen blijkt dat de prairiewoelmuizen elkaar 'troosten'?

4 **a** Leeft de prairiewoelmuis voornamelijk solitair, in paren of in groepen?
b Verklaar het evolutionaire voordeel van de eigenschap empathie bij de prairiewoelmuis.

5 Bij welke relaties tussen mensen zorgt het hormoon oxytocine voor versterking van de band?

6 Welk maatschappelijk nut kan onderzoek naar empathie en de werking van oxytocine bij prairiewoelmuizen hebben?

PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

8.O.1 Je kunt de overeenkomsten en verschillen in bouw van een mensenoog en een koeienoog herkennen en benoemen.

- Basisstof 1 en 2
- Vaardigheid 4 (thema 1)

Ontleden van een koeienoog

50 minuten

INLEIDING

De bouw van koeienogen komt in veel opzichten overeen met mensenogen. Maar er zijn ook enkele verschillen. In deze practicumopdracht leer je die overeenkomsten en verschillen herkennen.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat zijn de overeenkomsten en verschillen in bouw tussen een mensenoog en een koeienoog?

MATERIAAL

- koeienoog
- bakje of petrischaal
- scalpel (scherp mesje)
- pincet
- horlogeglas
- objectglas
- schaar
- handschoenen
- tissue
- stuk papier met tekst

METHODE

Doe de handschoenen aan voor je met je werk begint.

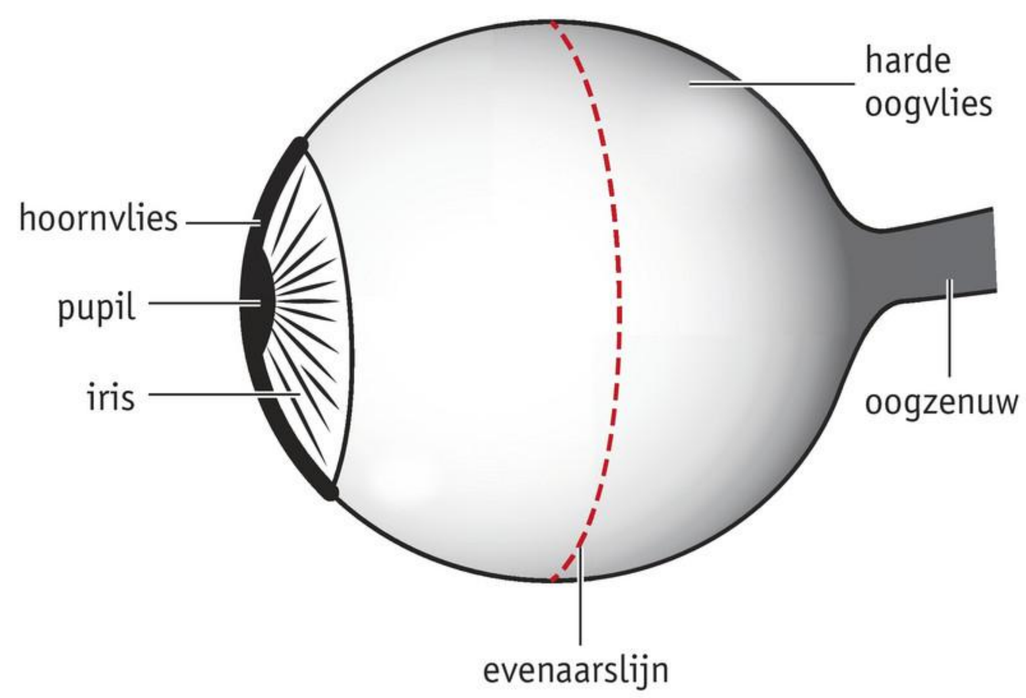
ONDERZOEK EERST DE UITWENDIGE BOUW VAN HET OOG

- Leg het oog in een bakje of petrischaal met de voorzijde naar boven.
- Maak een schematische tekening van de voorzijde van het koeienoog.
- Benoem de onderdelen: oogspieren, harde oogvlies, iris en pupil.
- Bekijk het oog nu van de achterzijde. Leg het oog zo neer dat de achterkant van het oog naar boven ligt.
- Maak een schematische tekening van de achterzijde van het koeienoog.
- Benoem indien mogelijk de onderdelen: oogspieren, oogzenuw en vetweefsel. Het kan zijn dat het vetweefsel rond het oog en de oogspieren is verwijderd.

ONDERZOEK NU DE INWENDIGE BOUW VAN HET OOG

- Verwijder indien nodig het vet en de spieren die de oogbol omgeven, zonder de oogbol te beschadigen. Gebruik hiervoor een scalpel, schaar en pincet. Als het 'wit van de ogen' rood ziet, is dit niet het harde oogvlies zelf dat rood wordt. Het zijn de bloedvaten die in het dunne laagje bindweefsel rondom de oogbol liggen. Het harde oogvlies zelf heeft geen bloedvaten.
- Het harde oogvlies is echt hard. Prik (voorzichtig) met een scalpel in het harde oogvlies.
- Snijd het harde oogvlies door over de evenaarslijn (zie afbeelding 1). Maak eerst voorzichtig een snede met behulp van het scalpel en werk dan verder met de schaar. Zorg ervoor dat je het glasachtig lichaam niet beschadigt.

■ **Afb. 1** Een oog (schematisch).



- Tijdens het snijwerk komen het doorzichtige glasachtig lichaam en de lens los. Verwijder ze voorzichtig uit de twee 'kommetjes' die ontstaan. Leg ze op het horlogeglas.
- In het kommetje met de oogzenuw ligt een doorzichtig vlies uitgespreid: het netvlies. Daaronder zie je het vaatvlies als een zwarte, glanzende laag. Het vaatvlies is zwart aan de kant van het harde oogvlies. Tussen het netvlies en het vaatvlies zit bij koeien (ook bij bijvoorbeeld herten en katten) een blauw gekleurde spiegelende laag: het *tapetum lucidum*. Maak een schematische tekening van de binnenzijde van de achterste ooghelft.
- Benoem de onderdelen: netvlies, vaatvlies en *tapetum lucidum*.
- In het kommetje met het hoornvlies zie je (als het oog vers is) dat het vaatvlies vooraan vrijkomt van het harde oogvlies en overgaat in twee structuren:
  - naar binnen toe het zwarte straalvormige lichaam;
  - naar buiten toe het gepigmenteerde regenboogvlies (iris) met een ellipsvormige pupil.
- Bekijk nu de doorzichtige delen die op het horlogeglas liggen. Het grootste en slapste deel is het glasachtig lichaam en het kleinste deel is de lens. Haal ze zorgvuldig los van elkaar. Soms zitten nog resten van het straalvormig lichaam en de lensbandjes vast aan de ooglens. Bij een vers oog kun je de lens vastpakken met een pincet.
- Leg de ooglens op een objectglas en leg deze op een stuk papier met tekst.

RESULTATEN

- twee schematische tekeningen van de uitwendige bouw van het oog
- een schematische tekening van de inwendige bouw van het oog (binnenzijde van de achterste ooghelft)

1 Waar zit de oogzenuw: in het midden van het oog of ernaast?
2 Heb je een rechteroog of linkeroog gekregen? Leg je antwoord uit.
3 Wat is de functie van de zwarte, glanzende laag in het vaatvlies? Leg je antwoord uit.
4 Het *tapetum lucidum* kaatst licht terug.
Welk voordeel hebben koeien van een *tapetum lucidum* in een lichtarme omgeving?
5 Hoe zie je de letters als je de lens op een stuk papier met tekst legt?
Leg uit hoe dat komt.

CONCLUSIE

6 Formuleer een conclusie bij de onderzoeksvraag.

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

8.O.2 Je kunt een eigen onderzoek opzetten en uitvoeren en daarmee de drempelwaarde van een zintuig voor een adequate prikkel bepalen.

- Basisstof 1 en 2
- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)

Prikkeldrempel van zintuigen bepalen

50 minuten

INLEIDING

Je zintuigen zijn gevoelig voor specifieke prikkels. In dit practicum onderzoek je het effect van een adequate prikkel op een zintuig, bijvoorbeeld:

- Wat is de zwakste adequate prikkel die je met een zintuig kunt waarnemen?
- Wordt de drempelwaarde verhoogd als het zintuig enige tijd wordt blootgesteld aan een sterke adequate prikkel?

Kies in overleg met je docent een onderwerp dat je wilt onderzoeken. Beschrijf hoe je het experiment wilt uitvoeren. Werk dit onderzoek uit met een inleiding, onderzoeksvraag, hypothese, en experiment / materiaal en methode. Voer indien mogelijk het experiment uit en noteer de resultaten en conclusie.

Opdrachten

10 In het onderzoek naar het hormoon HP werden alle omstandigheden waaronder temperatuur en de hoeveelheid licht meer dan een jaar constant gehouden.

a Hoe verandert de normwaarde voor de lichaamstemperatuur van de grondeekhoorn aan het begin van de torpor?

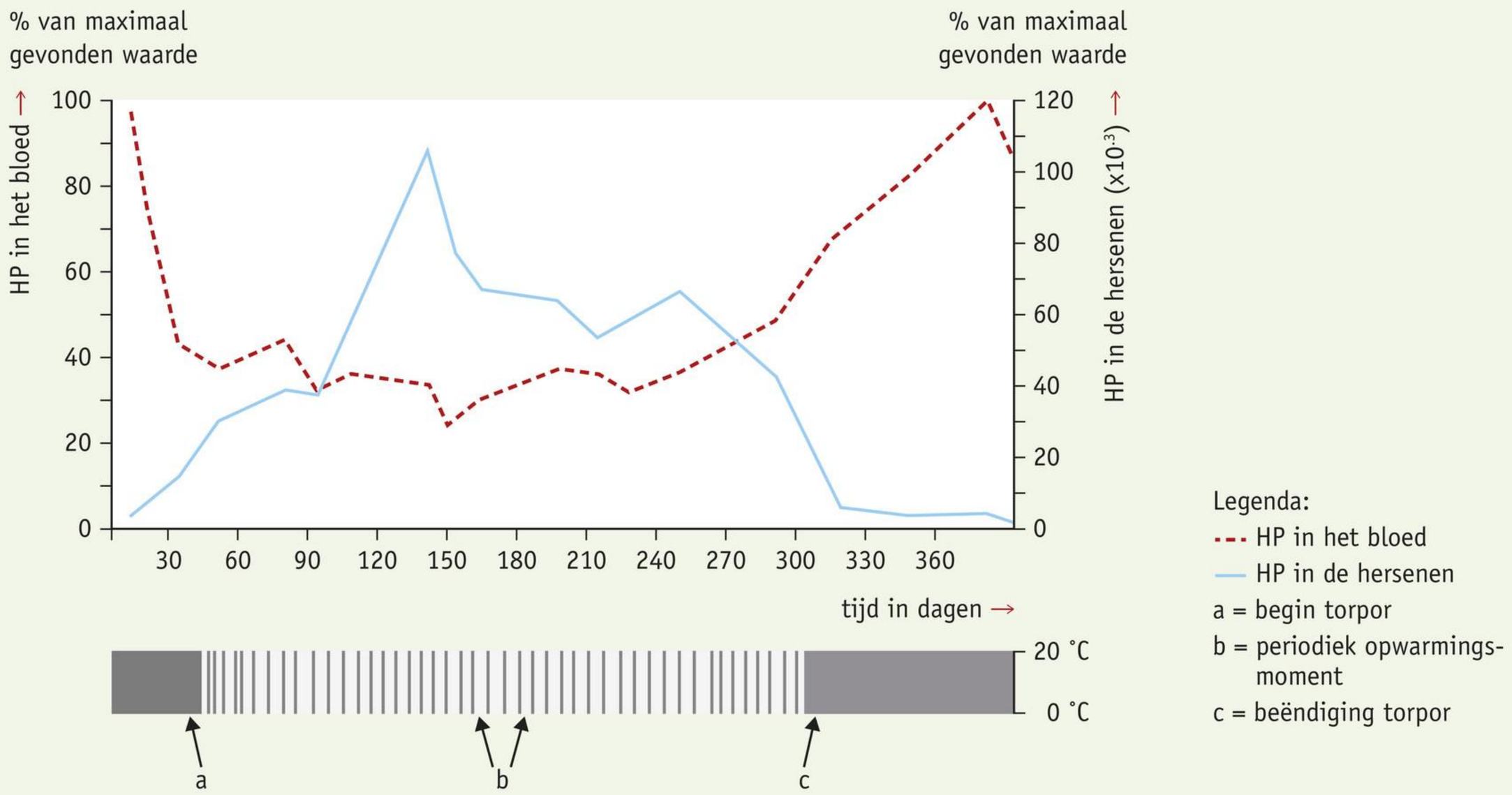
b Wordt het einde van de torpor bij grondeekhoorns door een interne of externe factor bepaald? Leg je antwoord uit.

11 De onderzoekers leidden uit de resultaten van hun experiment af dat HP in de hersenen de winterslaap regelt. Leg dat uit aan de hand van afbeelding 8.

12 Leg aan de hand van afbeelding 7 uit dat HP niet direct is betrokken bij de regeling van de lichaamstemperatuur tijdens de winterslaap.

13 Tijdens de opwarmingsmomenten rilt het lichaam.
Wat gebeurt er met de normwaarde voor de lichaamstemperatuur? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 8** Percentages van maximaal gevonden waarden HP in het bloed en in de hersenen.



Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

8.O.3 Je kunt een eigen onderzoek opzetten en uitvoeren en daarmee de nauwkeurigheid van een zintuig bepalen voor een bepaalde prikkel.

- Basisstof 1 en 2
- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)

Nauwkeurigheid van zintuigen bepalen

50 minuten

INLEIDING

In dit practicum onderzoek je de nauwkeurigheid van een bepaald zintuig. Welke verschillen kun je waarnemen met zintuigen? Welke verschillen kun je bijvoorbeeld waarnemen in warmte, koude, gewicht, geluidssterkte, lichtintensiteit, geur en smaak (bitter, zoet, zuur, zout, umami)?

Kies in overleg met je docent een onderwerp dat je wilt onderzoeken. Beschrijf hoe je het experiment wilt uitvoeren. Werk dit onderzoek uit met een inleiding, onderzoeksvraag, hypothese en experiment / materiaal en methode. Voer indien mogelijk het experiment uit, en noteer de resultaten en conclusie.

SAMENVATTING

8.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt de werking van zintuigen in relatie met het zenuwstelsel beschrijven.

- Zintuigen ontvangen externe en interne prikkels.
- In receptoren (zintuigcellen) ontstaan impulsen onder invloed van prikkels die worden doorgegeven aan het zenuwstelsel.
  - Mechanische receptoren reageren op vervorming van het celmembraan (tastreceptoren, drukreceptoren, gehoorreceptoren, evenwichtsreceptoren, spierspoeltjes).
  - Chemische receptoren binden bepaalde moleculen uit de omgeving (smaakreceptoren, reukreceptoren).
  - Lichtreceptoren (staafjes, kegeltjes) reageren op zichtbaar licht.
  - Temperatuurreceptoren reageren op warmte en kou (koudereceptoren, warmtereceptoren).
  - Pijnreceptoren reageren op extreme druk, extreme temperaturen en stoffen die vrijkomen bij beschadiging of ontsteking van weefsel.

8.1.2

Je kunt de reactie van een zintuig op een adequate prikkel beschrijven.

- Zintuigen hebben een drempelwaarde die moet worden overschreden om een impuls te kunnen veroorzaken.
- Adequate prikkel: de soort prikkel waarvoor de drempelwaarde van een receptor het laagst is.
- Adaptatie (gewenning): aanpassing van de gevoeligheid van een zintuig bij een aanhoudende prikkelsterkte.

8.1.3

Je kunt de delen van het oog en hun functie beschrijven.

- Wenkbrauw: houdt zweet, vocht en stof uit de ogen.
- Traanklier: produceert traanvocht.
- Ooglid: verdeelt traanvocht over de oogbol.
- Traanbuis: voert traanvocht af naar de neusholte.
- Harde oogvlies: wit, stevig vlies dat de buitenste laag van het oog vormt, geeft bescherming (*BiNaS* tabel 87C).
- Hoornvlies: doorzichtig vlies; is de voortzetting van het harde oogvlies aan de voorzijde.
- Vaatvlies: bevat veel bloedvaten; zorgt voor de voeding van een groot deel van het oog.
- Iris (regenboogvlies): gekleurde deel (pigment) van het oog. Is een voortzetting van het vaatvlies.
- Pupil: opening in de iris.
- Voorste oogkamer: de ruimte tussen hoornvlies en iris, gevuld met vocht.
- Achterste oogkamer: de ruimte tussen iris en de ooglens, gevuld met vocht.
- Ooglens: bolle lens achter de iris en de pupil.
- Glasachtig lichaam: geleiachtige massa die het netvlies op zijn plaats houdt.
- Netvlies: binnenste laag van de wand van een oog met lichtreceptoren.
- Gele vlek: plaats in het centrum van het netvlies, bevat veel kegeltjes.
- Blinde vlek: plaats in het netvlies waar de oogzenuw het oog verlaat en de doorgang is voor bloedvaten. Bevat geen lichtreceptoren.

8.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt de beeldvorming door de ooglenzen uitleggen.

- Op het netvlies wordt een omgekeerd, verkleind beeld gevormd.
  - In de centra voor zien in de hersenschors wordt het beeld verwerkt, waardoor het beeld rechtopstaand en op juiste grootte wordt waargenomen.
- Het hoornvlies, de ooglens en het straalvormig lichaam zorgen ervoor dat een scherp beeld op het netvlies ontstaat.
  - Lenswerking: lichtstralen die een oog binnenvallen, worden gebroken door het hoornvlies, de ooglens en andere delen van het oog.
  - Straalvormig lichaam: hierin liggen de accommodatiespieren (kringspieren).
  - De lenzen hangen met behulp van lensbandjes in het straalvormig lichaam.

- Accommodatie: de vorm van de ooglenzen wordt aangepast (boller of platter) aan de afstand waarop een voorwerp zich bevindt.
  - Ver weg kijken: accommodatiespieren ontspannen, lensbandjes trekken strak, lens wordt platter.
  - Dichtbij kijken: accommodatiespieren aangespannen, lensbandjes zijn minder strak gespannen, lens wordt boller.
- Bij lenzen wordt de ligging van het brandpunt (F) bepaald door de vorm van de lens.
  - Negatieve (holle) lenzen spreiden (divergeren) het licht.
  - Positieve (bolle) lenzen bundelen (convergeren) het licht.
  - Hoe boller een lens, hoe kleiner de afstand tot het brandpunt.
- Bijziend: voorwerpen van dichtbij kun je scherp waarnemen, voorwerpen van veraf niet. Dit is te corrigeren met negatieve lenzen of brillenglazen.
- Verziend: voorwerpen van veraf kun je scherp waarnemen, voorwerpen van dichtbij niet. Dit is te corrigeren met positieve lenzen of brillenglazen.

8.2.2

Je kunt uitleggen hoe de pupilreflex werkt.

- De pupilreflex beschermt lichtreceptoren in het netvlies tegen een te hoge lichtintensiteit.
  - Kringspieren en straalsgewijs lopende spieren in de iris bepalen de pupilgrootte.
  - Bij veel licht trekken de kringspieren in de iris samen en wordt de pupil klein.
  - Bij weinig licht trekken de straalsgewijs lopende spieren in de iris samen en wordt de pupil groot.

8.2.3

Je kunt de bouw en werking van het netvlies uitleggen.

- Het netvlies bestaat uit drie lagen (zie *BiNaS* tabel 87C2 en 3), van binnen naar buiten:
  - een laag neuronen: geleiden impulsen naar het centrale zenuwstelsel;
  - een laag lichtreceptoren (staafjes en kegeltjes): hierin ontstaan impulsen;
  - een laag pigmentcellen: absorberen licht en beschermen hiermee lichtreceptoren.
- Met staafjes kun je alleen zwart-grijs-witcontrasten waarnemen.
  - Ze liggen vooral buiten de gele vlek.
  - Meerdere staafjes zijn op één neuron aangesloten.
  - Staafjes zijn gevoelig voor verschillende kleuren licht, maar vrijwel ongevoelig voor rood licht.
  - Ze hebben lagere drempelwaarde dan kegeltjes.
- Met kegeltjes kun je kleuren en details waarnemen.
  - Ze liggen vooral in de gele vlek.
  - Er zijn drie typen kegeltjes die gevoelig zijn voor rood, groen of blauw licht.
  - Ieder kegeltje is apart aangesloten op één neuron.
- In de gele vlek wordt het scherpste beeld waargenomen.

8.2.4

Je kunt uitleggen hoe je diepte kunt zien.

- Diepte zien (stereoscopie):
  - Optisch chiasma: de oogzenuwen kruisen elkaar gedeeltelijk. Impulsen die afkomstig zijn uit het linkerdeel van het gezichtsveld worden verwerkt in het rechterdeel van het gezichtscentrum. Impulsen afkomstig uit het rechterdeel van het gezichtsveld worden verwerkt in het linkerdeel van het gezichtscentrum (zie *BiNaS* tabel 87C4).
  - Door de vergelijking van de beelden van beide ogen in de centra voor zien kun je diepte waarnemen.

8.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt toelichten wat gedrag is en hoe gedrag is ingedeeld.

- Gedrag: alle waarneembare activiteiten van een dier of mens.
- Adequaat gedrag: de overlevingskans en fitness van een dier worden vergroot wanneer het gedrag goed is aangepast aan de omstandigheden.
- Gedrag is opgebouwd uit gedragselementen (opeenvolgende handelingen).
- Een handeling is een respons (reactie) op prikkels.
  - Gedragssysteem: handelingen met een gemeenschappelijk doel.
  - Voedingsgedrag en voortplantingsgedrag zijn voorbeelden van gedragssystemen.
  - Gedragsketen: als het effect van de ene handeling leidt tot een volgende handeling.

8.3.2

Je kunt uitleggen hoe gedrag tot stand komt en dat gedrag het resultaat is van de relatie van een organisme met zijn omgeving.

- Het gedrag dat een dier vertoont hangt af van interne factoren en de aanwezige externe factoren.
- Externe factoren: via zintuigen zoals oren en ogen ontvangt een dier prikkels uit zijn omgeving.
- Interne factoren: wanneer een waarde in het lichaam te veel afwijkt van de normwaarde is dat een interne prikkel voor bepaalde receptoren.
  - De impulsen leiden tot het herstellen van de normwaarde om de homeostase van het inwendige milieu te handhaven. Dit leidt vaak tot het vertonen van bepaald gedrag.
- Motivatie: hoe groot de drang is om bepaald gedrag uit te voeren. Komt tot stand door inwendige factoren.
- Gedrag kan veranderen door periodieke invloeden: regelmatig terugkerende schommelingen in interne of externe factoren.
- Biologische klok: veel processen in het lichaam volgen een bepaald ritme.
- Deze ingebouwde klok beïnvloedt bijvoorbeeld de timing van de voortplanting en het slaap-waakritme én kan leiden tot stofwisselingsveranderingen.

8.3.3

Je kunt beschrijven wat ethologie inhoudt en een eenvoudig gedragsonderzoek uitvoeren.

- Ethologie: de studie van het gedrag.
  - Gedrag wordt bestudeerd door het op te splitsen in afzonderlijke handelingen.
  - Ethogram: een objectieve beschrijving van de handelingen van een diersoort.
  - Protocol: een lijst van achtereenvolgens waargenomen handelingen van een dier.

8.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt verklaren dat gedrag deels erfelijk is bepaald.

- Gedrag wordt bepaald door prikkels, erfelijke eigenschappen (nature, instinct) en aangeleerde eigenschappen (nurture, ervaring).
- Aangeboren (erfelijk bepaald) gedrag zorgt voor een vaste reactie op prikkels, waardoor de overlevingskans kan toenemen.
- Sleutelprikkel: prikkel die een doorslaggevende rol speelt bij het ontstaan van bepaald gedrag.
  - De respons op een sleutelprikkel is gebaseerd op erfelijke informatie en is altijd hetzelfde.
- Supranormale prikkel: prikkel die een grotere kans op respons geeft dan de sleutelprikkel.

8.4.2

Je kunt leerprocessen herkennen en beschrijven en de functie daarvan uitleggen.

- Leren: een blijvende gedragsverandering onder invloed van externe prikkels, die de overlevingskans van individuen vergroot.
- Gewenning: een bepaalde reactie op een prikkel wordt afgeleerd bij herhaling van die prikkel.
- Inprenting: vastleggen van een leerervaring gedurende een korte gevoelige periode.
- Imitatie (nabootsing): leren door het gedrag van soortgenoten na te doen.
- Conditionering: bepaald gedrag wordt geleerd door positieve of negatieve ervaringen.
  - Proefondervindelijk leren (trial and error): conditionering onder natuurlijke omstandigheden.
  - Geconditioneerde reflex (klassiek conditioneren): een kunstmatige prikkel veroorzaakt een bepaald gedrag dat oorspronkelijk door een natuurlijke prikkel werd veroorzaakt (pavlovreactie). Er wordt een verband aangeleerd tussen gedrag en de prikkels daaraan voorafgaand.
  - Operant conditioneren: het beïnvloeden van gedrag door het gedrag te belonen (skinnerbox). Er wordt een verband aangeleerd tussen gedrag en het daaropvolgende resultaat.
- Inzicht: in een onbekende situatie wordt de oplossing van een probleem gevonden door ervaringen op een andere wijze te combineren.

8.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt de functies van verschillende vormen van sociaal gedrag uitleggen en aangeven hoe dit gedrag de overlevingskansen van organismen beïnvloedt.

- Sociaal gedrag: gedrag van soortgenoten ten opzichte van elkaar.
- Samenleven in een groep kan de kans op overleven vergroten (zowel voor het individu als voor de groep).
- Communicatie tussen soortgenoten komt tot stand door signalen.
- Signaal: handeling bij sociaal gedrag die als prikkel werkt voor de (volgende) handeling van een soortgenoot.
- Rangorde: volgorde binnen een groep dieren van dominant naar minst dominant.

  - Imponeergedrag: gedrag waarbij een dier zich zo groot en indrukwekkend mogelijk maakt.
  - Dreiggedrag: gedrag waarmee de dieren aan elkaar tonen hoe sterk ze zijn, zonder dat het tot vechten komt.
  - Verzoeningsgedrag: gedrag van een ondergeschikt dier ten opzichte van een dominante soortgenoot, bedoeld om agressie van het dominante dier te verminderen.
  - Een duidelijke rangorde zorgt voor minder conflicten in een groep.
- Territoriumgedrag: gedrag van een individu met als doel een territorium af te bakenen (met voldoende voedsel en ruimte voor nakomelingen) en te verdedigen.
  - Veel dieren vertonen op de grens van het territorium dreiggedrag.
  - Territoriumgedrag zorgt voor minder conflicten tussen soortgenoten.
- Conflictgedrag: gedrag dat ontstaat bij even sterke motivatie voor twee gedragssystemen.
  - Overspronggedrag: vorm van conflictgedrag met een signaalfunctie. Bij overspronggedrag laat het dier gedrag zien uit een derde gedragssysteem.
- Balts: geritualiseerd gedrag dat aan de paring voorafgaat en de voortplantingsdrang vergroot.
- Paringsgedrag: gedrag dat dieren vertonen tijdens het paren.
- Bronst: periode waarin zoogdieren paringsbereid zijn.
- Broedzorg: gedrag waarin voor de eieren en/of de nakomelingen wordt gezorgd.

8.5.2

Je kunt uitleggen hoe sociaal gedrag evolueert.

- Wanneer sociaal gedrag de overlevingskans van de soort vergroot, dan vindt er selectie plaats in het voordeel van dit gedrag.
  - Sociaal gedrag kan worden doorgegeven via genen (erfelijk) of via leerprocessen.

8.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt aan de hand van een context toelichten wat de overeenkomsten en verschillen zijn tussen gedrag bij mensen en dieren.

- Mensen zijn dieren, dus ook bij hen wordt gedrag bepaald door (interne en externe) factoren, door erfelijke factoren en leerprocessen.
- Mensen reageren ook op sleutelprikkels en supranormale prikkels.
  - Voorbeeld sleutelprikkel: grote ogen en rond gezicht bij baby's roept verzorgingsgedrag op.
  - Voorbeeld supranormale prikkel: felle kleuren in reclames roept koopgedrag op.
  - Respons van mensen op sleutelprikkels en supranormale prikkels is minder voorspelbaar dan bij dieren, door bewustzijn kunnen mensen de respons afleren.
- Mensen kennen dezelfde leerprocessen, maar deze spelen een grotere rol dan bij dieren.
  - Groter leervermogen o.a. door grotere hersenen en ontwikkeling van hersenschors.
  - Mensen kunnen communiceren met taal (verbale communicatie), dieren niet.
  - Mensen zijn ook gevoelig voor activatie van het beloningscentrum, waardoor er een geluksgevoel ontstaat onder invloed van dopamine. Hierdoor kan bepaald gedrag verslavend zijn.
- Mensen hebben een groot empathisch vermogen: ze kunnen zich inleven in een situatie, gedachten en emoties van anderen.
  - Mensen steunen elkaar uit medeleven, zelfs zonder dat er nauwe verwantschap bestaat.
  - Empathie wordt bij steeds meer dieren aangetoond, bijvoorbeeld bij mensapen, olifanten, prairiewoelmuizen.
- Moreel bewustzijn: mensen kunnen nadenken over hun gedrag en hun gedrag beoordelen.
  - Mensen kunnen bewuste keuzen maken. Hieruit ontstaan normen en waarden. Een norm is een gedragsregel, gebaseerd op een waarde.
  - Normen en waarden zijn aangeleerde eigenschappen en verschillen per cultuur.
- Cultuur: de manier waarop mensen met de natuur, met elkaar en met zichzelf omgaan. De mensheid kent veel verschillende culturen.
- Groepsgedrag: gedrag dat mensen vertonen in een groep en dat typisch is voor de leden van die groep.
- Mensen kennen ook rolpatronen en vertonen rolgedrag. Dit is afhankelijk van de situatie.

SAMENHANG

8.S.1 Je kunt het voorkomen van empathie bij prairiewoelmuizen toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

8.S.2 Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair denken en vorm-functiedenken toepassen op het empathisch vermogen van de prairiewoelmuis.

ONDERZOEK - PRACTICA

8.O.1 Je kunt de overeenkomsten en verschillen in bouw van een mensenoog en een koeienoog herkennen en benoemen.

8.O.2 Je kunt een eigen onderzoek opzetten en uitvoeren en daarmee de drempelwaarde van een zintuig voor een adequate prikkel bepalen.

8.O.3 Je kunt een eigen onderzoek opzetten en uitvoeren en daarmee de nauwkeurigheid van een zintuig bepalen voor een bepaalde prikkel.

Ga naar de *Flitskaarten* en de *Oefentoets*.

NOTITIES

EXAMENOPGAVEN

LUI OOG VERHELPEN MET COMPUTERSPELLETJES

Bron: pilot-examen vwo 2012-2, vraag 27 t/m 31.

De 6-jarige Ben Michaels zag bijna niets meer met zijn rechteroog. Totdat artsen hem voorschreven om twee uur per dag *Mario Kart DS* (een racespel op de spelcomputer) te spelen.

> Bij het spelen met *Mario Kart DS* werd zijn linkeroog afgeplakt (occlusietherapie) en mocht hij alleen zijn rechteroog gebruiken. Na een week zag hij al veel beter met dit oog. Ben Michaels had een 'lui oog'. In de medische wereld heet dit amblyopie. Amblyopie is een visuele afwijking, waarbij de informatie van een van de ogen in de hersenschors wordt onderdrukt. Het komt bij kinderen vrij veel voor. Behandeling heeft eigenlijk pas zin als de oorzaak die tot het luie oog heeft geleid, uit de weg is geruimd.

Amblyopie kan worden veroorzaakt door elke situatie die de beeldvorming van een oog nadelig beïnvloedt. Een van de oorzaken is scheelzien, waarbij de ogen niet op hetzelfde punt worden gericht.

2p **1** Noem nog twee mogelijke oorzaken van amblyopie.

3p **2** Leg uit waardoor scheelzien een lui oog kan veroorzaken.

In eerste instantie lukte het niet om het luie oog van Ben te behandelen. De arts schreef daarom atropine voor, dat regelmatig in het linkeroog moest worden gedruppeld. Een van de effecten van atropine is dat de pupil zich verwijdt. Ben kon tijdelijk zijn linkeroog niet gebruiken voor dichtbij zien, doordat als gevolg van atropine ook zijn accommodatiespier tijdelijk niet werkte.

2p **3** Welke spieren in de iris van dat oog zijn ontspannen door de atropine? Zijn de lensbandjes in dat oog dan wel of niet gespannen door de atropine?

	Irisspieren die ontspannen	De lensbandjes zijn dan
A	kringspieren	niet gespannen
B	kringspieren	gespannen
C	straalsgewijs lopende spieren	niet gespannen
D	straalsgewijs lopende spieren	gespannen

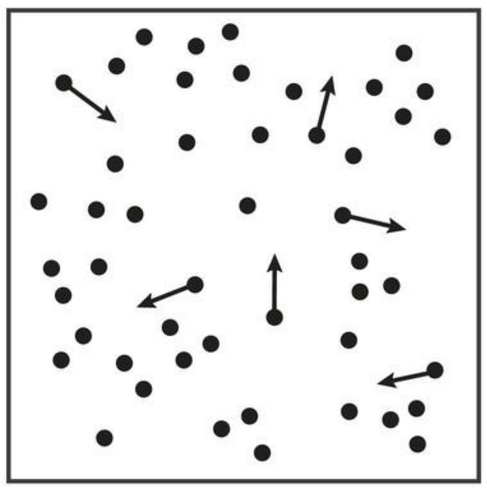
In plaats van atropine had de arts Ben ook een bril met een bepaalde sterkte voor het goede oog kunnen voorschrijven, waardoor dit oog zou worden beperkt in het dichtbij zien. Door dit glas zou er, als Ben iets van dichtbij bekijkt, geen scherp beeld op het netvlies vallen.

2p **4** Is het brillenglas voor het goede oog in dit geval divergerend of convergerend? Wordt, bij het dichtbij zien, het scherpe beeld hierdoor vóór of achter het netvlies van het goede oog geprojecteerd?

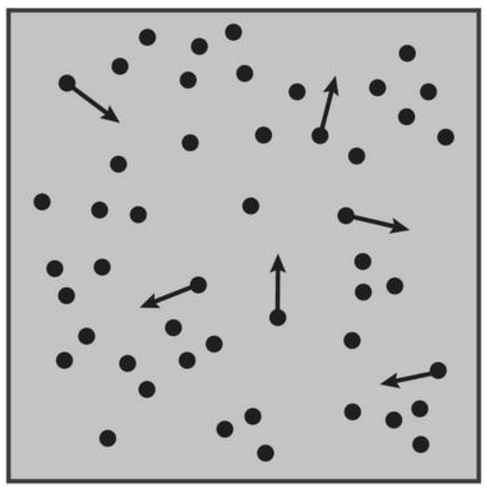
	Brillenglas is	Scherp beeld valt
A	convergerend	voor het netvlies
B	convergerend	achter het netvlies
C	divergerend	voor het netvlies
D	divergerend	achter het netvlies

Ben moest zijn luie oog goed oefenen. Op dit moment zijn daar allerlei hulpmiddelen voor. Ze komen erop neer dat een visuele taak telkens wordt herhaald. Eén techniek is erop gebaseerd dat men beelden aanbiedt, bijvoorbeeld bewegende stippen op een beeldscherm die weinig contrast met de achtergrond hebben (zie afbeelding 1). De nieuwste therapieën gaan ervan uit dat daarbij het goede oog niet mag worden afgeplakt, omdat dit ten koste gaat van de samenwerking van de ogen. Aan de McGill University in Montreal ontwikkelden orthoptisten een stereokijksysteem waarbij het luie oog andere informatie krijgt dan het goede oog. In een proef varieerden zij het contrast van de beelden die naar het goede en het luie oog werden gestuurd en noteerden hoe goed het luie oog dan was in het herkennen van bewegende stippen tegen een bepaalde achtergrond. Als gevolg van het variëren van het contrast veranderde ook het effect van de samenwerking tussen beide ogen.

■ **Afb. 1** Beeld met maximaal en geleidelijk minder contrast.



1 beeld met maximaal contrast



2 beeld met geleidelijk minder contrast

Bij aanvang kregen beide ogen het beeld met maximaal contrast. De prestaties van het luie oog bij dit contrast zijn op 100% gesteld. Daarna werd het contrast voor het goede oog geleidelijk verminderd, van 0,8 naar 0,2. Een contrast van 0,2 betekent dat het goede oog vijfmaal minder contrastrijke beelden kreeg aangeboden dan het luie oog. Het contrast voor het luie oog werd maximaal gehouden. De resultaten van dit onderzoek zijn vermeld in tabel 1.

Tabel 1 Meetresultaten. Contrast van de beelden voor het goede oog.

Contrast van de beelden voor het goede oog	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,0
Gemiddelde prestatie van het luie oog	100%	116%	127%	130%	160%	

2p **5** Wat is in deze situatie waarschijnlijk de prestatie van het luie oog als het contrast van de beelden voor het goede oog is teruggebracht naar 0,0?

A minder dan 100%
B tussen de 100% en 160%
C meer dan 160%

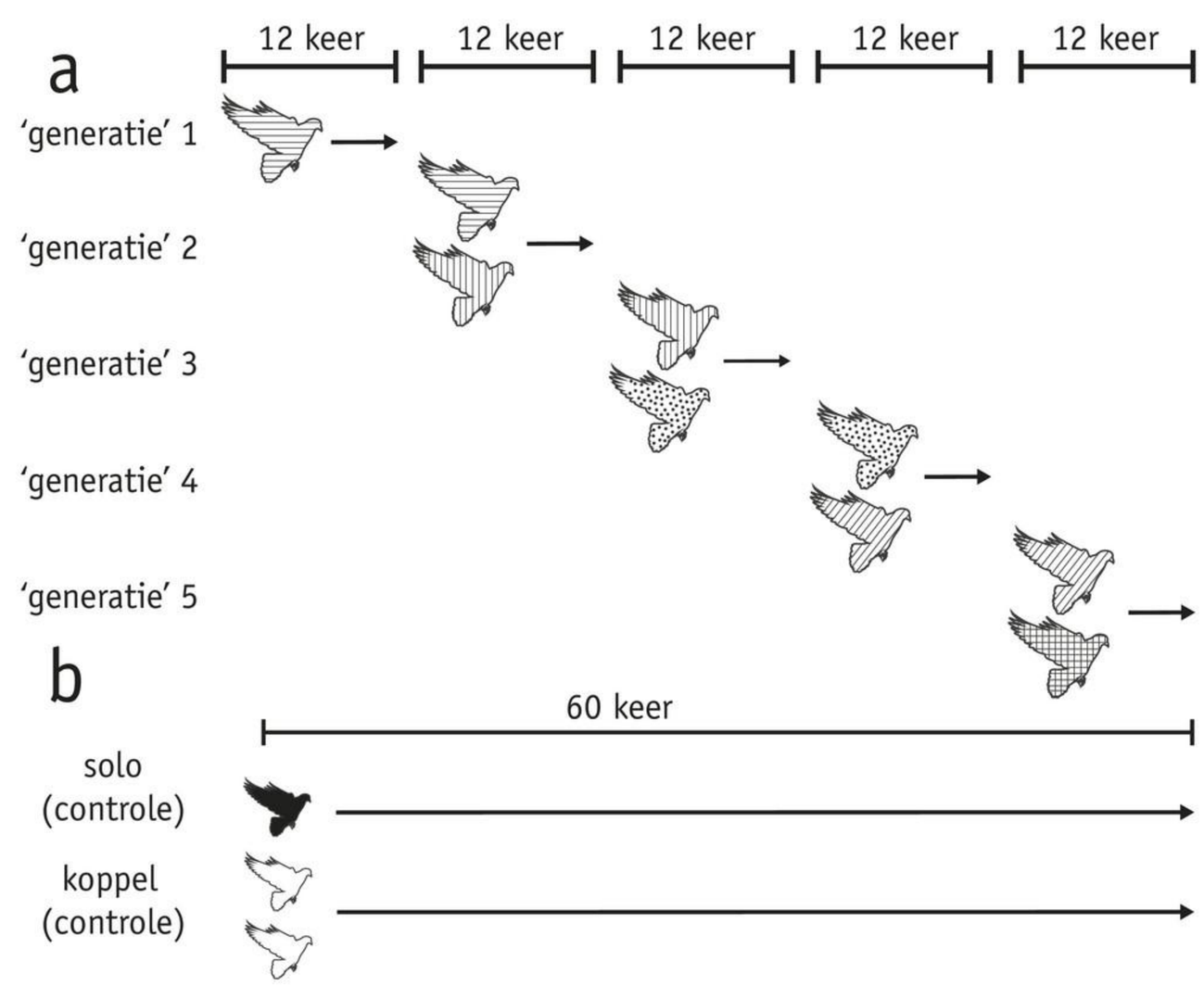
SNELLE VLIEGROUTES

Naar: Nederlandse Biologie Olympiade 2023, vraag 7 en 8.

Wetenschappers onderzochten of postduiven hun kennis van vliegroutes kunnen delen met jongere generaties. In een experiment bonden ze postduiven een zendertje om, waarmee de gevlogen afstand kon worden bepaald. Ze lieten een postduif (duif nummer 1) naar huis terug vliegen, een afstand van hemelsbreed 8,6 km. Dit werd hierna met dezelfde duif elf keer herhaald. Daarna mocht deze duif samen met duif nummer 2 naar huis vliegen. Dit werd ook twaalf keer gedaan. Vervolgens vloog nummer 2 samen met nummer 3, enzovoort. Door steeds de meest ervaren duif in het koppel te vervangen door een nieuweling werd een opeenvolging van vijf generaties gesimuleerd. Deze groep duiven wordt de experimentele groep genoemd (zie onderdeel a in afbeelding 2).

Het hele onderzoek werd negen keer herhaald met andere postduiven, zodat de grootte van de experimentele groep per 'generatie' tien bedroeg (N = 10). Daarnaast waren er als controle tien soloduiven en tien koppels die elk 60 vluchten maakten (zie onderdeel b in afbeelding 2).

■ **Afb. 2**



Van elke vlucht werd de route-efficiëntie bepaald:

$$\text{route-efficiëntie} = \frac{\text{afstand in rechte lijn}}{\text{afgelegde afstand}}$$

2 HORMONALE REGULATIE

LEERDOELEN

7.2.1 Je kunt beschrijven op welke manieren hormonen de cellen van weefsels en organen kunnen beïnvloeden.

7.2.2 Je kunt de werking van hormoonklieren en hun hormonen beschrijven en afleiden hoe doelwitorganen op de hormonen reageren.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	7.2.1	7.2.2
Begrijpen	14, 15	16, 17, 18
Toepassen	25	21abe, 23, 24ac
Analyseren	19, 20	21cd, 22, 24b, 26

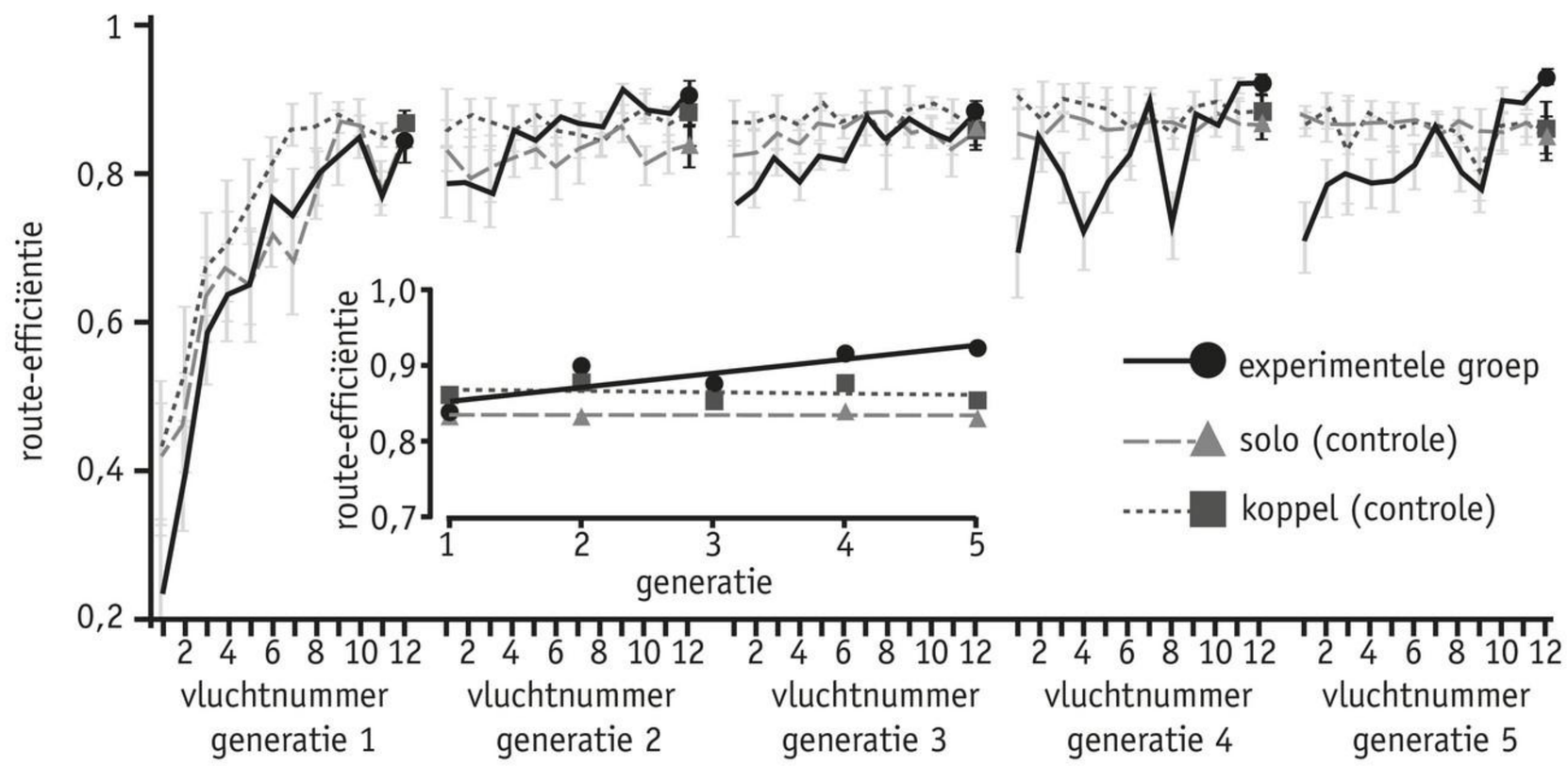
Hormonen regelen lichaamsprocessen. Er zijn veel verschillende hormonen. Waarom reageren sommige cellen wel op een bepaald hormoon en andere cellen niet? En wat gebeurt er als je lichaam te veel of te weinig van een bepaald hormoon aanmaakt?

HORMONEN

Voor homeostase in meercellige organismen is communicatie tussen cellen nodig. In organismen vindt via **signaalstoffen** communicatie tussen cellen plaats. De signaalstoffen die cellen van **hormoonklieren** afgeven zijn **hormonen**. Ze worden afgegeven aan het bloed dat langs de hormoonklier stroomt. Via het bloed worden de hormonen door het hele organisme vervoerd. Vanuit de bloedvaten gaan hormonen naar alle cellen van een organisme. De hormonen zijn alleen werkzaam in organen (of weefsels) waarvan de cellen **receptoren** bezitten waaraan het hormoon kan binden (zie afbeelding 9). Dit noem je het **doelwitorgaan**. De binding kan in deze cellen een reactie op gang brengen of een reactie stoppen. De mate van reactie van een doelwitorgaan wordt onder andere bepaald door de **hormoonconcentratie** (hormoonspiegel) in het bloed en door het aantal **hormoonreceptoren** voor een bepaald hormoon op of in de cellen van het doelwitorgaan. Doordat hormonen vaak lang in het bloed en in het weefsel van doelwitorganen aanwezig blijven, houden de effecten lang aan. Hormonen reguleren onder andere geleidelijke processen die uitwerking hebben op het hele lichaam, zoals groei en ontwikkeling, stofwisseling en voortplanting.

Na analyse van de resultaten bleek dat de experimentele groep van opeenvolgende 'generaties' duiven het beter bleek te doen dan de controlegroepen.
Afbeelding 3 toont de gemiddelde route-efficiëntie van alle vluchten. In het kleine diagram staan gemiddelde waarden van de twaalfde vlucht en de lineaire verbanden (trendlijnen).

■ **Afb. 3**



Over de resultaten van dit experiment worden de volgende beweringen gedaan:

I Duiven zijn in staat te leren van andere duiven.

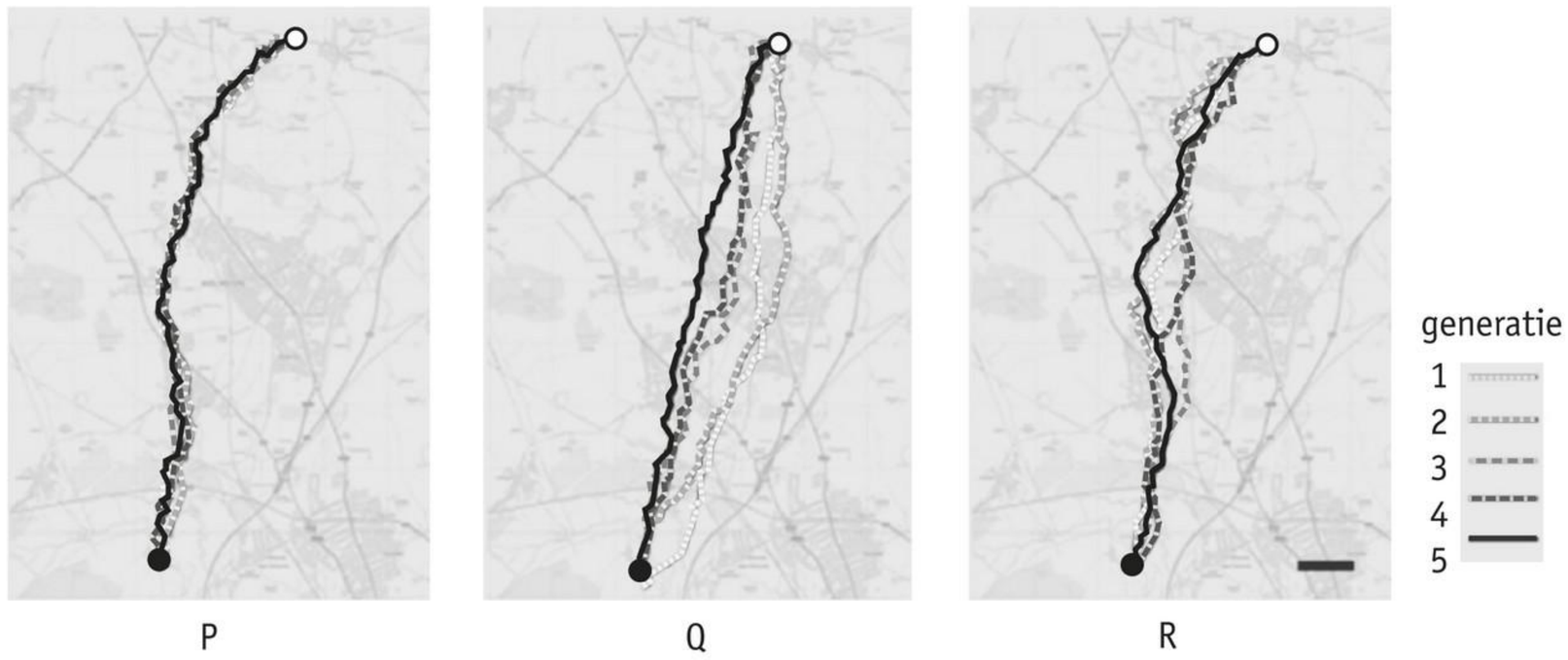
II Controle-koppels vliegen de 60e keer gemiddeld een kortere route dan de 24e keer.

III Een duif in de controlegroep die solo heeft moeten vliegen heeft meer vluchten moeten maken dan het koppel duiven in de controlegroep.

2p **6** Geef van iedere bewering aan of deze juist of onjuist is.

In afbeelding 4 zijn van de experimentele groep en de controlegroepen de gps-informatie van de twaalfde vlucht van elke generatie weergegeven op de kaartjes P, Q en R.

■ **Afb. 4**



1p **7** Welk kaartje hoort bij de experimentele groep?

Ga naar de *Examentrainer.*

NOTITIES

REGISTER

A

aangeboren 140
aangeleerd 140
accommodatie 120
achterste oogkamer 113
actiepotentiaal 58
actine 71
adaptatie 111
adequaat gedrag 132
adequate prikkel 111
ADH 22
adrenaline 29
animale zenuwstelsel 37
antagonisten 77
antidiuretisch hormoon 22
autonome zenuwstelsel 37

B

balts 157
bijnieren 29
bijziend 122
biologische klok 135
blinde vlek 113
broedzorg 158
bronst 157

C

cascade 20
cell junction 39
cellen van Schwann 38
centra in de hersenschors 43
centra voor zien in de hersenschors 118
centrale zenuwstelsel 36
chemische receptoren 110
communicatie 154
conditionering 145
coolingdown 78

D

doelwitorgaan 18
doping 78
dreiggedrag 156
drempelwaarde 111
duurtraining 77
dwarsgestreept spierweefsel 70
dynamisch evenwicht 10

E

effector 10
eilandjes van Langerhans 26
endocrien 19
epo 28
erfelijk 140
ethogram 135
exciterend 64
exocrien 19
externe factoren 134

G

gedrag 132
gedragselementen 133
gedragssysteem 133
gele vlek 113
gewenning 111, 144
glad spierweefsel 70
glucagon 26
glucoseconcentratie 10
grijze stof 42
groepsgedrag 169
grote hersenen 43

H

hersenschors 42
hersenstam 42
homeostase 10
hormonen 18
hormoonconcentratie 18
hormoonklieren 18
hormoonreceptoren 18
hormoonstelsel 21
hypofyse 22
hypothalamus 22

I

imitatie 145
imponeergedrag 156
impulsen 37
impulsgeleiding 57
inhiberend 64
inprenting 144
instinct 141
insuline 26
interne factoren 134
inwendige milieu 10
inzicht 148
ionenpompen 58

K

kegeltjes 126
klassiek conditioneren 145
kleine hersenen 43
krachttraining 77

L

langzame spiervezels 77
lenswerking 119
lichtreceptoren 110

M

mechanische receptoren 110
motorische neuronen 40
myelineschede 38
myosine 71

N

natrium-kaliumpompen 58
nature-nurture 140
negatieve terugkoppeling 11
netvlies 113
neuronen 38
neurotransmitters 38

O

ooglens 113
operant conditioneren 147
optisch chiasma 128
orthosympatische zenuwstelsel 53
overspronggedrag 156

P

parasympatische zenuwstelsel 53
paringsgedrag 158
peesspoeltjes 76
peptide- of eiwithormonen 20
perifere zenuwstelsel 36
pezen 71
pijnreceptoren 110
positieve terugkoppeling 11
prikkeldrempel 59
prikkels 37
protocol 135
pupil 113
pupilreflex 124

R
receptor in het celmembraan 20
receptor in het cytoplasma 20
receptoren 18, 38
reflexboog 51
refractaire periode 59
regelkring 10
releasing hormonen 23
respons 133
RH 23
ruggenmerg 44
rustpotentiaal 57

S
schakelneuronen 40
schildklier 25
schildklierhormoon 25
second messenger 20
sensorische neuronen 40
signaalcascade 20
signaalstoffen 18
signaalverwerking 37
sleutelprikkel 142
snelle spiervezels 77
sociaal gedrag 152
spiercellen 70
spierspanning 76
spierspoeltjes 76
spiervezels 70
sprongsgewijze
impulsgeleiding 62
staafjes 126
stereoscopie 128
steroïdhormonen 20
stofwisselingsveranderingen 135
supranormale prikkel 142
synapsen 39

T
tastreceptoren 110
temperatuurreceptoren 110
territoriumgedrag 156
tonus 76
trial and error 145

U
uithoudingsvermogen 77
uitwendige milieu 11

V
verziend 122
verzoeningsgedrag 156
voedingsgedrag 133
voorste oogkamer 113
voortplantingsgedrag 133

W
warming-up 77
witte stof 42

Z
zenuwcellen 38
zenuwen 41
zenuwstelsel 36
zintuigen 109
zuurstofconcentratie 10

COLOFON

ONTWERP BINNENWERK
Bianca Enthoven

ONTWERP OMSLAG
Michael Brugmans (Kimmic concept & design)
Bianca Enthoven

UITVOERING BINNENWERK
Crius Group

EINDREDACTIE
Claud Biemans
Arthur Jansen

AUTEURS
Michelle Sparnaaij
Arthur Jansen

BUREAUREDACTIE
Grada Hooijer
Maurice Breugelmans

BEELDRESEARCH
BenU International Picture Service, Amsterdam

FOTO'S EN ILLUSTRATIES
123RF, bluestock: blz. 136 (37); 123RF, dvarg: blz. 127 (25); AdobeStock, Aldona: blz. 88; ANP / Science Photo Library, Eye of Science: blz. 46, 110 (3.1); ANP, Flip Franssen: blz. 12; ANP, Linda Kaiser: blz. 139; ANP, Science Photo Library: blz. 27 (17.3), blz 70 (68.1-68.3 o); Bas Teunis Zoological Illustrations, Sinderen: blz. 32, 160; Chris Fokke / Medische Fotografie Gelre ziekenhuizen: blz. 49; Circannual Control of Hibernation by HP Complex in the Brain, Noriaki Kondo et al., DOI:https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.03.017, Copyright © 2006 Elsevier Inc. All rights reserved.: blz. 16, 17; Edwin Verbaal / Verbaal Visuele Communicatie, Nijmegen (naar: Sciencespace.nl / Connie Morsing): blz. 129 (28); Edwin Verbaal / Verbaal Visuele Communicatie, Nijmegen: blz. 11, 37, 62, 82, 110 (3.2), 113 (6.2), 115 (9), 119, 120, 121, 122, 123, 124 (20 o), 127 (24), 128, 136 (36.2), 142 (43), 146 (49.2), 148 (51), 172 (83.1); Emory University, Larry Young: blz. 174; Erik Eshuis Infographics, Groningen: blz. 31, 42 (33), 47, 66, 67 (64), 79, 133, 135, 136 (36.1), 147 (50.2), 177; Getty Images, Ian West / PA Images: blz. 24; Henk van der Vrande: blz. 71, 77, 109 (2), 118; Imageselect / Alamy Stock Photo, Blickwinkel: blz. 104, 157 (63.3); Imageselect / Photo Researchers, Science History Images : blz. 39 (29); Imageselect / Science Source, Biophoto Associates: blz. 72; Imageselect / Science Source, Ralph C. Eagle Jr.: blz. 126 (22); Jacopo Larcher / www.jacopolarcher.com: blz. 8; Jan Daanen - Medilan Maastricht (naar: Sasaki, T., Biro, D. Cumulative culture can emerge from collective intelligence in animal groups. Nat Commun 8, 15049 (2017). https://doi.org/10.1038/ncomms15049): blz. 188; Jan Daanen - Medilan, Maastricht: blz. 109 (1), 115 (10), 116 (11.1), 125, 130 (30), 140, 141 (41), 143 (45), 147 (50.1), 153 (58), 171 (80), 187; Jeannette Steenmeijer, Zwolle: blz. 14 (4), 15, 28, 54, 57, 60 (54), 64, 67 (63), 87, 163 (72.2); Map image: OS data r Crown copyright and database right (2017)., Sasaki, T., Biro, D. Cumulative culture can emerge from collective intelligence in animal groups. Nat Commun 8, 15049 (2017). https://doi.org/10.1038/ncomms15049: blz. 189 (4); Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: blz. 14 (5), 19 (9, 10), 20, 21 (11.2, 12), 22, 23, 25, 26, 27 (17.2), 29, 30, 35, 36, 38, 39 (30), 40, 41, 42 (34), 43, 44, 45, 48, 51, 52 (47), 53, 56, 58, 59, 61, 63, 65, 68 (65), 69, 70 (68.1-68.3 b), 73, 74, 75, 76, 80, 85, 98, 100; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: blz. 116 (11.2); Nature in Stock / FLPA, Winfried Wisniewski: blz. 156 (62.1); Nature in Stock / Naturepl, Will Burrard-Lucas: blz. 154; Nature in Stock, Tony Heald / Naturepl: blz. 156 (62.2); Sasaki, T., Biro, D. Cumulative culture can emerge from collective intelligence in animal groups. Nat Commun 8, 15049 (2017). https://doi.org/10.1038/ncomms15049: blz. 189 (3); Shutterstock, Andrey_Popov: blz. 112; Shutterstock, Arif Supriyadi: blz. 158 (66); Shutterstock, BAZA Production: blz. 111; Shutterstock, Beaves: blz. 152; Shutterstock, Catchlight Lens: blz. 158 (67.2); Shutterstock, chaoss: blz. 78 (78.1); Shutterstock, chatuphot: blz. 33; Shutterstock, Chayanin Wongpracha: blz. 171 (81); Shutterstock, Cora Mueller: blz. 132; Shutterstock, CreativeAngela: blz. 165 (74); Shutterstock, creativemarc: blz. 153 (57.1); Shutterstock, Dado Photos: blz. 130 (29); Shutterstock, DC Studio: blz. 81; Shutterstock, DimaBerlin: blz. 168 (79.1); Shutterstock, Estrada Anton: blz. 107; Shutterstock, Evgeny Atamanenko: blz. 134; Shutterstock, Galina Savina: blz. 159 (68.2); Shutterstock, Geoff Robinson Photography: blz. 145; Shutterstock, Georgi Fadejev: blz. 164; Shutterstock, Giedriius: blz. 157 (65); Shutterstock, Gilmanshin: blz. 146 (49.1); Shutterstock, Ground Picture: blz. 78 (78.2), 167 (78); Shutterstock, hansen.matthew.d: blz. 153 (57.2); Shutterstock, ImageBROKER on Offset / Bernd Zoller: blz. 159 (68.1); Shutterstock, ImageBROKER on Offset / Lawrence Lu: blz. 157 (64.1); Shutterstock, ImageBROKER on Offset / Stefan Huwiler: blz. 157 (64.2); Shutterstock, Indre Pau: blz. 165 (75); Shutterstock, Irina Bg: blz. 113 (6.1); Shutterstock, Jakkrit Orrasri: blz. 52 (46); Shutterstock, Jolanda Aalbers: blz. 168 (79.2); Shutterstock, Juice Dash: blz. 6; Shutterstock, Karel Gallas:

blz. 149; Shutterstock, KPhrom: blz. 157 (63.2); Shutterstock, Lauren Suryanata: blz. 114 (8); Shutterstock, LightField Studios: blz. 117; Shutterstock, LittleDogKorat: blz. 141 (42.2); Shutterstock, Lyubov Levitskaya: blz. 166; Shutterstock, M. Leonard Photography: blz. 161; Shutterstock, Maciej Olszewski: blz. 163 (72.1); Shutterstock, Matt Cornish: blz. 159 (69); Shutterstock, Mint Images on Offset: blz. 143 (46); Shutterstock, Monkey Business Images: blz. 167 (77); Shutterstock, New Africa: blz. 13; Shutterstock, N-sky: blz. 148 (52); Shutterstock, Petr Simon: blz. 141 (42.1); Shutterstock, Pheobus: blz. 157 (63.1); Shutterstock, Rawpixel.com: blz. 172 (83.2); Shutterstock, Robert Przybysz: blz. 129 (27); Shutterstock, Said Fx: blz. 137 (38.1); Shutterstock, santassita: blz. 68 (66); Shutterstock, Sinesp: blz. 9; Shutterstock, solomon7: blz. 172 (82); Shutterstock, sruilk: blz. 124 (20 b); Shutterstock, SteffenTravel: blz. 60 (55); Shutterstock, Subbotina Anna: blz. 131; Shutterstock, Valeriya Popova 22: blz. 50; Shutterstock, Vishnevskiy Vasily: blz. 142 (44); Shutterstock, Wild_and_free_naturephoto: blz. 155 (60); Shutterstock, WildMedia: blz. 155 (61); Shutterstock, William Perugini: blz. 172; Shutterstock, Yok_onepiece: blz. 137 (38.2); Shutterstock, Yori Hirokawa: blz. 158 (67.1); Shutterstock, zlikovec: blz. 114 (7); Trut L, Oskina I, Kharlamova A. Animal evolution during domestication: the domesticated fox as a model. Bioessays. 2009 March 31(3):349-60. doi: 10.1002/bies.200800070. PMID: 19260016, PMCID: PMC2763232: blz. 101; Universiteit Utrecht, Faculteit Bètawetenschappen, Catherine Marin: blz. 151.

Omslag: Jana Behr / Shutterstock

ISBN 978 94 020 8071 1
Release 7.0, vierde oplage

Alle rechten voorbehouden. Geen tekst- en datamining toegestaan. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp).

Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden. ©2025 Malmberg 's-Hertogenbosch.

Ondanks vele inspanningen is het de uitgever misschien niet gelukt alle rechthebbenden te achterhalen. Wie denkt rechthebbende te zijn, kan zich wenden tot de uitgever.

Eindredactie
Claud Biemans
Arthur Jansen

Auteurs
Arthur Jansen
Michelle Sparnaaij

Biologie voor jou voor de bovenbouw van het vwo bestaat uit vijf boeken. Je leert in klas 4, 5 en 6 onder andere over de ontwikkeling van organismen. Ook jij maakt een ontwikkeling door: van een beginneling tot iemand met een goede kennis van de biologie.

Mannetjesmerels zijn helemaal zwart, vrouwtjes hebben een donkerbruine kleur. Jonge merels zijn altijd bruin en donzig. Merels in de stad zijn succesvoller dan merels in het bos. Ze hebben minder last van roofdieren, ziekten en parasieten. De stad is warmer en biedt meer voedsel, maar er is wel meer lawaai. Stadsmerels beginnen 's ochtends uren vroeger met zingen dan bosmerels, in de dan nog stille stad.

MAX

Je mag dit boek houden. Handig als naslagwerk.

Je mag in dit boek schrijven en aantekeningen maken.

Je hebt ook toegang tot de online leeromgeving.

Release 7.0

MIX
Papier | Ondersteunt verantwoord bosbeheer
FSC® C172387
FSC www.fsc.org

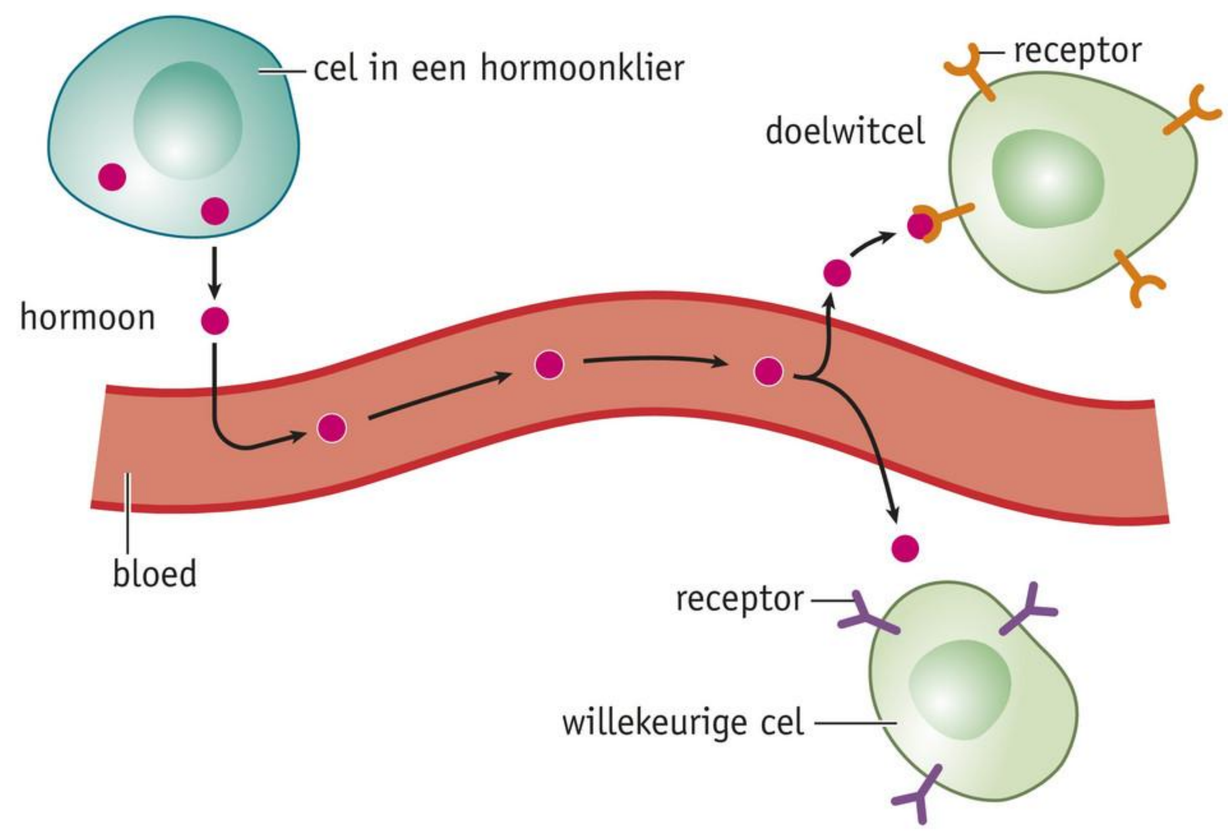
ISBN 978 94 020 8071 1

9 789402 080711

604426-04

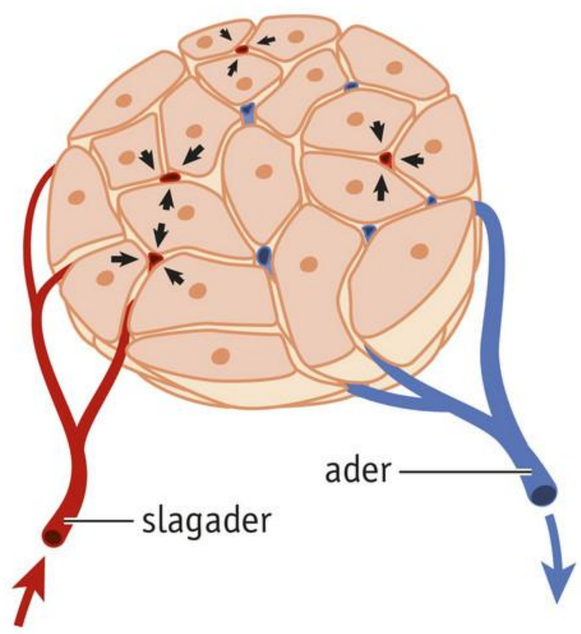
MALMBERG

■ **Afb. 9** Hormonen zijn alleen werkzaam in cellen van doelwitorganen.

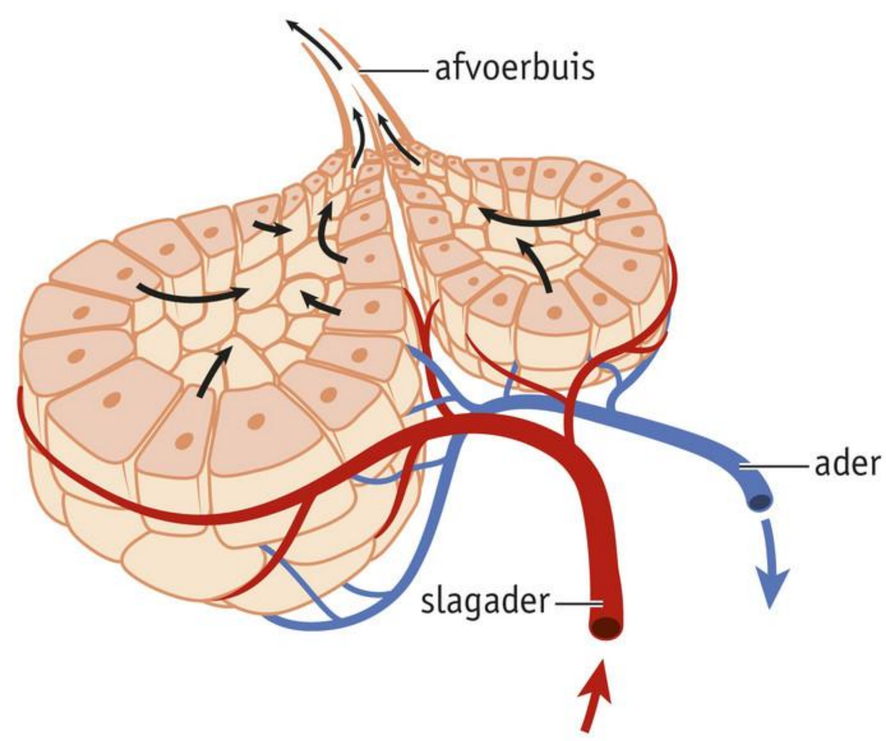


Een hormoonklier geeft de hormonen direct af aan het bloed. Je noemt zo'n klier een **endocriene** klier (zie afbeelding 10.1). De afgifte van hormonen door de hormoonklier heet secretie. Klieren met een afvoerbuis heten **exocriene** klieren (zie afbeelding 10.2). Zweetklieren en speekselklieren geven hun product af via een afvoerbuis. Dat heet uitscheiding (excretie).

■ **Afb. 10** Klieren en de afgifte van stoffen.



1 endocriene klier



2 exocriene klier

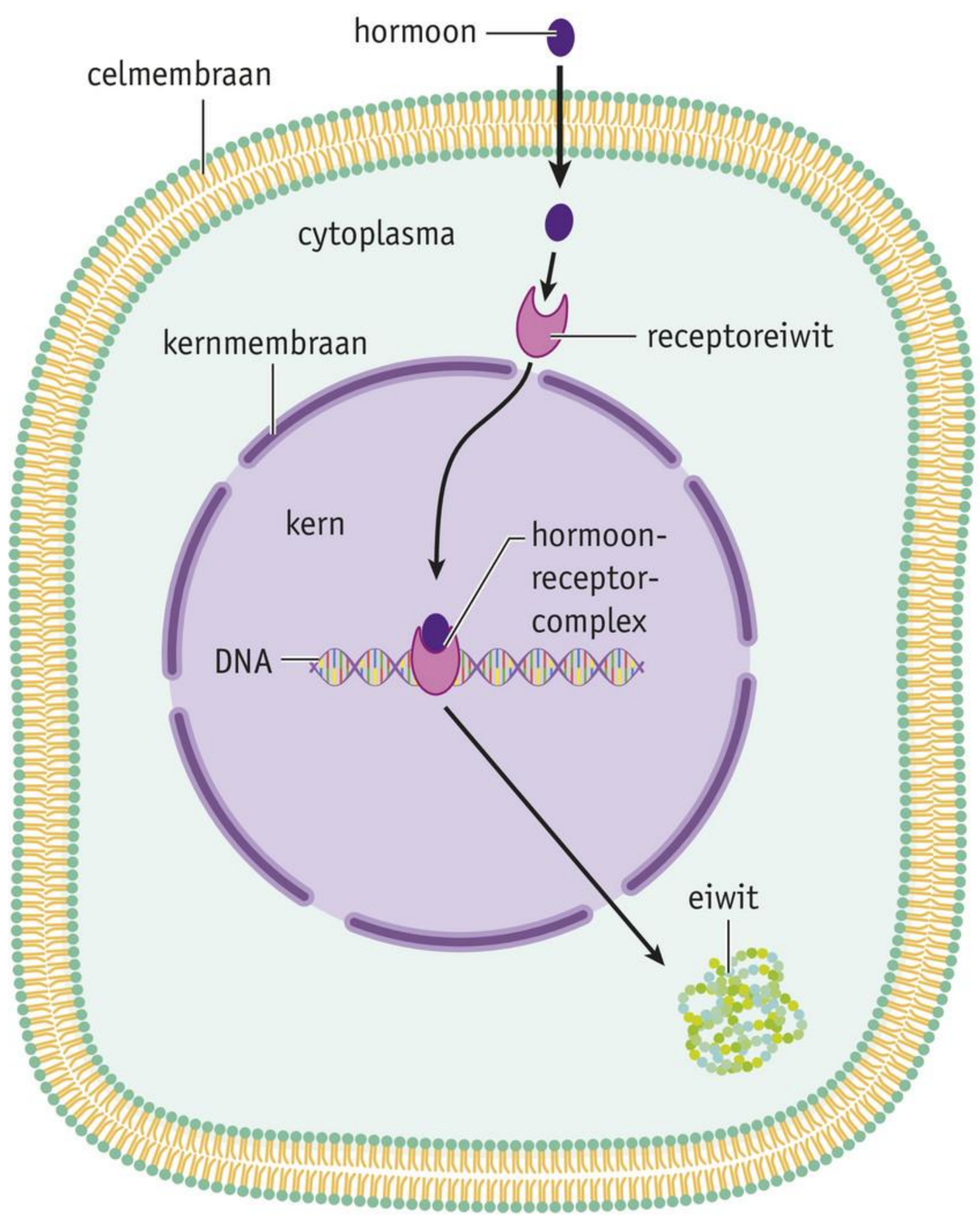
DE WERKING VAN HORMONEN

De meeste hormonen brengen een reactie in de cel op gang door te binden aan receptoren in het cytoplasma of receptoren in het celmembraan (zie *BiNaS* tabel 89B). **Steroïdhormonen** worden vaak gevormd uit cholesterol en hebben eigenschappen van vetten. Omdat ze in vet oplosbaar zijn, kunnen ze het celmembraan van cellen passeren. De receptoren waaraan ze kunnen binden bevinden zich in het cytoplasma. Door te binden aan een **receptor in het cytoplasma** ontstaat een hormoon-receptorcomplex (zie afbeelding 11.1). Het hormoon-receptorcomplex komt via een kernporie in het kernplasma en kan dan bepaalde genen in het DNA aan- of uitzetten. Wanneer een gen aanstaat, kan de cel eiwitten maken die bijvoorbeeld kunnen dienen als enzym, als hormoon of als receptoreiwit.

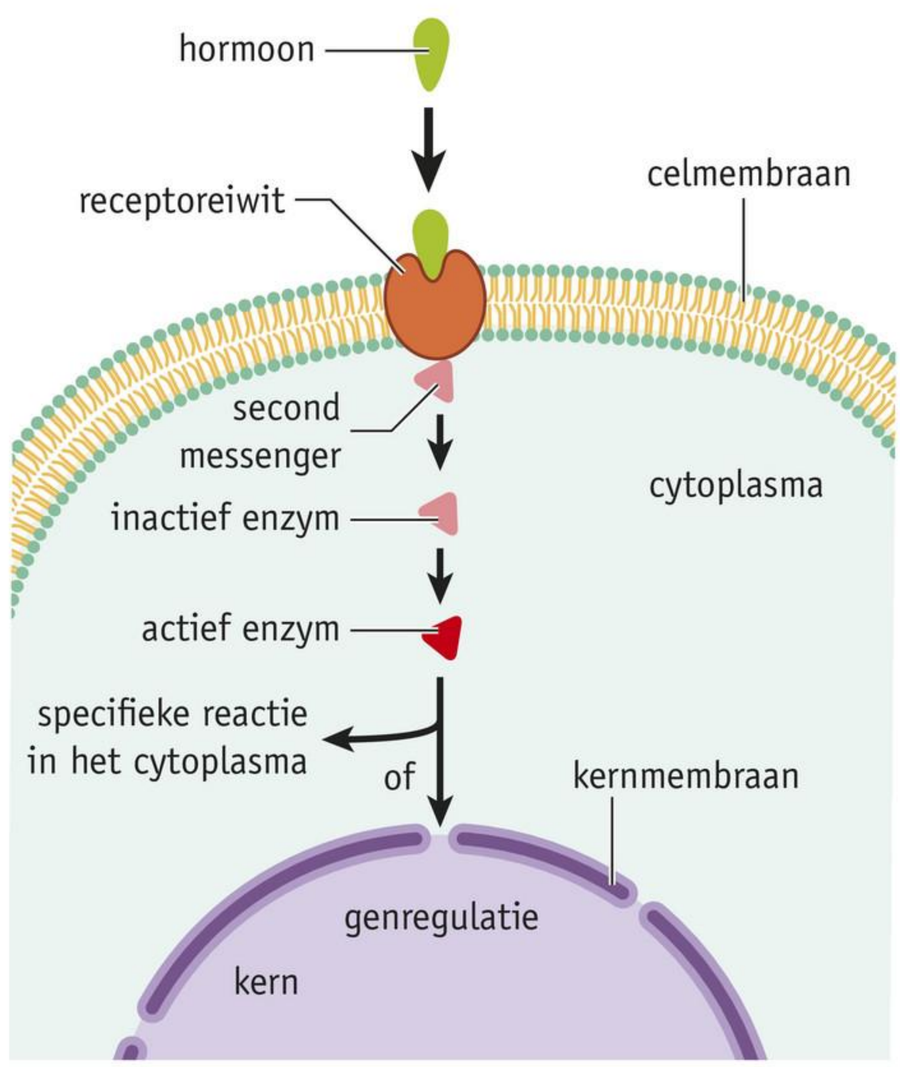
Peptide- of eiwithormonen zijn goed in water oplosbaar, maar kunnen door deze eigenschap het celmembraan niet passeren. Ze binden daarom aan een **receptor in het celmembraan** van de cellen van een doelwitorgaan (zie afbeelding 11.2). Aan de binnenzijde van het celmembraan wordt dan een bepaald signaalmolecuul gevormd of geactiveerd: de **second messenger**. De second messenger geeft het signaal in de cel door. Zo kan hij bijvoorbeeld een enzym activeren. Het geactiveerde enzym kan het signaal doorgeven aan een volgend signaalmolecuul, een specifieke reactie op gang brengen in het cytoplasma, of aanzetten tot genregulatie. Hierover leer je meer in thema 10. Sommige hormonen die wel de cel in kunnen, zoals adrenaline, oefenen ook hun invloed uit via second messengers.

Het signaal van een hormoon dat bindt aan een receptor in het celmembraan kan in de cel worden versterkt. Door het signaal binnen de cel door te geven van molecuul naar molecuul, worden veel signaalmoleculen geactiveerd, of grote hoeveelheden signaalmoleculen geproduceerd. Hierdoor kan een enkel signaal van buiten de cel (extracellulair) een enorme reactie binnen de cel (intracellulair) opwekken. Wanneer een signaal via meerdere schakels in de cel wordt doorgegeven, spreek je van een **signaalcascade**, of kortweg **cascade**.

■ **Afb. 11** Het hormoon-receptorcomplex.



1 de werking van een steroïdhormoon

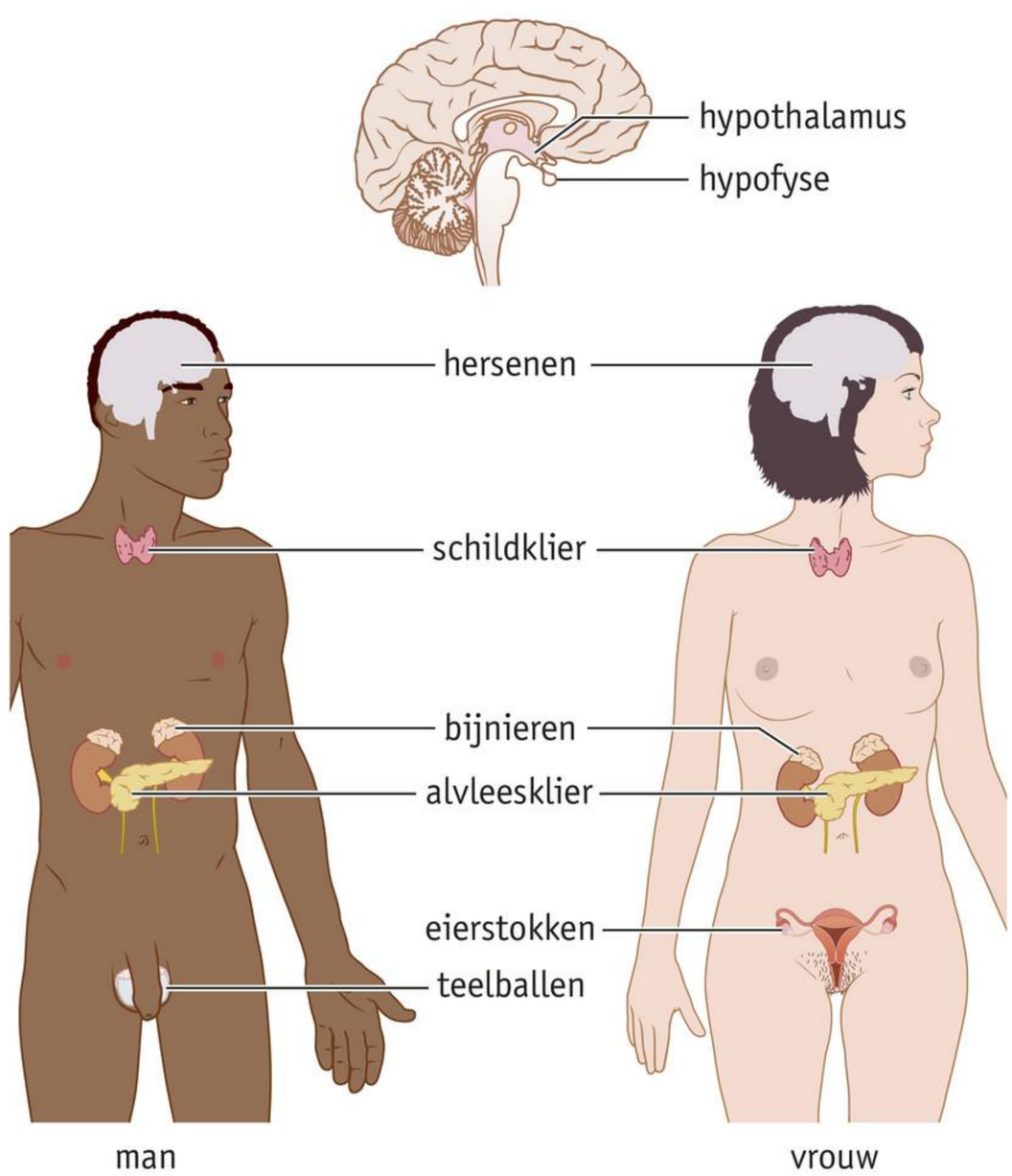


2 de werking van een peptidehormoon

HORMOONKLIEREN

Het **hormoonstelsel** bestaat uit een aantal hormoonklieren. In afbeelding 12 is de ligging van enkele belangrijke hormoonklieren aangegeven (zie *BiNaS* tabel 89A).

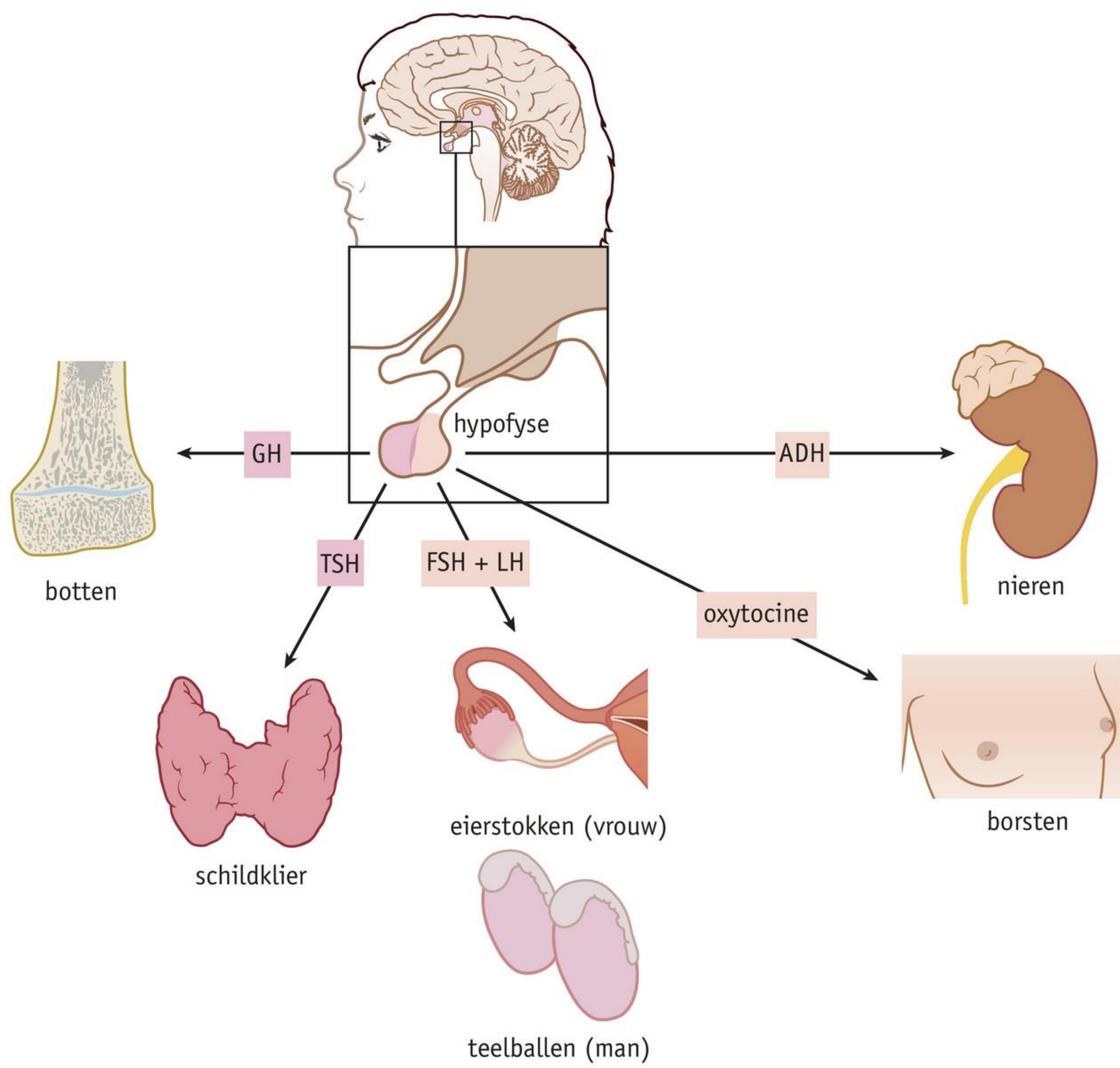
■ **Afb. 12** Hormoonklieren van de mens.



DE HYPOFYSE EN DE HYPOTHALAMUS

De **hypofyse** ligt ongeveer in het midden van je hoofd onder je hersenen. De hypofyse bestaat uit de hypofysevoorkwab en de hypofyseachterkwab. De hypofyse produceert verschillende hormonen. Sommige daarvan, zoals thyreoïdstimulerend hormoon (TSH), follikelstimulerend hormoon (FSH) en luteïniserend hormoon (LH), beïnvloeden de werking van andere hormoonklieren (zie afbeelding 13). Het gedeelte van de hersenen dat net boven de hypofyse ligt, is de **hypothalamus**. De hypothalamus regelt de secretie van hormonen door de hypofyse. Via de hypothalamus en de hypofyse zijn het zenuwstelsel en het hormoonstelsel met elkaar verbonden.

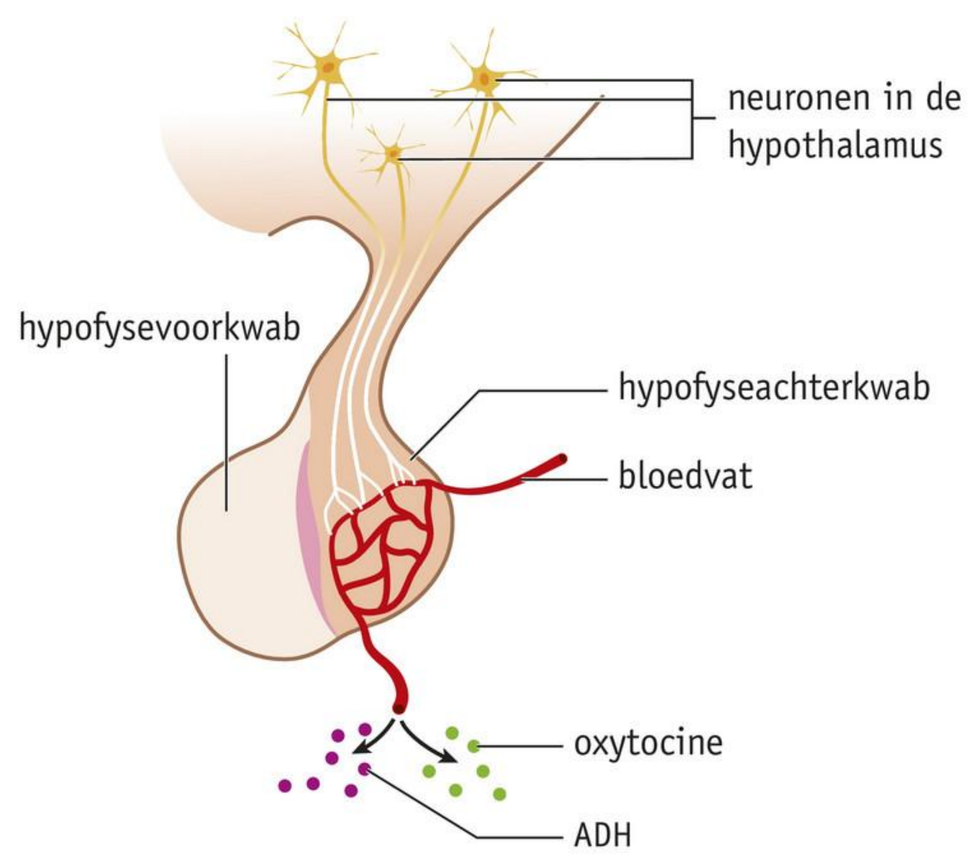
■ **Afb. 13** Hormonen die zijn geproduceerd door de hypofyse en hun doelwitorganen.



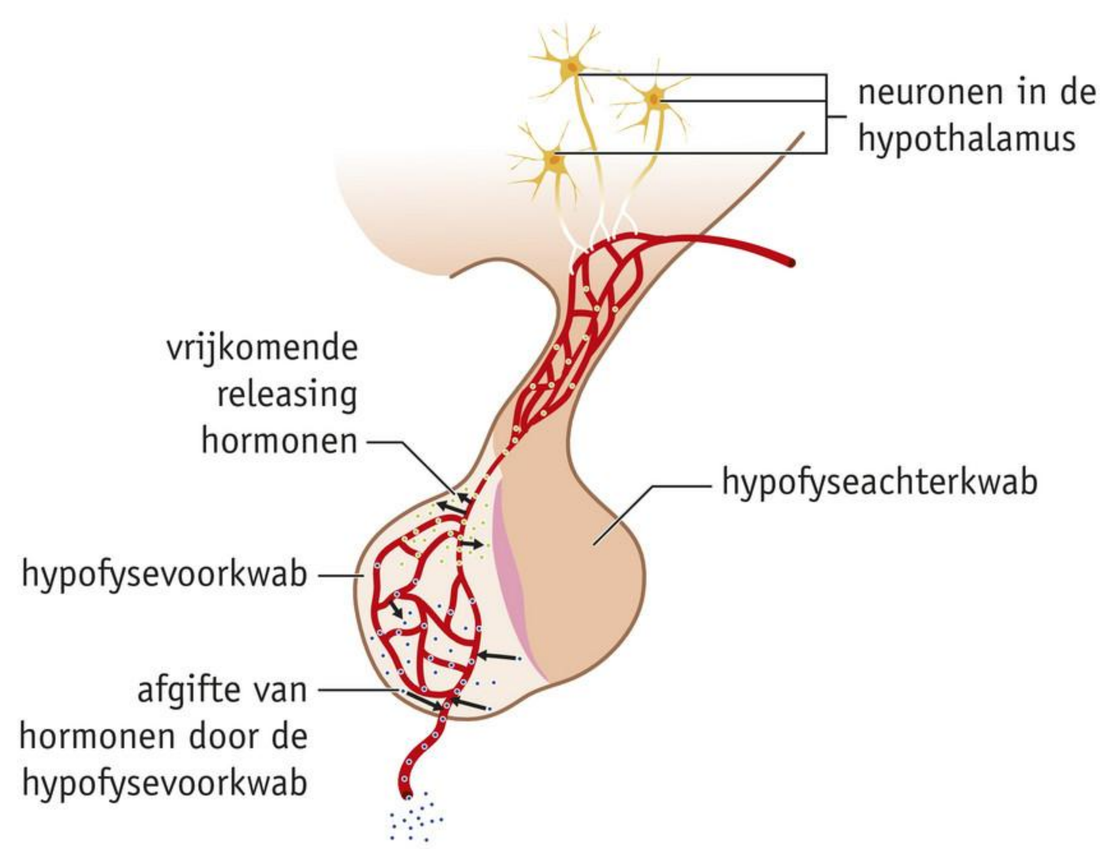
Sommige neuronen (zenuwcellen) in de hypothalamus produceren hormonen. Wanneer hormonen door neuronen worden gevormd, spreek je van neurosecretie. De gevormde hormonen heten neurohormonen. Oxytocine en **antidiuretisch hormoon** (**ADH**) zijn neurohormonen die via de vertakkingen (uitlopers) van neuronen naar de hypofyseachterkwab worden getransporteerd (zie afbeelding 14.1). Ze worden van daaruit afgegeven aan het bloed.

Ook geven neuronen in de hypothalamus twee typen neurohormonen af die de endocriene cellen in de hypofysevoorkwab beïnvloeden: inhibiting hormonen en releasing hormonen. Inhibiting hormonen (IH) zorgen ervoor dat de endocriene cellen in de hypofysevoorkwab geen hormonen (groeihormoon en prolactine) meer produceren. **Releasing hormonen** (**RH**) stimuleren de endocriene cellen in de hypofysevoorkwab juist om bepaalde hormonen (TSH, FSH, LH, groeihormoon, prolactine en adrenocorticotroop hormoon (ACTH)) te produceren. Inhibiting en releasing hormonen worden afgegeven aan haarvaten en komen via het bloed in de hypofysevoorkwab terecht (zie afbeelding 14.2). Daar stimuleren ze de productie en afgifte van hypofysehormonen. Zo stimuleert TSH releasing factor (TRF) uit de hypothalamus de vorming en afgifte van TSH door de hypofysevoorkwab. TSH beïnvloedt de schildklier.

■ **Afb. 14** Regulatie en afgifte van hormonen door de hypofyse.



1 hypofyseachterkwab



2 hypofysevoorkwab

Opdrachten KENNIS

14 De hypothalamus geeft een neurohormoon af dat de hypofysevoorkwab aanzet tot de productie van prolactine.

a Hoe noem je dit type hormoon?

b De hypofyseachterkwab is eigenlijk een voortzetting van de hypothalamus. Leg dit uit.

15 Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 89A.

a Is groeihormoon een steroïdhormoon of een peptidehormoon?

b Waar in de cel zitten de receptoren waaraan groeihormoon kan binden?

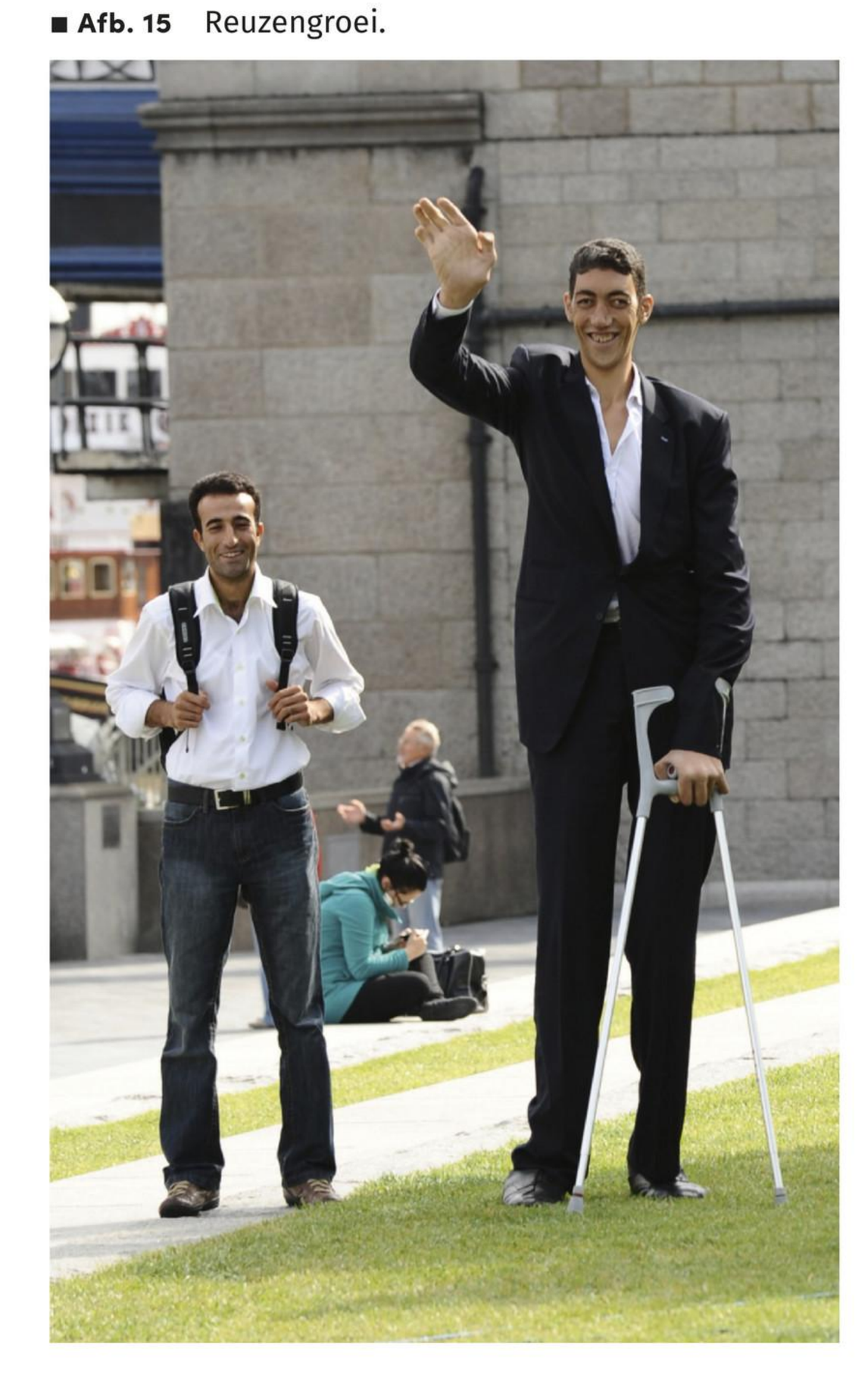
c Is cortisol een steroïdhormoon of een peptidehormoon?

d Waar in de cel zitten de receptoren waaraan cortisol kan binden?

HYPOFYSEHORMONEN

Adrenocorticotroop hormoon (ACTH) uit de hypofysevoorkwab wordt onder andere geproduceerd bij stress. Het bevordert de aanmaak van hormonen door de bijnierschors. Groeihormoon (GH) regelt de groei en ontwikkeling. In de puberteit stimuleert het groeihormoon de groei van beenderen. Als de hypofyse tijdens de groei te veel groeihormoon produceert, kan dat reuzengroei veroorzaken (zie afbeelding 15). Produceert de hypofyse te weinig groeihormoon, dan kan dwerggroei ontstaan.

■ **Afb. 15** Reuzengroei.



Sommige hormonen uit de hypofyse spelen een belangrijke rol bij de voortplanting. Follikelstimulerend hormoon (FSH) en luteïniserend hormoon (LH) uit de hypofysevoorkwab spelen een rol bij de productie van geslachtscellen en zetten de geslachtsorganen aan tot het produceren van geslachtshormonen. Prolactine speelt een rol bij het vergroten van de melkklieren. Prolactine stimuleert ook de productie van melk door de melkklieren in de borsten. Het vrijkomen van oxytocine uit de hypofyseachterkwab stimuleert het ontstaan van weeën aan het einde van de zwangerschap en tijdens de geboorte. Na de geboorte zorgt oxytocine bij het zogen voor de melksecretie uit de melkklieren in de borsten.

Het antidiuretisch hormoon (ADH) regelt de resorptie van water in de nieren bij de vorming van urine (diurese = urineproductie). Hierdoor kan de hoeveelheid water worden geregeld die de nieren via de urine uitscheiden. De osmotische waarde van het bloed blijft daardoor min of meer constant.

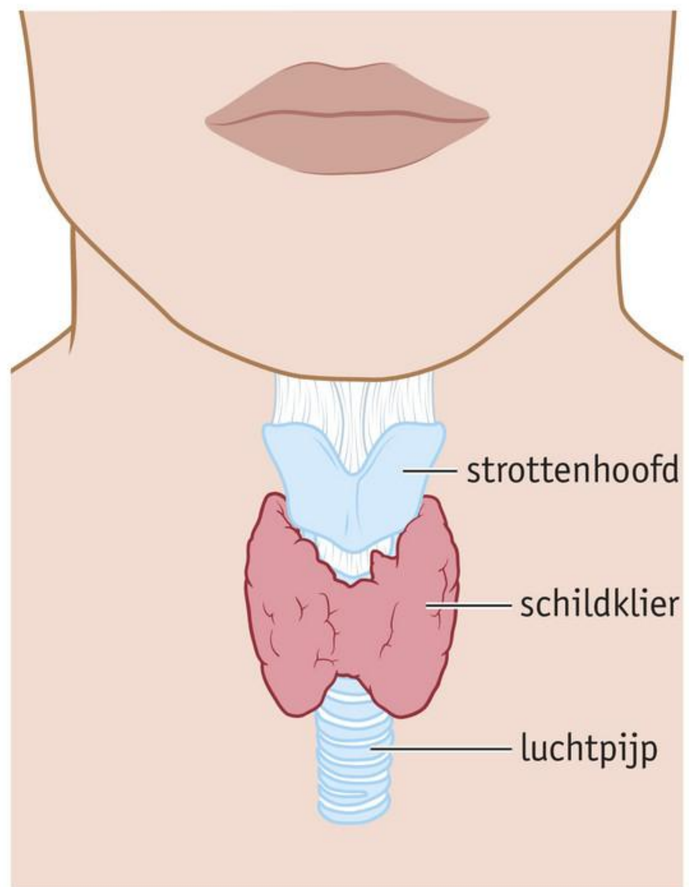
SCHILDKLIER

De **schildklier** ligt in de hals, voor het strottenhoofd, tegen de luchtpijp aan (zie afbeelding 16). De schildklier produceert onder andere **schildklierhormoon** (thyroxine). Dit hormoon beïnvloedt de stofwisseling, vooral door de verbranding van glucose te stimuleren. Bij kinderen stimuleert het schildklierhormoon ook de groei en ontwikkeling van het beenderstelsel en de ontwikkeling van het centrale zenuwstelsel.

TSH uit de hypofyse stimuleert de vorming van schildklierweefsel, de opname van jodium door de schildkliercellen en de productie en secretie van het schildklierhormoon. Jodium (uit voeding) is noodzakelijk voor de vorming van schildklierhormoon. Als de hoeveelheid schildklierhormoon in het bloed boven de normwaarde komt, remt schildklierhormoon de productie en secretie van TSH. Doordat de hypofyse minder TSH produceert, maakt de schildklier minder schildklierhormoon aan. Als de concentratie van schildklierhormoon in het bloed daalt, neemt de secretie van TSH toe. Door stijging van de TSH-concentratie wordt de secretie van schildklierhormoon gestimuleerd.

Als de schildklier te veel schildklierhormoon produceert, neemt de intensiteit van de stofwisseling toe. Dat kan onder meer leiden tot gewichtsverlies, toename van de eetlust en rusteloosheid. Als de schildklier te weinig schildklierhormoon produceert, neemt de intensiteit van de stofwisseling af. Dat kan leiden tot gewichtstoename en vermoeidheid. Je krijgt het dan ook snel koud. Bij kinderen blijven dan de ontwikkeling van het centrale zenuwstelsel en de lichamelijke ontwikkeling en groei achter. Een te lage productie van schildklierhormoon vanaf de geboorte kan leiden tot dwerggroei. Deze vorm van dwerggroei gaat vaak gepaard met een beperkte geestelijke ontwikkeling.

■ **Afb. 16** De ligging van de schildklier.



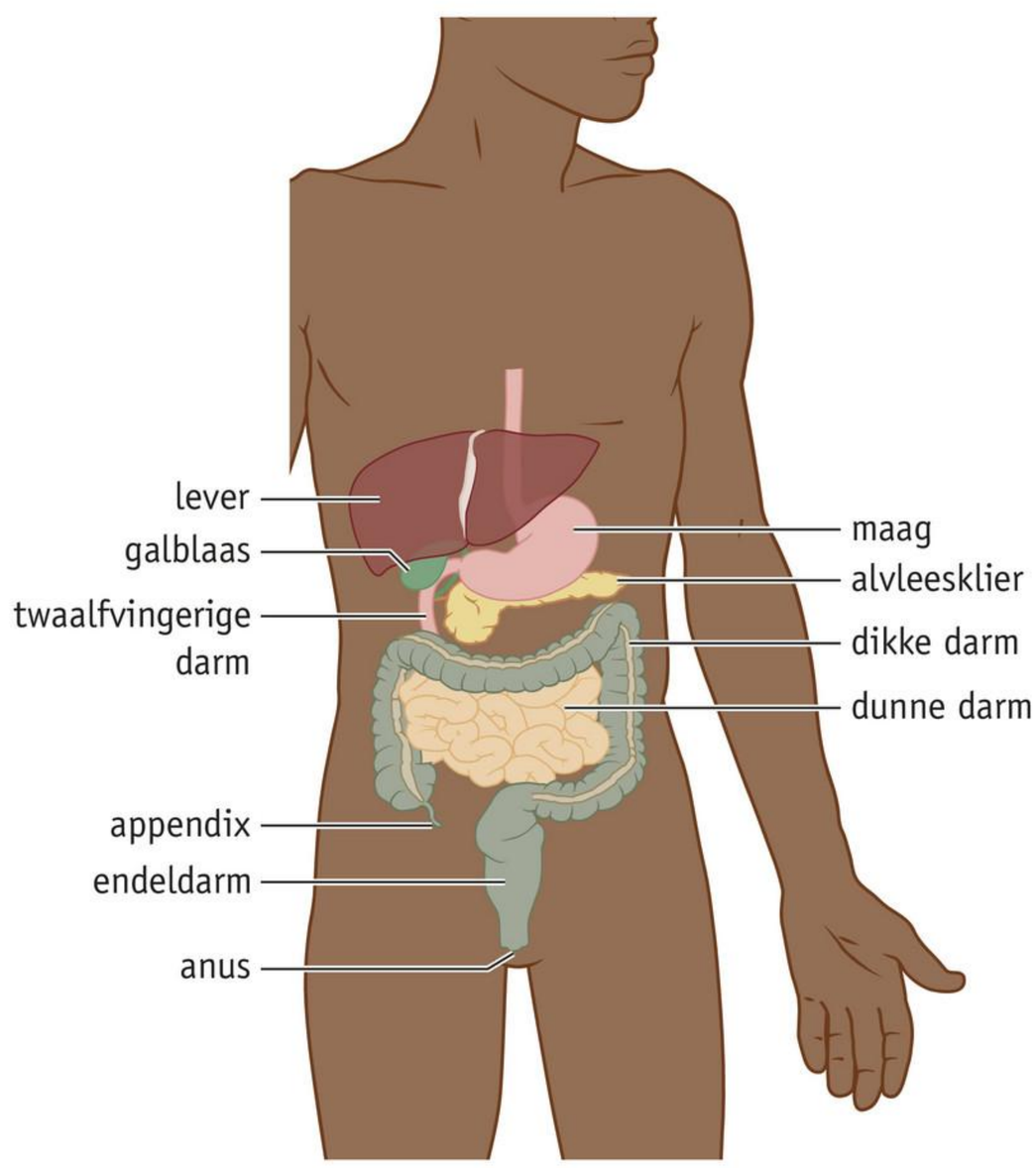
SPIJSVERTERINGSKLIEREN

Kliercellen in de alvleesklier en de maag- en darmwand produceren spijsverteringshormonen die de spijsvertering beïnvloeden. Gastrine uit de maagwand stimuleert de maagsapproductie als er voedsel in de maag komt. De wand van de twaalfvingerige darm produceert secretine. Dit hormoon stimuleert de lever tot het produceren van gal en de alvleesklier tot de secretie van natriumwaterstofcarbonaat ($NaHCO_3$). Hierdoor stijgt de pH (zuurgraad) in de twaalfvingerige darm. Cholecystokinine wordt afgegeven door de twaalfvingerige darm en stimuleert de galblaas tot de afgifte van gal en de alvleesklier tot de secretie van enzymen.

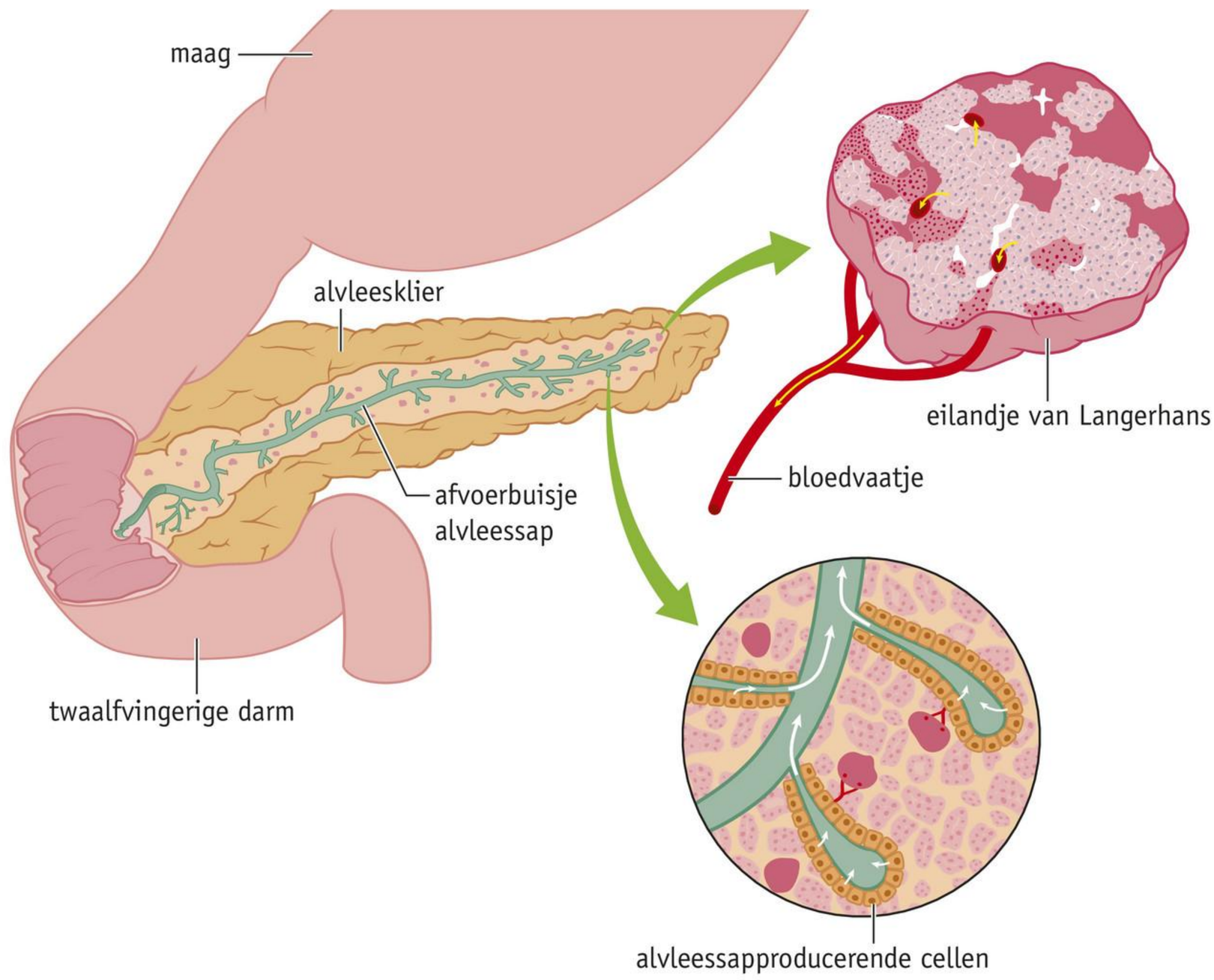
EILANDJES VAN LANGERHANS

De alvleesklier (zie afbeelding 17) heeft een exocriene en een endocriene functie. Als verteringsklier geeft hij via een afvoerbuisje verteringssap af aan de twaalfvingerige darm (zie afbeelding 17.2). Tussen de cellen die verteringssap maken liggen groepjes cellen met een endocriene functie: de **eilandjes van Langerhans** (zie afbeelding 17.3). Hierin komen α-cellen voor die het hormoon **glucagon** produceren en β-cellen die het hormoon **insuline** produceren. Deze hormonen zorgen ervoor dat de glucoseconcentratie in het bloed min of meer constant blijft.

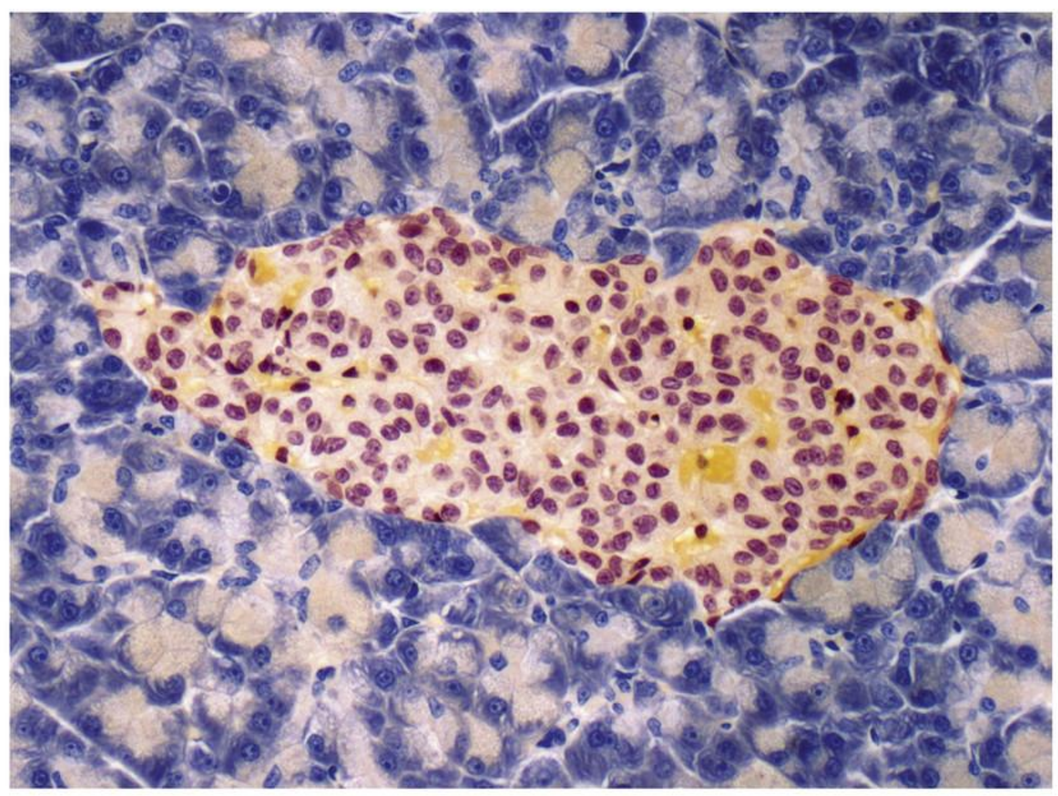
■ **Afb. 17** De alvleesklier.



1 de ligging van de alvleesklier



2 de productie van spijsverteringssap en hormonen in de alvleesklier



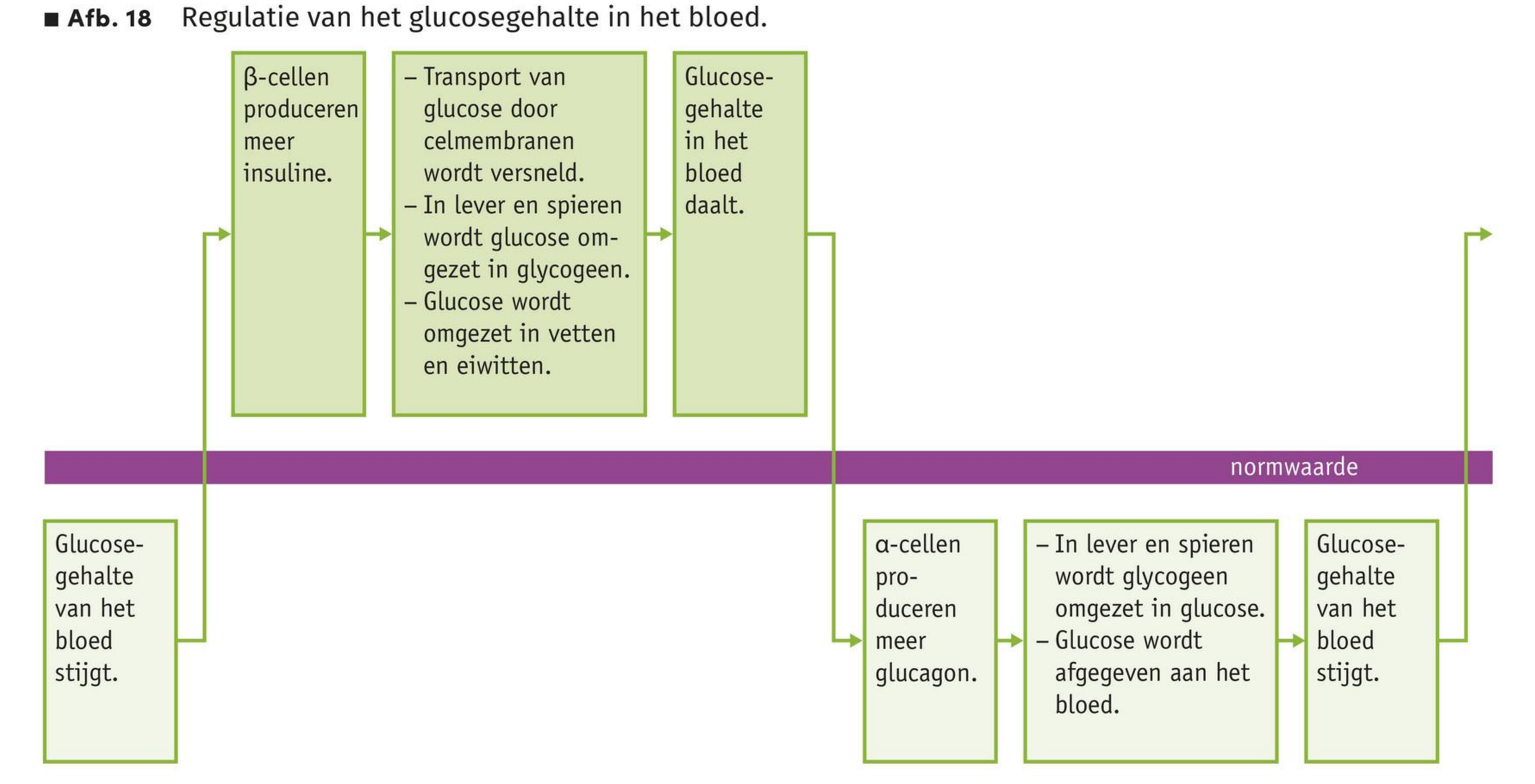
3 een eilandje van Langerhans (vergroting 750×)

De glucoseconcentratie in het bloed noem je ook wel de bloedsuikerspiegel. De glucoseconcentratie wordt uitgedrukt in millimol glucose per liter bloed (mmol/L). Bij een gezond persoon wordt de glucoseconcentratie gehandhaafd tussen de 4,0 en de 8,0 mmol/L. De normwaarde is 5,0 mmol/L (0,9 g/L).

In je voedsel komen vrijwel altijd koolhydraten voor. Koolhydraten worden in het verteringsstelsel afgebroken, vooral tot glucose. Glucose wordt in de dunne darm opgenomen in het bloed. De glucoseconcentratie in het bloed zal daardoor boven de normwaarde van 5,0 mmol/L stijgen. β-cellen in de eilandjes van Langerhans produceren dan meer insuline. Onder invloed van insuline komen er meer glucosetransporteiwitten in het celmembraan. Hierdoor wordt de permeabiliteit (doorlaatbaarheid) van celmembranen voor glucose verhoogd en neemt het transport van glucose door het celmembraan toe. De cellen nemen meer glucose op uit het bloed. Cellen in de lever en in spieren zetten de glucose om in glycogeen. Glycogeen wordt in deze cellen opgeslagen. De glucoseconcentratie in het bloed zal hierdoor dalen naar de normwaarde. Insuline stimuleert ook de omzetting van glucose in vetten en eiwitten.

Als je een tijdje niet hebt gegeten, kan de glucoseconcentratie in je bloed beneden de normwaarde van 5,0 mmol/L zakken. De α-cellen in de eilandjes van Langerhans produceren dan het hormoon glucagon. Dit stimuleert in de lever en in spieren de omzetting van glycogeen in glucose en bevordert de afgifte van glucose aan het bloed (zie afbeelding 18). De glucoseconcentratie in het bloed zal hierdoor stijgen naar de normwaarde.

■ **Afb. 18** Regulatie van het glucosegehalte in het bloed.



NIEREN EN BIJNIEREN

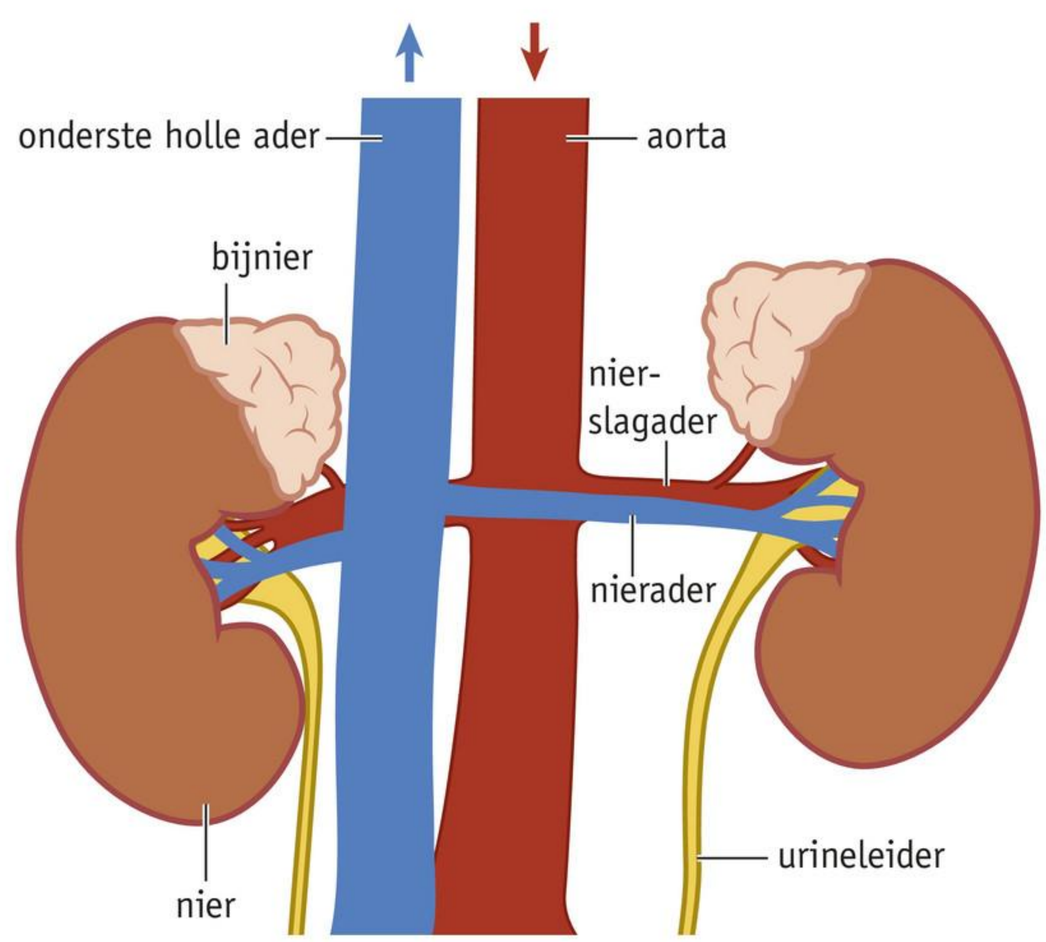
De nieren produceren het hormoon **epo** (erytropoëtine) wanneer ze onvoldoende zuurstof krijgen aangevoerd. Dit hormoon stimuleert de productie van rode bloedcellen in het rode beenmerg. Rode bloedcellen vervoeren zuurstof. Als de zuurstofvoorziening van de nieren hierdoor weer is toegenomen tot de normwaarde, wordt de productie van epo geremd.

De **bijnieren** liggen als kapjes boven op de nieren. Een bijnier bestaat uit bijnierschors en bijniermerg (zie afbeelding 19). Bij een stressreactie produceert het bijniermerg adrenaline. **Adrenaline** is een hormoon met een snelle, kortdurende werking dat de stofwisseling bevordert. Onder invloed van adrenaline zetten cellen in de lever en in spieren glycogeen om in glucose. Hierdoor stijgt de glucoseconcentratie in het bloed, nemen de hartslag- en ademhalingsfrequentie toe en verwijden de bloedvaten naar de spieren en de hersenen zich.

Organen die niet belangrijk zijn voor een snelle reactie, zoals de organen van het verteringsstelsel, worden geremd. Zo stelt adrenaline het lichaam in staat om in stressvolle situaties alert te zijn en snel te kunnen handelen. Bijvoorbeeld wanneer je boos of angstig bent, wanneer je ergens enorm van schrikt, of wanneer je situaties als belastend ervaart.

De bijnierschors wordt door ACTH gestimuleerd om onder andere cortisol te produceren. Cortisol komt vrij bij elke vorm van stress en wordt daarom ook wel het stresshormoon genoemd. Cortisol onderdrukt niet alleen de werking van het afweersysteem, maar verhoogt ook, net als glucagon, de glucoseconcentratie in het bloed.

■ **Afb. 19** De ligging van de bijnieren.



Opdrachten KENNIS

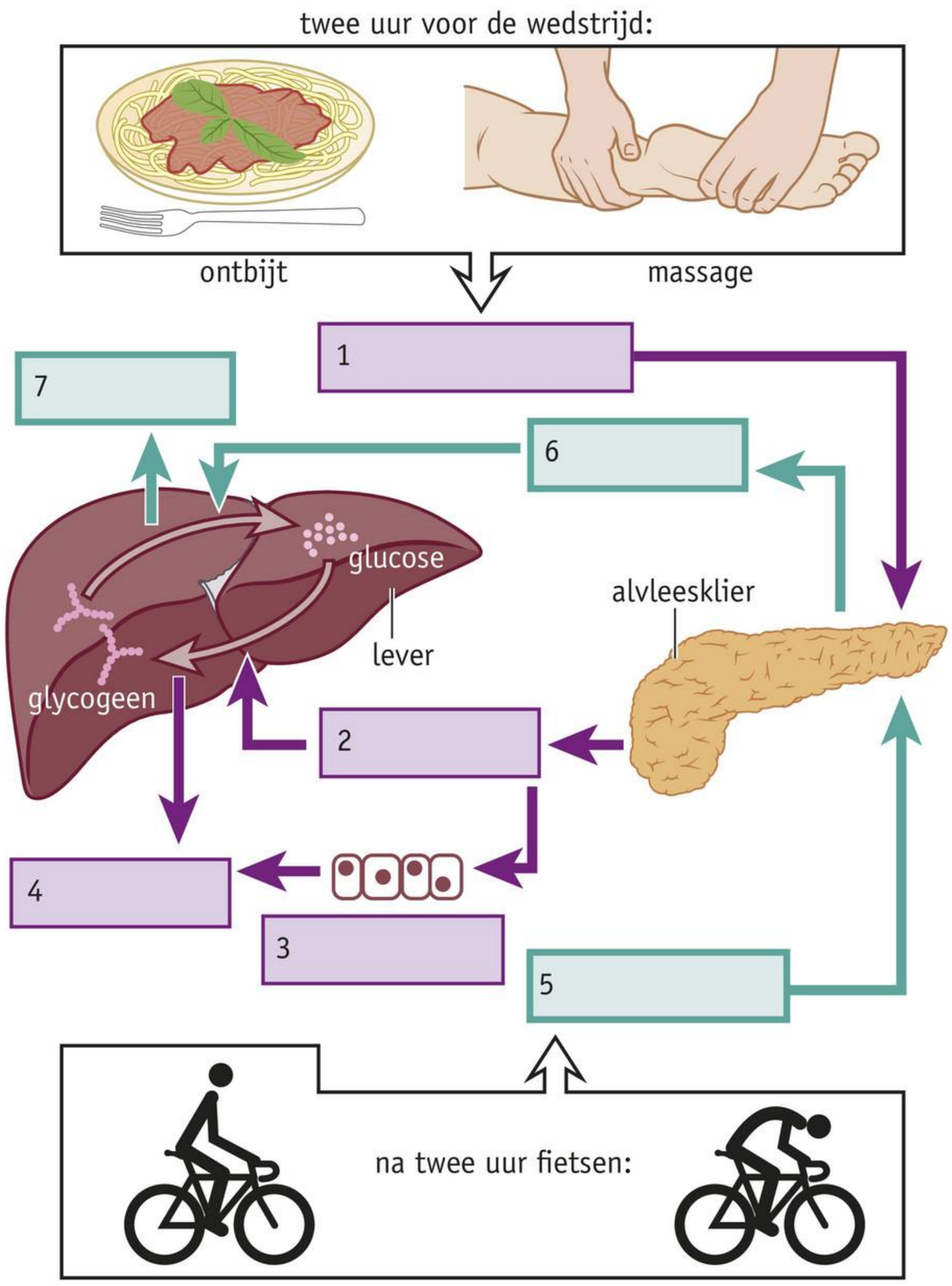
16 Het menu van een wielrenner die deelneemt aan de Tour de France is zorgvuldig samengesteld. Het bestaat voor ongeveer 70% uit voedingsmiddelen die veel koolhydraten bevatten, zoals aardappelen, rijst, pasta, cornflakes, volkorenbrood, fruit en groenten.
Een wielrenner begint zijn dag twee of drie uur voor de start van een wedstrijd met een uitgebreid koolhydraatrijk ontbijt, zoals een bord spaghetti. Dat is voor zo'n zware sportinspanning ideaal. De wielrenner zal dan niet snel honger krijgen en zijn lichaam heeft voldoende tijd om het eten te verteren. De glucoseconcentratie in het bloed zal dan boven de normwaarde van 5,0 mmol/L stijgen.

a Hoe zorgt insuline ervoor dat de glucoseconcentratie in het bloed na het eten van een bord spaghetti weer daalt tot de normwaarde?

b Afbeelding 20 is een regelkring van de glucoseconcentratie in het bloed bij een wielrenner.
Noteer de cijfers 1 tot en met 7 onder elkaar en noteer achter elk nummer het juiste onderdeel van de regelkring.
Kies uit: *bloedsuikerspiegel daalt – bloedsuikerspiegel stijgt – glucagon – hoge glucoseconcentratie – insuline – lage glucoseconcentratie – stimuleert de cellen om meer glucose op te nemen.*

c Wanneer je sport, komt adrenaline ook in verhoogde concentratie in je bloed voor. Welk effect heeft adrenaline op je hartslagfrequentie, op je ademfrequentie en op je spijsvertering? Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 89A.

■ **Afb. 20** De regelkring van de glucoseconcentratie in het bloed bij een wielrenner.



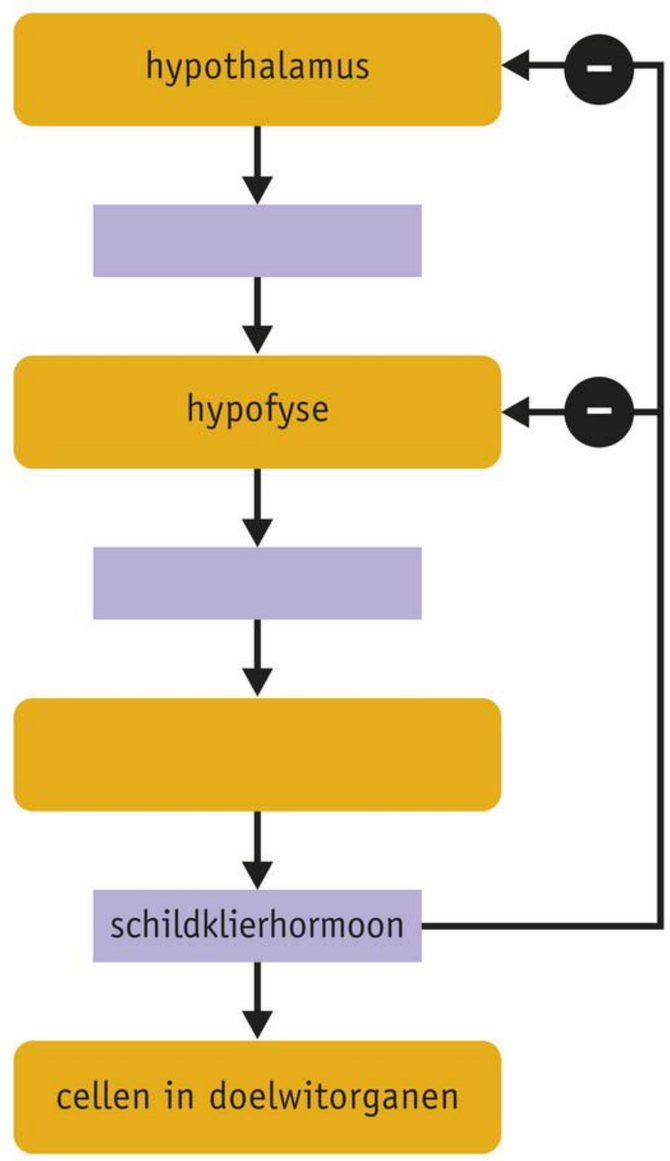
17 Op advies van de Gezondheidsraad gebruiken de meeste bakkers in Nederland bakkerszout bij het bakken van brood. Dit is gewoon keukenzout waaraan een beetje jodium is toegevoegd.
Leg uit waarom de Gezondheidsraad dit advies geeft.

18 Afbeelding 21 is een schematische tekening van de regelkring van de schildklierhormoonproductie. Daarbij treden terugkoppelingsmechanismen (feedback-mechanismen) op.

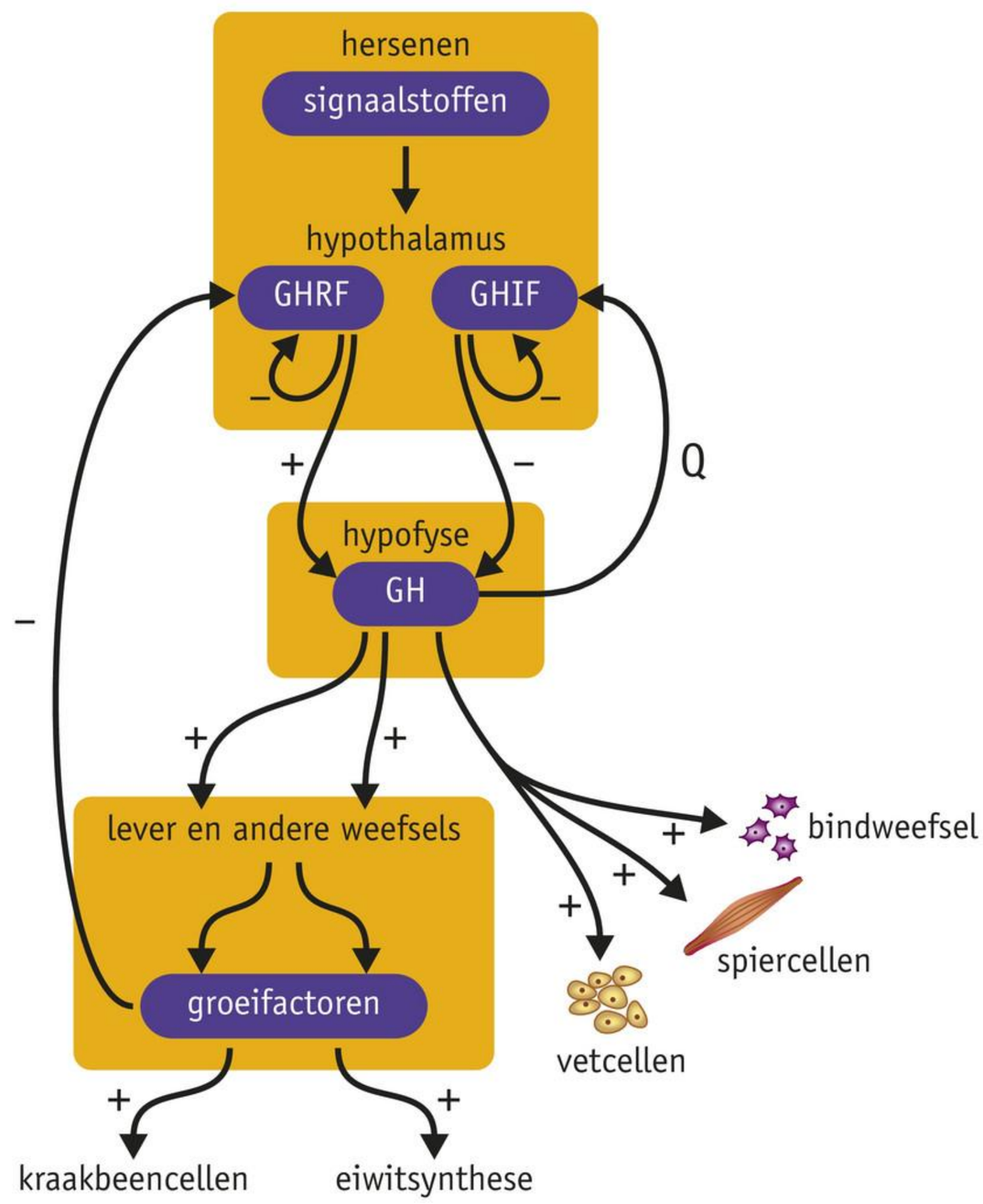
a Vul de lege vakjes van afbeelding 21 in.

b Afbeelding 22 is een schematische weergave van de regeling van groei bij een mens met de terugkoppelingsmechanismen. Enkele bij het groeiproces betrokken hormonen zijn weergegeven. Een pijl is aangegeven met Q.
Geeft pijl Q een remming of een stimulering aan of kun je dat niet bepalen? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 21** Regeling van de schildklierhormoonconcentratie in het bloed door negatieve terugkoppeling.



■ **Afb. 22** Regeling van de groei bij een mens door negatieve terugkoppeling.



Legenda:
GH = groeihormoon
GHRF = groeihormoon releasing factor (releasing hormoon)
GHIF = groeihormoon inhibiting factor (inhibiting hormoon)
+ = stimuleert
– = remt

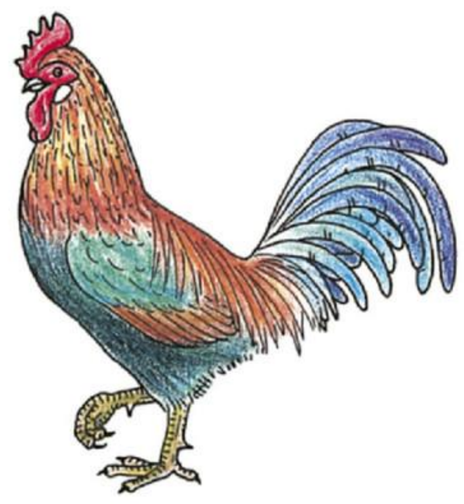
Opdrachten INZICHT

19 De werking van veel hormonen kun je onderzoeken door bij proefdieren hormoonklieren weg te nemen. Na het verwijderen van de teelballen (castreren) bij jonge haantjes bleek dat een aantal secundaire geslachtskenmerken bij deze dieren zich minder ontwikkelde (zie afbeelding 23). De haantjes kregen onder andere een veel kleinere kam en kleinere sporen aan hun poten dan normaal. Bovendien vertoonden ze ander gedrag, minder 'hanig'. Als je bij zo'n haantje een teelbal inplant, onder de huid op een goed doorbloede plaats, ontwikkelen de secundaire geslachtskenmerken zich normaal. Dit gebeurt ook als je een haantje inspuit met een vloeistof die is verkregen door het fijnwrijven van een teelbal.

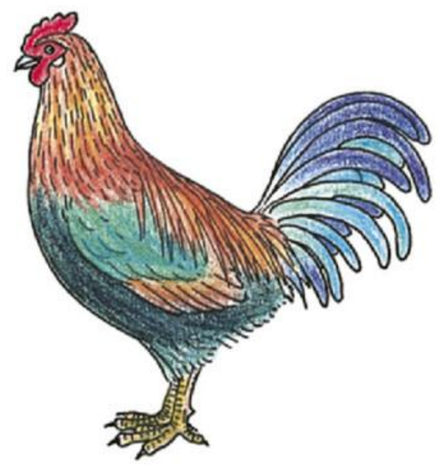
a Welke conclusie kun je trekken uit de proeven met gecastreerde hanen?

b Als een onderzoeker een gelabeld (radioactief gemerkt) hormoon bij een proefdier inspuit, blijkt na enige tijd dat dit hormoon niet homogeen over het lichaam van het proefdier is verdeeld. De hormonen komen in bepaalde organen in relatief hoge concentraties voor.
Welke conclusie kun je hieruit trekken?

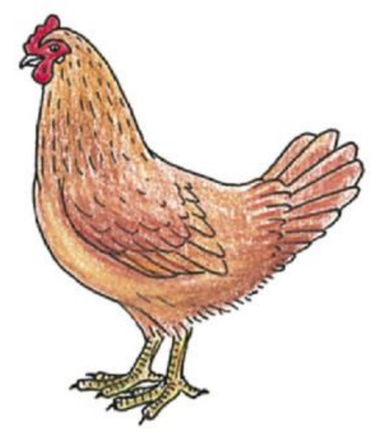
■ **Afb. 23** Proef met gecastreerde hanen.



1 een haan



2 een haan na het verwijderen van de testes



3 een hen

20 In de eierstok van een vrouw rijpt maandelijks een follikel onder invloed van follikelstimulerend hormoon (FSH). Door de invloed van FSH beginnen meerdere follikels te rijpen. De follikel met de meeste hormoonreceptoren bereikt een voorsprong op de andere. In deze follikel ontstaan in korte tijd nog meer hormoonreceptoren waaraan hormonen kunnen binden.
Hoe kunnen door invloed van hormonen de cellen van een rijpende follikel nieuwe receptoren vormen?

21 Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 89A.
Vlak na de geboorte krijgen baby's een hielprik waarbij het bloed wordt onderzocht op verschillende ziekten. Een van deze ziekten is het adrenogenitaal syndroom (AGS). Door een mutatie wordt een enzym in de bijnierschors niet of bijna niet gemaakt. Meestal gaat het hierbij om enzym 21-hydroxylase dat nodig is voor de aanmaak van twee hormonen, waaronder cortisol en aldosteron.

a Welk hormoon in de hypothalamus stimuleert indirect de afgifte van cortisol?

b Bij een patiënt wordt de hoeveelheid ACTH in het bloed gemeten.
Verwacht je een hoge of lage concentratie aan ACTH in het bloed? Leg je antwoord uit.

c De bijnierschors maakt onder invloed van ACTH ook kleine hoeveelheden testosteron.
Wat zal er met de concentratie testosteron gebeuren bij patiënten met AGS? Leg je antwoord uit.

d Voordat AGS werd opgespoord via de hielprik, werd door artsen aan de hand van een diagnose AGS vastgesteld. Daarbij werd ook gekeken naar lichamelijke kenmerken.
Waarom is AGS eenvoudiger op te sporen bij meisjes door te kijken naar uiterlijke kenmerken dan bij jongens?

e Er zijn twee vormen van AGS: een vorm met zoutverlies en een vorm zonder zoutverlies. Onder normale omstandigheden kan de nier zout terughalen uit de voorurine. Dit leidt tot minder zoutverlies en wordt retentie genoemd. Bij de zoutverliezende vorm van AGS kan de nier dit niet of onvoldoende.
Welk hormoon wordt in lage hoeveelheden gemaakt bij de zoutverliezende vorm van AGS?

22 Een struma (krop) is een sterk vergrote schildklier bij een volwassen persoon (zie afbeelding 24). Dit kan het gevolg zijn van een te actieve schildklier, van een te weinig actieve schildklier of van een schildkliertumor. Vroeger werd een struma vaak veroorzaakt, doordat er te weinig jodium in het voedsel zat. Hoe kan een struma ontstaan door een tekort aan jodium in het voedsel?

■ **Afb. 24** Een struma.

23 Stofwisselingsstoornis

Naar: Nederlandse Biologie Olympiade 2010, vraag 20.

Drie patiënten vertonen symptomen die worden veroorzaakt door een te lage schildklierhormoonconcentratie in het bloed. Verschillende organen produceren hormonen die direct en/of indirect de schildklierhormoon-concentratie beïnvloeden.

- Hypothalamus produceert TRH.
- Hypofysevoorkwab produceert TSH.
- Schildklier produceert schildklierhormoon.

Bij patiënt 1 wordt het betreffende hormoon in de hypothalamus niet gemaakt.
Bij patiënt 2 wordt het betreffende hormoon in de hypofysevoorkwab niet gemaakt.
Bij patiënt 3 wordt het betreffende hormoon in de schildklier niet gemaakt.

Een gezond persoon en deze drie patiënten krijgen het hormoon (TRH) toegediend. Zowel voor de toediening als dertig minuten daarna werd de TSH-concentratie van het bloed gemeten. De resultaten staan in tabel 1.

Tabel 1

	Aantal eenheden van de concentratie *vóór* toediening	**Aantal eenheden van de concentratie *na* toediening**
Resultaat gezond persoon	lager dan 10	tussen 10 en 40
Resultaat A	lager dan 10	tussen 10 en 40
Resultaat B	tussen 10 en 40	hoger dan 40
Resultaat C	lager dan 10	lager dan 10

Vul hieronder in welk resultaat bij welke patiënt hoort.

- Patiënt 1: .....
- Patiënt 2: .....
- Patiënt 3: .....

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Leefwereld

DIABETES MELLITUS

Lisa heeft altijd dorst en drinkt veel, waardoor ze tijdens de lessen vaak naar het toilet moet. Ook is ze regelmatig moe en heeft ze last van blaasontstekingen. Als ze wazig gaat zien, besluit ze naar haar huisarts te gaan. De huisarts meet met een bloedglucosemeter de glucoseconcentratie in Lisa's bloed en constateert dat ze diabetes mellitus (suikerziekte) heeft. Lisa's lichaam kan de normwaarde voor de glucoseconcentratie niet handhaven.

Er is sprake van diabetes mellitus wanneer bij een persoon die niets heeft gegeten of gedronken (nuchter) de glucoseconcentratie een waarde bereikt boven de 7,0 mmol/L. Bij een niet-nuchter persoon is de bovengrens 11,0 mmol/L. Bij overschrijding van deze waarde wordt glucose met de urine uitgescheiden.

Er bestaan verschillende vormen van diabetes waarvan diabetes type 1 en diabetes type 2 het meest voorkomen. Bij diabetes type 1 produceert de patiënt geen insuline. Hij moet meerdere malen per dag de bloedsuikerspiegel controleren en insuline inspuiten. Een insulinepomp kan deze rol overnemen. Ongeveer 90% van de diabetespatiënten heeft diabetes type 2. Bij dit type produceert de patiënt te weinig insuline of bevinden zich in de celmembranen minder of onwerkzame insulinereceptoren, waardoor de cellen te weinig glucose uit het bloed opnemen. Diabetes type 2 kun je behandelen met medicijnen, maar uiteindelijk moeten veel patiënten met diabetes type 2 insuline gaan spuiten.

Opdrachten

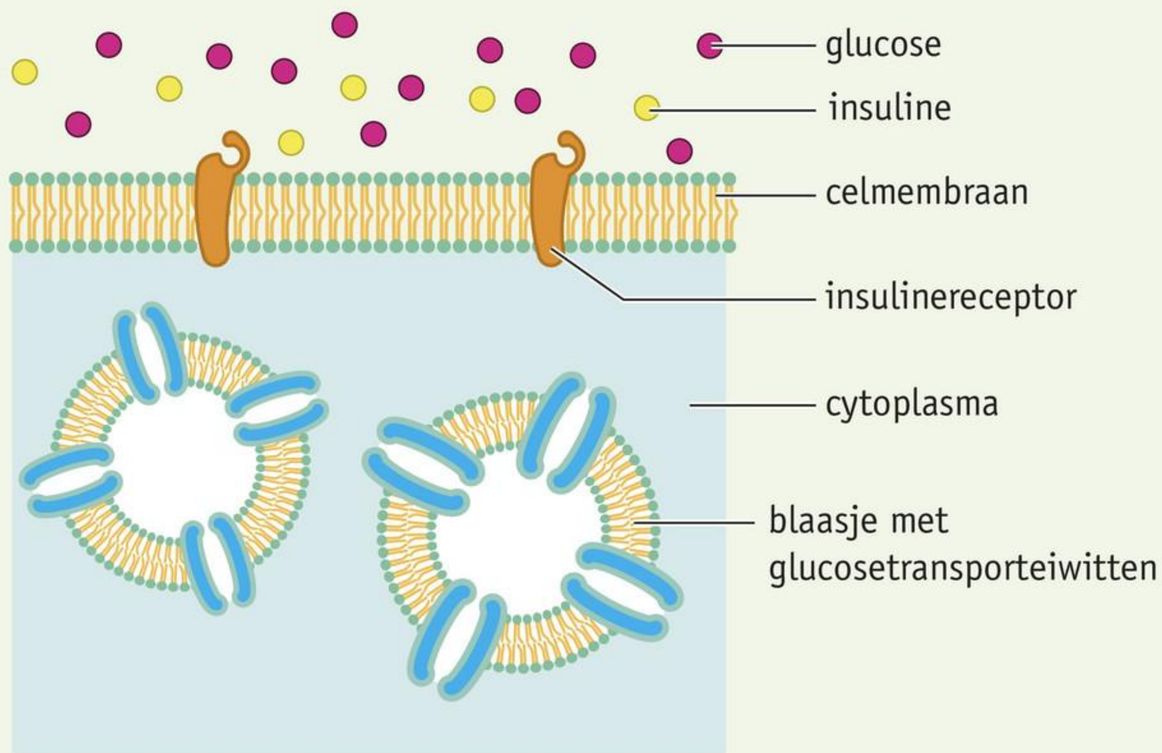
24 Een niet-nuchter persoon heeft een bloedglucoseconcentratie van 7,2 mmol/L.

- **a** Kan er bij deze persoon sprake zijn van diabetes mellitus? Leg je antwoord uit.
- **b** Waardoor is iemand met diabetes type 2 snel moe?
- **c** Na een insuline-injectie kan een patiënt met diabetes mellitus flauwvallen (hypoglycemische shock of hypo). Hoe is dit mogelijk?

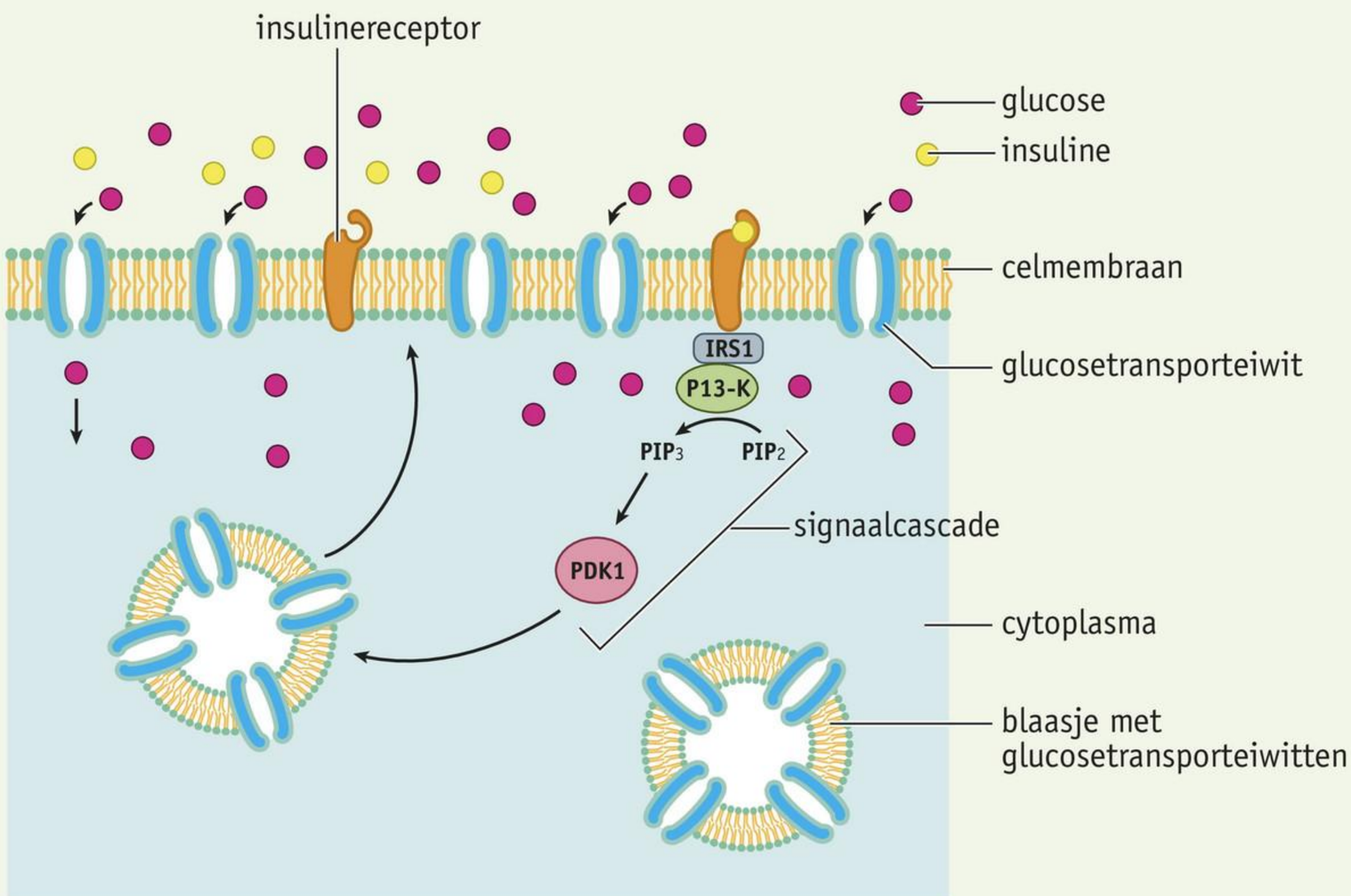
25 Hoe zet insuline een reactie in de cel in gang: via een hormoon-receptorcomplex of via een second messenger? Leg je antwoord uit.

26 Afbeelding 25 is een schematische tekening van de opname van glucose door een cel. Bij diabetes mellitus (suikerziekte) kunnen de lichaamscellen geen of minder glucose opnemen uit het bloed of uit de weefselvloeistof.
Leg uit hoe het transport van glucose kan worden verstoord.

■ **Afb. 25** De opname van glucose door een cel.



1 Er is geen insuline gebonden aan een insulinereceptor in het celmembraan. Glucose kan niet door de cel worden opgenomen.



2 Insuline bindt aan een receptor op het celmembraan, waardoor een signaalcascade op gang komt. Hierdoor worden glucosetransporteiwitten die zich in blaasjes in het cytoplasma bevonden, in het celmembraan opgenomen. Dit maakt het transport van glucose door het celmembraan mogelijk.

3 HET ZENUWSTELSEL

LEERDOELEN

7.3.1 Je kunt de bouw en signaalverwerking van de verschillende typen neuronen beschrijven.

7.3.2 Je kunt de bouw, functies en werking van de verschillende delen van het zenuwstelsel beschrijven.

- Vaardigheden 1, 2, 4 en 7 (thema 1)
- Practica 1 en 2

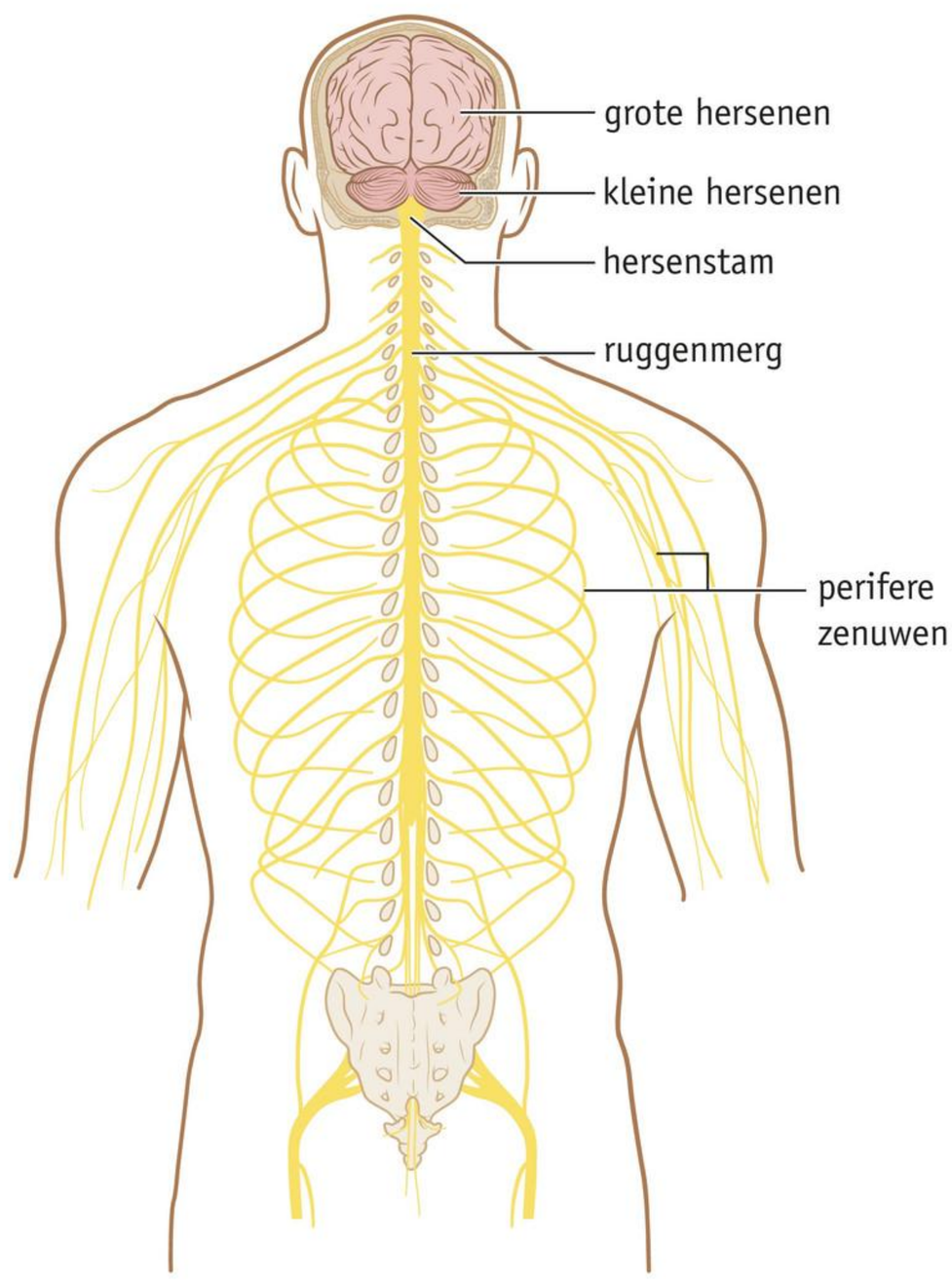
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	7.3.1	7.3.2
Begrijpen	27, 28, 29	30, 31, 32, 38ab
Toepassen		34b, 35b, 36a
Analyseren	33, 35a	34a, 36b, 37, 38cde

Het zenuwstelsel speelt een belangrijke rol bij de waarneming en aansturing van je lichaam. Je hersenen behoren tot het zenuwstelsel. Dit orgaan is onder andere verantwoordelijk voor beweging, bewuste waarneming, lichaamstemperatuur, hartslag, ademhaling en bloeddruk, maar ook voor geheugen, bewustzijn en emoties.

DE BOUW EN WERKING VAN HET ZENUWSTELSEL

Het **zenuwstelsel** is een communicatienetwerk dat alle delen van het lichaam met elkaar verbindt. Op basis van de bouw (zie afbeelding 26) kun je het zenuwstelsel indelen in het centrale zenuwstelsel en het perifere zenuwstelsel. Het **centrale zenuwstelsel** bestaat uit de grote hersenen, de kleine hersenen, de hersenstam en het ruggenmerg. Het **perifere zenuwstelsel** bestaat uit zenuwen die alle delen van het lichaam verbinden met het centrale zenuwstelsel.

■ **Afb. 26** Het zenuwstelsel (schematisch).



Je kunt het zenuwstelsel ook indelen op grond van de functie. Daarbij kun je onderscheid maken tussen het **animale zenuwstelsel** en het **autonome** of vegetatieve **zenuwstelsel**. Het animale zenuwstelsel regelt vooral de bewuste reacties en de houding en beweging van het lichaam. Ook reflexen verlopen via het animale zenuwstelsel. Het autonome zenuwstelsel regelt vooral de werking van inwendige organen. Het regelt bijvoorbeeld de hartslagfrequentie, de ademhalingsfrequentie, de werking van de spijsverteringsorganen en de nieren, en de verwijding of vernauwing van de bloedvaten. Dit zijn onbewuste reacties of processen die niet onder invloed staan van je wil.

PRIKKELS EN IMPULSEN

Het zenuwstelsel speelt een belangrijke rol bij het tot stand komen van gedrag. Wanneer een klasgenoot bijvoorbeeld een sinaasappel pelt, zie en ruik je de sinaasappel. Je krijgt zin in een stukje sinaasappel en begint te watertanden. Je klasgenoot geeft je een stukje, je pakt het aan en stopt het in je mond. In afbeelding 27 is schematisch weergegeven welke processen daarbij in je lichaam plaatsvinden.

■ **Afb. 27** De werking van het zenuwstelsel (schematisch).

Zintuigcellen in je ogen vangen lichtstralen op, afkomstig van de sinaasappel. Zintuigcellen in je neus nemen de geur van de sinaasappel waar. Lichtstralen en geuren zijn voorbeelden van **prikkels**. Een prikkel is een invloed uit het milieu op een organisme. Onder invloed van prikkels ontstaan in zintuigcellen **impulsen**. Impulsen zijn een soort elektrische signalen. De impulsen die in de zintuigcellen in je ogen en in je neus ontstaan, worden door zenuwen naar je hersenen geleid. Daar worden de impulsen verwerkt. De hersenen reageren door impulsen af te geven. Deze worden door zenuwen naar je speekselklieren en naar bepaalde spieren in je arm geleid. Je speekselklieren reageren op de impulsen door speeksel af te scheiden, waardoor je gaat watertanden. Spieren in je arm reageren op de impulsen door zich samen te trekken, waardoor je het stukje sinaasappel kunt aanpakken en in je mond kunt stoppen.

Het opvangen van prikkels uit de omgeving en het tot stand komen van gedrag is mogelijk door **signaalverwerking**. Daarbij:

- vangen zintuigcellen prikkels (signalen) op uit het milieu en zetten deze om in impulsen.
- geleiden zenuwcellen de impulsen naar het centrale zenuwstelsel en van het centrale zenuwstelsel naar spieren en klieren.
- reageren spieren op impulsen door zich samen te trekken of te ontspannen en reageren klieren op impulsen door stoffen af te scheiden.

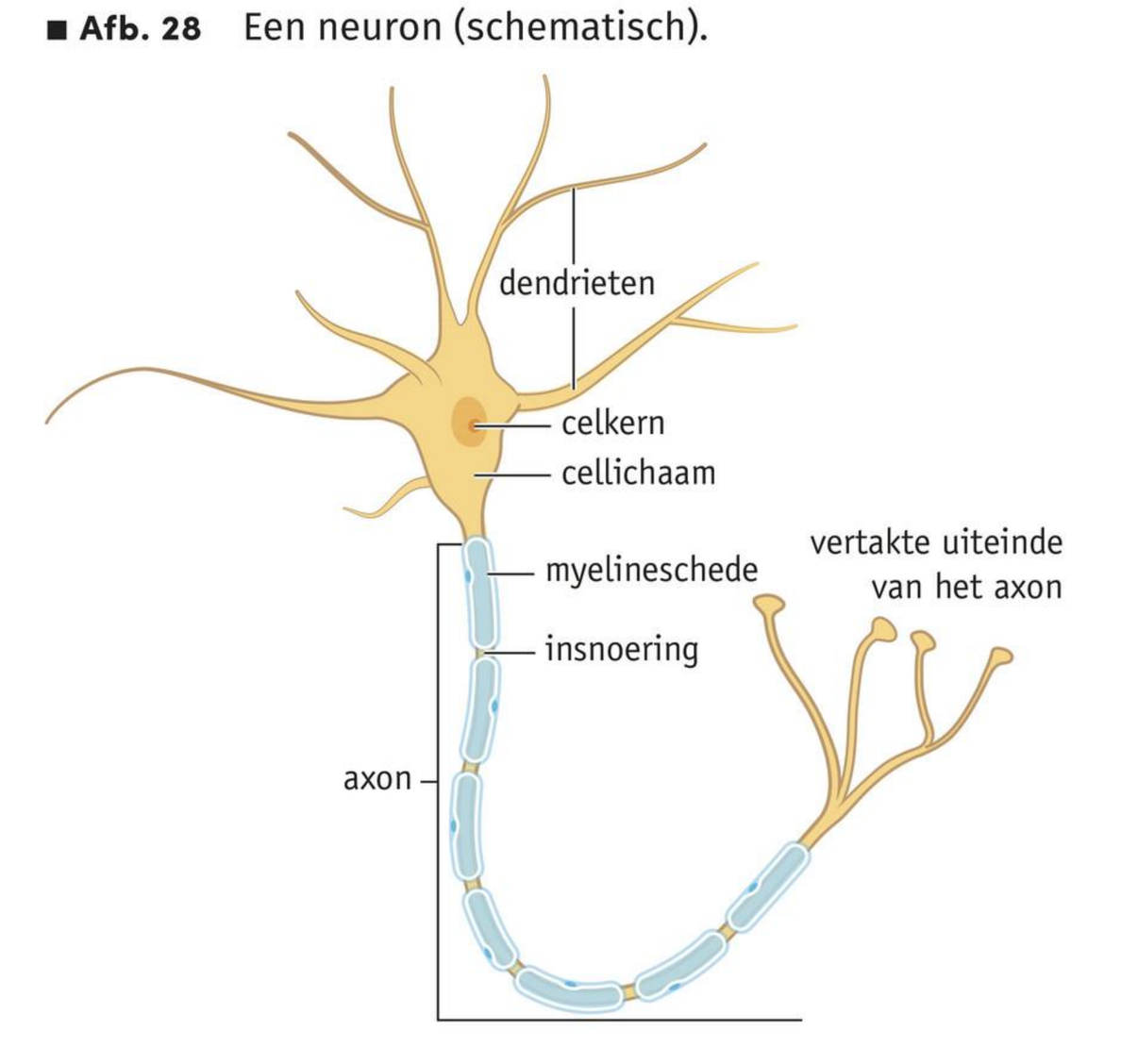
Zintuigcellen noem je **receptoren** (ontvangers). Ze vangen prikkels op uit het milieu en zetten deze om in impulsen. Neuronen geleiden impulsen en je noemt ze daarom conductoren (geleiders). Spieren reageren op impulsen door zich samen te trekken of te ontspannen. Klieren reageren op impulsen door stoffen af te scheiden. Spiercellen en kliercellen zijn effectoren (uitvoerders).

NEURONEN

Zenuwweefsel bevat naast **neuronen** (**zenuwcellen**) ook ondersteunende cellen: de gliacellen. Verschillende typen gliacellen zorgen voor bijvoorbeeld de stevigheid van het zenuwweefsel, maken myeline aan, beschermen en voeden neuronen en handhaven de homeostase van de weefselvloeistof die de neuronen omgeeft. In zenuwweefsel komen veel meer gliacellen dan neuronen voor. De verhouding is ongeveer 9 : 1. Gliacellen kunnen zich delen, terwijl de meeste neuronen dat niet kunnen.

Neuronen geleiden impulsen en geven signaalmoleculen af die je **neurotransmitters** noemt. Een neuron is opgebouwd uit een cellichaam met uitlopers (zie afbeelding 28). In het cellichaam bevinden zich de kern en het grootste deel van het cytoplasma met mitochondriën, ribosomen en endoplasmatisch reticulum. De cellichamen van vrijwel alle neuronen liggen in of dicht bij het centrale zenuwstelsel.

■ **Afb. 28** Een neuron (schematisch).



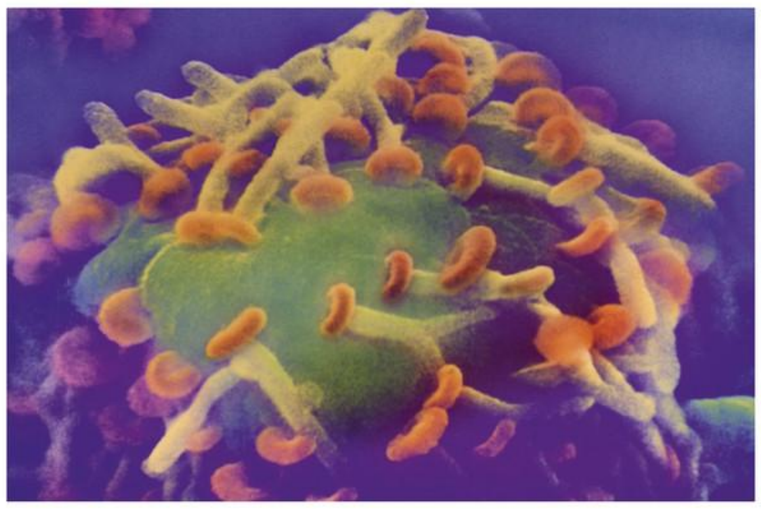
Neuronen kunnen impulsen ontvangen en doorgeven. Een uitloper van een zenuwcel die impulsen ontvangt en naar het cellichaam toe geleidt, heet een dendriet. Een uitloper die impulsen van het cellichaam af geleidt, heet een axon. De uiteinden van dendrieten en axonen zijn meestal sterk vertakt. Hierdoor kan een neuron contact hebben met veel andere cellen. Axonen en dendrieten kunnen tot wel meer dan een meter lang zijn.

Veel axonen zijn omgeven door een **myelineschede**. Een myelineschede bestaat uit gliacellen, die je de **cellen van Schwann** noemt. Tussen twee opeenvolgende cellen van Schwann zit een kleine onderbreking: een insnoering. Een uitloper zonder myelineschede noem je ongemyeliniseerd.

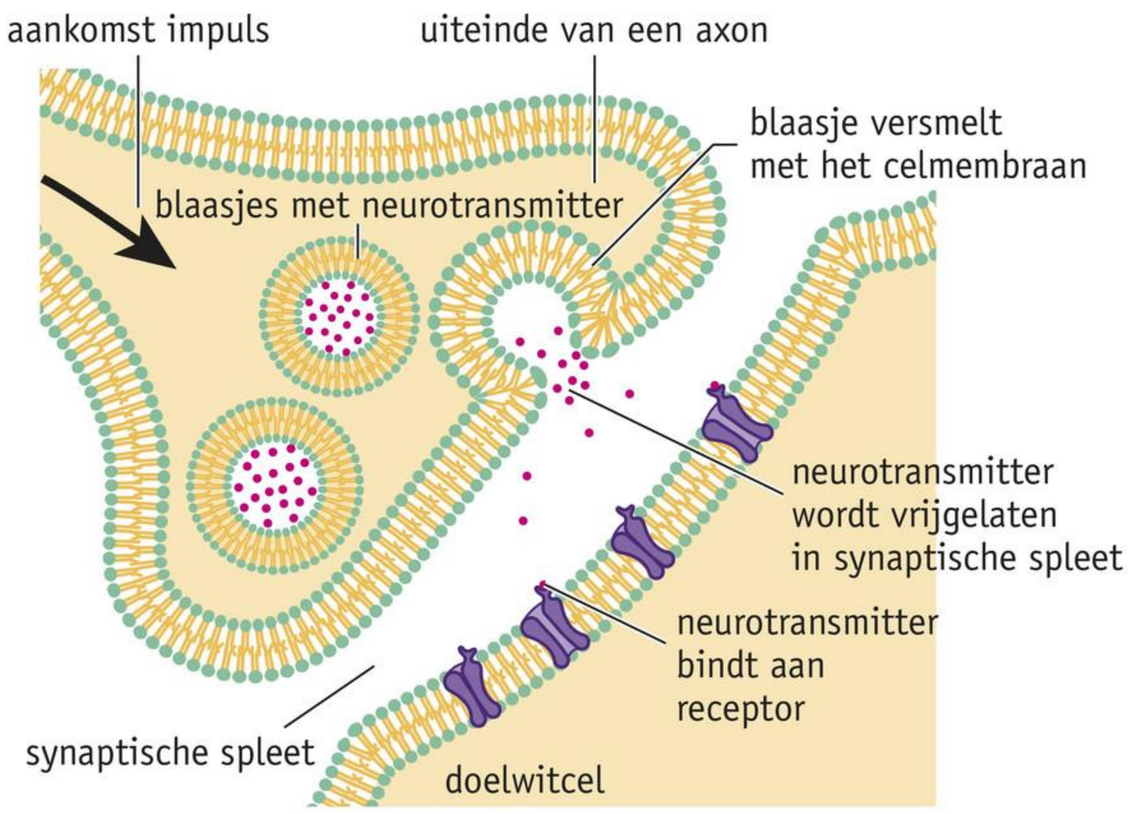
In meercellige organismen kunnen cellen op verschillende manieren met elkaar zijn verbonden. Zo'n verbinding noem je een **cell junction**. Het type cell junction hangt af van het doel van de verbinding. Dat kan bijvoorbeeld hechting of communicatie zijn. Cell junctions maken communicatie mogelijk tussen neuronen onderling of tussen neuronen en andere cellen.

De vertakkingen van een axon eindigen in **synapsen** (zie afbeelding 29). Een synaps is een contactplaats waar een impuls van de ene cel naar de andere cel kan worden doorgegeven. In een synaps kan een impuls worden doorgegeven van de ene naar de andere zenuwcel, van een zenuwcel naar een spiercel of van een zenuwcel naar een kliercel. Wanneer een impuls aankomt in het uiteinde van een axon, versmelten blaasjes met neurotransmitters in het uiteinde van dit axon met het celmembraan. Hierdoor komt de inhoud vrij in de synapsspleet (zie afbeelding 30). De neurotransmitters binden vervolgens aan receptoren in het membraan van de doelwitcel en kunnen daar een reactie op gang brengen of stoppen. Door de binding aan de receptoren kunnen bijvoorbeeld impulsen in een andere zenuwcel ontstaan. Hierna laten de neurotransmitters los en worden ze weer door het axon opgenomen in blaasjes of door enzymen in de synapsspleet afgebroken. Zo kunnen ze niet opnieuw aan de receptoren binden en een nieuwe impuls veroorzaken. Communicatie via neuronen is snel en doelgericht, doordat de uitlopers de impulsen snel geleiden en er neurotransmitters bij de doelwitcel vrijkomen. Zo kan bijvoorbeeld het samentrekken van veel spiercellen tegelijkertijd worden gecoördineerd om een gerichte, snelle beweging mogelijk te maken.

■ **Afb. 29** Een foto van een cel met uiteinden van axonen (SEM, vergroting 6000×).



■ **Afb. 30** Impulsoverdracht in een synaps (schematisch).

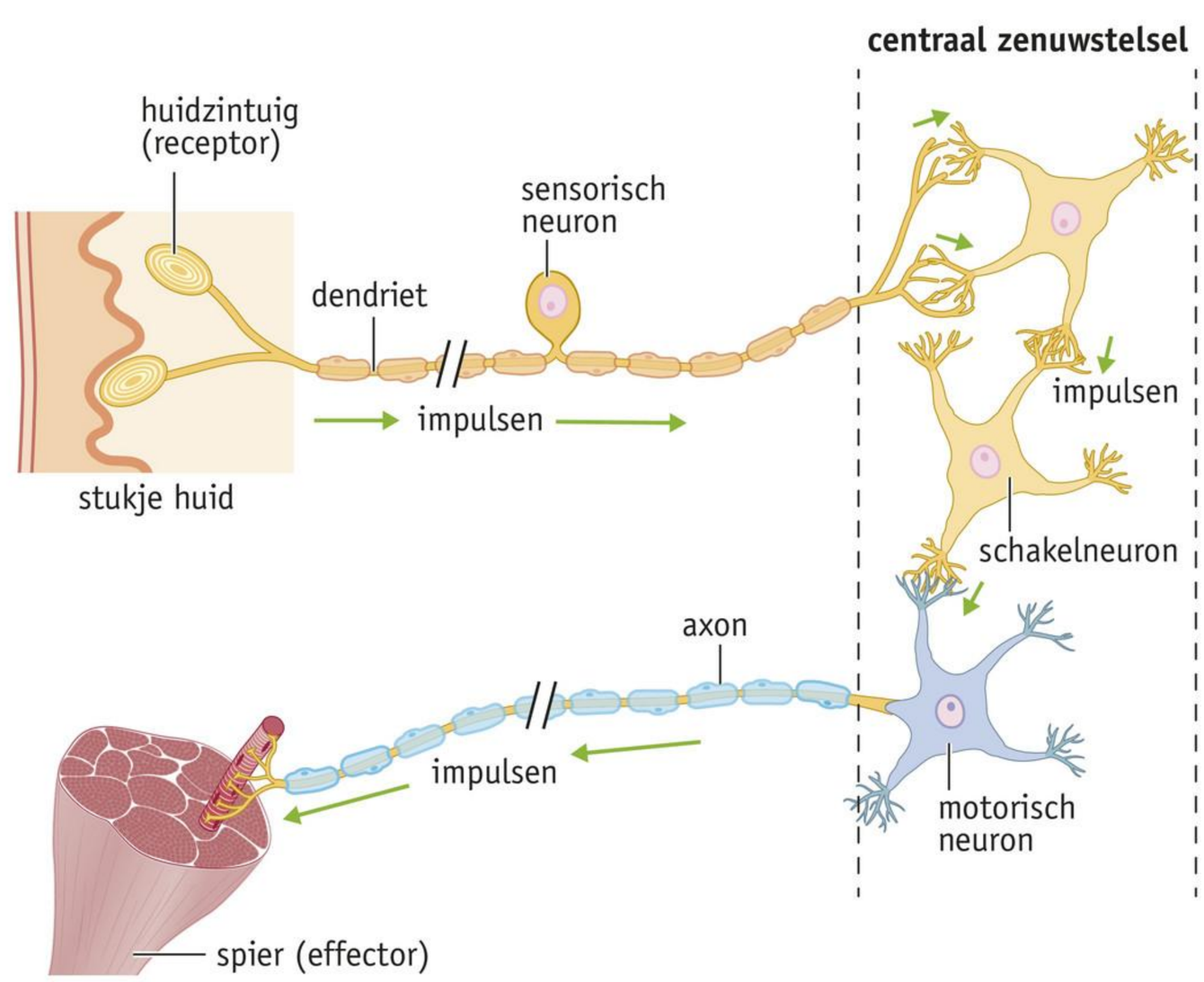


TYPEN NEURONEN

Er zijn drie typen neuronen: sensorische neuronen, schakelneuronen en motorische neuronen (zie afbeelding 31 en *BiNaS* tabel 88A).

- **Sensorische neuronen** (gevoelszenuwcellen) geleiden impulsen van receptoren naar het centrale zenuwstelsel. De cellichamen van de meeste sensorische neuronen liggen vlak bij het centrale zenuwstelsel. Een sensorisch neuron heeft één lange dendriet en één kort axon.
- **Schakelneuronen** (schakelcellen) geleiden impulsen binnen het centrale zenuwstelsel. Schakelneuronen kunnen impulsen ontvangen van sensorische neuronen en deze doorgeven aan motorische neuronen. Ze kunnen ook impulsen ontvangen van andere schakelneuronen of impulsen doorgeven aan andere schakelcellen. Schakelneuronen liggen geheel binnen het centrale zenuwstelsel.
- **Motorische neuronen** (bewegingszenuwcellen) geleiden impulsen van het centrale zenuwstelsel naar spieren en klieren. De cellichamen van de meeste motorische neuronen liggen in het centrale zenuwstelsel. Een motorisch neuron heeft meerdere korte dendrieten en één lang axon naar een spier of klier (de effector).

■ **Afb. 31** Typen neuronen (schematisch).

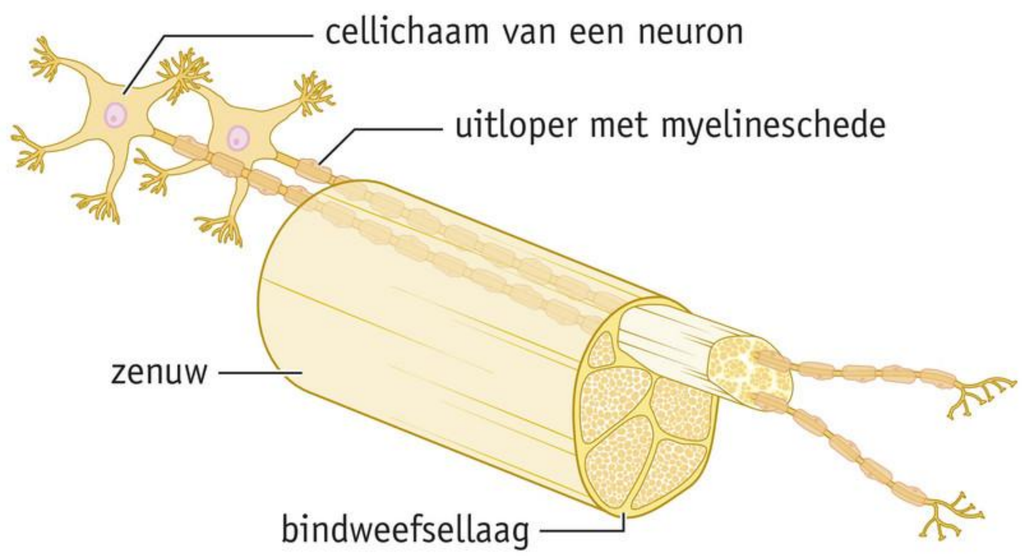


ZENUWEN

De uitlopers van sensorische en motorische neuronen liggen bij elkaar in **zenuwen** (zie afbeelding 32). De myelineschede isoleert uitlopers in een zenuw van elkaar. Om een zenuw heen ligt een laag bindweefsel. Deze laag zorgt voor bescherming.

Er zijn drie typen zenuwen: gevoelszenuwen, bewegingszenuwen en gemengde zenuwen. Een gevoelszenuw bevat alleen uitlopers van gevoelszenuwcellen en een bewegingszenuw bevat alleen uitlopers van bewegingszenuwcellen. Gemengde zenuwen bevatten zowel uitlopers van sensorische neuronen als van motorische neuronen. De meeste zenuwen zijn gemengde zenuwen, bijvoorbeeld de zenuwen die de armen of benen verbinden met het ruggenmerg.

■ **Afb. 32** Een zenuw met enkele neuronen (schematisch).



Opdrachten KENNIS

27 **a** Kan een impuls in een schakelneuron worden doorgegeven aan een sensorisch neuron? Leg je antwoord uit.
b Kan een impuls in een schakelneuron via de dendriet worden doorgegeven aan een axon van een ander neuron? Leg je antwoord uit.
c Kan een impuls in een schakelneuron worden doorgegeven aan een motorisch neuron? Leg je antwoord uit.

28 **a** Welk type neuronen komen voor in een zenuw die het ruggenmerg met een onderarm verbindt?
b In welke richting geleidt een gemengde zenuw impulsen?

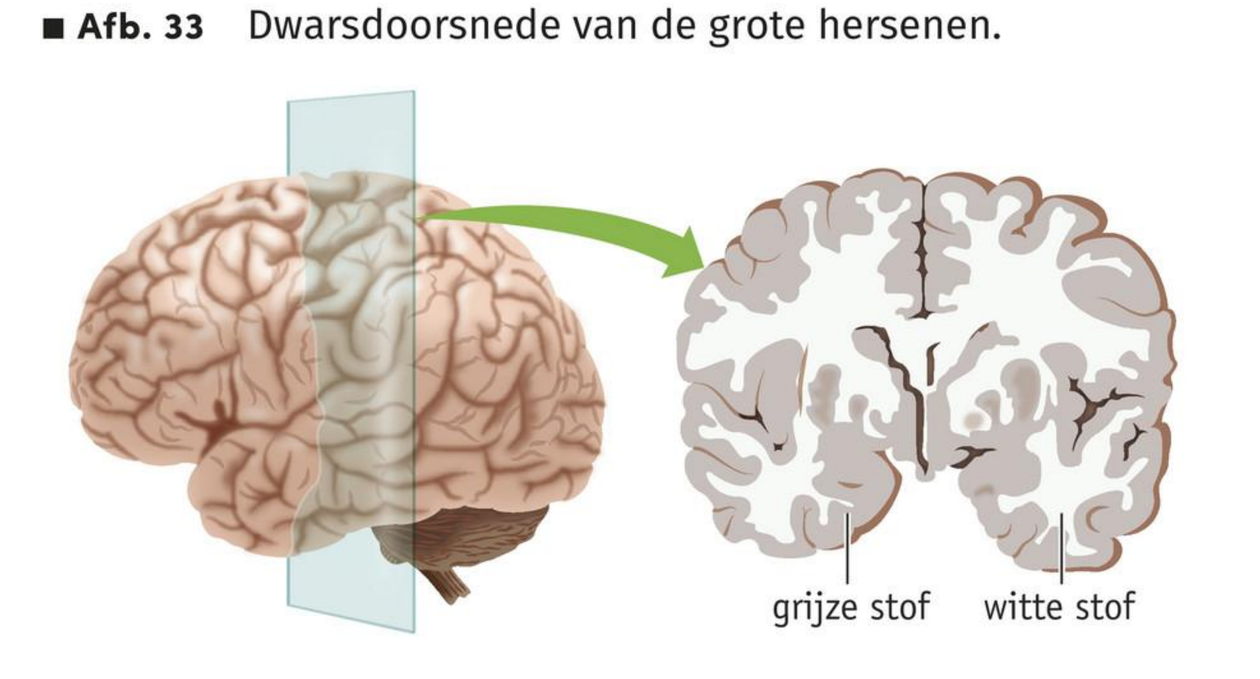
29 Door alcoholgebruik sterven neuronen af.
Leg uit dat voor afgestorven neuronen geen nieuwe neuronen worden gemaakt.

HERSENEN

De hersenen bestaan uit de grote hersenen, de kleine hersenen en de hersenstam. Ze zijn omgeven door drie hersenvliezen die bescherming bieden. Het hersenvocht dat in de holten in de hersenen wordt aangemaakt, beschermt de hersenen en het ruggenmerg tegen schokken, zorgt voor transport van voedingsstoffen en afvalstoffen en speelt een rol bij het handhaven van de juiste temperatuur voor deze organen.

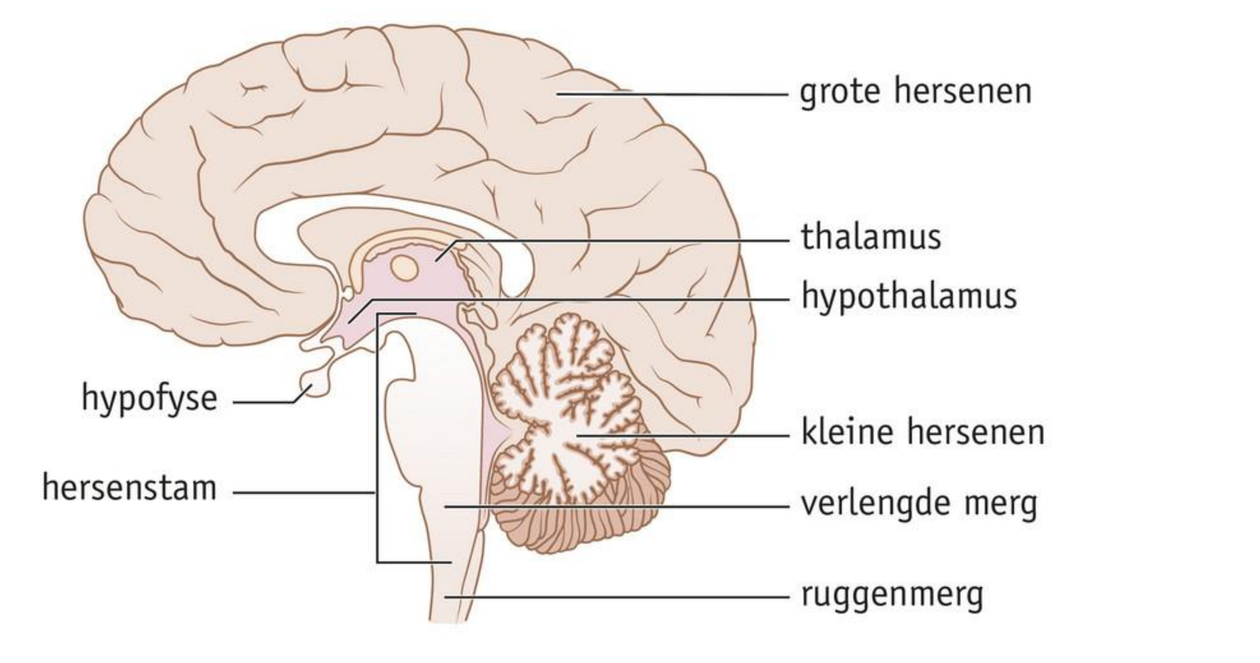
De grote en de kleine hersenen bestaan elk uit een linkerhelft en een rechterhelft. Ze zijn in het midden verbonden door de hersenbalk. In de **hersenschors** (het buitenste gedeelte) van de grote en de kleine hersenen ligt de **grijze stof**. Hierin liggen de cellichamen van schakelneuronen. Doordat de hersenschors sterk is gevouwen, zitten er veel plooien en groeven in. In het merg (het binnenste gedeelte) ligt de **witte stof** met daarin de axonen van schakelneuronen (zie afbeelding 33). De witte kleur wordt veroorzaakt door de myelinescheden die om de axonen heen liggen.

■ **Afb. 33** Dwarsdoorsnede van de grote hersenen.



De **hersenstam** is het gedeelte tussen de grote hersenen en het ruggenmerg. De hersenstam geleidt impulsen van de grote en kleine hersenen naar het ruggenmerg en omgekeerd. In de hersenstam liggen verschillende centra die belangrijke lichaamsfuncties regelen, zoals het hartritme, de diameter van de bloedvaten en de ademhalingsfrequentie. Hersenzenuwen uit de hersenstam geleiden ook impulsen van receptoren uit hoofd en hals naar de grote en kleine hersenen en in omgekeerde richting naar de effectoren. Het onderste deel van de hersenstam, daar waar de hersenstam overgaat in het ruggenmerg, heet het verlengde merg (zie afbeelding 34). In het verlengde merg kruisen de impulsbanen elkaar. De impulsen van de linkerhelft van het lichaam worden naar de rechterhersenhelft geleid en de impulsen van de rechterhelft van het lichaam naar de linkerhersenhelft.

■ **Afb. 34** Lengtedoorsnede van de hersenen.

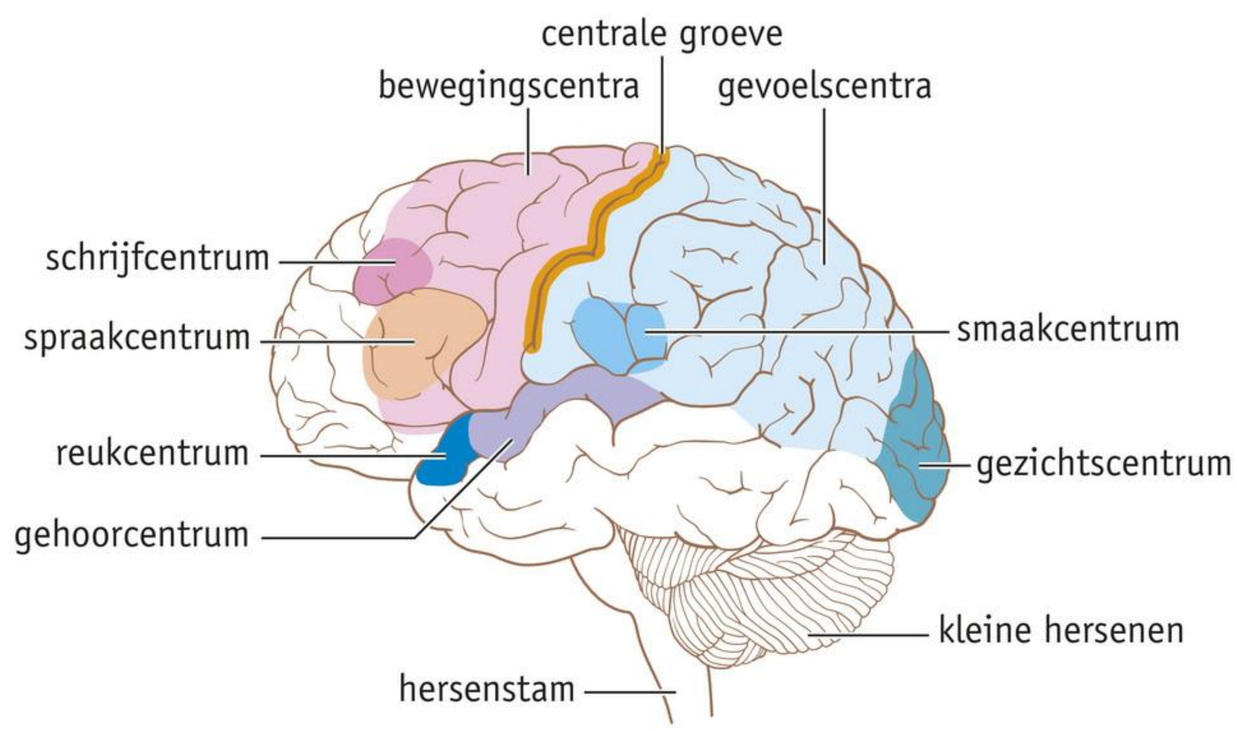


In de **grote hersenen** word je je bewust van de waarnemingen die je doet. Ook ontstaan daar de impulsen om spieren aan te sturen voor bewuste bewegingen. De **kleine hersenen** spelen een belangrijke rol bij het handhaven van je evenwicht en het coördineren van je bewegingen. Je waarnemingen worden hier afgestemd op je bewegingen. Vaak voer je meerdere bewegingen tegelijkertijd uit. De kleine hersenen coördineren alle bewegingen van je lichaam. Als je bijvoorbeeld iets wilt pakken en je steekt je arm uit, neem je ondertussen met je zintuigen (vooral je ogen) allerlei veranderingen waar. In je kleine hersenen worden deze waarnemingen gecombineerd met je bewegingen. Hierdoor kun je bijvoorbeeld tijdens sporten tegelijk rennen, om je heen kijken en de bal op het juiste moment in de basket werpen.

HERSENCENTRA

De hersenschors in de grote hersenen bestaat uit gebieden met verschillende functies. Van een aantal **centra in de hersenschors** is de functie bekend (zie afbeelding 35).

■ **Afb. 35** Buitenaanzicht van de hersenen met de ligging van de hersencentra.



Je kunt gevoelscentra en bewegingscentra onderscheiden. In gevoelscentra komen impulsen aan. De plaats in de hersenschors waar deze impulsen aankomen en worden verwerkt, bepaalt de aard van de waarnemingen die je doet. In het gezichtscentrum komen bijvoorbeeld impulsen aan die afkomstig zijn van je ogen. Doordat de impulsen in het gezichtscentrum worden verwerkt, zie je iets en word je je bewust van wat je ziet.

In bewegingscentra ontstaan impulsen voor bewegingen die je bewust wilt maken. De plaats waar de impulsen ontstaan, bepaalt welke skeletspieren er gaan bewegen. Een bewegingscentrum voor een bepaald lichaamsdeel ligt vlak bij het gevoelscentrum voor dat lichaamsdeel (zie ook *BiNaS* tabel 88C).

Doordat de impulsbanen elkaar kruisen in de hersenstam heeft de linkerhersenhelft gevoelscentra en bewegingscentra voor alle lichaamsdelen aan de rechterkant van het lichaam, en andersom. Hoewel de hersenhelften qua bouw gelijk zijn, hebben ze geen identieke functie. Zo kunnen de meeste mensen beter gezichten herkennen met de rechterhersenhelft en blijkt het spreken meer vanuit de linkerhersenhelft te komen.

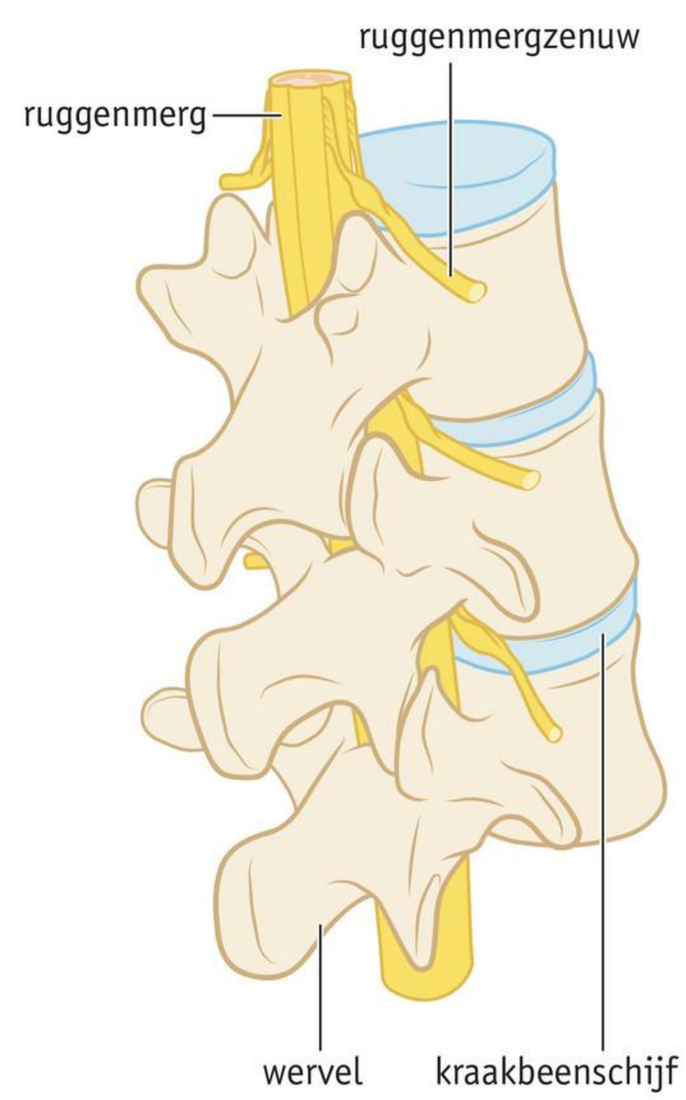
Alle delen van het lichaam zijn verbonden met gevoelscentra. De meeste gevoelscentra liggen bij elkaar in de hersenschors. De gevoelscentra voor ruiken, horen en zien liggen apart in de hersenschors. Wanneer impulsen aankomen in een primair gevoelscentrum, word je je bewust van prikkels. In de secundaire gevoelscentra (of associatiecentra) wordt het verband gelegd tussen de waarneming en eerdere waarnemingen. Door informatie in je geheugen te associëren met de binnengekomen prikkels, ben je in staat om de prikkels te interpreteren en te begrijpen. Wanneer bijvoorbeeld bij iemand een beschadiging optreedt in de secundaire gehoorcentra, kan die persoon wel normaal horen, maar niet begrijpen wát hij hoort.

De meeste bewegingscentra liggen ook bij elkaar in de hersenschors. Een bewegingscentrum voor een bepaald lichaamsdeel ligt vlak bij het gevoelscentrum voor dat lichaamsdeel. De bewegingscentra voor schrijven en spreken liggen apart in de hersenschors. In de primaire bewegingscentra ontstaan impulsen voor bewegingen die je bewust wilt maken. Ze worden via de hersenstam en motorische neuronen naar spieren in hoofd en hals geleid, of via het ruggenmerg en motorische neuronen naar spieren in romp en ledematen. In de secundaire bewegingscentra worden de impulsen die vanuit de ernaast gelegen primaire bewegingscentra komen, op elkaar afgestemd. De secundaire bewegingscentra ontvangen hiervoor ook informatie over de houding van (delen van) het lichaam, zodat de primaire bewegingscentra de juiste spieren kunnen aansturen.

RUGGENMERG

Het **ruggenmerg** ligt bij gewervelden goed beschermd in het wervelkanaal, dat wordt gevormd door de gaten in de op elkaar liggende wervels (zie afbeelding 36). Om het ruggenmerg heen liggen drie ruggenmergvliezen die bescherming bieden. In het midden van het merg bevindt zich een holte: het centrale kanaal. Dit kanaal is gevuld met vocht en staat rechtstreeks in verbinding met het hersenvocht in de hersenholten.

■ **Afb. 36** Ligging van het ruggenmerg in de wervelkolom.

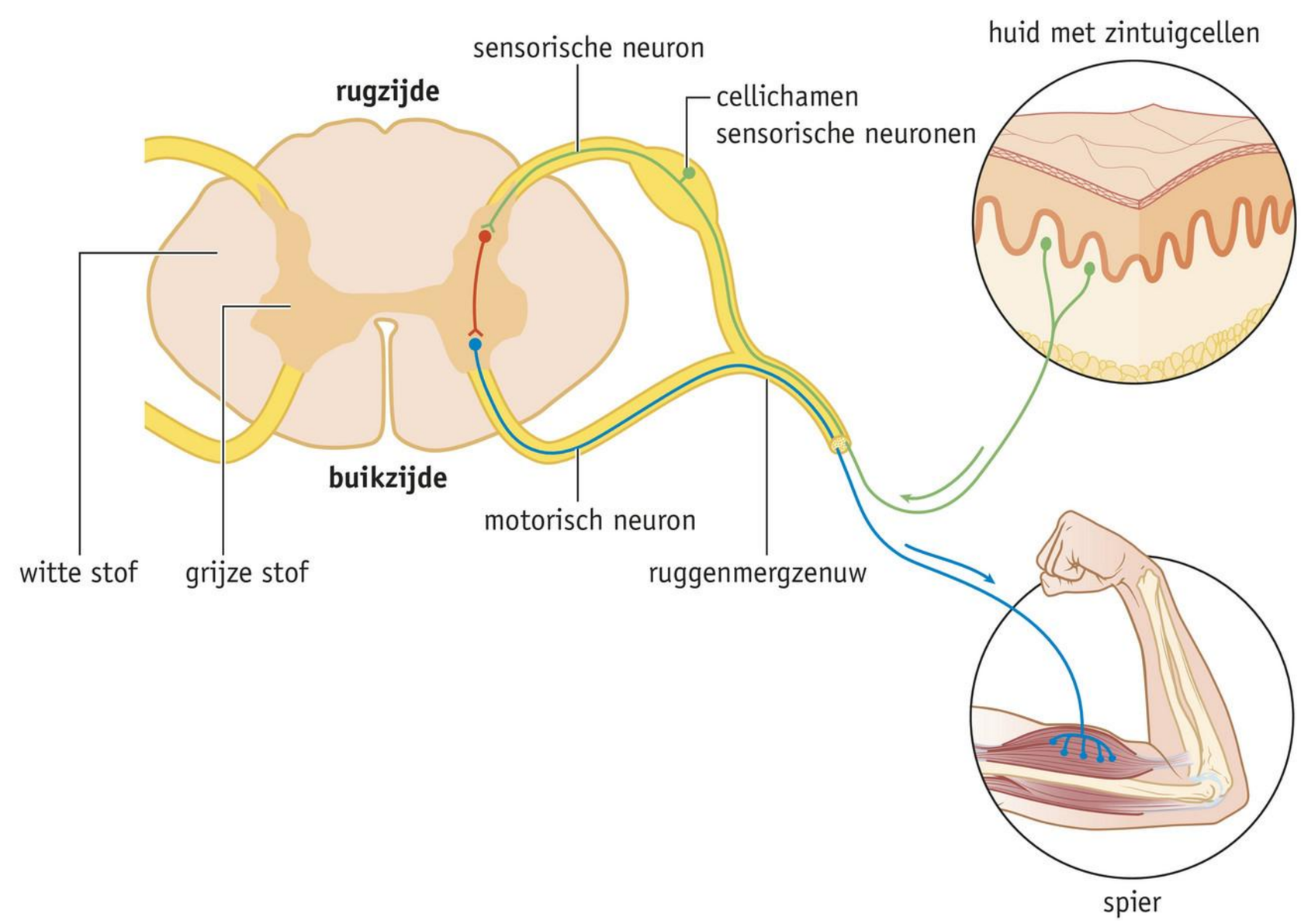


Het ruggenmerg loopt vanaf de bovenste halswervel (de atlas) tot aan de tweede lendenwervel. Van de halswervels tot aan het staartbeen verlaten ruggenmergzenuwen het wervelkanaal. Ze komen door openingen links en rechts tussen de wervels naar buiten en verbinden het ruggenmerg met de weefsels en organen van de ledematen en de romp (zie afbeelding 37).

■ **Afb. 37** Ruggenmergzenuwen en hersenzenuwen.

Ruggenmergzenuwen zijn gemengde zenuwen. Aan de rugkant komen uitlopers van sensorische neuronen in gevoelszenuwen bij elkaar. De verdikkingen in deze zenuwen worden gevormd door een opeenhoping van cellichamen van sensorische neuronen, de ruggenmergzenuwknopen of spinale ganglia (enkelvoud: spinaal ganglion). De cellichamen in de ganglia zijn door axonen verbonden met schakelcellen in het ruggenmerg. Uitlopers van motorische neuronen komen aan de buikkant bij elkaar in bewegingszenuwen. Een gevoelszenuw en een bewegingszenuw komen samen in een ruggenmergzenuw (zie afbeelding 38).

■ **Afb. 38** Overzicht van de ligging van neuronen in het ruggenmerg en in een ruggenmergzenuw (schematisch).



In afbeelding 39 zie je een foto van een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg. In het buitenste gedeelte van het ruggenmerg ligt de witte stof. Hierin liggen veel uitlopers van schakelneuronen. Ze geleiden impulsen van en naar de hersenen, dus omlaag en omhoog. De witte kleur wordt ook hier veroorzaakt door de myelineschede om de uitlopers.

In het midden bevindt zich een vlindervormig gedeelte dat donkerder van kleur is: de grijze stof. In het midden en aan de rugzijde in de grijze stof liggen de cellichamen van schakelneuronen. Aan de buikzijde liggen de cellichamen van motorische neuronen (zie ook *BiNaS* tabel 88J).

■ **Afb. 39** Een microscopische foto van een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg.

Opdrachten KENNIS

30 Door een hersenbloeding heeft een patiënt een verminderde coördinatie van bewegingen.
In welk deel van het centrale zenuwstelsel heeft de hersenbloeding zeer waarschijnlijk plaatsgevonden?

31 Als iemand in het linkerdeel van de grote hersenen een hersenbloeding krijgt, kan een verlamming ontstaan aan de rechterzijde van het lichaam. Leg dat uit.

32 Iemand duwt je. Je voelt de duw, kijkt opzij en duwt terug.
- **a** Beschrijf de weg waarlangs bij deze handeling impulsen naar de primaire gevoelscentra in de grote hersenen worden geleid.
- **b** Wat is bij deze handeling de functie van de primaire gevoelscentra in de grote hersenen?
- **c** Wat is bij deze handeling de functie van de secundaire gevoelscentra in de grote hersenen?
- **d** Wat is bij deze handeling de functie van de primaire en secundaire bewegingscentra in de grote hersenen?

Opdrachten INZICHT

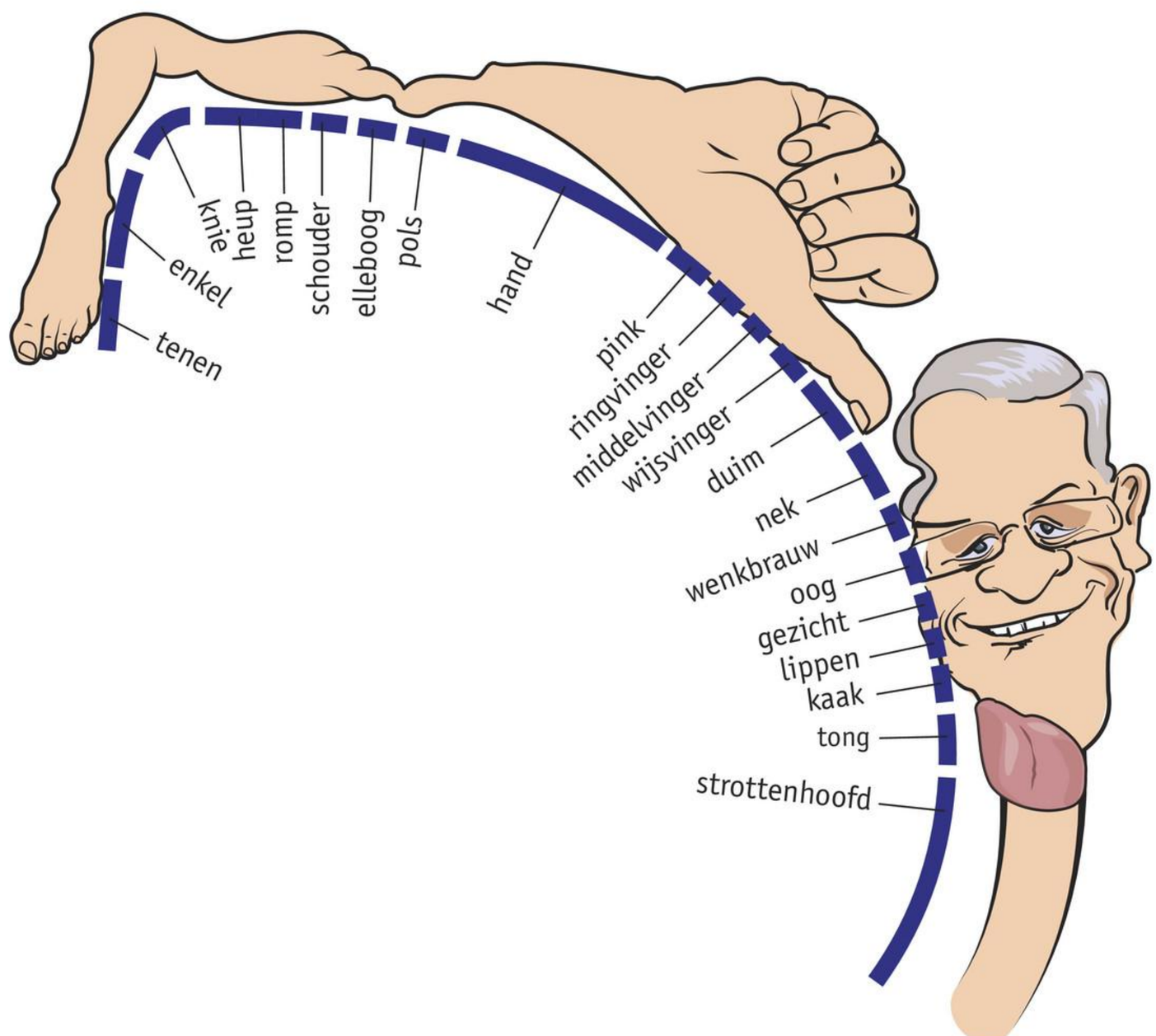
33 Signaalmoleculen maken communicatie tussen cellen mogelijk. Hormonen en neurotransmitters zijn signaalmoleculen.
Welke van deze signaalmoleculen zijn het meest geschikt om snelle bewegingen te coördineren? Leg je antwoord uit.

34 In afbeelding 40 wordt de verbinding tussen de sensorische centra in de hersenschors en de lichaamsdelen weergegeven door een homunculus, een op de hersenschors geprojecteerd figuurtje van de mens.

a Leg uit waarom gezicht en handen in dit figuurtje zo'n grote oppervlakte op de hersenschors innemen.

b Als je bij een proefpersoon een bepaald gebied in de hersenschors prikkelt met een elektrode, gaat zijn duim bewegen.
In welk gebied in de hersenschors ontstaan de impulsen die de duim laten bewegen? Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 88C.

■ **Afb. 40** Een homunculus.



35 Mensen bij wie een arm of been is geamputeerd, hebben vaak toch het gevoel dat ze pijn hebben in het lichaamsdeel dat er niet meer is. Dit verschijnsel heet fantoompijn.

a Leg uit waardoor dit wordt veroorzaakt.

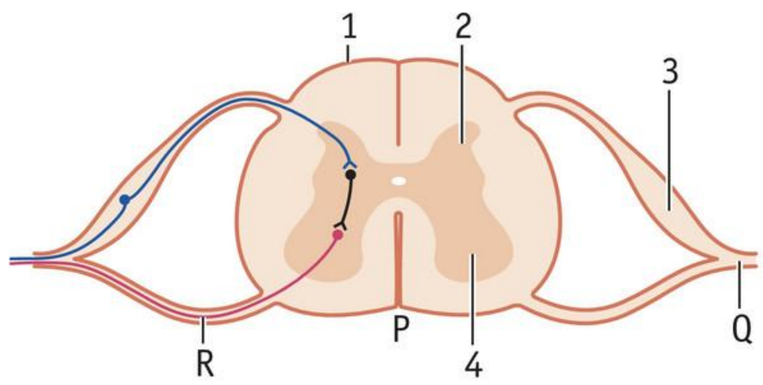
b Er zijn mensen blind geworden, doordat ze bij een val op hun achterhoofd terechtkwamen.
Welk hersengebied in de hersenen is dan beschadigd? Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 88C en verklaar je antwoord.

36 In afbeelding 41 is een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg met aangesloten zenuwen schematisch getekend.

a Geleidt uitloper R impulsen naar een effector of naar een receptor? Leg je antwoord uit.

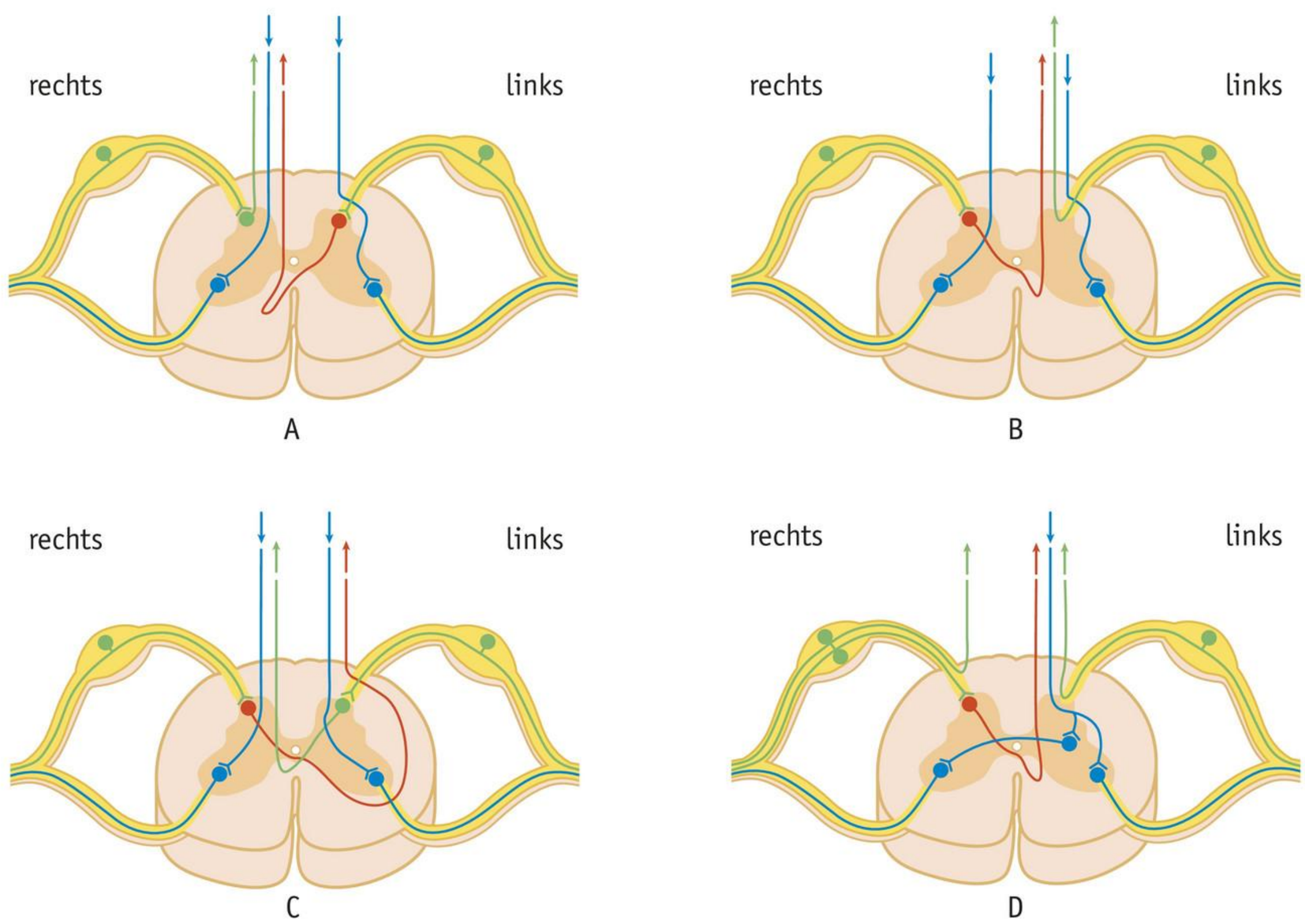
b Welke doorsnede van het ruggenmerg bevat de meeste witte stof: een dwarsdoorsnede die is gemaakt ter hoogte van de halswervels of een dwarsdoorsnede die is gemaakt ter hoogte van de lendenwervels? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 41** Dwarsdoorsnede van het ruggenmerg (schematisch).



37 Een dwarslaesie is een beschadiging aan het ruggenmerg, waardoor de verbinding tussen de hersenen, organen en spieren gedeeltelijk of totaal is onderbroken. Een hond heeft een gedeeltelijke dwarslaesie aan de rechterzijde van het ruggenmerg opgelopen. Bij de hond kunnen door deze gedeeltelijke dwarslaesie alleen aan de rechterkant geen impulsen vanuit de lichaamsdelen achter de dwarslaesie naar de hersenen worden geleid. Andersom kunnen vanuit de hersenen geen impulsen meer naar deze lichaamsdelen toe worden geleid. Hierdoor zijn het rechtergedeelte van het achterlijf en de rechterachterpoot verlamd en ongevoelig geworden. Het linkergedeelte van het achterlijf en de linkerachterpoot zijn niet verlamd, maar wel ongevoelig geworden.
In afbeelding 42 is viermaal een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg getekend. In de tekeningen A, B, C en D zijn vier mogelijke zenuwbanen weergegeven in het gebied achter de plaats van de dwarslaesie. De pijlen in de tekeningen geven de richting aan waarin impulsen zouden kunnen verlopen, wanneer geen dwarslaesie was ontstaan. Beredeneer aan de hand van de verschijnselen die zich bij de gedeeltelijke dwarslaesie voordoen welke tekening de situatie weergeeft zonder dwarslaesie.

■ **Afb. 42** Viermaal een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg van de hond.



Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Beroep

NEUROLOOG

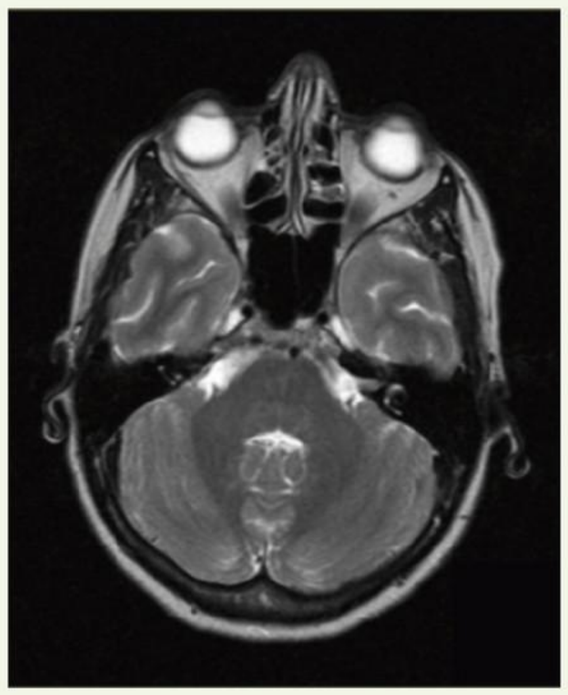
Chris Fokke (zie afbeelding 43.1) werkt al jaren als neuroloog in het Gelre ziekenhuis in Apeldoorn. Elke dag ziet hij patiënten die uiteenlopende klachten hebben over hun ruggenmerg, zenuwen of hersenen. Deze klachten zijn bijvoorbeeld uitstralende pijn vanuit de rug naar het been, aanhoudende hoofdpijn, een loopstoornis of dubbelzien. Daarnaast ziet hij mensen die een zenuwziekte hebben, zoals dementie, ziekte van Parkinson, migraine of epilepsie.

Wanneer patiënten voor het eerst zijn spreekkamer binnenkomen, is zijn belangrijkste rol luisteren. Door goed te luisteren en vragen te stellen kan Chris vaak een lijst met mogelijke diagnosen opstellen. Deze lijst wordt korter, doordat hij na lichamelijk onderzoek bepaalde aandoeningen kan uitsluiten. Soms zet hij hiervoor ook aanvullend onderzoek in. Met behulp van instrumenten of apparaten kan hij de meeste functies van de hersenen en de zenuwen testen. Zo kan hij via een elektromyografie (emg) een zenuw- of spieraandoening opsporen en kan hij via een elektroencefalogram (eeg) hersenactiviteit meten als hij het vermoeden heeft dat de patiënt epilepsie heeft of slaap- en waakstoornissen. Met een ruggenprik kan hij een zenuw- of hersenvliesontsteking aantonen en met een scan (MRI of CT, zie afbeelding 43.2) kan hij zien of de patiënt een rughernia heeft of een hersentumor.

Na het vaststellen van de diagnose volgt een behandelplan. Vaak werkt een neuroloog hierbij samen met andere artsen. In het geval van een operatie werkt Chris samen met neurochirurgen. Het kan ook zijn dat er voor de langere termijn een behandelplan opgesteld moet worden. Dan verwijst hij vaak door naar fysiotherapeuten, verpleegkundigen of revalidatieartsen.

■ **Afb. 43** Een neuroloog bestudeert regelmatig een MRI-scan.

1 Chris Fokke



2 MRI-scan van hersenen

Opdracht

38 **a** Geef drie verschillende eigenschappen die belangrijk zijn als je neuroloog wilt worden.

b In welke twee categorieën kun je de werkzaamheden van neuroloog Chris Fokke indelen?

c Geef twee argumenten waarom het beroep van neuroloog je aanspreekt. Denk aan de benodigde eigenschappen en jouw interesses.

d Geef twee argumenten waarom het beroep van neuroloog niet geschikt is voor jou. Denk aan de benodigde eigenschappen en jouw interesses.

e Concludeer op basis van je antwoorden bij 38c en 38d of het beroep van neuroloog geschikt zou zijn voor jou.

4 REFLEXEN EN HET AUTONOME ZENUWSTELSEL

LEERDOELEN

7.4.1 Je kunt de functie van reflexen en een reflexboog beschrijven. ▶ Practicum 3

7.4.2 Je kunt de werking van het autonome (of vegetatieve) zenuwstelsel beschrijven.

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	7.4.1	7.4.2
Begrijpen	39, 40, 41, 42	43, 44
Toepassen	46a, 47c	48, 49a, 51, 52c
Analyseren	45, 46b, 47ab	49b, 50, 52ab

Met je ogen knipperen, niezen, slikken: je doet het zonder erbij na te denken. Het zijn voorbeelden van reflexen: vaste en snelle reacties op uitwendige prikkels. Hoe komen deze onbewuste reacties tot stand en wat is het nut ervan?

■ **Afb. 44** Niezen is een reflex.

BEWUSTE EN ONBEWUSTE REACTIES

Het animale zenuwstelsel regelt vooral bewuste reacties. Bij een beweging die je bewust wilt maken, ontstaan er impulsen in bewegingscentra van de grote hersenen. Deze impulsen gaan via schakelneuronen naar cellen in de kleine hersenen en vervolgens naar schakelneuronen in de hersenstam en het ruggenmerg. Vanaf daar gaan de impulsen via motorische neuronen naar spieren, waardoor deze samentrekken en je een beweging maakt. Het animale zenuwstelsel is ook verantwoordelijk voor onbewuste reacties. Je zintuigen verwerken voortdurend allerlei prikkels uit je omgeving, waar je je niet bewust van bent.

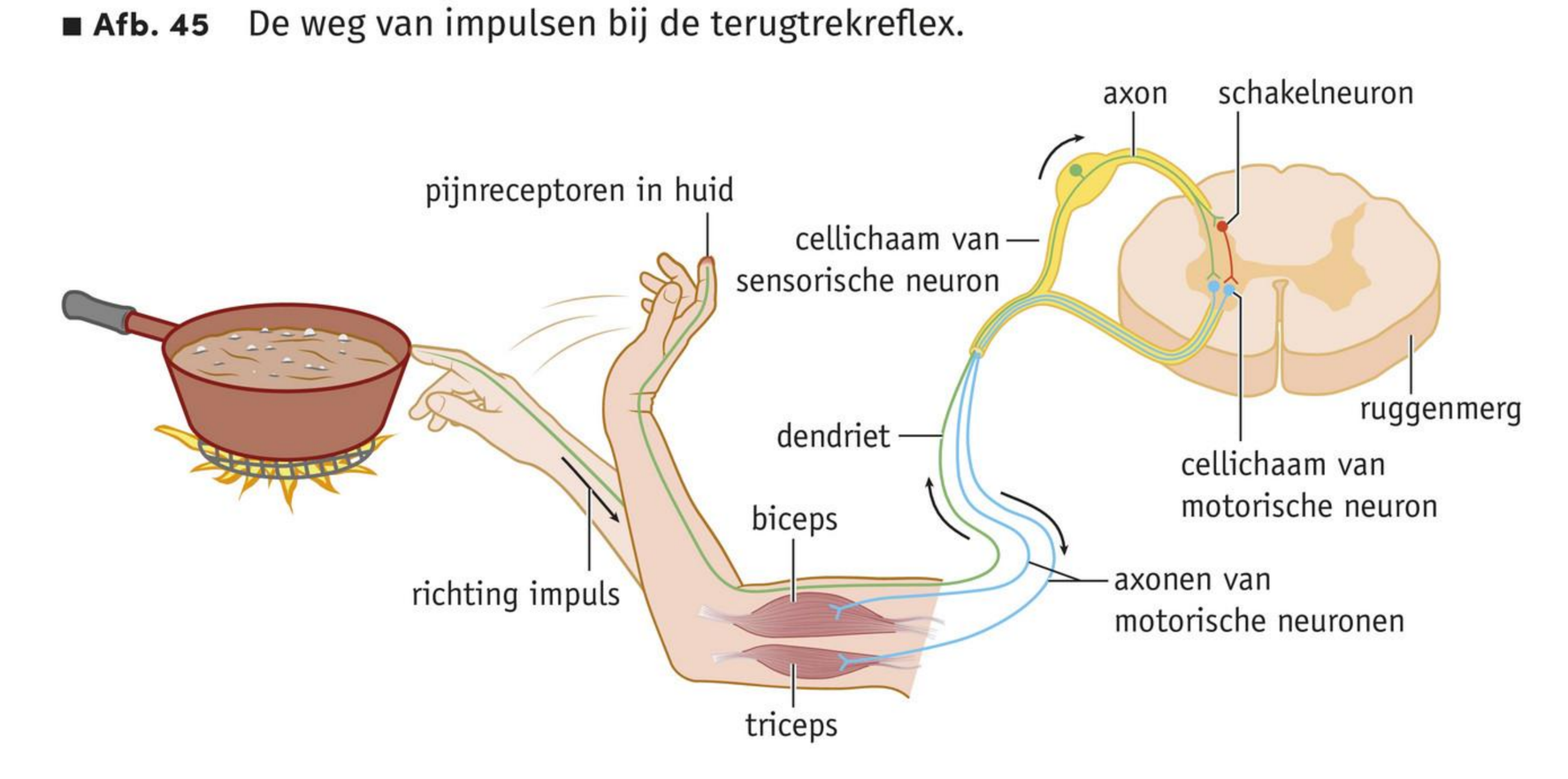
REFLEXEN

Je trekt onmiddellijk je handen terug als je een hete pan aanraakt. Deze reactie is een voorbeeld van een reflex. Je hebt snel en zonder erover na te denken gehandeld. Een reflex is een vaste, snelle, onbewuste reactie op een bepaalde prikkel. Bij een reflex leggen impulsen een andere weg af dan bij een bewuste reactie.

De weg die impulsen bij een reflex afleggen, noem je een **reflexboog** (zie afbeelding 45). Een reflexboog bestaat uit een receptor, conductoren in het zenuwstelsel en een effector. De grote hersenen maken geen deel uit van reflexbogen. De impulsen van zintuigen worden door sensorische neuronen meestal eerst naar schakelneuronen in het ruggenmerg of in de hersenstam geleid en daarna direct doorgegeven aan motorische neuronen. Hierdoor is de weg die een impuls aflegt bij een reflex korter en neemt de reactiesnelheid toe. De reflexbogen van romp en ledematen verlopen via de schakelneuronen in het ruggenmerg. De reflexbogen van hoofd en hals verlopen via de schakelneuronen in de hersenstam. Bij een reflex gaan er ook impulsen naar de grote hersenen. Die impulsen komen aan als de reflex al heeft plaatsgevonden. Hierdoor word je je wat later bewust van je reactie.

Bij de meeste reflexen zijn de sensorische neuronen alleen via schakelneuronen met motorische neuronen verbonden. Bij de kniepeesreflex worden impulsen van sensorische neuronen ook direct aan motorische neuronen doorgegeven.

■ **Afb. 45** De weg van impulsen bij de terugtrekreflex.



Er bestaan veel verschillende reflexen. Sommige reflexen zijn betrokken bij het beschermen van je lichaam. Een voorbeeld hiervan is de terugtrekreflex, die optreedt als je met je hand een heet voorwerp aanraakt. De meeste reflexen hebben een functie bij de handhaving van bepaalde houdingen van je lichaam en bij bewegingen. Kleine spanningsverschillen in je spieren leiden tot reflexmatige correcties, waardoor je bijvoorbeeld rechtop kunt staan zonder om te vallen. Onder andere de kniepeesreflex speelt hierbij een rol (zie *BiNaS* tabel 88K). Andere voorbeelden van reflexen zijn de hoestreflex, de slikreflex, de pupilreflex, de ooglidreflex, de voetzoolreflex en de zuigreflex. Ook de afscheiding van speeksel is een reflex. Sommige reflexen kun je onderdrukken, andere niet.

Opdrachten KENNIS

39 Een doelman haalt tijdens een voetbalwedstrijd op spectaculaire wijze een bal uit het doel (zie afbeelding 46). De voetbalcommentator spreekt van een katachtige reflex. Is hier sprake van een bewuste reactie of van een reflex? Leg je antwoord uit.

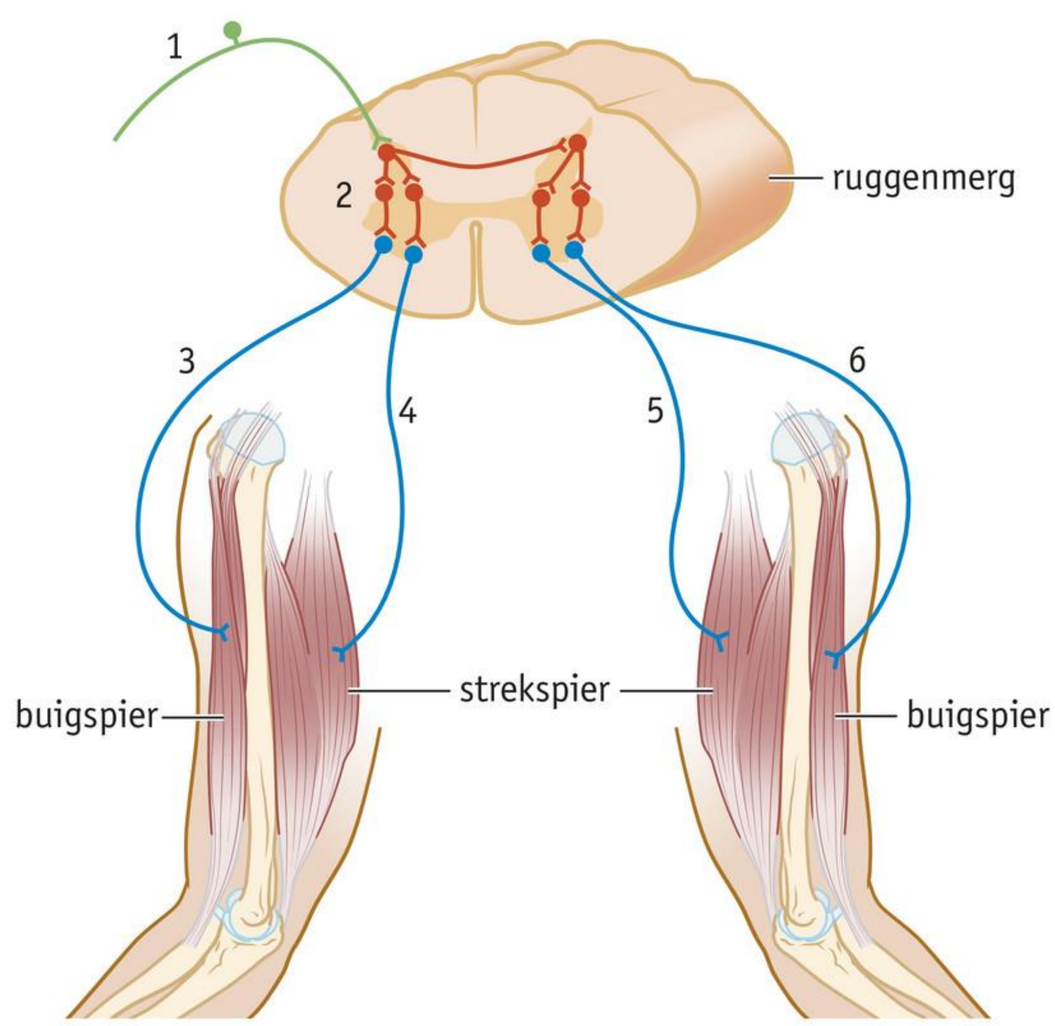
■ **Afb. 46** Een katachtige reflex.

40 Mats raakt met de vingers van zijn rechterhand een scherp voorwerp aan. In een reflex trekt hij zijn rechterhand terug. Eveneens reflexmatig strekt hij zijn linkerarm. In afbeelding 47 is een aantal zenuwverbindingen tussen het ruggenmerg en de rechter- en linkerarm getekend dat betrokken is bij de beschreven reflexen.

a Welke typen neuronen zijn weergegeven met nummer 1, 2 en 3?

b Welke neuronen geleiden impulsen?

■ **Afb. 47** Zenuwbanen die de bovenarm aansturen.



41 Via welk deel van het centrale zenuwstelsel verloopt de slikreflex?

42 Julia trapt in een punaise. Hierop volgt een reflex: zij trekt haar been omhoog.

a Beschrijf de reflexboog van impulsen die door neuronen worden geleid.

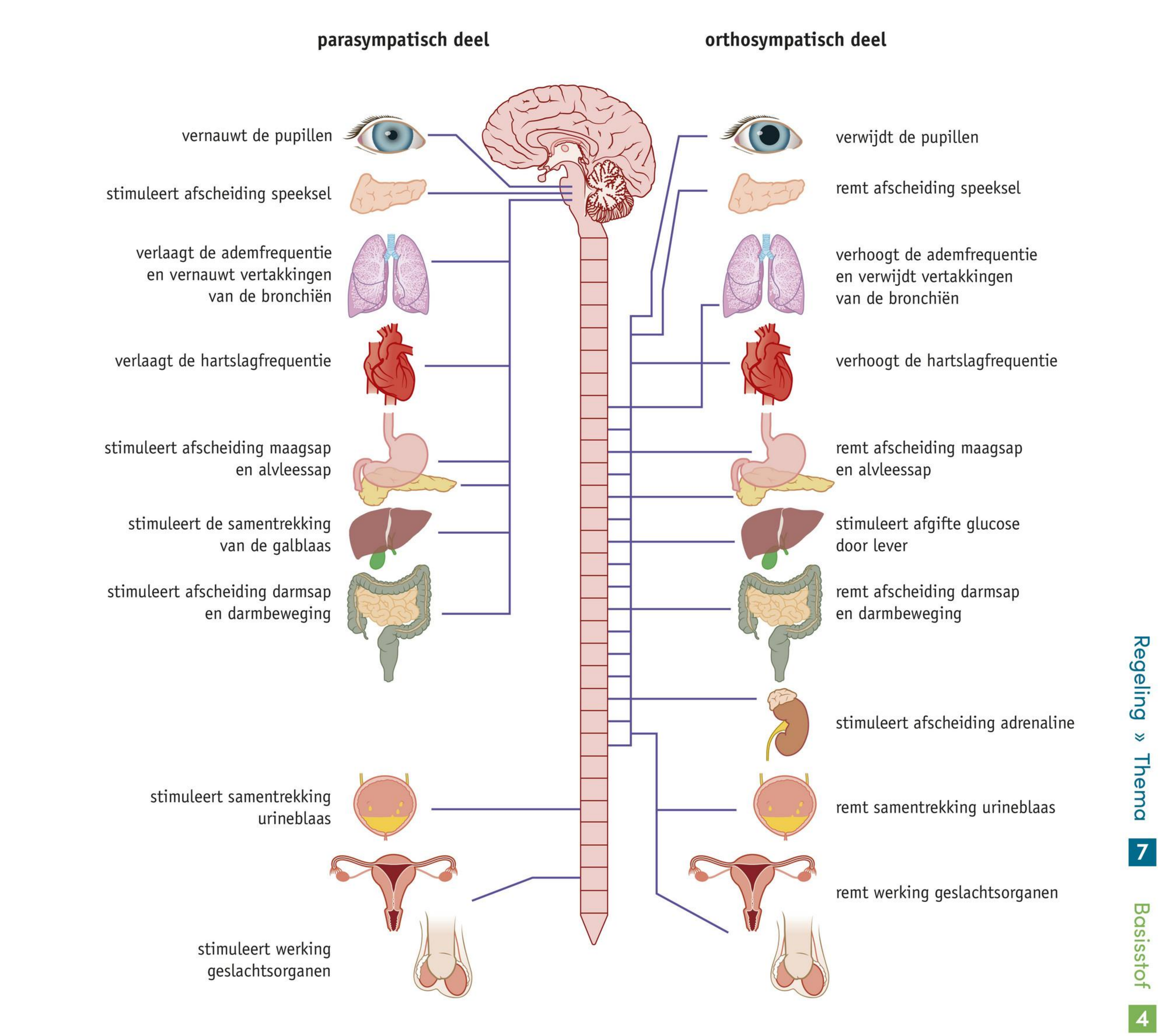
b Wat zijn bij deze reflexboog de conductoren, receptoren en effectoren?

HET AUTONOME ZENUWSTELSEL

Het autonome (of vegetatieve) zenuwstelsel staat niet onder invloed van de wil. Het werkt nauw samen met het hormoonstelsel en regelt onder andere de werking van de spieren van inwendige organen en klieren. Het autonome zenuwstelsel kun je onderverdelen in het **orthosympatische zenuwstelsel** en het **parasympatische zenuwstelsel** (zie afbeelding 48). Deze twee delen hebben een tegengestelde werking. Ze werken samen om de homeostase in het lichaam te handhaven (zie ook *BiNaS* tabel 88L).

Het orthosympatische deel beïnvloedt de organen op zo'n manier dat het lichaam activiteiten kan verrichten waar energie voor nodig is. Door verbranding te bevorderen wordt energie vrijgemaakt. Impulsen vanuit het orthosympatische deel verhogen de hartslagfrequentie, verwijden de bloedvaten naar de skeletspieren, zetten de lever aan om glycogeen om te zetten in glucose, verhogen de ademfrequentie en verwijden de vertakkingen van de bronchiën. Het orthosympatische deel remt de organen van het verteringsstelsel en de nieren in hun werking.

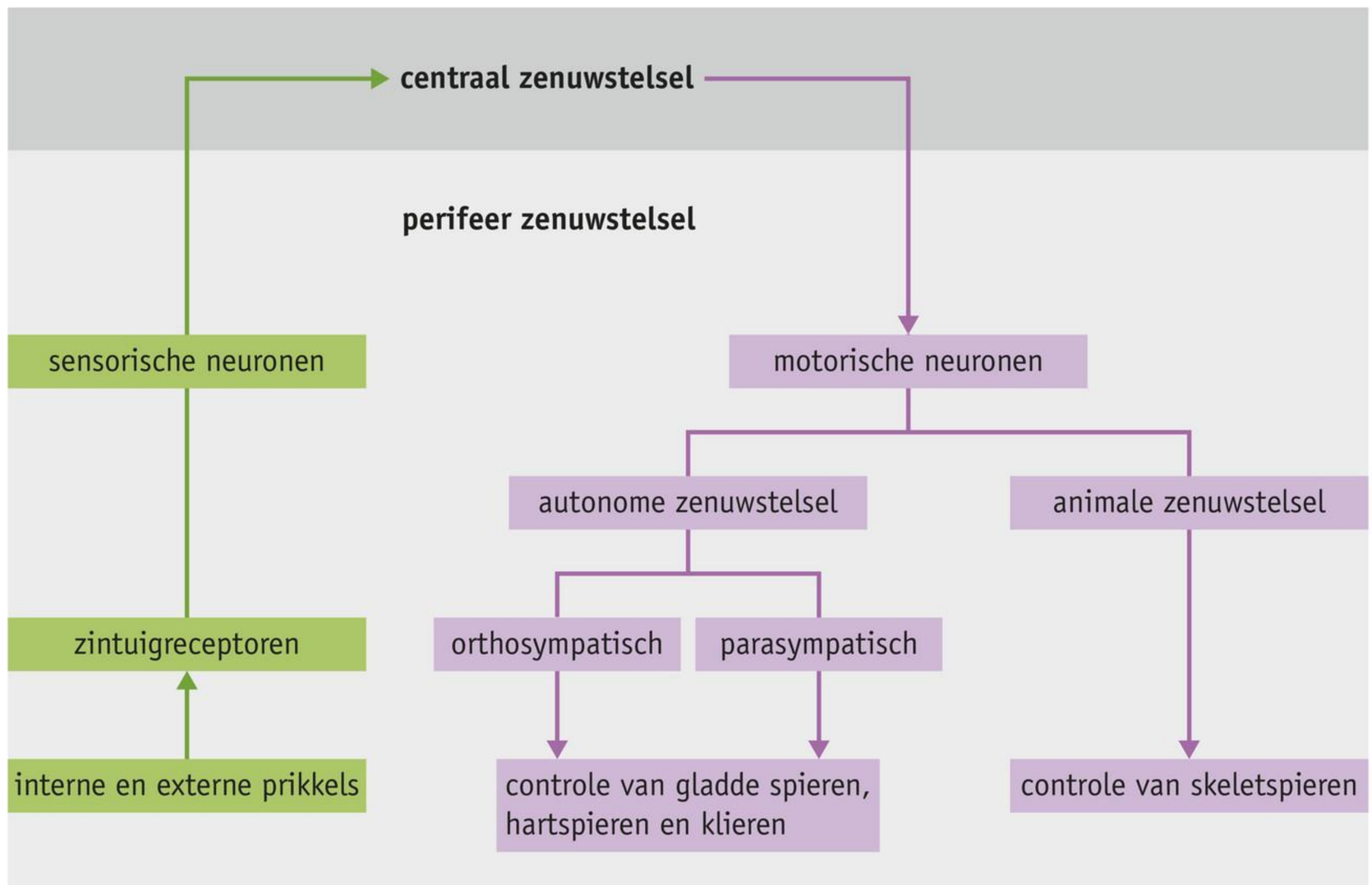
■ **Afb. 48** Het autonome zenuwstelsel.



Het parasympatische deel beïnvloedt de organen, zodat het lichaam in een toestand van rust en herstel kan komen. Het bevordert de stofwisseling. Impulsen vanuit het parasympatische deel stimuleren de productie van verteringssappen, de darmbeweging, de omzetting van glucose in glycogeen in de lever, de verwijding van de bloedvaten naar het verteringsstelsel en de werking van de nieren. Ze verlagen onder andere de hartslag- en de ademfrequentie.

Beide delen van het autonome zenuwstelsel zijn steeds actief. Het hangt van de omstandigheden af welk deel op een bepaald moment de sterkste activiteit vertoont. Bepaalde centra in de hersenstam coördineren de activiteiten van het autonome zenuwstelsel. Elk doelwitorgaan wordt aangestuurd door twee zenuwen van het autonome zenuwstelsel: een orthosympatische en een parasympatische zenuw. Hierdoor kan de werking van een orgaan worden gestimuleerd of geremd. Afbeelding 49 laat zien hoe het zenuwstelsel bij mensen is georganiseerd.

■ **Afb. 49** De functionele organisatie van het zenuwstelsel bij de mens.



Opdrachten KENNIS

43 Jorn is intensief aan het sporten.

a Behoren de neuronen die voor een verhoogde hartslag zorgen tot het animale zenuwstelsel of tot het parasympatische of orthosympatische deel van het autonome zenuwstelsel?

b Tot welk deel van het zenuwstelsel behoren de neuronen die de armspieren laten samentrekken?

c Net na het sporten trapt Jorn met zijn teen op een scherp voorwerp. Meteen trekt hij zijn been omhoog.
Behoren de neuronen die de beenspieren laten samentrekken tot het animale zenuwstelsel, of tot het parasympatische of orthosympatische deel van het autonome zenuwstelsel? Leg je antwoord uit.

d Na het sporten gaat Jorn naar huis. Daar rust hij uit en eet vervolgens een maaltijd. Behoren de neuronen die de spieren in de wand van de dunne darm stimuleren tot het animale zenuwstelsel of tot het parasympatische of orthosympatische deel van het autonome zenuwstelsel?

44 Mees houdt zijn adem voor langere tijd in.

a Wordt dit geregeld door het animale of het autonome zenuwstelsel?

b Na verloop van tijd kan Mees zijn adem niet langer meer inhouden en haalt hij weer adem.
Wordt dit geregeld door het animale of het autonome zenuwstelsel?

Opdrachten INZICHT

45 Lees nog eens opdracht 40 en bekijk afbeelding 47.
Leg uit waarom de buigreflex van Mats' rechterarm een fractie van een seconde eerder plaatsvindt dan de strekreflex van zijn linkerarm.

46 Een patiënt heeft tijdens een auto-ongeluk een dwarslaesie in de nek opgelopen. Daardoor kunnen impulsen niet meer worden doorgegeven van de hersenen naar de lichaamsdelen onder de dwarslaesie. Andersom kunnen vanuit de lichaamsdelen onder de dwarslaesie geen impulsen meer naar de hersenen worden geleid.

a Een verpleegkundige stoot een beker hete thee om. De thee stroomt over de hand van deze patiënt.
Kan de patiënt de hete thee voelen? Leg je antwoord uit.

b Kan bij deze patiënt de terugtrekreflex plaatsvinden? Leg je antwoord uit.

47 Reflexen kun je onderdrukken. Een hete lepel laat je bijvoorbeeld vallen, maar een hete pan soep niet zo snel.

a Leg uit hoe je zenuwstelsel een reflex kan onderdrukken.

b Wanneer je een operatie aan je voet ondergaat, kan dat onder plaatselijke verdoving. Je blijft dan bij bewustzijn, maar voelt de pijn niet. De bekendste vorm is de ruggenprik. Door een vloeistof om het ruggenmerg te spuiten, worden de sensorische en motorische neuronen in het onderlichaam verdoofd.
Is het mogelijk dat je je voet in een reflex terugtrekt tijdens de operatie als je een ruggenprik hebt gekregen? Leg je antwoord uit.

c Is het mogelijk dat je tijdens de operatie je voet bewust terugtrekt? Leg je antwoord uit.

48 Een neuron dat behoort tot het parasympatische deel van het autonome zenuwstelsel is verbonden met spierweefsel in de darmwand. Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 88L.

a In welke situatie is de impulsfrequentie in dit neuron het hoogst: als je hardloopt of als je na een maaltijd een film bekijkt? Leg je antwoord uit.

b Wat gebeurt er met je hartslagfrequentie als je medicijnen slikt die het parasympatische deel van het autonome zenuwstelsel remmen? Leg je antwoord uit.

49 In stresssituaties geeft de hypothalamus impulsen af die via het ruggenmerg aankomen in het bijniermerg. Het bijniermerg geeft vervolgens adrenaline af.

a Welk deel van het autonome zenuwstelsel is hier actief? Leg je antwoord uit.

b Een stressreactie wordt vooral veroorzaakt door hormonen en veel minder door neurotransmitters.
Wat is hier het voordeel van?

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Wetenschap

INCONTINENTIE

Plassen kan gevaarlijk zijn voor landdieren, doordat de geur van urine vijanden aantrekt. De evolutie heeft daar een slimmigheidje op gevonden: je plast pas, wanneer je een veilige plek hebt gevonden. Dit geldt niet alleen voor dieren, maar ook voor mensen. Urineren gaat bij de mens als volgt: in de wand van de blaas zitten zintuigen die de druk kunnen waarnemen. Bij toenemende vulling van de blaas ontstaan door rekking van de wand impulsen in de receptoren die zich in deze wand bevinden. Hierdoor ontstaat een reflex, waarbij spieren in de wand van de blaas zich samentrekken, terwijl de binnenste sluitspieren van de blaas zich ontspannen. Maar zolang de buitenste sluitspier blijft samengetrokken, wordt de urine nog niet geloosd. Je kunt alleen urineren wanneer ook de buitenste sluitspieren van de blaas verslappen.

Dwarslaesiepatiënten hebben vaak last van incontinentie: ze hebben geen controle over het plassen. De zenuwbanen naar en van de hersenen zijn zo beschadigd dat de impulsen die de blaas en hersenen afgeven niet meer worden doorgegeven. Daardoor kan een patiënt zijn plas niet meer ophouden.

Om dit ongemak te verhelpen hebben wetenschappers twee implantaten ontwikkeld die met neuronen zijn te verbinden. Eén implantaat laat een lampje branden wanneer de blaas vol is. De patiënt bedient het andere implantaat als het tijd is om te plassen. Het wachten is nu op de onderzoeksresultaten om te zien of deze aanpak daadwerkelijk werkt.

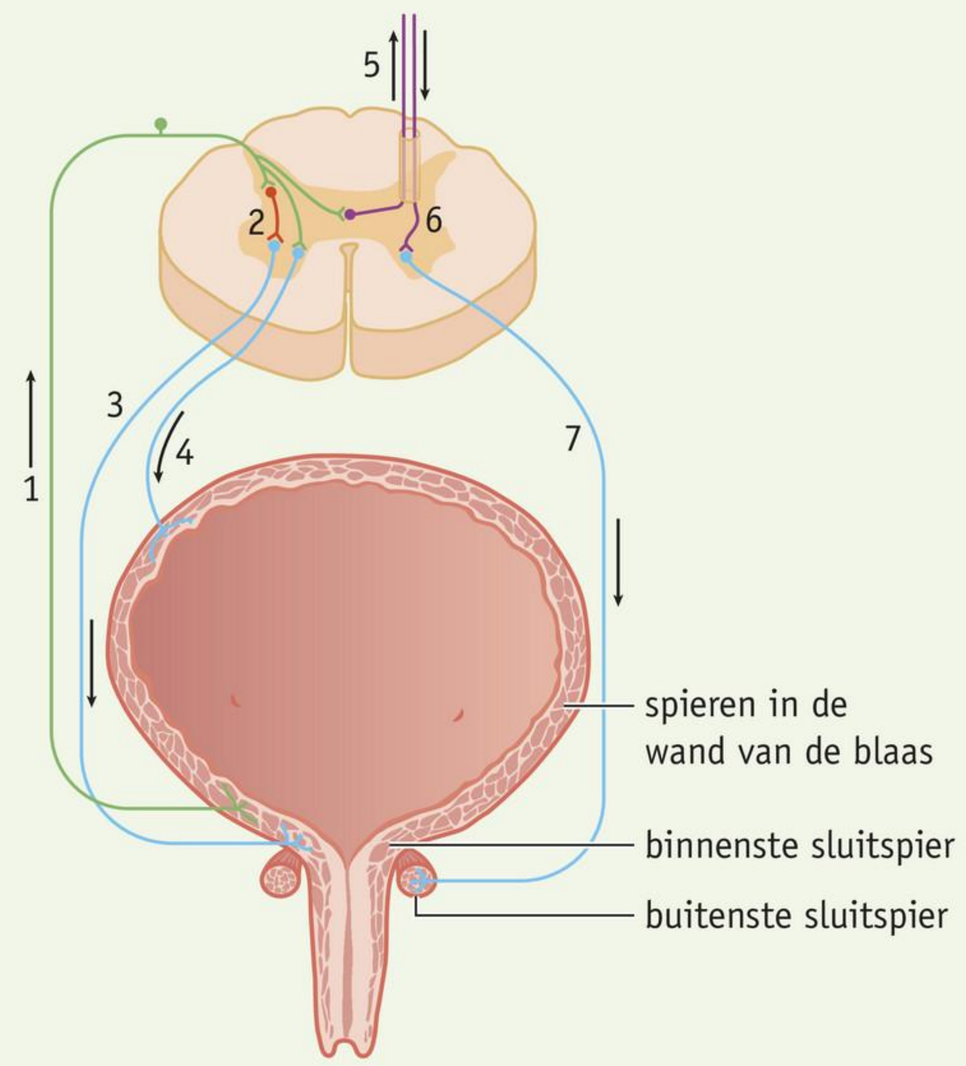
Opdrachten

50 Bekijk afbeelding 50.
Maak een tabel in je schrift met vier kolommen en acht regels. In de eerste kolom zet je als titel: 'nummer in afbeelding', in de tweede kolom: 'type neuron', in de derde kolom: 'animaal/autonoom' en in de vierde kolom: 'stimulerend/remmend'. Zet in de eerste kolom onder elkaar de nummers 1 tot en met 7.
Vul de tabel vervolgens verder in.

51 Wat is het gevolg voor een dwarslaesiepatiënt als de impulsen die de blaas afgeeft niet aankomen in de gevoelscentra van de hersenen?

52 **a** Geef in afbeelding 50 aan waar je het implantaat dat registreert hoe vol de blaas is zou willen plaatsen. Leg je keuze uit.
b Geef in afbeelding 50 aan waar je het implantaat zou willen plaatsen dat de patiënt kan inschakelen om te plassen. Leg je keuze uit.
c Lees onderstaande zin en streep het onjuiste woord door.
Als een patiënt niet wil plassen, geeft het implantaat dat de patiënt controle geeft om te plassen *continu* / *geen* impulsen door aan de buitenste kringspier.

■ **Afb. 50** De zenuwbanen voor blaascontrole.



5 IMPULSGELEIDING

LEERDOELEN

7.5.1 Je kunt beschrijven hoe impulsgeleiding plaatsvindt.
7.5.2 Je kunt beschrijven hoe impulsoverdracht plaatsvindt.

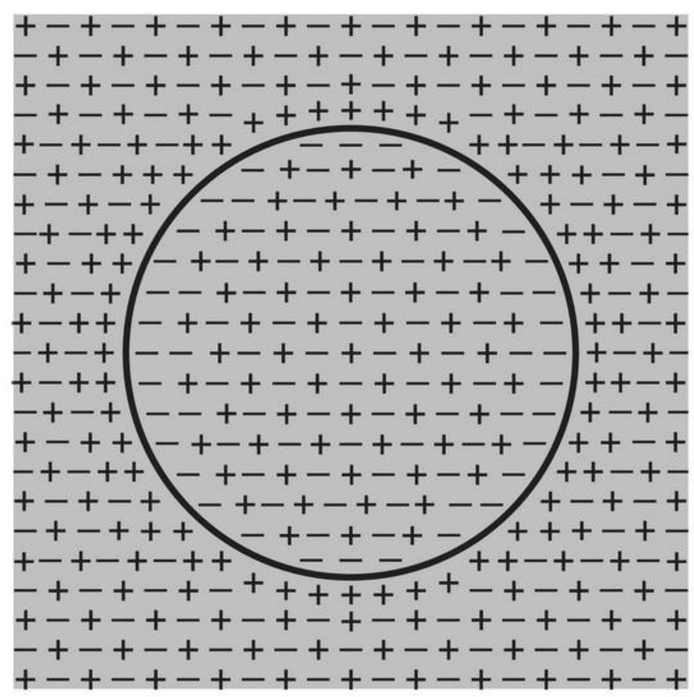
TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN	
	7.5.1	**7.5.2**
Begrijpen	53, 54, 55	56, 57
Toepassen	59ab, 60, 61	63, 66ab, 67, 68
Analyseren	59c	58, 62, 64, 65, 66c

Sommige medicijnen, cafeïne, alcohol en drugs hebben effect op de werking van je hersenen. Dat komt doordat ze de impulsoverdracht in je hersenen beïnvloeden.

RUSTPOTENTIAAL

Het zenuwstelsel maakt communicatie mogelijk tussen zintuigcellen en neuronen, tussen neuronen onderling en tussen neuronen en spieren en klieren. Dat gebeurt door de afgifte van neurotransmitters en **impulsgeleiding**. Natriumionen (Na^+) en kaliumionen (K^+) vormen de basis voor impulsgeleiding. In het cytoplasma van neuronen bevinden zich relatief veel positief geladen K^+-ionen en negatief geladen grote moleculen zoals eiwitten. Buiten de cel, in de intercellulaire ruimte, bevinden zich relatief veel positief geladen Na^+-ionen en negatief geladen chloride-ionen (zie *BiNaS* tabel 88D).

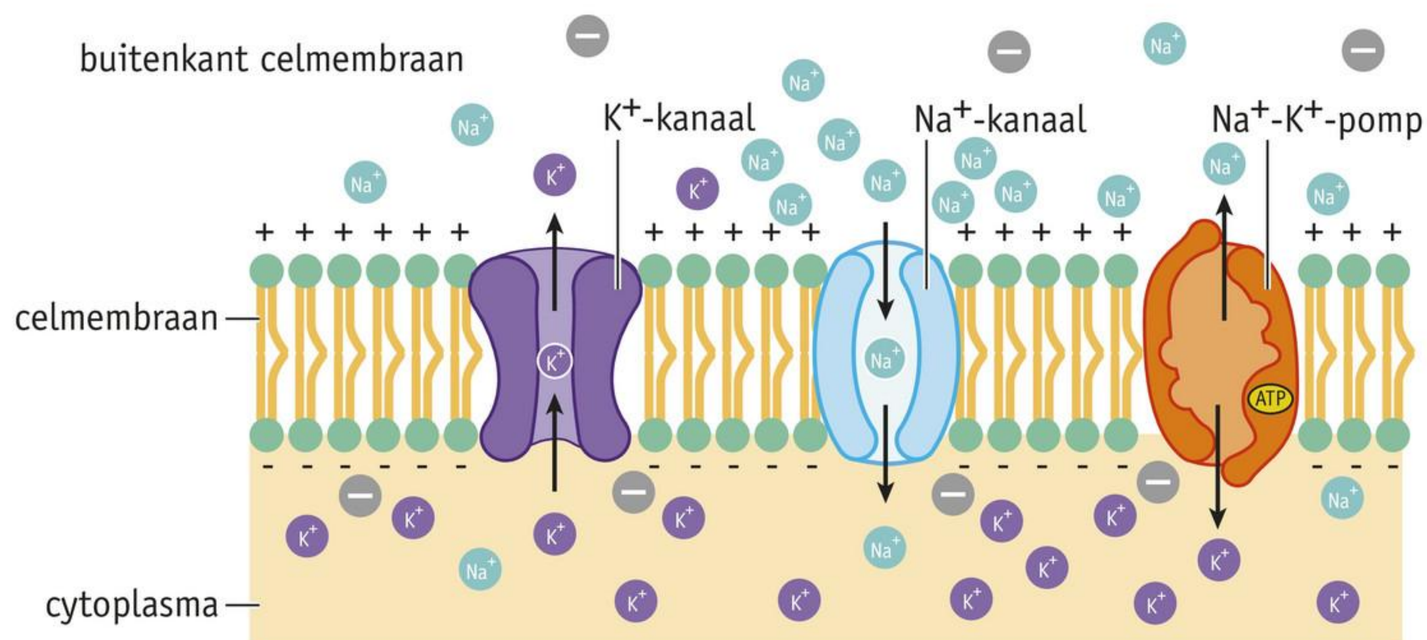
Bij een neuron dat geen impuls geleidt, zitten er direct tegen de buitenkant van het celmembraan meer Na^+-ionen. Daarom is de buitenkant van een neuron positief geladen. Direct tegen de binnenkant van het celmembraan zitten meer moleculen met een negatieve lading (zie afbeelding 51). Door dit verschil in elektrische lading tussen binnen- en buitenkant van het celmembraan ontstaat een spanningsverschil. Deze spanning is bij alle neuronen die geen impuls geleiden ongeveer even groot (–70 mV). Dit noem je de **rustpotentiaal**.



■ **Afb. 51** In een neuron zit de positieve lading direct tegen de buitenkant en de negatieve lading direct tegen de binnenkant van het celmembraan.

De rustpotentiaal wordt in stand gehouden door **natrium-kaliumpompen** (zie afbeelding 52 en *BiNaS* 88E). De transporteiwitten van deze **ionenpompen** transporteren actief natriumionen de cel uit en kaliumionen de cel in. De benodigde energie voor dit actieve transport is afkomstig uit ATP. Sommige getransporteerde ionen diffunderen terug door transportkanalen in het celmembraan (passief transport).

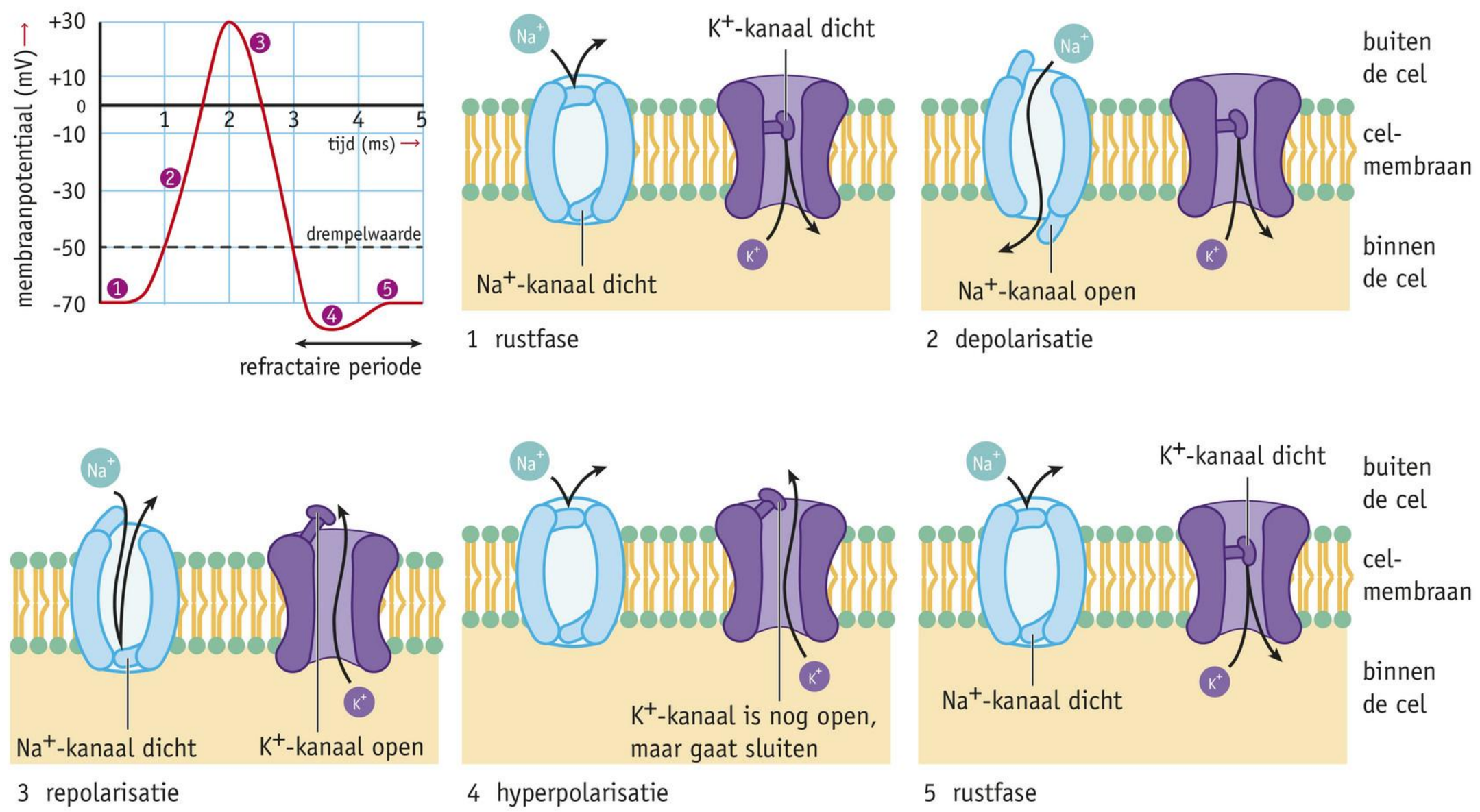
■ **Afb. 52** De ionenconcentratie tijdens de rustpotentiaal.



IMPULSGELEIDING

Door het binden van neurotransmitters of door het toedienen van een prikkel op een bepaalde plaats van het celmembraan van een neuron, verandert de permeabiliteit van het celmembraan voor ionen. Bepaalde transporteiwitten in het celmembraan openen en laten veel ionen tegelijk door. Deze transporteiwitten noem je ook wel ionkanalen. Ionkanalen laten specifiek een bepaald ion door. Eerst openen de Na^+-kanalen in het celmembraan, waardoor Na^+-ionen de cel ingaan. Hierdoor verandert de elektrische lading van het cytoplasma in het neuron en wordt de membraanpotentiaal minder negatief (depolarisatie). Wanneer het verschil in elektrische lading afneemt tot de drempelwaarde (ongeveer −50 mV), kan er een impuls of **actiepotentiaal** (actiefase) ontstaan (zie afbeelding 53 en *BiNaS* tabel 88F). Bij een impuls krijgt de binnenkant van het celmembraan door het ionentransport ongeveer 1 ms (milliseconde, 0,001 s) een positieve lading (ongeveer +30 mV) ten opzichte van de buitenkant. Na de actiepotentiaal sluiten de Na^+-kanalen en openen de K^+-kanalen. Door het transport van K^+-ionen naar buiten wordt de binnenkant van het celmembraan weer negatief ten opzichte van de buitenkant (repolarisatie). Doordat de K^+-kanalen vertraagd sluiten, treedt er zelfs korte tijd hyperpolarisatie op. De elektrische lading is dan even lager dan −70 mV.

■ **Afb. 53** Het ontstaan van een actiepotentiaal.



Vanaf het begin van een actiepotentiaal tot aan het herstel van de rustpotentiaal kan het celmembraan gedurende korte tijd geen impulsen geleiden. Wanneer de rustpotentiaal weer is bereikt, zijn de natrium- en kaliumionen anders verdeeld dan vóór de actiepotentiaal. De natrium-kaliumpomp herstelt de normale ionenverdeling weer. Zolang een bepaald deel van het celmembraan de normale ionenverdeling nog niet heeft bereikt, is dit deel niet of minder goed in staat nieuwe impulsen te geleiden. Deze periode noem je de **refractaire periode** (herstelfase). De refractaire periode duurt ook ongeveer 1 ms. Hierna kan het neuron opnieuw impulsen geleiden.

IMPULSSTERKTE EN IMPULSFREQUENTIE

De omzetting van een prikkel in een impuls gebeurt volgens het alles-of-nietsprincipe. Bij een heel zwakke prikkel kan een neuron het verschil in elektrische lading van het celmembraan handhaven. Er gaan dan te weinig Na^+-kanalen open, waardoor er onvoldoende Na^+-ionen naar binnen kunnen stromen. De drempelwaarde van −50 mV wordt dan niet gehaald. Deze drempelwaarde noem je de **prikkeldrempel**. Dat is de kleinste sterkte van een prikkel die een impuls veroorzaakt.

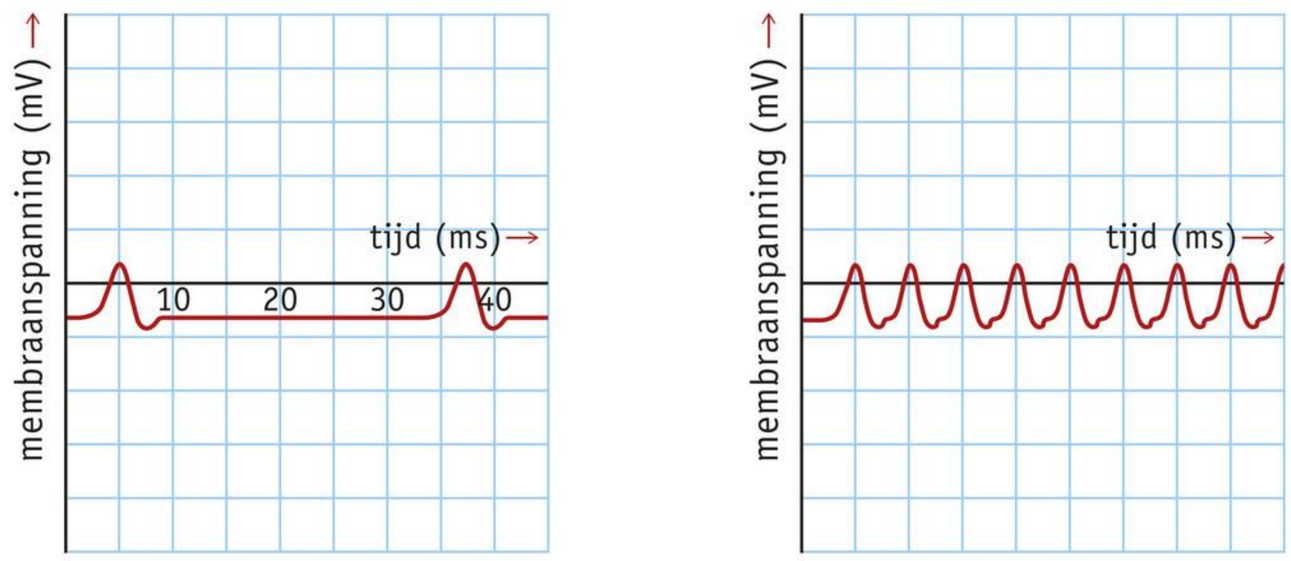
Als een prikkel sterk genoeg is, gaan er zoveel natriumkanalen open dat er voldoende Na^+-ionen naar binnen kunnen stromen om de drempelwaarde van −50 mV te halen. Het neuron kan het verschil in elektrische lading van het celmembraan niet meer handhaven, waardoor een impuls ontstaat in het neuron.

De grootte van de verandering die optreedt in de spanning over het celmembraan is de impulssterkte. De impulssterkte is voor alle neuronen gelijk. Er is bijvoorbeeld geen verschil tussen de impulssterkte in een motorisch neuron in je linkerbeen en de impulssterkte in een sensorisch neuron in je linkerarm.

Zintuigcellen verwerken prikkels die in sterkte kunnen verschillen. Een geluid kan bijvoorbeeld hard of zacht zijn. Door een sterkere prikkel ontstaan er meer impulsen in de zintuigcel. Het aantal impulsen dat per tijdseenheid door een neuron wordt geleid, is de impulsfrequentie. De tijdseenheid is vaak milliseconde (ms). Wanneer je oren een zacht geluid opvangen, is de impulsfrequentie laag (zie afbeelding 54.1). Wanneer je oren een hard geluid opvangen, worden veel impulsen per milliseconde door de sensorische neuronen in je gehoorzenuwen geleid. De impulsfrequentie is dan hoog (zie afbeelding 54.2). Hoe sterker de prikkel, hoe hoger de impulsfrequentie is.

Ook in motorische neuronen kan de impulsfrequentie variëren. Hoe hoger de impulsfrequentie in motorische neuronen, hoe krachtiger de samentrekking van spieren of hoe groter de afgifte van stoffen door klieren.

■ **Afb. 54** Impulsgeleiding in een neuron.



1 impulsfrequentie na een zwakke prikkel

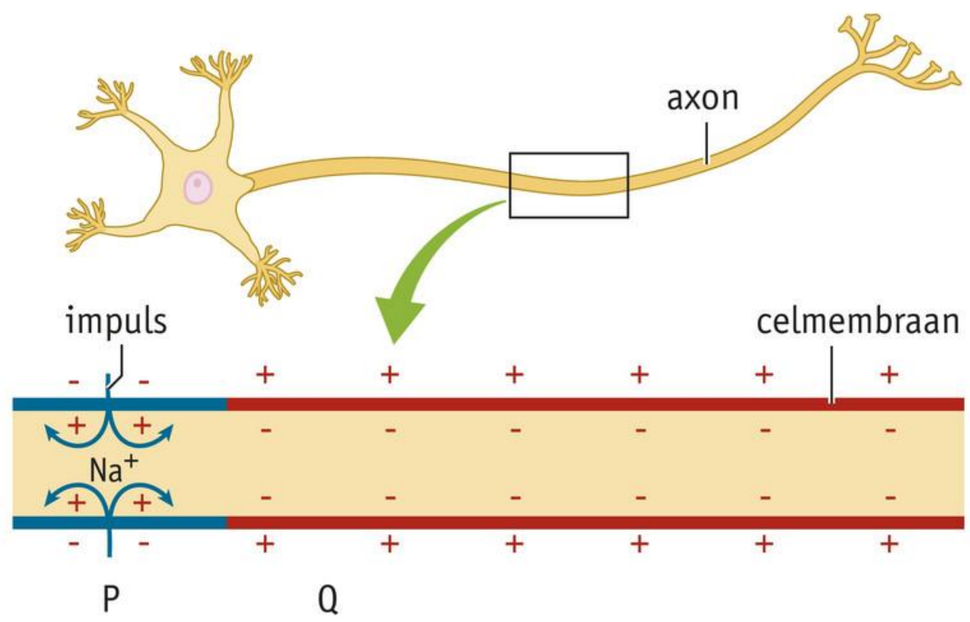
2 impulsfrequentie na een sterke prikkel

■ **Afb. 55** Een brullende leeuw verzoorzaakt een hoge impulsfrequentie.

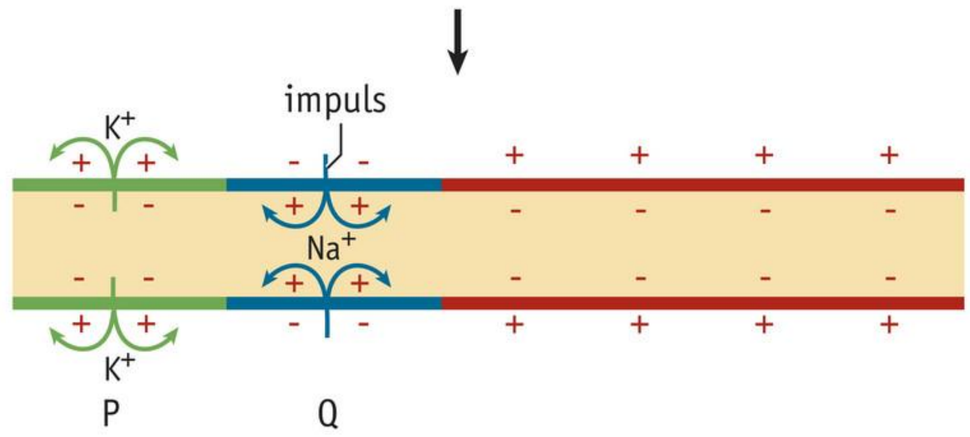
IMPULSGELEIDING IN EEN ONGEMYELINISEERDE NEURONUITLOPER

Afbeelding 56 geeft weer hoe een ongemyeliniseerde neuronuitloper een impuls geleidt. Afbeelding 56.1 stelt de uitloper in rust voor. In afbeelding 56.2 is de elektrische lading van plaats P veranderd, waardoor daar een actiepotentiaal ontstaat. Tijdens de actiepotentiaal stromen er op plaats P veel Na^+-ionen de cel binnen. Op plaats Q depolariseert daardoor ook het axonmembraan. De depolarisatie in Q is groot genoeg om de drempelwaarde te bereiken, waardoor op plaats Q de natriumkanalen opengaan en ook daar een actiepotentiaal ontstaat. Ondertussen verkeert plaats P in de herstelfase: de oorspronkelijke elektrische lading op plaats P keert terug. De impuls verplaatst zich van plaats P naar Q. Hierna wordt de impuls vanaf plaats Q op dezelfde manier verder geleid langs het celmembraan.

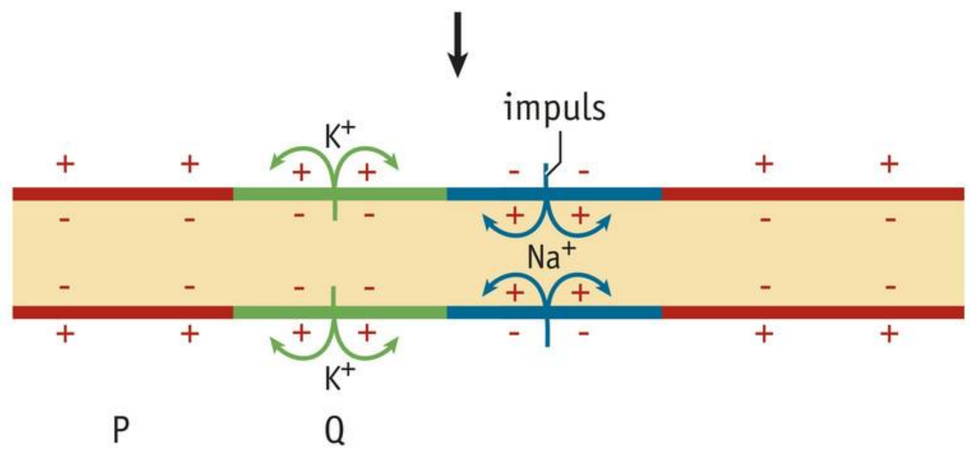
■ **Afb. 56** Impulsgeleiding in een uitloper van een neuron (schematisch).



1 Een impuls wordt opgewekt doordat Na^+-ionen via het celmembraan naar binnen stromen.



2 De instroom van Na^+-ionen zorgt voor depolarisatie van het aangrenzende gebied van het celmembraan, waardoor de impuls daar opnieuw ontstaat. Links van dit gebied stromen K^+-ionen naar buiten, waardoor het celmembraan repolariseert.

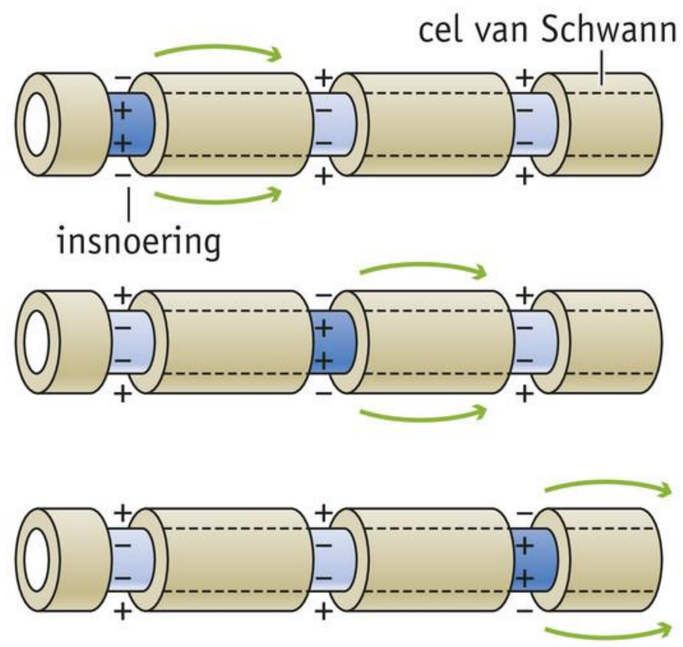


3 Het depolarisatie-repolarisatieproces wordt herhaald in het volgende gebied van het celmembraan. Op deze manier wordt de impuls langs de lengte van het axon voortgeleid.

SPRONGSGEWIJZE IMPULSGELEIDING

De impulsgeleiding verloopt sneller in zenuwcellen waarvan een axon is omgeven door een myelineschede. De verandering van de elektrische lading kan bij deze uitlopers alleen plaatsvinden op de plaats van de insnoeringen. Hierdoor 'springt' een impuls als het ware van insnoering naar insnoering (zie afbeelding 57). Je noemt deze manier van impulsgeleiding **sprongsgewijze impulsgeleiding**. Deze impulsgeleiding verloopt wel 50× zo snel als de impulsgeleiding in een uitloper van een zenuwcel zonder myelineschede.

■ **Afb. 57** Sprongsgewijze impulsgeleiding in een gemyeliniseerd axon.



Opdrachten KENNIS

53 Je balt je rechtervuist.

a Verandert hierdoor de impulssterkte in motorische neuronen in je rechterarm? Zo ja, hoe?

b Verandert hierdoor de impulsfrequentie? Zo ja, hoe?

c Verandert hierdoor de geleidingssnelheid van de impuls? Zo ja, hoe?

d Je steekt in het donker een kaars aan.
Wordt hierdoor de impulsfrequentie in de sensorische neuronen in je oogzenuwen verhoogd of verlaagd?

54 Een neuron wordt geprikkeld op een plek die zich net begint te repolariseren.
Kan op deze plek een depolarisatie ontstaan? Leg je antwoord uit.

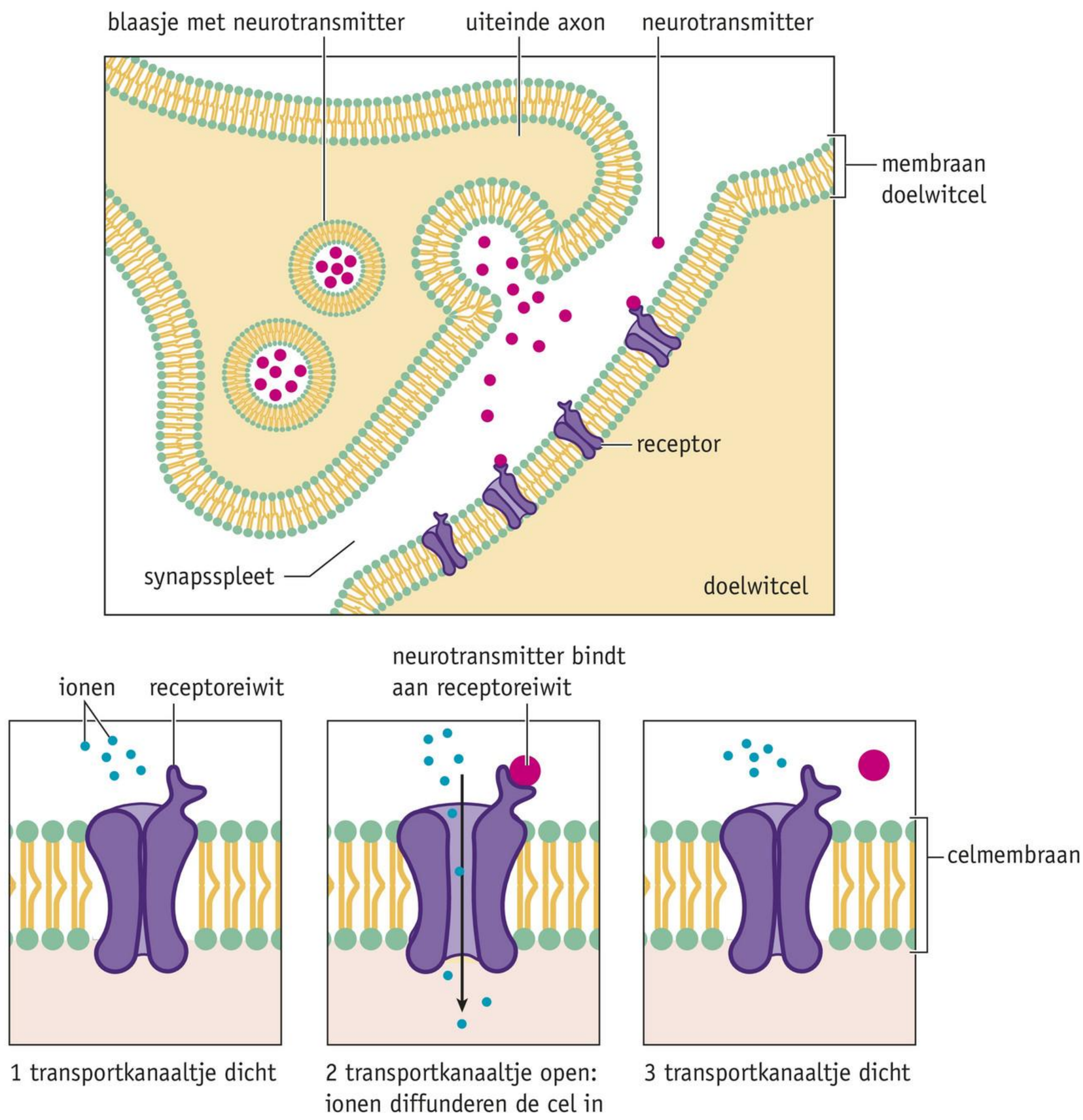
55 Bij mensen met MS (multiple sclerose) zijn de myelinescheden van axonen beschadigd en daardoor verloopt de impulsgeleiding veel langzamer. Leg dit uit.

NEUROTRANSMITTERS EN IMPULSOVERDRACHT

Een synaps is een cell junction die bestaat uit een presynaptisch membraan (het uiteinde van het aanvoerende axon) en een postsynaptisch membraan (membraan van de doelwitcel). Tussen deze twee membranen bevindt zich de synapsspleet of synaptische spleet (zie afbeelding 58 en *BiNaS* 88G).

Wanneer er geen impulsen zijn, heerst zowel bij het presynaptische als bij het postsynaptische membraan de rustpotentiaal. Als er wel een impuls aankomt, komen er neurotransmittermoleculen in de synaptische spleet terecht. De neurotransmittermoleculen binden aan receptoreiwitten op de ionkanalen in het postsynaptische membraan van de doelwitcel. Hierdoor verandert de ruimtelijke structuur van de ionkanalen, waardoor ze opengaan en ionen de cel in diffunderen.

■ **Afb. 58** Processen in een synaps (schematisch).



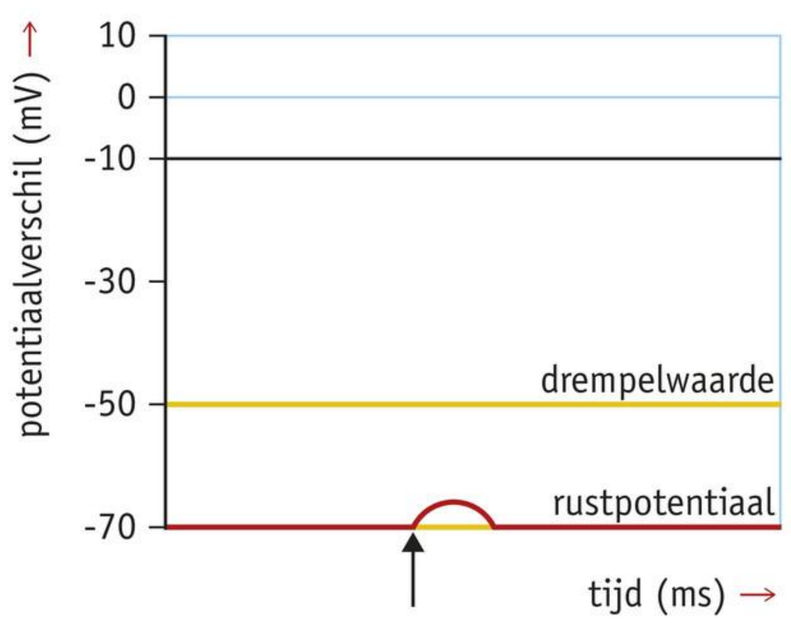
Neurotransmitters blijven zeer korte tijd in de synapsspleet aanwezig, doordat ze door enzymen worden afgebroken of weer worden opgenomen door het presynaptische membraan. De verandering in de ionenpermeabiliteit van het postsynaptische membraan duurt dan ook maar enkele milliseconden.

IMPULSOVERDRACHT VAN NEURON NAAR NEURON

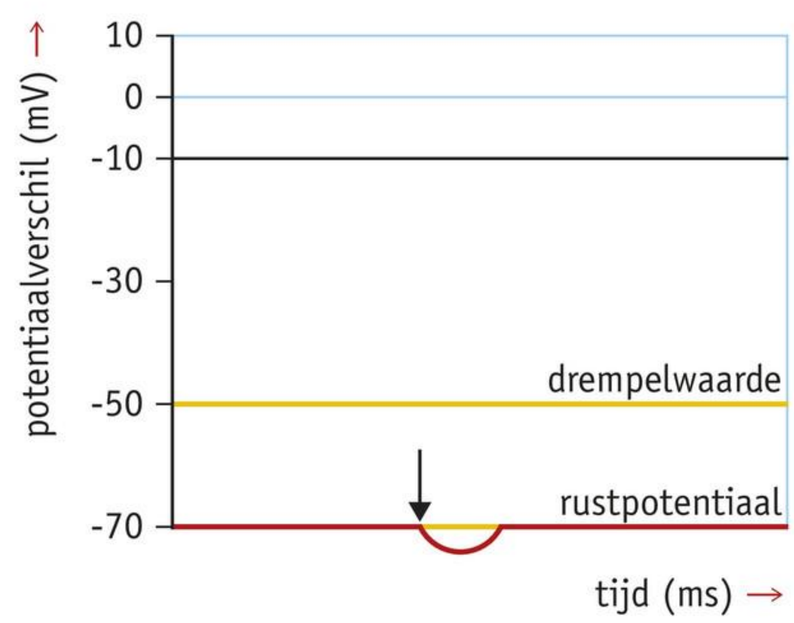
In het postsynaptische membraan van een neuron bepaalt de combinatie van het type neurotransmitter en het type receptoreiwit welke ionkanalen er opengaan. Zo kunnen neurotransmitters binden aan de receptoreiwitten, waardoor Na^+-kanalen en K^+-kanalen opengaan. Dat heeft een kleine depolarisatie van het postsynaptische membraan tot gevolg (zie afbeelding 59.1). Dit noem je een **exciterend** postsynaptisch potentiaal (exciteren = opwekken) of EPSP.

Bij bepaalde combinaties van neurotransmitter en receptoreiwit gaan er ionkanalen open voor K^+-ionen en/of Cl^--ionen, maar blijven de porie-eiwitten voor Na^+-ionen dicht. Dit resulteert in een kleine hyperpolarisatie van het postsynaptische membraan (zie afbeelding 59.2). Dit noem je een **inhiberend** postsynaptisch potentiaal (inhiberen = remmen) of IPSP.

■ **Afb. 59** Postsynaptische potentialen.



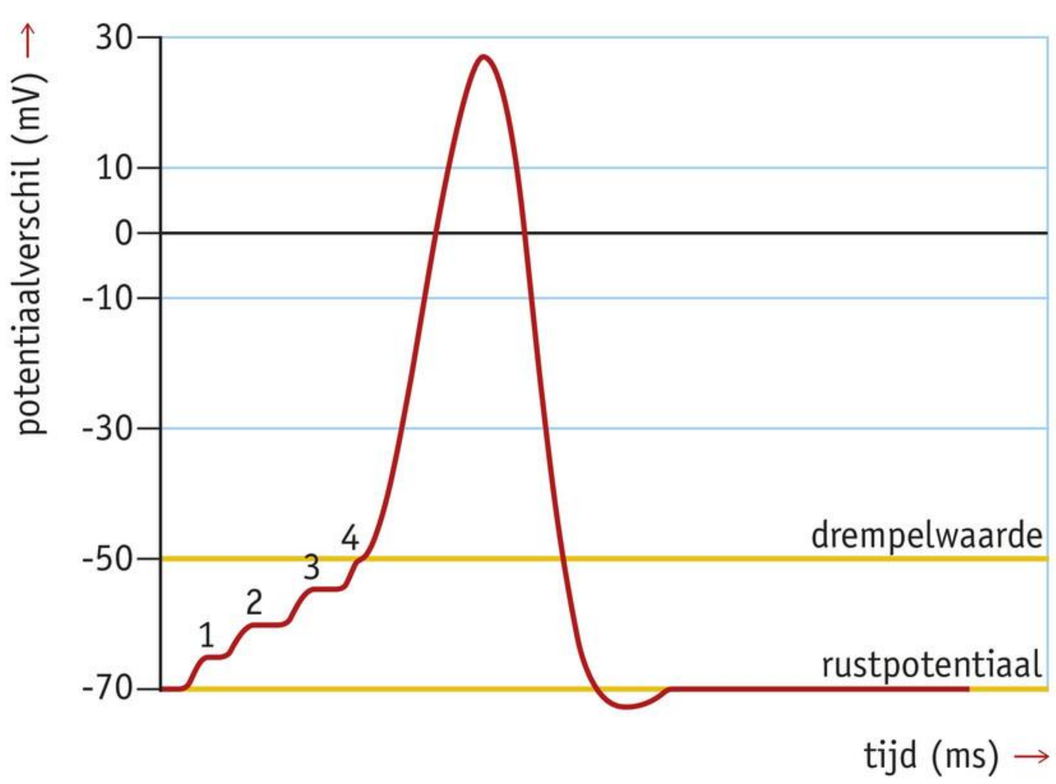
1 EPSP



2 IPSP

Op een neuron kan een groot aantal andere neuronen zijn aangesloten. Op het cellichaam en op de dendrieten van een neuron komen dan veel axonuiteinden voor. In het postsynaptische membraan bevinden zich verschillende typen receptoreiwitten. Hierdoor kunnen tegelijkertijd zowel EPSP's (depolarisaties) als IPSP's (hyperpolarisaties) ontstaan. Een enkele EPSP is niet voldoende om de drempelwaarde voor een actiepotentiaal van het postsynaptische neuron te bereiken. Maar als uit meerdere axonuiteinden tegelijk of kort na elkaar neurotransmitter vrijkomt, tellen de depolarisaties bij elkaar op (summatie). Samen kunnen ze de drempelwaarde wel overschrijden (zie afbeelding 60).

■ **Afb. 60** Summatie van depolarisatie.



De IPSP's kunnen het effect van de EPSP's neutraliseren. Als de som van alle EPSP's en IPSP's die in een korte tijd een neuron bereiken de drempelwaarde overschrijdt, ontstaat een actiepotentiaal in het postsynaptische neuron, waardoor de impuls wordt doorgegeven.

NEUROTRANSMITTERS

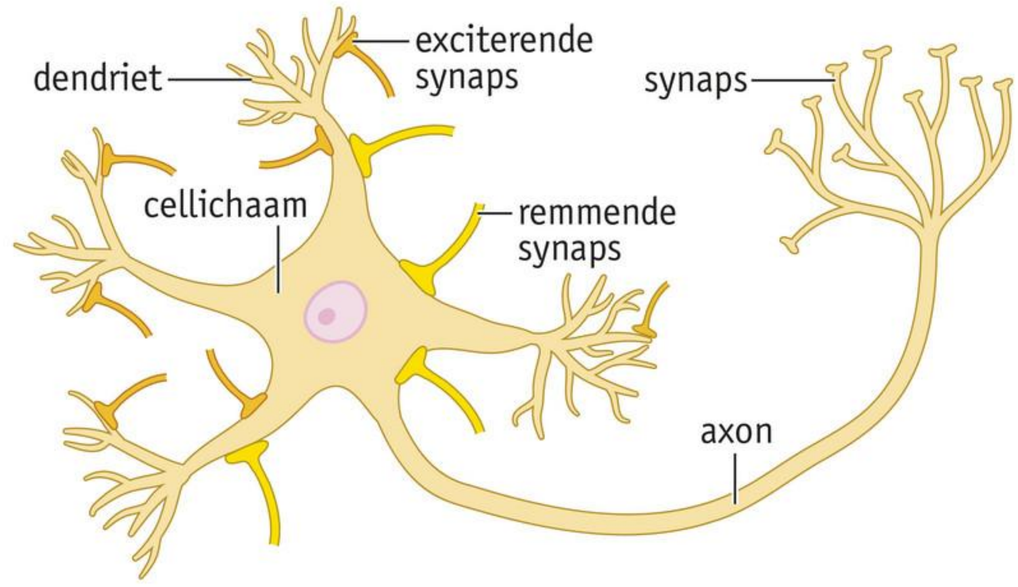
Er zijn meer dan vijftig verschillende stoffen die functioneren als neurotransmitter. Vooral in de hersenen komen veel verschillende neurotransmitters voor. Receptoreiwitten kunnen het ionentransport door het celmembraan op een directe manier beïnvloeden, door ionkanalen te openen of te sluiten. Er zijn ook receptoreiwitten die indirect werken, namelijk via second messengers. Voorbeelden zijn noradrenaline, dopamine, serotonine en histamine. De second messenger veroorzaakt direct of indirect via een cascade een verandering in de permeabiliteit van het celmembraan voor ionen. Doordat deze neurotransmitters indirect werken, vindt de impulsoverdracht trager plaats en houdt deze langer aan. Deze neurotransmitters spelen een rol bij onder andere het ontstaan van gevoelens en bij de slaap.

Stoffen zoals geneesmiddelen, genotsmiddelen en drugs beïnvloeden de impulsoverdracht. De aanmaak of de afgifte van neurotransmitters in het uiteinde van een axon wordt door deze stoffen gestimuleerd of geremd. Sommige stoffen zorgen ervoor dat neurotransmitters langer aanwezig blijven in de synapsspleet, doordat de neurotransmitters niet worden afgebroken of niet in het axon terug worden opgenomen. Er zijn ook stoffen die een neurotransmitter imiteren door te binden aan hetzelfde receptoreiwit. Afhankelijk van de werking van een stof kan de impulsoverdracht worden geremd of gestimuleerd. Het effect hangt af van het type neurotransmitter dat wordt beïnvloed, van de gebieden in de hersenen waar deze neurotransmitter voorkomt en de functie die een hersengebied vervult.

Opdrachten KENNIS

56 In afbeelding 61 is een neuron afgebeeld. Verschillende synapsen maken contact met dit neuron. In de oranje axonuiteinden worden neurotransmitters afgegeven die zorgen voor depolarisaties in het membraan van het neuron. In de gele axonuiteinden zorgen de neurotransmitters voor hyperpolarisaties. Het neuron wordt alleen geactiveerd als het verschil tussen het aantal EPSP's en IPSP's ten minste twee is.
Wordt het neuron geactiveerd als alle synapsen worden gestimuleerd?

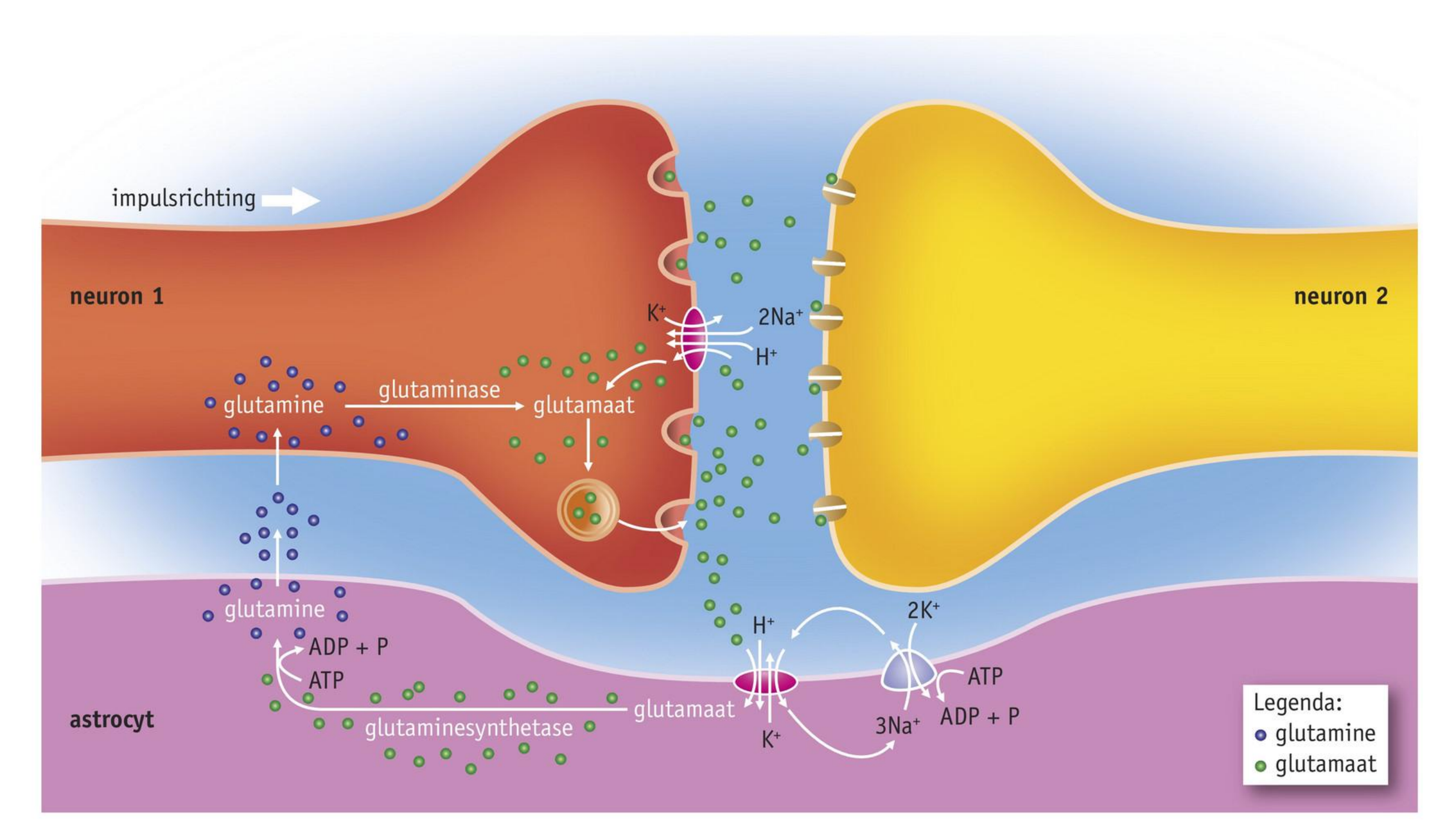
■ **Afb. 61** Een neuron wordt door verschillende synapsen aangestuurd.



57 In afbeelding 62 zijn twee neuronen en een astrocyt schematisch getekend. Astrocyten zijn gliacellen die een soort omhulsel om synapsen vormen. Ze handhaven de homeostase van het externe milieu van neuronen. Neuron 1 geeft glutamaat af in de synapsspleet.
Glutamaat is een exciterende neurotransmitter in de hersenen en het ruggenmerg. Het kan worden gevormd uit glutamine. Glutamine wordt onder andere gemaakt door astrocyten.

a Is het deel van neuron 2 dat je in afbeelding 62 ziet het uiteinde van een axon of van een dendriet?
b Waar in de afbeelding bevinden zich de ionkanalen die zorgen voor de impulsgeleiding?
c Waardoor openen of sluiten deze ionkanalen?
d Waar in de afbeelding bevinden zich de ionkanalen die zorgen voor de impulsoverdracht?
e Waardoor openen of sluiten deze ionkanalen?

■ **Afb. 62** Het vervoer en de omzetting van glutamaat in en rond een synaps.



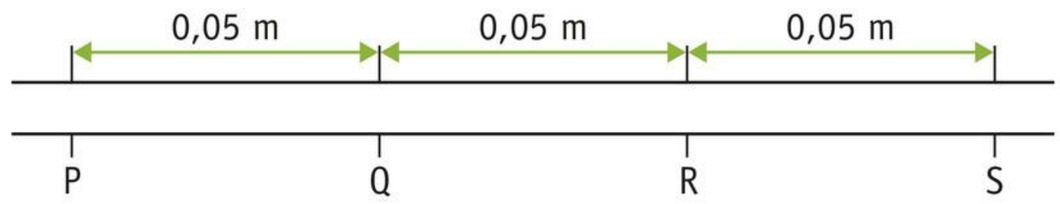
Opdrachten INZICHT

58 Op welke twee manieren maakt de astrocyt In afbeelding 62 de impulsoverdracht van neuron 1 naar neuron 2 mogelijk?

59 **a** Een neuron dat geen impuls geleidt, gebruikt toch energie. Leg dit uit.
b Voor een bepaald neuron duren de actiepotentiaal en de refractaire periode ieder 2 ms.
Hoe groot is de maximale impulsfrequentie in dit neuron per seconde?
c Leg uit welk gevolg de refractaire periode voor de richting van de impuls heeft.

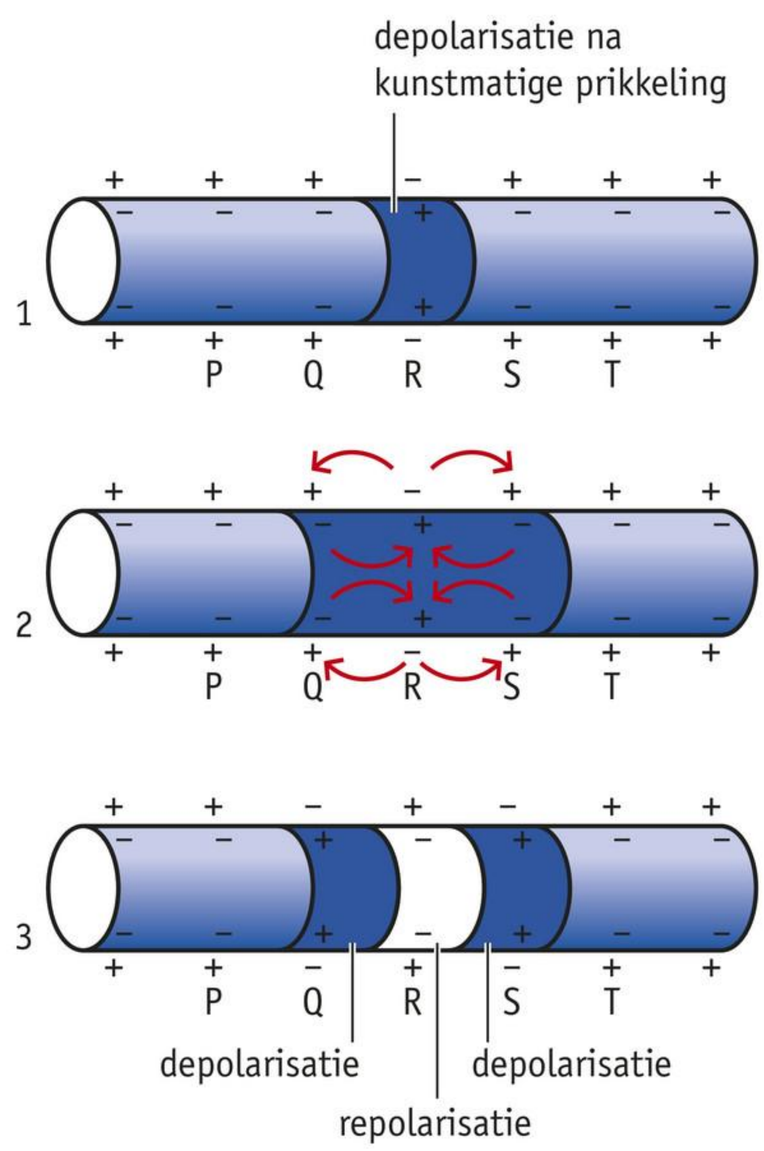
60 In afbeelding 63 is een axon van een mens schematisch weergegeven. Op punt Q wordt kunstmatig een prikkel gegeven, waardoor een impuls zich in de richting van P en R verplaatst met een snelheid van 100 m/s.
Is de rustpotentiaal op plaats P hersteld als de impuls bij S arriveert? Gebruik *BiNaS* bij de uitleg van je antwoord.

■ **Afb. 63** Axon van een mens (schematisch).



61 Je kunt een uitloper van een neuron kunstmatig prikkelen, bijvoorbeeld met een micronaald (mechanisch), door een stroomstoot toe te dienen (elektrisch) of door bepaalde stoffen op het celmembraan te laten inwerken (chemisch). Wanneer de toegediende prikkel sterk genoeg is, ontstaat er een actiepotentiaal.
a In afbeelding 64 zie je een kunstmatige prikkeling schematisch weergegeven.
Waardoor kan de impuls in dit geval twee kanten op worden geleid? Noem twee redenen.

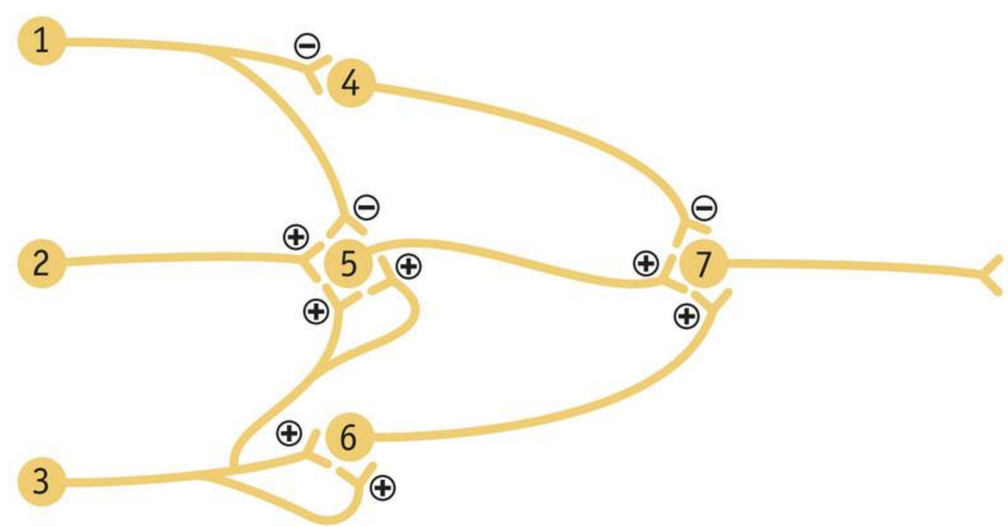
■ **Afb. 64** Kunstmatige prikkeling van een uitloper van een neuron.



62 Op het postsynaptische membraan van een neuron ontstaan tegelijkertijd EPSP's en IPSP's.
Worden de EPSP's hierdoor effectiever of minder effectief? Leg je antwoord uit.

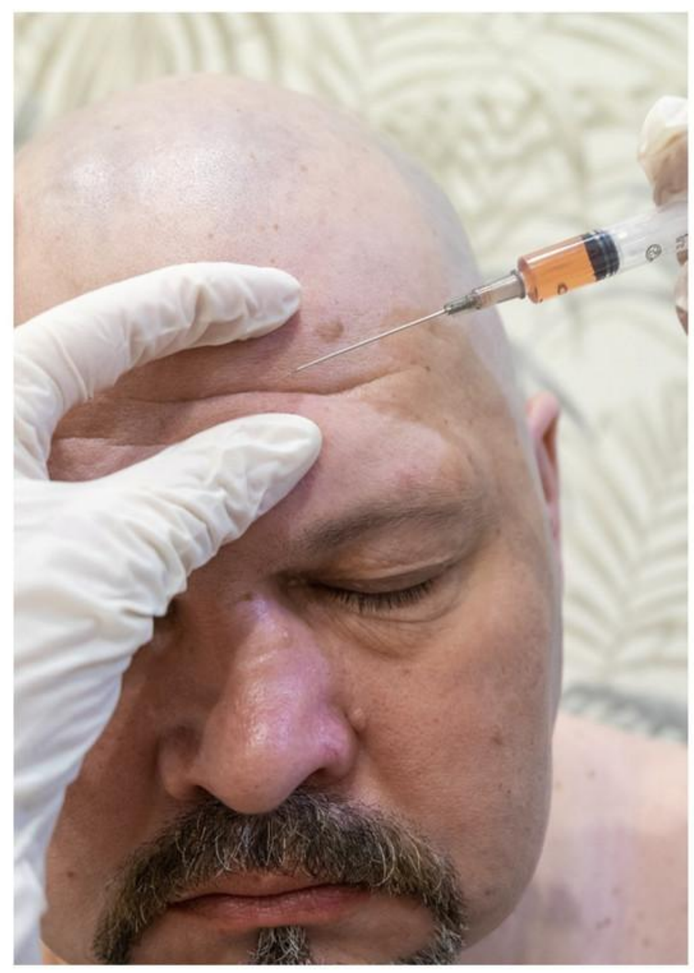
63 In afbeelding 65 zijn verschillende zenuwbanen afgebeeld. De neuronen 4, 5, 6 en 7 worden alleen geactiveerd als het verschil tussen het aantal EPSP's en IPSP's ten minste twee is. Neuron 1, 2 en 3 worden tegelijk geactiveerd.
Zal neuron 7 worden geactiveerd?

■ **Afb. 65** Zenuwbanen.



64 Botox wordt tegenwoordig veel gebruikt om rimpels tijdelijk te laten verdwijnen (zie afbeelding 66). Rimpels kunnen ontstaan doordat iemand vaak bepaalde gelaatsspieren aanspant. Botox is een verdunning van botuline: een gifstof die door de bacterie *Clostridium botulinum* wordt gemaakt. Botuline hecht aan het presynaptische membraan van motorische neuronen en voorkomt dat de stimulerende neurotransmitter acetylcholine wordt afgegeven in de synapsspleet. Dit effect is tijdelijk.
Leg uit hoe botox rimpels kan laten verdwijnen.

■ **Afb. 66** Een botoxbehandeling.



65 In de jaren dertig van de vorige eeuw werd in Duitsland zenuwgas ontwikkeld op basis van organofosforverbindingen. Voor die tijd werden organofosforverbindingen gebruikt als bestrijdingsmiddel tegen insecten. Organofosforverbindingen remmen de werking van het enzym acetylcholinesterase, het enzym dat de neurotransmitter acetylcholine in de synapsspleet afbreekt.
Acetylcholine wekt postsynaptische EPSP's op.
Leg uit hoe organofosforverbindingen EPSP's beïnvloeden, die door acetylcholine zijn opgewekt.

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Leefwereld

DEPRESSIE EN PROZAC

De meeste mensen hebben wel een idee wat het betekent om je depressief te voelen. Je voelt je somber, verdrietig of piekert. Het overkomt veel mensen en vooral jongeren. In Nederland ervaart een op de zeven jongeren depressie-gerelateerde klachten. Er zijn verschillende oorzaken voor het ontstaan van een depressie, maar bijna altijd is een depressie een gevolg van een combinatie van biologische, sociale en psychische factoren.

Er zijn verschillende soorten depressie. De meest voorkomende is een lichte depressie. Die is relatief eenvoudig te behandelen met een paar gesprekken door de huisarts of andere behandelaar. Een ernstige depressie duurt langer om te behandelen. Een psycholoog of psychiater is dan de behandelaar. Duurt de depressie erg lang, dan spreek je van een chronische depressie.

Depressie is een ingewikkelde ziekte, waarbij verschillende delen van je hersenen zijn betrokken. Daarom wordt depressie op verschillende manieren behandeld. Bijvoorbeeld door de patiënt coachend te begeleiden, psychotherapie aan te bieden of door middel van antidepressiva (medicijnen).

Er zijn sterke aanwijzingen dat er bij sommige depressieve patiënten een tekort is aan de neurotransmitters serotonine en noradrenaline. Serotonine speelt een grote rol in je geluksgevoel. Het gebruik van antidepressiva als prozac zorgt voor een verhoogde afgifte van serotonine en is erop gericht om serotonine zo lang mogelijk in de synapsspleet te houden. Gewoonlijk wordt serotonine na afgifte weer opgenomen door het presynaptische membraan. Prozac voorkomt dit door het transporteiwit te blokkeren (zie afbeelding 67). Op die manier wordt de serotoninespiegel in de hersenen hersteld.

Opdrachten

66 In Canada toonden wetenschappers aan dat de hersencellen van vissen die aan prozac zijn blootgesteld minder actief zijn dan hersencellen die daar niet aan worden blootgesteld. Prozac heeft niet alleen invloed op zenuwcellen bij mensen, maar ook op zenuwcellen bij vissen.
Wat zegt dit over de receptoren voor prozac bij vissen en mensen?

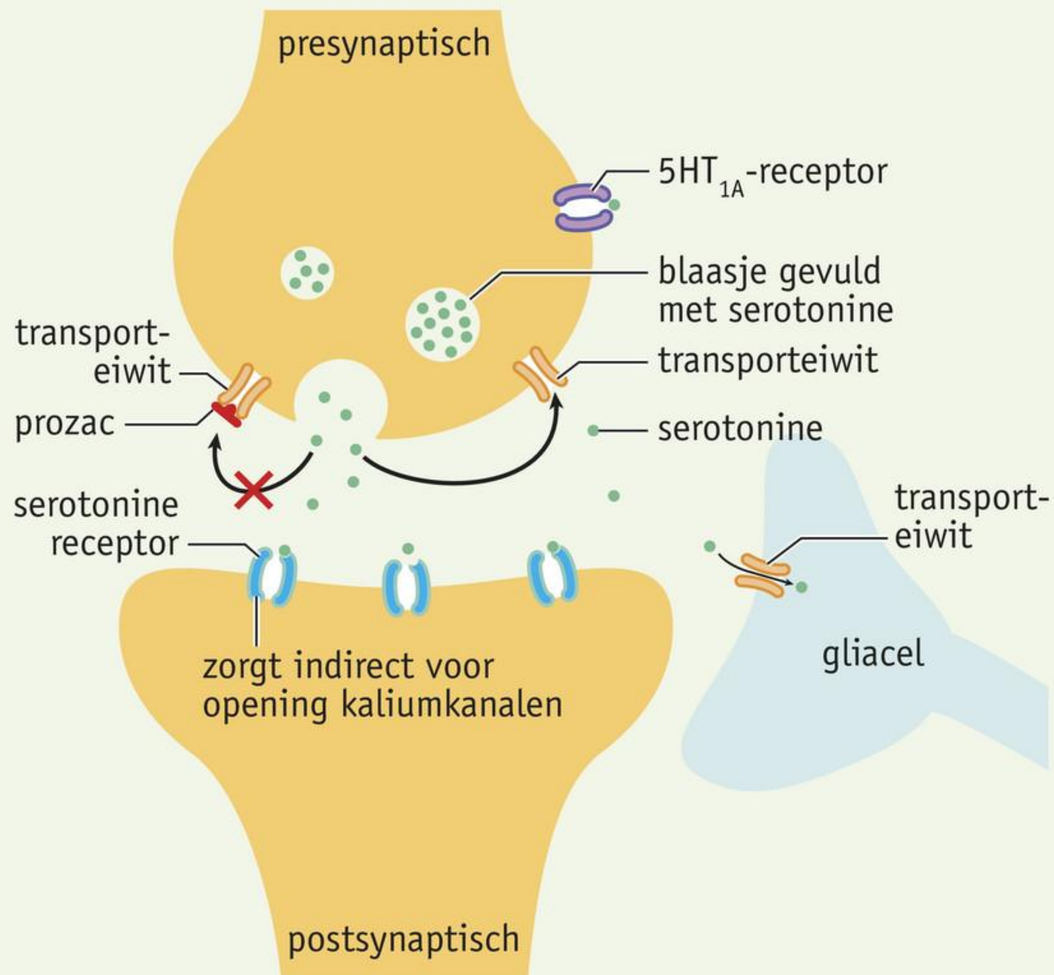
67 Gebruik afbeelding 67 voor het beantwoorden van de volgende vragen.

a Stimuleert of remt serotonine het postsynaptische celmembraan? Leg je antwoord uit.

b Op het presynaptische celmembraan bevinden zich ook $5HT_{1A}$-receptoren. Wanneer afgegeven serotonine bindt aan $5HT_{1A}$-receptoren, remmen ze de afgifte van serotonine.
Is hier sprake van een positieve of een negatieve terugkoppeling?

c Als reactie op verhoogde serotonineafgifte vermindert het presynaptisch neuron het aantal $5HT_{1A}$-receptoren.
Leg uit dat door de afname van het aantal $5HT_{1A}$-receptoren er een toename is in de afgifte van serotonine.

■ **Afb. 67** De afgifte en het transport van serotonine.



6 SPIEREN EN BEWEGING (SE)

LEERDOELEN

7.6.1 Je kunt de bouw en functie van glad spierweefsel en dwarsgestreept spierweefsel beschrijven.
7.6.2 Je kunt de bouw en werking van spieren beschrijven.
7.6.3 Je kunt de effecten van training, revalidatie en dopinggebruik uitleggen.

- Vaardigheden 1, 2, 4, 6 en 7 (thema 1)
- Practica 4 en 5

TAXONOMIE	LEERDOELEN EN OPDRACHTEN		
	7.6.1	7.6.2	7.6.3
Begrijpen	69	68, 70, 71	72, 73, 74
Toepassen		75, 77a, 78, 79b	80, 81, 82, 83, 84
Analyseren		76, 77b, 79ac	

Bewegingszenuwcellen geven impulsen door aan je spieren, waardoor ze samentrekken of ontspannen. Hierdoor kun je bewegen. Ook bij de werking van organen zijn spieren betrokken.

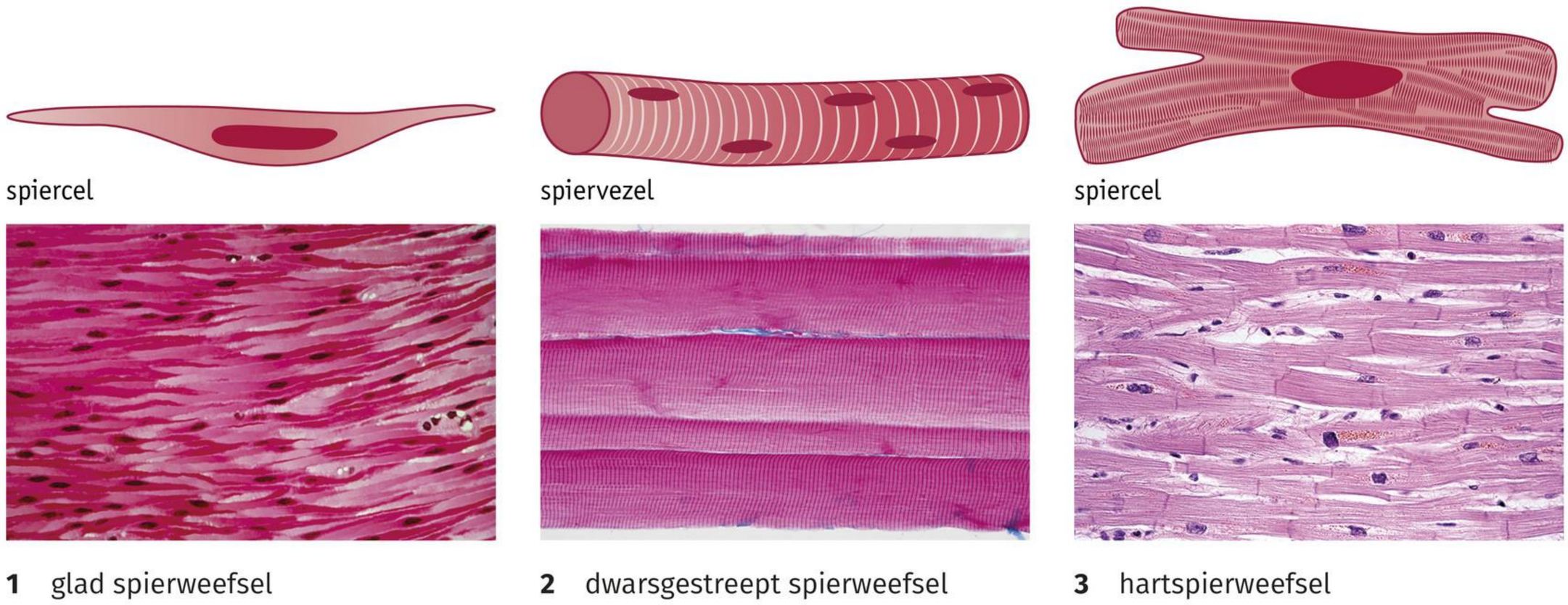
TYPEN SPIERWEEFSEL

Bij de mens komen drie typen spierweefsel voor: glad spierweefsel, dwarsgestreept spierweefsel en hartspierweefsel. **Glad spierweefsel** bestaat uit langwerpige **spiercellen**, elk met een celkern (zie afbeelding 68.1). Het komt voor in de huid en in de wand van buisvormige of holle organen zoals het darmkanaal, de vertakkingen in de longen, de iris en de bloedvaten. Glad spierweefsel wordt aangestuurd door het autonome zenuwstelsel. De contractie van glad spierweefsel verloopt trager dan van dwarsgestreept spierweefsel, maar de spiercellen van glad spierweefsel raken niet snel vermoeid.

Dwarsgestreept spierweefsel speelt een rol bij het handhaven van de lichaamshouding en bij de warmteproductie in het lichaam. Dit spierweefsel bestaat uit **spiervezels** die zijn ontstaan door versmelting van veel spiercellen (zie afbeelding 68.2). Een spiervezel bevat daardoor veel celkernen. Met een microscoop zijn bij deze spiervezels dwarse strepen te zien. De meeste dwarsgestreepte spieren zitten vast aan delen van het skelet (skeletspieren). Sommige dwarsgestreepte spieren zitten met een of beide uiteinden vast aan de huid, zoals de gelaatsspieren. Dwarsgestreept spierweefsel wordt aangestuurd door het animale zenuwstelsel en de contractie verloopt snel. De spiervezels raken snel vermoeid.

Hartspierweefsel vertoont onder de microscoop ook dwarse strepen. De spiercellen vormen vertakkingen (zie afbeelding 68.3). Hartspierweefsel wordt aangestuurd door het autonome zenuwstelsel.

■ **Afb. 68** Spierweefsel.



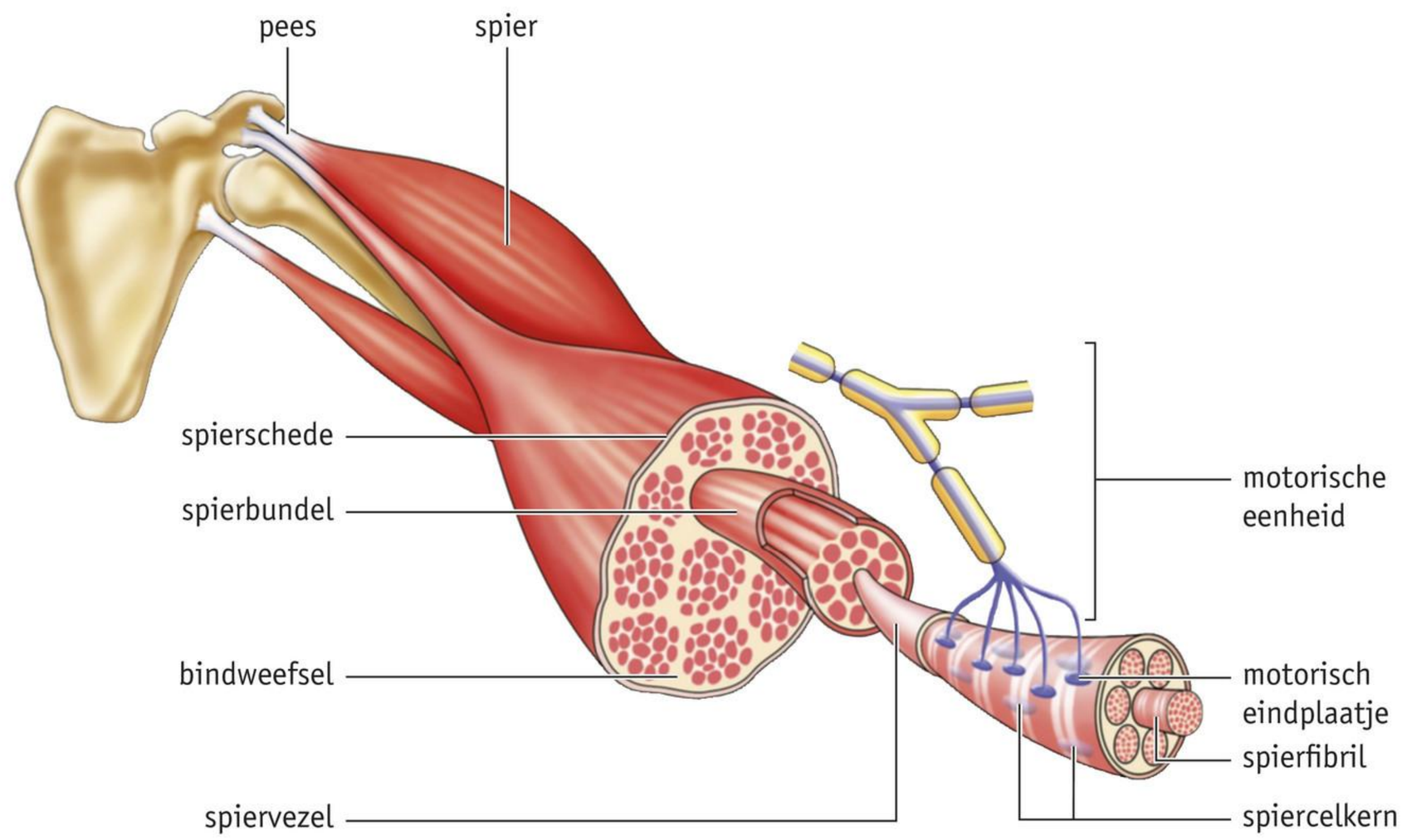
1 glad spierweefsel **2** dwarsgestreept spierweefsel **3** hartspierweefsel

SKELETSPIEREN

In afbeelding 69 is de bouw van een skeletspier schematisch getekend. Een skeletspier is omgeven door een spierschede van bindweefsel. Aan de uiteinden van de spier gaat het bindweefsel van de spierschede over in het bindweefsel van pezen. Skeletspieren zijn met **pezen** bevestigd aan delen van het skelet. Een pees kan niet samentrekken en is slecht doorbloed.

Een skeletspier bestaat uit een aantal spierbundels die elk ook weer zijn omgeven door een laag bindweefsel. Een spierbundel bestaat uit spiervezels. Spiervezels zijn weer opgebouwd uit spierfibrillen (myofibrillen) die een groot aantal eiwitdraden bevatten die je filamenten noemt. De dunne filamenten bestaan uit het eiwit **actine** en de dikke filamenten bestaan uit het eiwit **myosine**. De actine- en myosinefilamenten liggen in een regelmatig patroon gerangschikt (zie *BiNaS* tabel 90C). Hierdoor zijn in een spiervezel onder de microscoop dwarse strepen zichtbaar van lichte en donkere banden (zie afbeelding 69).

■ **Afb. 69** De bouw van een skeletspier.



Op de spiervezels bevinden zich motorische eindplaatjes (zie afbeelding 70). Dat zijn de uiteinden van de vertakkingen van een axon van een motorisch neuron. De fijne vertakkingen lopen naar de motorische eindplaatjes op verschillende spiervezels. De meeste spiervezels hebben één motorisch eindplaatje. De motorische eindplaatjes zorgen voor de impulsoverdracht naar een spiervezel. Eén motorisch neuron vormt samen met alle spiervezels die via motorische eindplaatjes in verbinding staan met dit neuron, een motorische eenheid.

■ **Afb. 70** Spiervezels met motorische eindplaatjes.

ACETYLCHOLINE

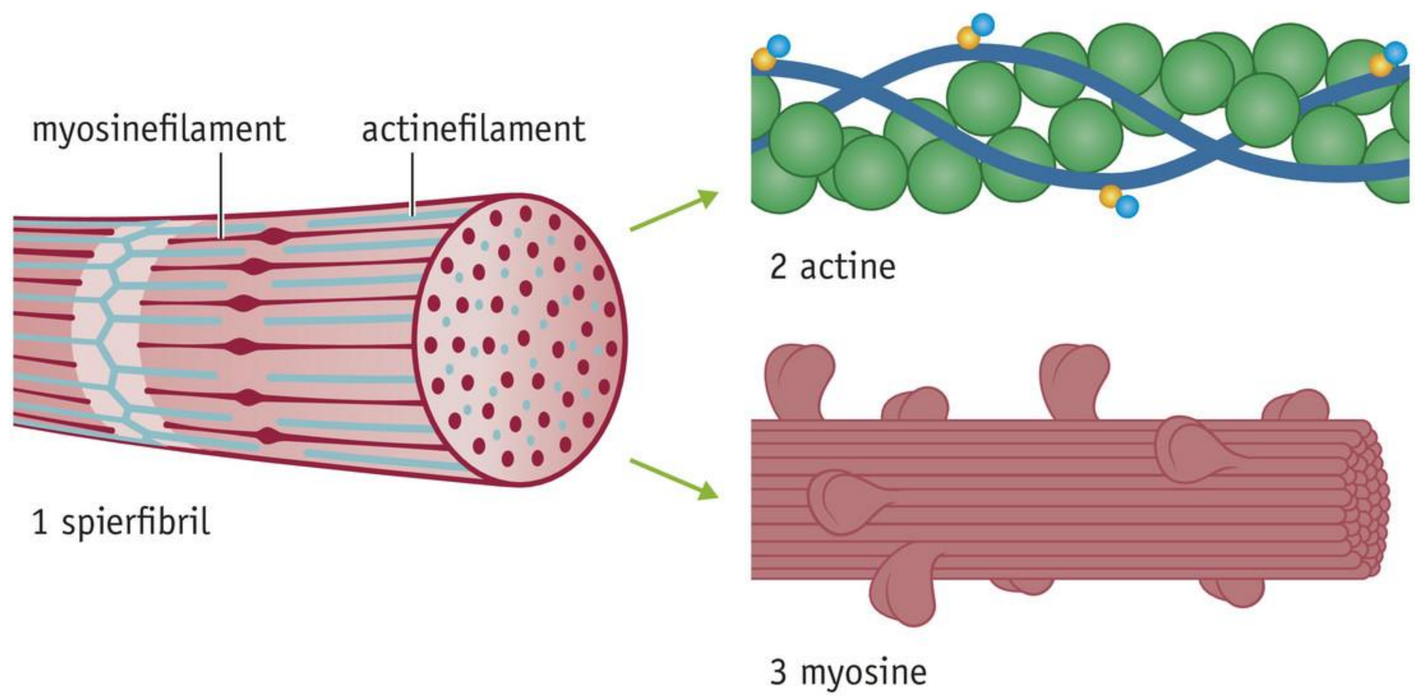
In een motorisch eindplaatje komt onder invloed van impulsen de neurotransmitter acetylcholine uit de synaptische blaasjes vrij. Dit gebeurt tegelijkertijd in alle motorische eindplaatjes van een motorische eenheid. Acetylcholine bindt aan de receptoreiwitten van ionkanalen in het postsynaptische membraan. Wanneer hierdoor een EPSP ontstaat, veroorzaakt dit contractie van de aangesloten spiervezels. De contractie van een motorische eenheid verloopt volgens het alles-of-nietsprincipe, zoals bij het ontstaan van een impuls in een neuron. Wanneer de prikkeldrempel wordt overschreden, trekken alle spiervezels van de motorische eenheid gelijktijdig samen. Deze contractie is altijd maximaal. Afhankelijk van het aantal motorische eenheden dat tegelijkertijd samentrekt, kan de contractie van een spier krachtig of minder krachtig zijn.

Naar elke spier loopt een groot aantal motorische neuronen. Deze geleiden hun impulsen niet gelijktijdig. Daardoor trekken sommige motorische eenheden samen, terwijl andere juist ontspannen. Dit voorkomt een snelle vermoeidheid van de spier.

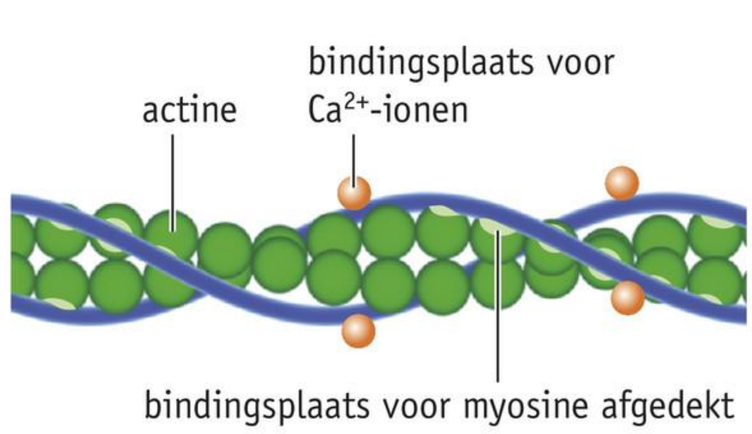
CONTRACTIE

Myosinefilamenten zijn opgebouwd uit parallel lopende myosinemoleculen met een gebogen kop aan het eind (zie afbeelding 71.3). In een ontspannen spier overlappen de actine- en myosinefilamenten elkaar nauwelijks. Direct na overdracht van een impuls verandert de permeabiliteit van het celmembraan van de spiervezel. Hierdoor diffunderen Ca^{2+}-ionen de myofibrillen in en binden aan bepaalde eiwitten op de actinefilamenten. Zo komen bindingsplaatsen vrij waaraan de koppen van myosinemoleculen kunnen binden (zie afbeelding 72.1 en 72.2). De gebogen koppen van de myosinemoleculen binden aan een ATP-molecuul dat zich splitst in ADP en P. Met behulp van de energie die hierbij vrijkomt, strekken de koppen zich en binden aan een actinebindingsplaats. Als ADP en P loslaten, springt het myosinemolecuul terug in de oorspronkelijke gebogen stand en trekt hierbij het actinefilament mee. Hierdoor schuiven de actine- en myosinefilamenten in elkaar en wordt de spiervezel korter (zie afbeelding 72.3 en 72.4).

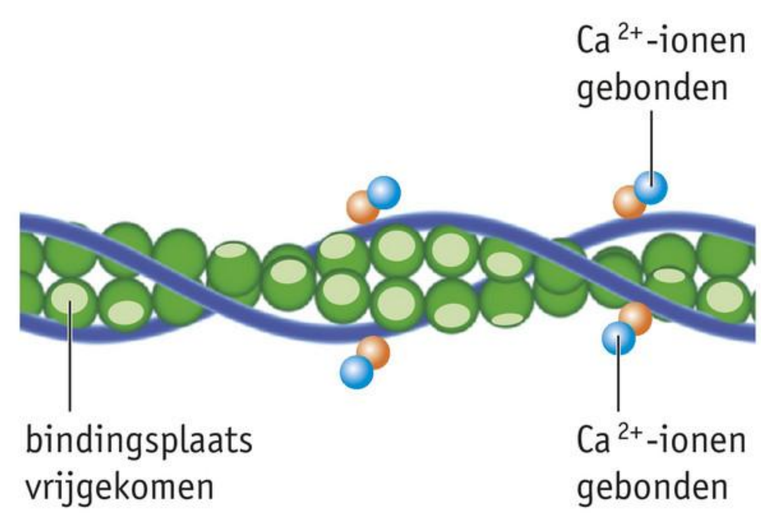
■ **Afb. 71** Myofibrilen.



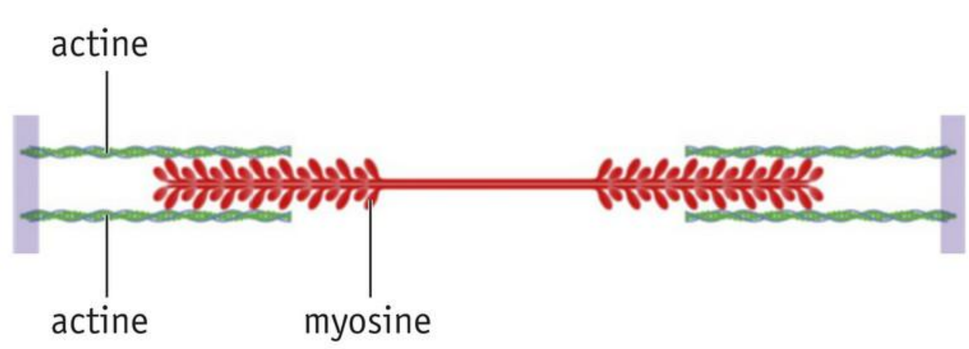
■ **Afb. 72** Contractie.



1 Actinefilament is in rusttoestand.



2 Door de binding van Ca^{2+}-ionen komen bindingsplaatsen vrij.

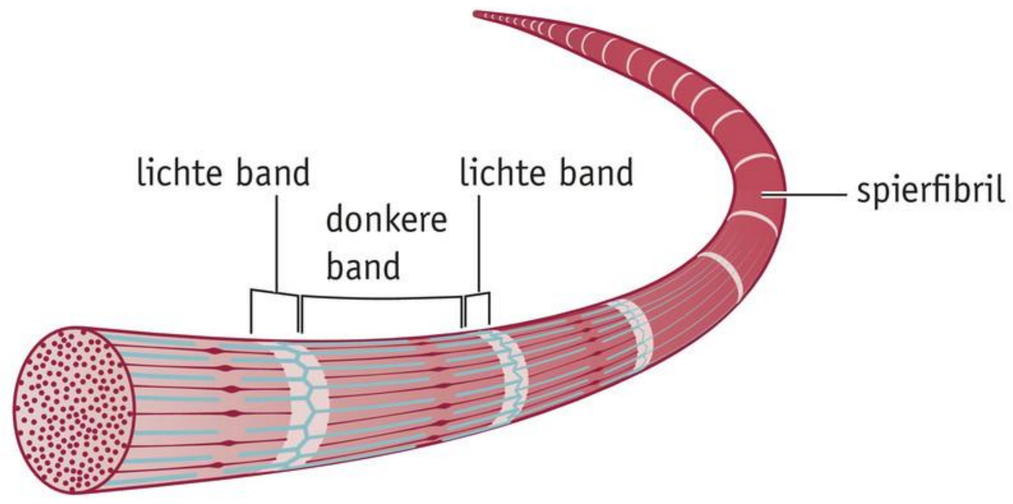


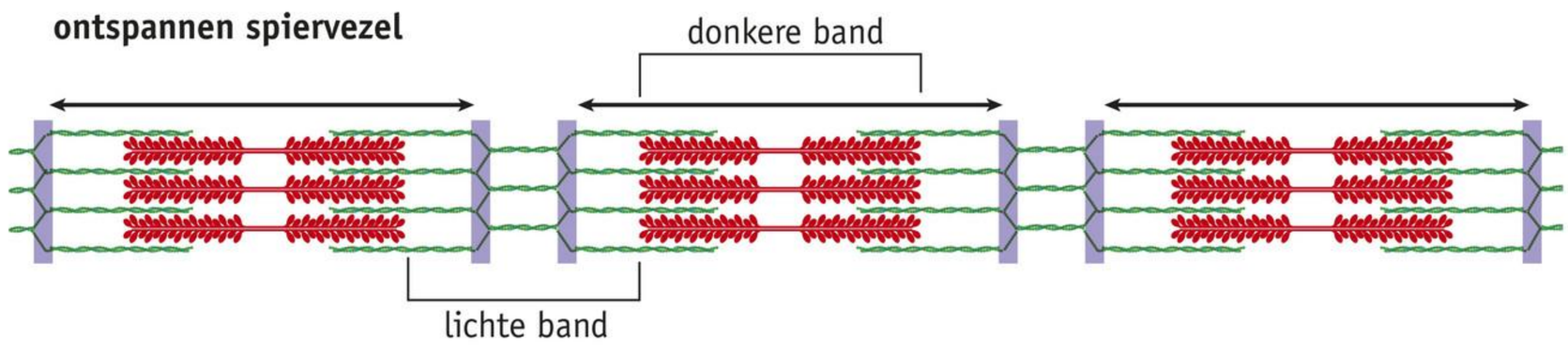
3 De 'koppen' van de myosinemoleculen binden aan de vrijgekomen bindingsplaatsen.

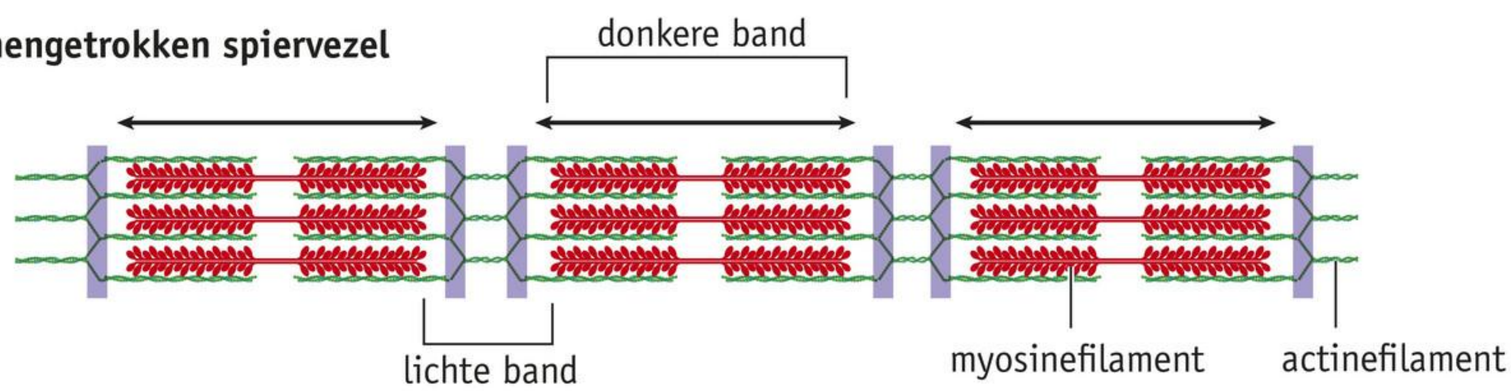
4 De actine- en myosinefilamenten schuiven in elkaar.

De lichte banden van de dwarse streping worden dan smaller. De donkere banden blijven even breed (zie afbeelding 73). Als de bindingen tussen de koppen van de myosinemoleculen en de actinefilamenten worden verbroken, ontspannen de spiervezels weer. Na elke contractie is er in een motorische eenheid een periode van herstel. In deze periode worden afvalstoffen afgevoerd, zuurstof aangevoerd en de voorraad ATP aangevuld.

■ **Afb. 73** De contractie van een deel van een spierfibril (schematisch).







Opdrachten KENNIS

68 Lotte maakt een subtiele beweging, waardoor er een motorische eenheid wordt geactiveerd.

a Worden van deze motorische eenheid een deel of alle motorische eindplaatjes geactiveerd?

b Lieke pakt een gewicht en traint er haar biceps mee. Daardoor worden er enkele motorische eenheden geactiveerd. Daarna verdubbelt zij het gewicht. Leg uit of het aantal geactiveerde motorische eenheden verandert.

69 Met een microscoop kun je zien dat een dwarsgestreepte spiervezel bestaat uit afwisselend donkere en lichte banden.

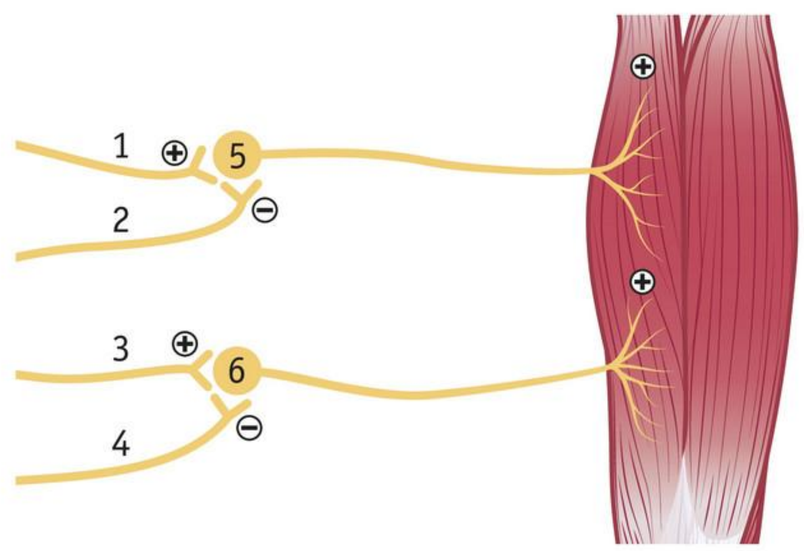
a In welke banden bevinden zich de actine- en myosinefilamenten?

b Wat is de functie van de glycogeenkorrels tussen de spierfibrillen?

70 Bij een astmapatiënt zijn de longen gevoelig voor prikkels. Een heftige prikkel zoals huidschilfers van huisdieren kan ervoor zorgen dat de spieren in de luchtwegen samentrekken, waardoor de patiënt het benauwd krijgt. Acetylcholine zorgt voor de contractie van deze spieren.
Astmapatiënten kunnen met behulp van een inhalator de luchtwegen weer wijder maken.
Hoe werkt de stof die zorgt voor de verwijding van de luchtwegen?

71 Afbeelding 74 geeft enkele zenuwcellen en een spier weer. In de axonen 1 en 3 neemt de impulsfrequentie toe. Axon 2 geleidt geen impulsen, terwijl in axon 4 de impulsfrequentie toeneemt.
Neemt de spanning van de spier meer of minder toe dan zonder inschakeling van neuron 4 het geval zou zijn?

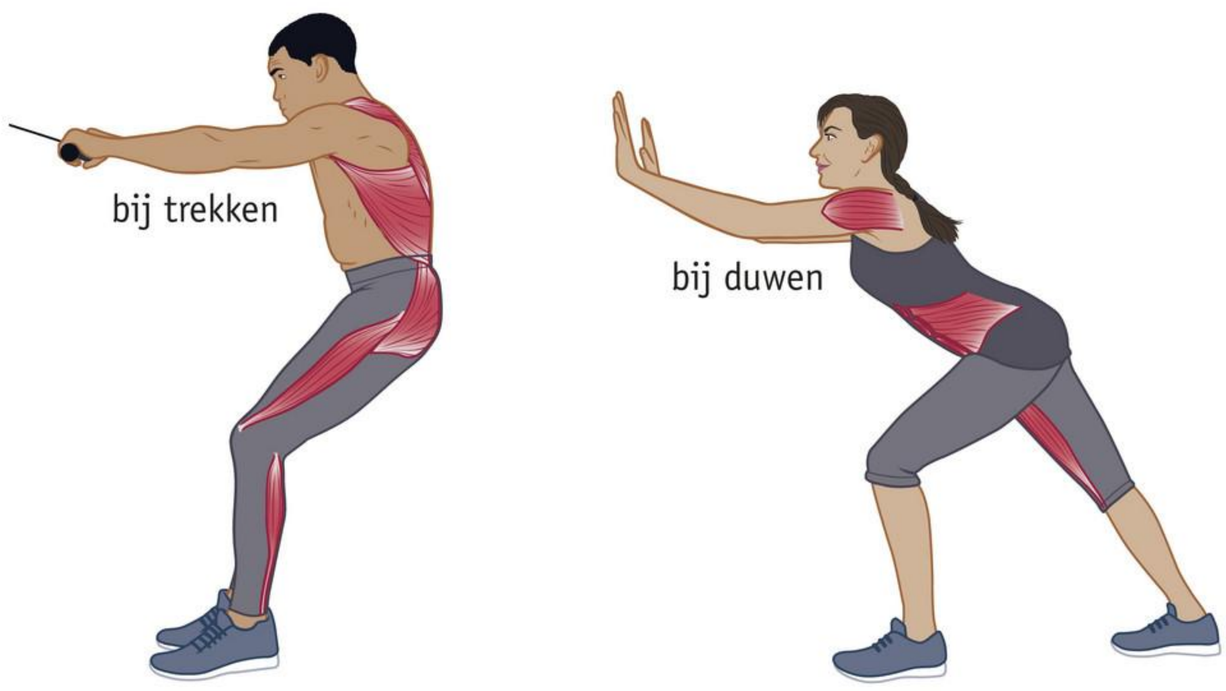
■ **Afb. 74** De aansturing van een spier.



HOUDING EN BEWEGING

Bij elke lichaamshouding zijn veel spieren betrokken (zie afbeelding 75).

■ **Afb. 75** De werking van spieren bij een lichaamshouding.



Ook bij het maken van een beweging zijn meestal meerdere spieren betrokken. In een normale, ontspannen toestand is een skeletspier niet maximaal ontspannen. Elk motorisch neuron geleidt zo nu en dan een impuls, waardoor de aangesloten motorische eenheid samentrekt. Maar het aantal motorische eenheden dat tegelijkertijd samentrekt, is te klein om een beweging te veroorzaken. De spier oefent daardoor een lichte kracht uit op de aanhechtingsplaatsen van de pezen. Deze kracht noem je de **tonus** (**spierspanning**). De tonus speelt een belangrijke rol bij de handhaving van de lichaamshouding, zoals bij zitten of staan.

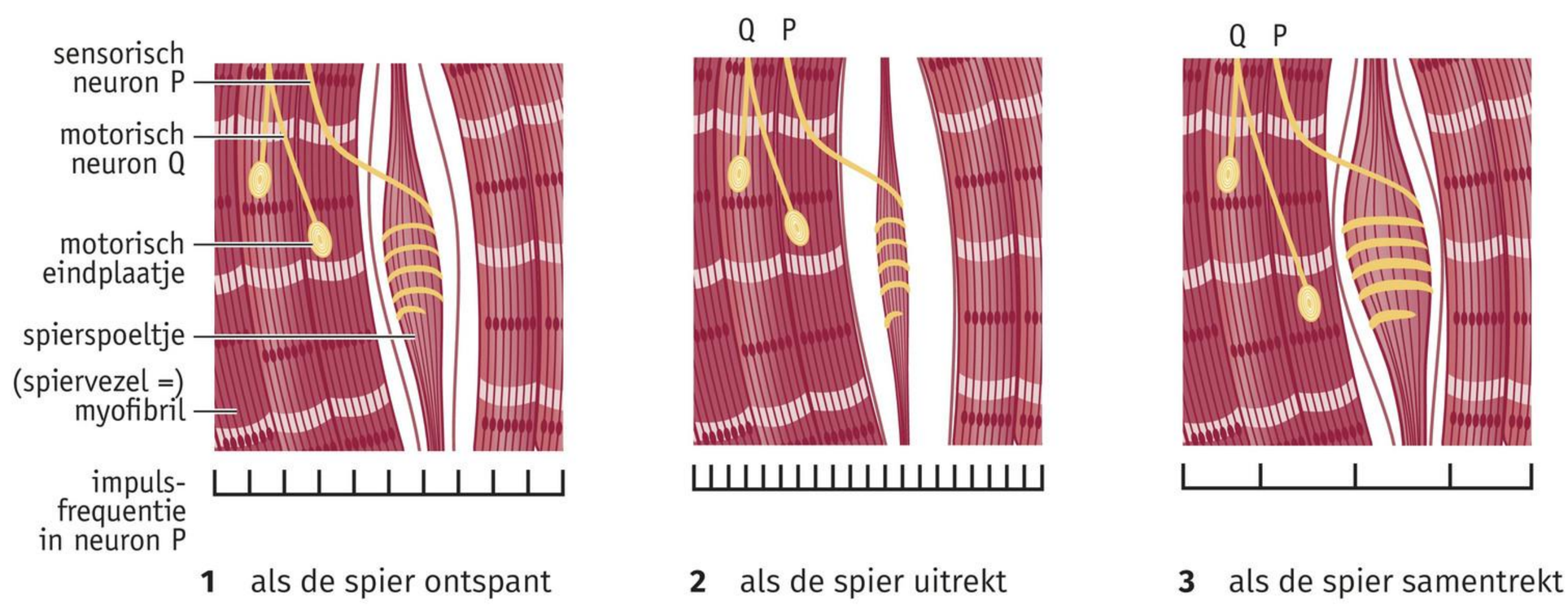
Ook reflexen kunnen een rol spelen bij de handhaving van de lichaamshouding. Wanneer je rechtop staat, wordt het evenwicht gehandhaafd door middel van reflexen. Zodra je iets naar voren helt, trekken de kuitspieren in een reflex samen. Daardoor wordt het naar voren hellen van het lichaam direct gecorrigeerd, zonder dat je je daarvan bewust bent.

Reflexen ontstaan doordat bij uitrekking van een spier de **spierspoeltjes**, die zich tussen de spiervezels bevinden, worden geprikkeld. In een spierspoeltje bevinden zich gespecialiseerde spiervezels. Het uiteinde van de uitloper van een sensorisch neuron is als een spiraal rondom een spiervezel gewonden (zie afbeelding 76.1). De uiteinden van een spierspoeltje kunnen samentrekken. Het middendeel is alleen uitrekbaar. Wanneer een spier rekt, rekt een spierspoeltje mee. De informatie hierover wordt via het sensorisch neuron doorgegeven aan het centrale zenuwstelsel.

Het centrale zenuwstelsel geleidt vervolgens via een motorisch neuron een impuls naar de spiervezels, waardoor die samentrekken en de rek op het spierspoeltje wordt opgeheven. Tegelijkertijd gaat een andere impuls naar de spiervezels in het spierspoeltje. De spiervezels trekken samen en het spierspoeltje wordt weer op spanning gebracht om nieuwe rek op de spier te kunnen waarnemen.

In de overgang van pees naar spier liggen **peesspoeltjes**. Ze zijn gevoelig voor verandering in de spierspanning. Peeslichaampjes kunnen via een schakelneuron in het ruggenmerg het motorisch neuron remmen dat verantwoordelijk is voor de rekreflex. De peeslichaampjes maken bewegingen vloeiender en gelijkmatiger. Ze beschermen de spieren ook tegen schade door de spiercontractie iets te dempen of de spier juist aan te laten spannen bij een snelle verlenging van spieren.

■ **Afb. 76** De werking van een spierspoeltje in een skeletspier (schematisch).

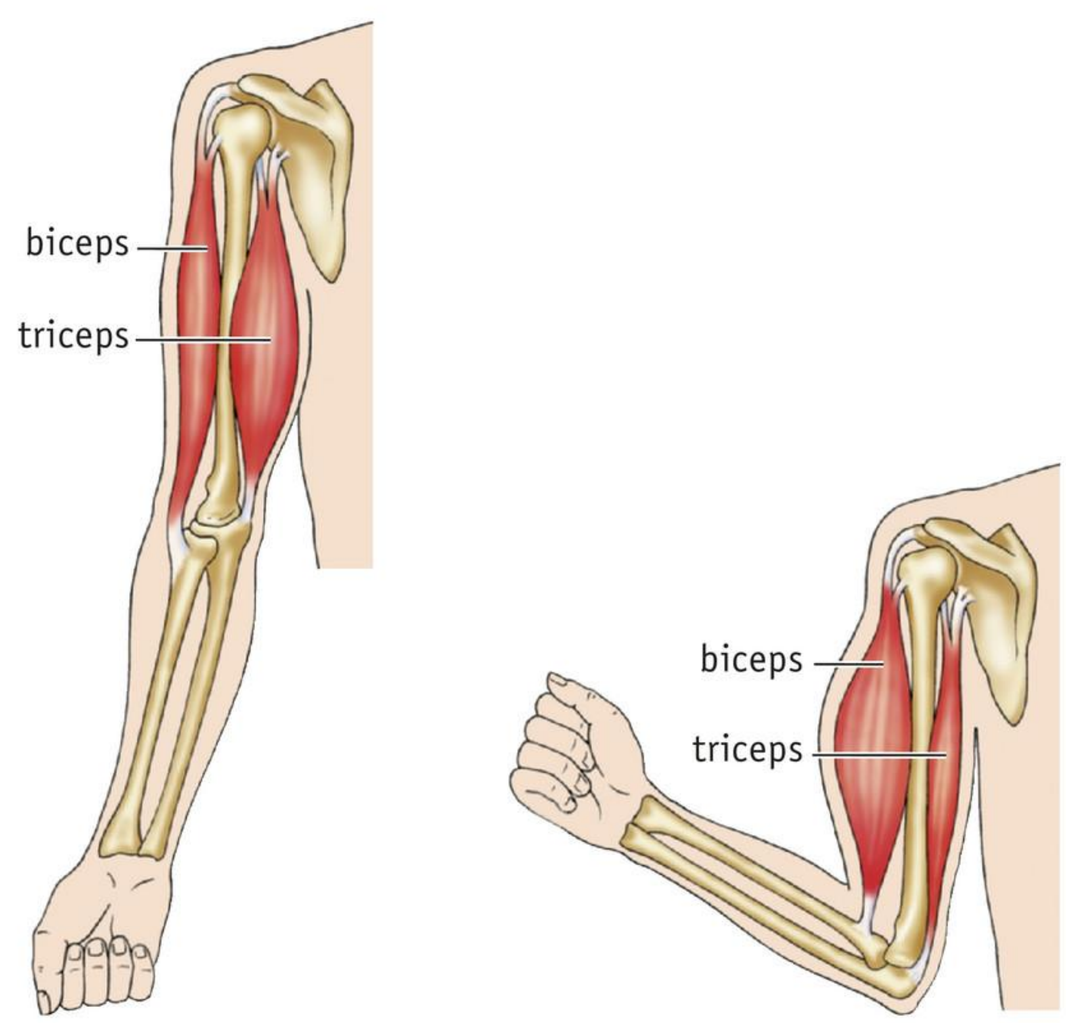


1 als de spier ontspant **2** als de spier uitrekt **3** als de spier samentrekt

ANTAGONISTEN

Door het samentrekken van een spier kan een been (bot) in het skelet maar in één richting bewegen. Er is een andere spier nodig voor de tegengestelde beweging. Spieren waarvan de contractie een tegengesteld effect heeft, noem je **antagonisten**. De biceps en triceps in je bovenarm zijn antagonisten (zie afbeelding 77). Door contractie van de biceps buigt de arm. Tegelijkertijd wordt in de triceps de tonus verlaagd, waardoor ontspanning (relaxatie) optreedt. De biceps ondervindt zo minder weerstand bij het buigen van de arm. Bij het strekken van de arm trekt de triceps samen en ontspant de biceps.

■ **Afb. 77** Antagonisten in de bovenarm.



LANGZAME EN SNELLE SPIERVEZELS

Je kunt spiervezels indelen in langzame en snelle spiervezels. **Langzame spiervezels** zijn goed doorbloed en je noemt ze daarom rode spiervezels. Dit type spiervezels bevat veel mitochondriën en raakt niet snel vermoeid. **Snelle spiervezels** zijn minder doorbloed en je noemt ze daarom witte spiervezels. Deze spiervezels bevatten minder mitochondriën en raken sneller vermoeid. Witte spiervezels kunnen sneller en krachtiger samentrekken dan rode spiervezels. De verhouding snelle en langzame spiervezels in je spieren is grotendeels genetisch bepaald.

LICHAAMSBEWEGING EN TRAINING

Regelmatige lichaamsbeweging houdt je spieren in een goede conditie. Ze raken daardoor minder snel geblesseerd. Door training kunnen je skeletspieren betere prestaties leveren. Door **krachttraining** worden de spiervezels dikker, doordat het aantal filamenten in de myofibrillen toeneemt. De spieren worden dan zwaarder (zie afbeelding 78.1). Bij **duurtraining** train je op **uithoudingsvermogen** en neemt vooral de doorbloeding van de spieren toe. De spieren worden dan niet zwaarder (zie afbeelding 78.2).

Door een training te beginnen met een **warming-up** stimuleer je de bloedsomloop. Daardoor raken je spieren goed doorbloed en krijgen ze zuurstof en glucose. Ze zijn dan minder kwetsbaar dan koude, stijve spieren. Dit voorkomt veel blessures. Ook de stofwisselingsprocessen verlopen door een warming-up sneller. Een goede warming-up duurt vijftien minuten en begint vaak met rustig lopen. Daarna kunnen rekoefeningen en actievere oefeningen volgen die specifiek zijn voor je sport.

Met een **coolingdown** zorg je ervoor dat je lichaam na het sporten weer tot rust komt en goed kan herstellen. Je hartslag gaat geleidelijk weer omlaag tot een normale hartslag in rust. Een goede coolingdown bevordert de afvoer van afvalstoffen uit de spieren en voorkomt daardoor stijfheid en spierpijn. Een coolingdown bestaat vaak uit rustig lopen, rekoefeningen en na afloop een douche waarbij je koud en warm water afwisselt. Ook een massage kan je herstel bevorderen.

Veel Nederlanders bewegen te weinig. Dit leidt onder andere tot overgewicht en het vergroot de kans op bepaalde ziekten zoals hart- en vaatziekten en diabetes mellitus. In de zogenaamde 'beweegrichtlijnen' geeft de overheid een advies over hoeveel beweging nodig is voor een gezonde leefstijl. Voor kinderen en jongeren zijn de adviezen:

- Bewegen is goed, maar meer bewegen is nog beter.
- Doe minstens elke dag een uur aan matig intensieve inspanning, zoals fietsen, wandelen of zwemmen. Langer, vaker of intensiever bewegen is nog gezonder.
- Doe minstens driemaal per week spier- en botversterkende activiteiten, zoals buitenspelen, dansen of krachtoefeningen.
- Voorkom veel stilzitten.

Er zijn veel apps en smartwatches die je dagelijkse beweging bijhouden of je kunnen stimuleren om meer aan lichaamsbeweging te doen.

■ **Afb. 78** Training.

1 training op kracht

2 training op uithoudingsvermogen

DOPING

Sommige sporters gebruiken **doping** om hun sportieve prestaties te bevorderen. Spierversterkende middelen bevatten vaak anabole steroïden. De werking van zulke middelen is vergelijkbaar met de werking van testosteron. Anabole steroïden zetten het lichaam aan om meer spierweefsel te vormen, zodat de spiermassa van een sporter toeneemt. Anabole steroïden stimuleren ook de aanmaak van rode bloedcellen, waardoor het bloed meer zuurstof kan transporteren, wat nodig is voor de verbranding. Dit vergroot het uithoudingsvermogen van een sporter: het vermogen om gedurende lange tijd een lichamelijke inspanning te kunnen volhouden. Toediening van het hormoon epo (erytropoëtine) stimuleert ook de aanmaak van rode bloedcellen en vergroot het uithoudingsvermogen van de sporter.

Het gebruik van doping heeft bijwerkingen en brengt soms grote medische risico's met zich mee, zoals toename van gewicht, bloedstollingsziekten, leverschade, een vergrote kans op hartaandoeningen of een beroerte, een hoger cholesterolgehalte in het bloed en zwakkere pezen. Daarnaast is het gebruik van doping in de wedstrijdsport verboden.

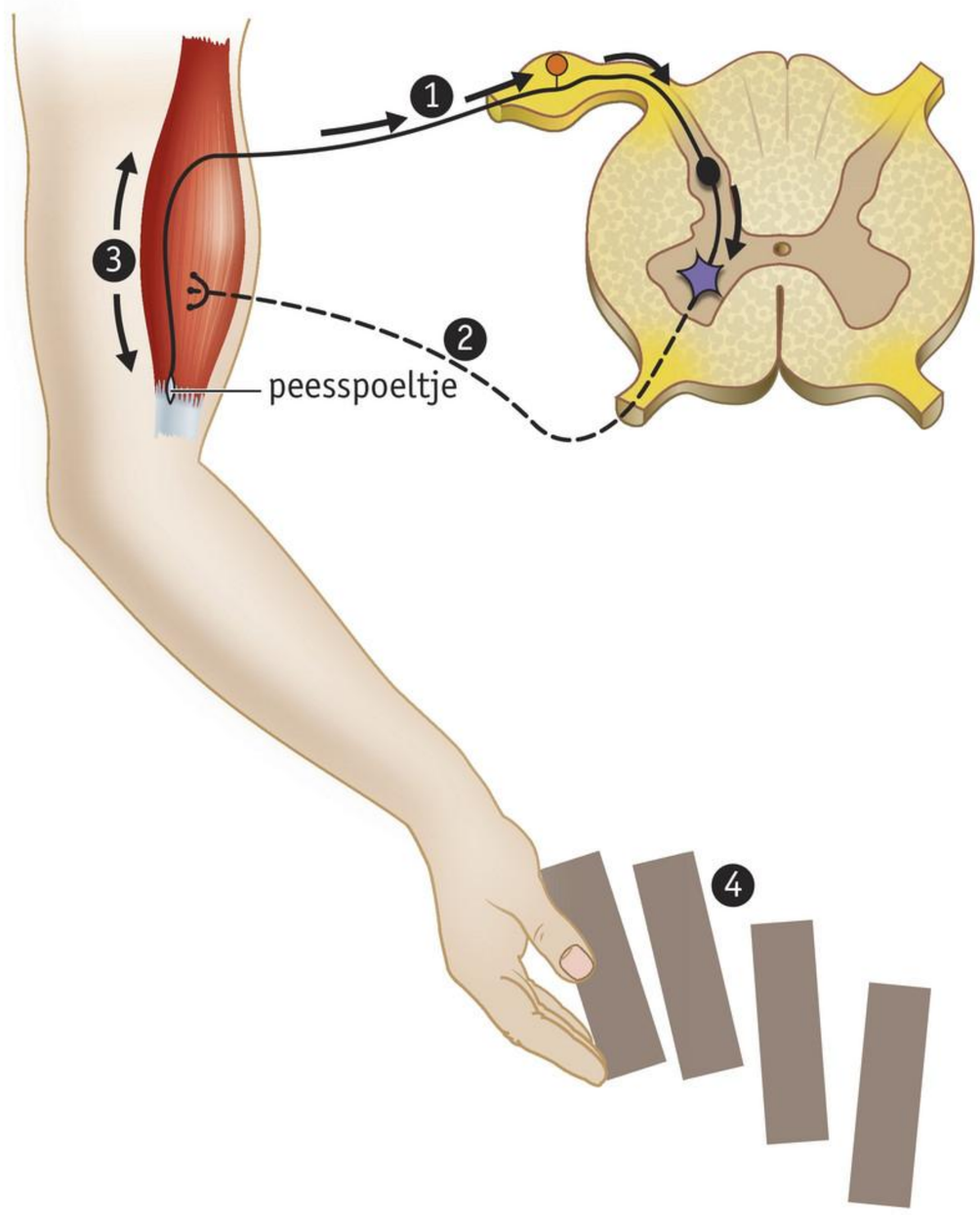
Opdrachten KENNIS

72 Wanneer een spier te zwaar wordt belast, ontstaat in het peesspoeltje een reflex om de spier te beschermen. In afbeelding 79 is dit schematisch weergegeven.

a Noteer de cijfers 1 tot en met 4 onder elkaar en maak de juiste combinaties.
Kies uit: *de lading valt – de spier ontspant – motorisch neuron – sensorisch neuron*.

b Neemt de impulsfrequentie in neuron 2 toe of af? Leg je antwoord uit.

■ **Afb. 79** De werking van een peesspoeltje in een skeletspier.



73 **a** Heeft een gewichtheffer naar verhouding meer langzame of meer snelle spiervezels? Leg je antwoord uit.

b Bezit een duursporter naar verhouding meer langzame of meer snelle spiervezels? Leg je antwoord uit.

c Waarom zal een duursporter die doping gebruikt niet graag anabole steroïden nemen?

74 Bal je hand samen tot een vuist.
Waar zitten de antagonisten van je vingers?

Opdrachten INZICHT

75 Bij de ziekte ALS (amyotrofische laterale sclerose) sterven motorische neuronen in het ruggenmerg, de hersenstam en de bewegingscentra af, waardoor spieren die bewuste reacties en reflexen maken geen impulsen meer ontvangen. Hierdoor worden de spieren dunner en treedt er krachtverlies op (spieratrofie). Dat leidt uiteindelijk tot verlamming.
Waarom wordt het spierweefsel van het hart, de blaas en de darmen bij ALS niet aangetast?

76 De ziekte van Leigh is een aandoening waarbij de mitochondriën niet goed functioneren. De eerste symptomen van de ziekte zijn een slechte motorische ontwikkeling en stijve spieren.

a Waardoor functioneren bij een patiënt met de ziekte van Leigh de spieren niet goed?

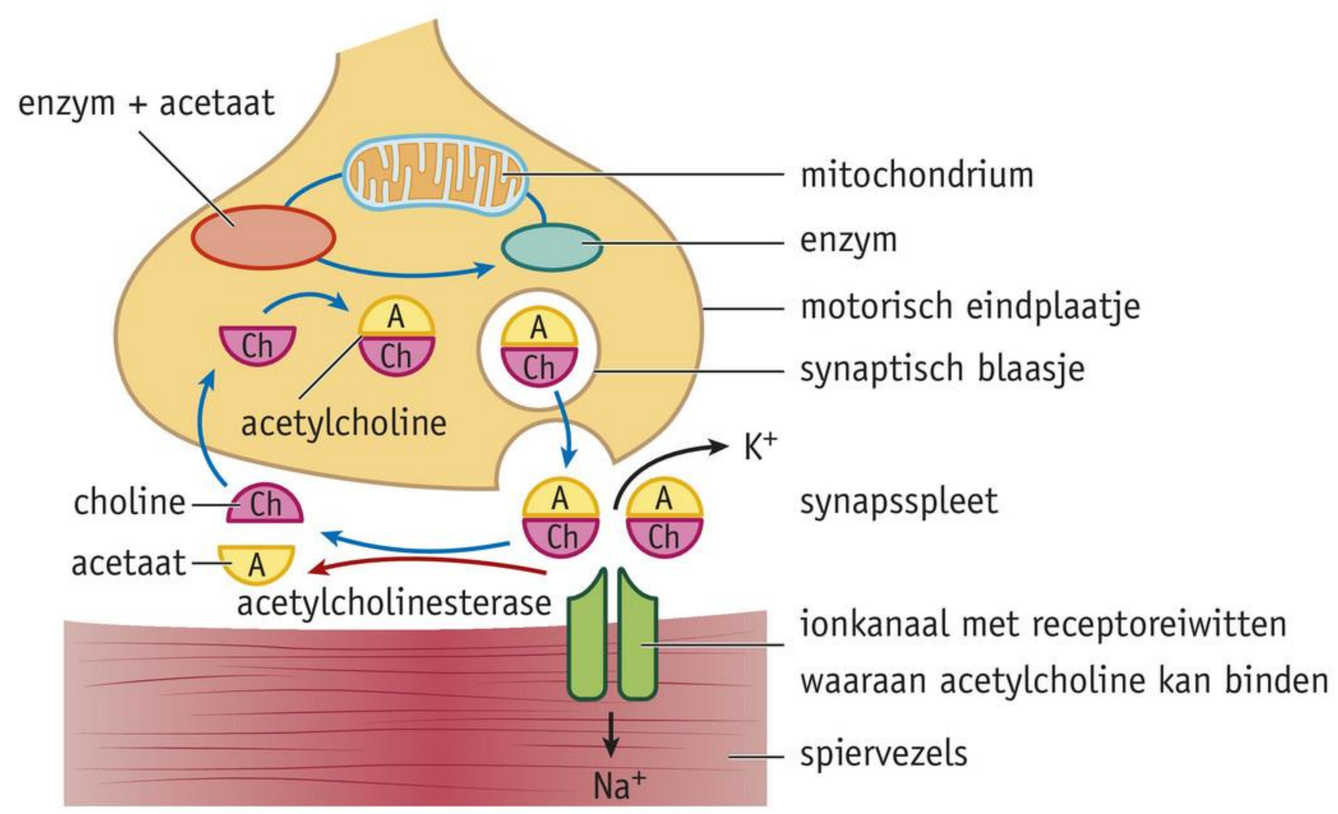
b Het aantal spiervezels dat deel uitmaakt van één motorische eenheid is per spier verschillend. Dit hangt samen met de nauwkeurigheid van de bewegingen van de spier.
Is het aantal spiervezels in één motorische eenheid in een oogspier groter of kleiner dan in één motorische eenheid in de biceps? Leg je antwoord uit.

77 Door het vrijkomen van acetylcholine in de synapsspleet ontstaat een depolarisatie in het postsynaptisch membraan. Gebruik bij deze opdracht *BiNaS* tabel 88G en 88H.

a Welk ionentransport veroorzaakt de depolarisatie van het membraan van de postsynaptische cel?

b Acetylcholine is 1 ms na het vrijkomen alweer verdwenen uit de synapsspleet. Onder invloed van het enzym acetylcholinesterase wordt acetylcholine afgebroken tot acetaat (azijnzuur) en choline. Het acetaat wordt opgenomen door het bloed. De choline wordt opgenomen door de axonuiteinden en daar weer omgezet in acetylcholine. Acetylcholine wordt vervolgens opgenomen in de synaptische blaasjes (zie afbeelding 80).
Sarin is een gevaarlijk zenuwgas dat onomkeerbaar bindt aan acetylcholinesterase. Leg uit dat hierdoor bij een slachtoffer van sarin onder andere spierkrampen ontstaan die tot de verstikkingsdood kunnen leiden.

■ **Afb. 80** De vorming en werking van acetylcholine.



78 Iemand kan er uitgerust of moe uitzien (zie afbeelding 81). Dit wordt veroorzaakt door een verschillende tonus van de gelaatsspieren. Leg dat uit.

■ **Afb. 81** Vermoeid persoon.

79 In afbeelding 76 is een spierspoeltje in een skeletspier in drie situaties getekend: ontspannen, uitgerekt en samengetrokken. Onder elke getekende situatie is de impulsfrequentie in het aangesloten sensorische neuron P weergegeven.

a Als de spier ontspannen is, geleidt neuron P impulsen met een bepaalde frequentie. Leg uit waarom in deze situatie het ontbreken van impulsen niet functioneel zou zijn.

b De spier trekt samen onder invloed van impulsen die door neuron Q worden aangevoerd.
Is de impulsfrequentie in neuron Q evenredig aan die in neuron P, of omgekeerd evenredig? Leg je antwoord uit.

c In afbeelding 76.2 wordt de spier uitgerekt. Bij veel skeletspieren heeft zo'n situatie tot gevolg dat de spier reflexmatig samentrekt.
Leg uit dat deze samentrekking een gevolg is van negatieve terugkoppeling.

80 Meldonium is een geneesmiddel dat wordt gebruikt bij de behandeling van hartproblemen. Bij patiënten zou het middel de zuurstofvoorziening van de hartspier verbeteren. In het verleden gebruikten sporters dit middel om beter te kunnen presteren.
Leg uit dat sporters meldonium gebruikten om hun inspanningsprestaties te verbeteren.

Ga naar de *Flitskaarten* en *Test jezelf.*

Context Leefwereld

EEN BEETJE BEWEGEN IS OOK AL GOED

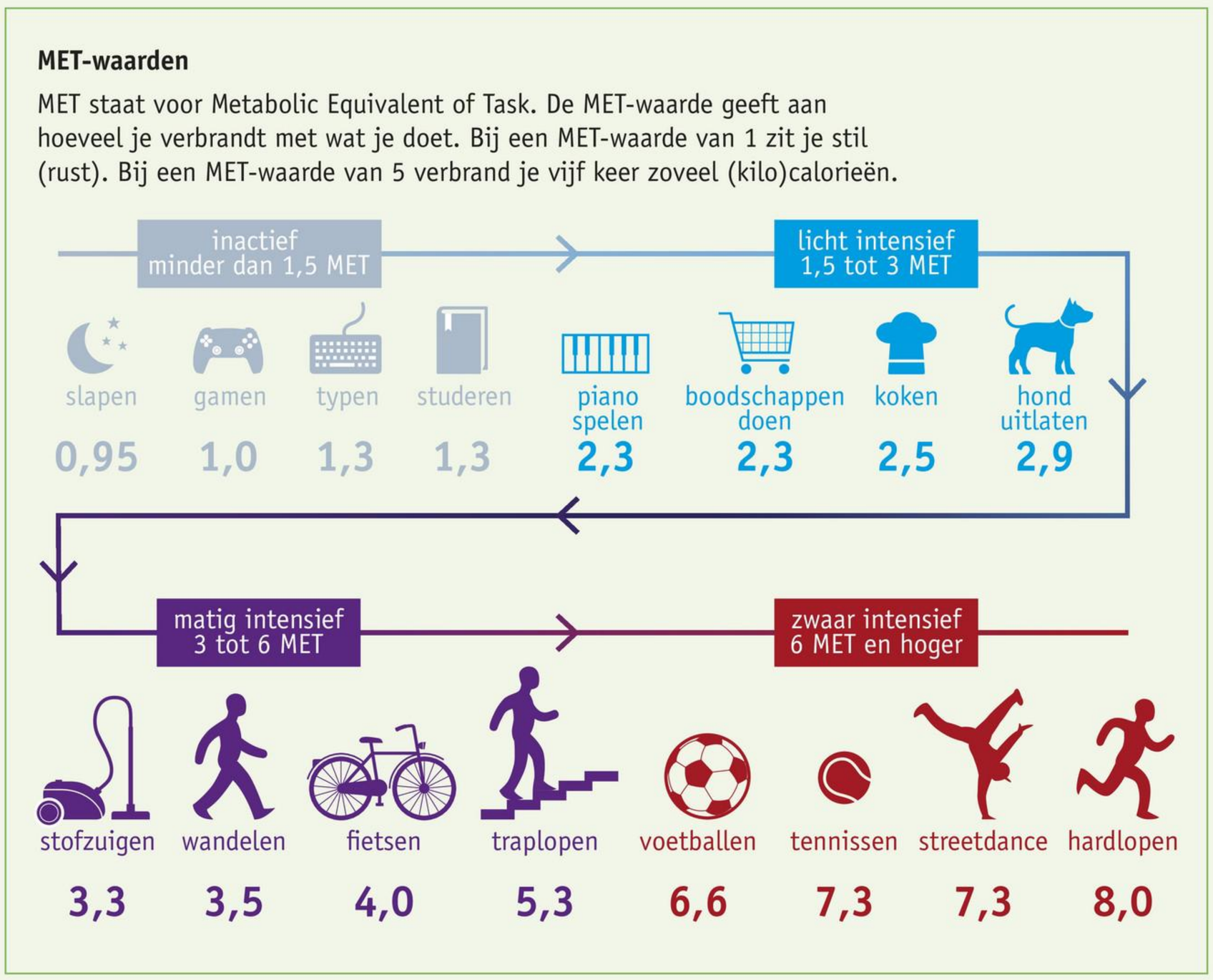
Veel jonge mensen leiden vooral een zittend bestaan. Ga maar na, op school zit je tijdens de les en in de pauzes. Thuis zit je om huiswerk te maken, te eten of te gamen. Dit is zorgelijk, omdat studies aantonen dat veel zitten ongezond is.

Uit onderzoek blijkt dat kinderen tot 18 jaar elke dag een uur matig intensief zouden moeten bewegen om gezond te blijven. Je hoeft daarvoor niet naar de sportschool, je kunt gewoon traplopen, fietsen of een stevige wandeling maken. Kortom, iedere vorm van activiteit is goed, zolang de beweging maar matig intensief is. Dat houdt in dat de beweging leidt tot een verhoogde ademhaling en een versnelde hartslag. Het zou ideaal zijn als deze bewegingen deel uitmaken van je dagelijks leven, zodat de nadelen van veel zitten worden gecompenseerd.

Bewegen heeft veel gezondheidsvoordelen. Zo nemen het risico op hart- en vaatziekten en de kans op diabetes af. Je hebt dan ook een lager risico op depressieve symptomen.

Je kunt aan de hand van de MET-waarde (zie afbeelding 82) bepalen of je per week voldoende matig intensief beweegt. De MET-waarde staat voor het metabolische equivalent van een taak. Deze geeft aan hoeveel energie een lichaamsactiviteit per uur kost ten opzichte van de hoeveelheid benodigde energie in rust. Zo levert wandelen een MET-waarde op van 3,5, terwijl normaal fietsen en tennis een MET-waarde opleveren van respectievelijk 4,0 en 7,3. Om aan de beweegnorm te voldoen, moet je elke dag zestig minuten matig tot hoog intensief bewegen (MET-waarde 5 tot 8).

■ **Afb. 82** Activiteiten van verschillende intensiteit.



Opdrachten

81 Gebruik voor deze opdracht *BiNaS* tabel 88C4. Lichamelijke beweging zorgt voor een betere doorbloeding van de hersenen. Daardoor worden bepaalde hersengebieden geactiveerd. Een van deze gebieden is de prefrontale schors (cortex). Dit gebied is belangrijk voor onder andere planning en reflectie. De prefrontale schors onderdrukt een ander hersengebied waar (negatieve) emoties worden opgeslagen.

a Leg uit hoe beweging kan leiden tot een lager risico op depressieve symptomen.

b De hippocampus is een gebied in de hersenen dat een belangrijke rol heeft bij cognitieve functies (leren en geheugen). De hippocampus wordt niet onderdrukt door de prefrontale schors.
Leg uit dat sporten zorgt voor een verbetering van de cognitieve functies.

82 Met de MET-waarde kun je ook berekenen hoeveel kJ je per minuut verbrandt met een activiteit. Daarvoor kun je onderstaande formule gebruiken:
MET-waarde × 3,5 × lichaamsgewicht (in kg) × 4,2 / 200.
Een volwassen man met een lichaamsgewicht van 80 kg gaat 45 minuten tennissen.
Bereken hoeveel kJ deze man verbruikt. Rond je antwoord af op hele getallen.

83 Op de site van het Voedingscentrum kun je de MET-waarde van verschillende activiteiten opzoeken. Noteer een week lang al je dagelijkse activiteiten. Bereken daarna van al je activiteiten de MET-waarde en de tijd die je daarmee bezig bent.
Voldoe jij aan de beweegnorm?

84 Beweegmeters registreren via je mobieltje iedere wandelpas. Daardoor kan het lijken dat de gebruiker aan de beweegrichtlijn voldoet, terwijl dat niet het geval is. Leg dit uit.

ALCOHOL IS NIET ALTIJD GEZELLIG

LEERDOEL

7.S.1 Je kunt de invloed van alcohol toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

Voor veel jongeren heeft alcohol iets magisch. Alcohol wordt geassocieerd met gezelligheid, feestjes en stoere verhalen. Alcohol zorgt voor een ontspannen gevoel, maar de donkere kant van alcohol wordt vaak vergeten.

Het is niet voor niets dat je geen alcohol bij je mag hebben als je nog geen 18 jaar bent. De reden hiervoor is dat alcohol schadelijk is, bijvoorbeeld voor de ontwikkeling van je hersenen. Ook bestaat er een verhoogde kans op alcoholvergiftiging en verslaving op latere leeftijd. Daarom is het beter om helemaal geen alcohol te drinken, zeker als je jong bent.

Je hersenen ontwikkelen zich tot je ongeveer 25 jaar bent. Een gebied dat bij jongeren nog niet is uitontwikkeld is de prefrontale schors, een onderdeel van de grote hersenen. Dit gebied is betrokken bij cognitieve functies, zoals denken, plannen en organiseren. Logisch dus dat veel jongeren moeite hebben om op tijd te beginnen met leren. Doordat dit gebied ook is betrokken bij het reguleren van emoties, is het begrijpelijk dat jongeren soms impulsief en emotioneel reageren.

De grote hersenen hebben over het algemeen een remmende functie die wordt veroorzaakt door de neurotransmitter GABA. Zonder deze remmende functie zou je veel impulsiever reageren. Je zou dan moeilijker stil kunnen zitten tijdens de les of sneller dingen zeggen waar je later spijt van krijgt. Een goed ontwikkelde remming leidt tot beter gedrag en stelt je in staat om beter te functioneren bij het leren, werken of samenzijn met vrienden.

Als je alcohol drinkt, wordt deze remming tenietgedaan. Je ontremt, waardoor je vrolijk wordt. Je bent dan prettig in de omgang en opgewekt. Dit gedrag wordt veroorzaakt, doordat er een beetje dopamine vrijkomt in de hersenen. Dopamine is een neurotransmitter die zorgt voor een fijn gevoel.

Als je door blijft drinken, worden bepaalde delen en functies van de hersenen weer onderdrukt. Dit komt doordat alcohol bindt aan GABA-receptoren op de postsynaptische zenuwcellen. Daardoor ben je bijvoorbeeld minder alert en je ziet of hoort minder. Ook de autonome functies die in de hersenstam zitten, zoals hartregulatie, bloeddruk en ademhaling worden onderdrukt. Dat kan levensgevaarlijk zijn, want de kans op een coma wordt dan groter. Alcohol zorgt daarnaast voor een slechtere motoriek. Ten slotte sterven door alcohol veel neuronen.

Door alcohol worden ook nare gevoelens geremd. Stop je met drinken, dan worden de gebieden die negatieve emoties oproepen weer actief. Vandaar dat sommige mensen niet meer kunnen stoppen met het drinken van alcohol. Ze zijn verslaafd.

Opdrachten

1 Vul in de tabel de volgende begrippen in bij het juiste organisatieniveau.
Kies uit: *alcohol – dopamine – hersenen – jongeren – neuronen – neurotransmitter – zenuwstelsel.*

Organisatieniveau	Begrip
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

2 Leg uit dat overmatig alcoholgebruik kan leiden tot een coma.

3 Mensen die alcohol drinken, gaan vaker naar het toilet om te plassen.
Leg uit waardoor dit komt. Gebruik *BiNaS* tabel 89A.

4 In de grote hersenen zitten veel neuronen die GABA gebruiken als neurotransmitter. In afbeelding 1 zijn twee neuronen en een gliacel getekend.

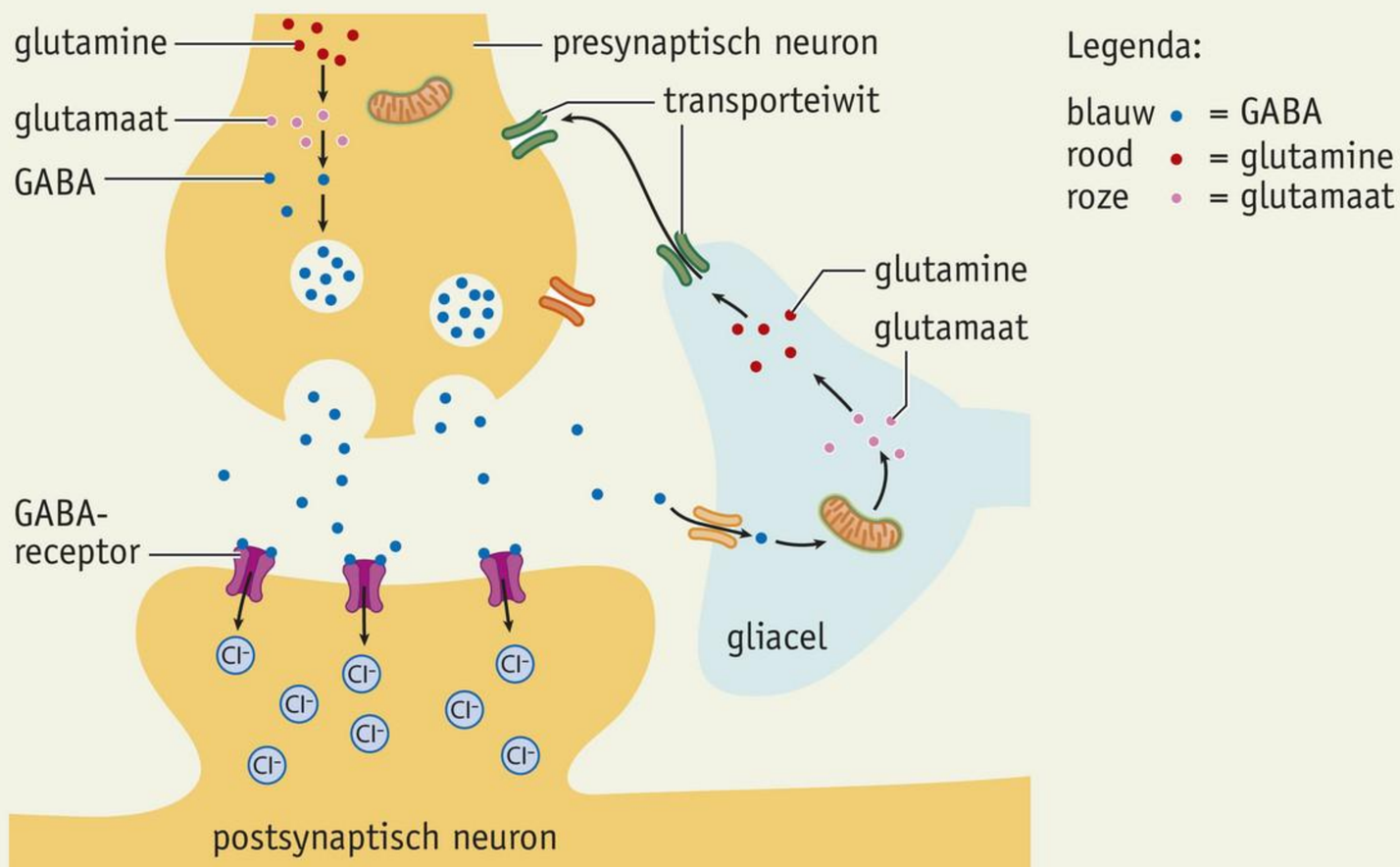
a Op welke twee manieren wordt GABA, dat vrijkomt als neurotransmitter, gerecycled?

b Waaruit kun je afleiden dat GABA de postsynaptische zenuwcel hyperpolariseert?

c Er zijn sterke aanwijzingen dat alcohol bindt aan GABA-receptoren en daardoor neuronen remt.
Leg uit waardoor alcohol voor een remmende werking van neuronen zorgt.

d Door langdurig alcohol te drinken neemt het aantal GABA-receptoren op postsynaptische zenuwcellen af.
Leg uit dat de afname van het aantal GABA-receptoren op postsynaptische zenuwcellen zorgt voor verslaving.

■ **Afb. 1** De afgifte en omzetting van GABA.



PRACTICA

Practicumopdracht 1

ONDERZOEKSDOEL

7.O.1 Je ervaart dat het lastig is bepaalde impulsen in je hersenen te onderdrukken.

- Basisstof 3
- Vaardigheid 7 (thema 1)

De Stroop-test

15 minuten

INLEIDING

Je bent waarschijnlijk zo getraind in het lezen van gedrukte woorden dat je ze niet kunt negeren. John Ridley Stroop ontdekte in 1930 dat je hersenen in staat zijn om impulsen te onderdrukken. In deze practicumopdracht onderzoek je het Stroop-effect.

ONDERZOEKSVRAAG

Bestaat er een verschil in de snelheid waarmee je de kleuren van woorden opnoemt als de kleur van een woord overeenkomt met de naam van de kleur en als de kleur van een woord afwijkt van de naam van de kleur?

HYPOTHESE

1 Stel een hypothese op.

MATERIAAL

- stopwatch of apparaat met stopwatchfunctie
- afbeelding met gekleurde woorden (zie afbeelding 1)
- vel papier

METHODE

Je werkt in deze practicumopdracht met zijn tweeën.

- Dek afbeelding 1.2 af met een blanco, wit papier.
- De proefpersoon noemt zo snel mogelijk achter elkaar de kleuren van de woorden van afbeelding 1.1 op, terwijl de ander de tijd opneemt. Noteer de eindtijd van de proefpersoon.
- Dek vervolgens afbeelding 1.1 af.
- De proefpersoon noemt zo snel mogelijk achter elkaar de kleuren van de woorden van afbeelding 1.2 op, terwijl de ander de tijd opneemt. Noteer de eindtijd van de proefpersoon.
- Wissel van rol en herhaal het experiment.
- Vergelijk na afloop de resultaten met elkaar.

RESULTATEN

2 Noteer je tijdwaarnemingen in een tabel.

■ **Afb. 1** De Stroop-test.

Rood	Roze	Oranje	Zwart
Groen	Paars	Blauw	Rood
Blauw	Bruin	Groen	Grijs
Geel	Rood	Roze	Paars

1.1

Rood	Roze	Oranje	Zwart
Groen	Paars	Blauw	Rood
Blauw	Bruin	Groen	Grijs
Geel	Rood	Roze	Paars

1.2

CONCLUSIE

3 Welke conclusies kun je trekken?

DISCUSSIE

4 Hoe kun je je conclusie verklaren?

Practicumopdracht 2

ONDERZOEKSDOEL

7.O.2 Je kunt een preparaat van het ruggenmerg bekijken en de delen herkennen en benoemen.

- Basisstof 3
- Vaardigheden 1, 2 en 4 (thema 1)

Het ruggenmerg

20 minuten

INLEIDING

In deze practicumopdracht onderzoek je een klaargemaakt preparaat van een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg. Dit kan met het blote oog of met een loep of microscoop.

MATERIAAL

- klaargemaakt preparaat van een dwarsdoorsnede van het ruggenmerg
- microscoop (eventueel kun je een loep gebruiken)

METHODE

Bekijk het preparaat met het blote oog, met een loep of met de microscoop bij de kleinste vergroting (40×).

RESULTATEN

1 Maak een tekening van het ruggenmerg. Zet de namen bij de delen die je kent. Geef aan op welke plaatsen zich de cellichamen van schakelneuronen en motorische neuronen bevinden.

Practicumopdracht 3

ONDERZOEKSDOEL

7.O.3 Je ervaart de werking van een reflex. ▶ Basisstof 4

De kniepeesreflex

15 minuten

INLEIDING

Het animale zenuwstelsel regelt bewuste en onbewuste reacties. In deze practicumopdracht onderzoek je een prikkel waarop een vaste, onbewuste reactie volgt.

MATERIAAL

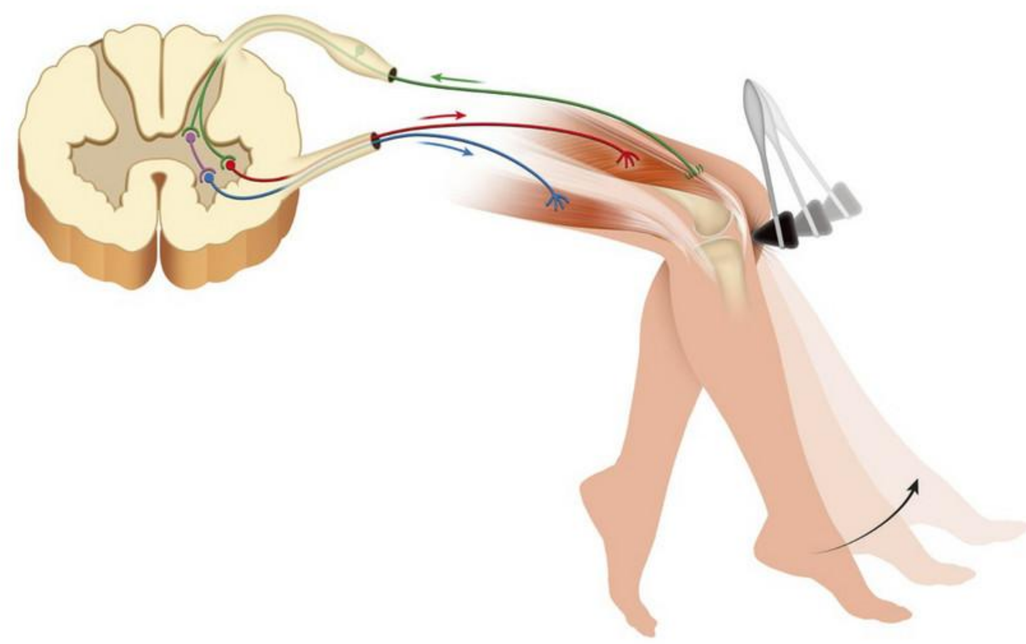
- houten hamertje of liniaal (je kunt ook de zijkant van je hand gebruiken)

METHODE

Je werkt in deze practicumopdracht met zijn tweeën.

- Ga op de rand van je tafel zitten, zodat je bovenbenen worden ondersteund door het tafelblad en je onderbenen naar beneden hangen. Zorg ervoor dat je voeten de grond niet raken en dat je onderbenen ontspannen hangen.
- Laat je klasgenoot voelen waar de onderkant van je knieschijf zit. Hieronder bevindt zich de aanhechtingsplaats van de kniepees.
- Vervolgens geeft je klasgenoot op deze plaats een zachte tik met het hamertje, de liniaal of de zijkant van de hand.
- Voer de opdracht nogmaals uit, maar probeer nu of het mogelijk is de reactie tegen te houden.

■ **Afb. 2** De kniepeesreflex.



RESULTATEN

1 Hoe reageerde je onderbeen op de tik?
2 Wilde je bewust deze beweging maken?

Practicumopdracht 4

ONDERZOEKSDOEL

7.0.4 Je kunt een preparaat van spierweefsel met een microscoop bekijken en er een tekening van maken.

- Basisstof 6
- Vaardigheden 1, 2 en 4 (thema 1)

Glad en dwarsgestreept spierweefsel

25 minuten

INLEIDING

Er bestaan verschillende typen spierweefsel. In deze practicumopdracht onderzoek je met een microscoop preparaten van glad en dwarsgestreept spierweefsel.

MATERIAAL

- klaargemaakte preparaten van glad en dwarsgestreept spierweefsel
- microscoop

METHODE

Bekijk de preparaten bij een vergroting van 400×.

RESULTATEN

1 Maak van elk type weefsel een tekening van enkele spiercellen of spiervezels. Zet de namen bij de delen die je kent.

Practicumopdracht 5

ONDERZOEKSDOEL

7.0.5 Je kunt een onderzoek opzetten en uitvoeren volgens de natuurwetenschappelijke onderzoeksmethode.

- Basisstof 6
- Vaardigheden 6 en 7 (thema 1)

Eigen onderzoek

3 × 50 minuten

INLEIDING

Hier volgen enkele ideeën om zelf een onderzoek te doen. Je kunt ook zelf een onderzoek bedenken, de vragen iets aanpassen of een gedeelte van de onderzoeksvragen gebruiken. Je vindt meestal geen kant-en-klare onderzoeksvraag, maar een richting waarin je onderzoek kan gaan. Kies een onderzoek en voer dit uit volgens de natuurwetenschappelijke onderzoeksmethode. Voer zoveel mogelijk zelf de experimenten uit. Als dit niet kan, laat dan de experimentele fase bestaan uit literatuuronderzoek. Je maakt dan gebruik van de experimenten van een andere onderzoeker.

Voorbeelden van een onderzoek:
- Wat is de invloed van cafeïne op de reactiesnelheid?
- Heeft de dosis invloed op de reactiesnelheid?
- Heeft het geslacht of de leeftijd van de proefpersoon, een rustpauze of het tijdstip van de dag invloed op de reactiesnelheid?

ONDERZOEKSVRAAG

Stel een onderzoeksvraag op.

HYPOTHESE

1 Stel een hypothese op.

MATERIAAL

- Stel een materiaallijst op.

METHODE

- Je werkt in deze practicumopdracht met zijn tweeën.
- Je maakt een proefopzet waarin je bijvoorbeeld de invloed van cafeïne op de reactiesnelheid kunt meten.
- Op internet zijn verschillende reactiesnelheidsmeters te vinden waarmee je je onderzoek kunt uitvoeren. Je kunt ook een andere manier bedenken om de reactiesnelheid te meten.
- Je laat deze proefopzet aan je docent zien.
- Zorg ervoor dat alle omstandigheden gelijk zijn, behalve de te onderzoeken factor.
- Bedenk een controleproef.
- Zorg ervoor dat groepjes proefpersonen uit minimaal vijf mensen bestaan.
- Bedenk ook hoe je resultaten wilt presenteren (tabel, grafiek).
- Na de goedkeuring van je docent ga je aan de slag.

RESULTATEN

2 Beschrijf wat je hebt waargenomen.
Noteer bijvoorbeeld de reactietijden in een tabel en/of grafiek.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

3 **a** Welk antwoord op de onderzoeksvraag kun je geven?
b Is daarmee je hypothese aangenomen of verworpen?

DISCUSSIE

4 **a** Verklaar je resultaten aan de hand van de theorie.
b Is het experiment goed uitgevoerd of zijn er fouten gemaakt?
c Heb je suggesties voor vervolgonderzoek?

SAMENVATTING

7.1.1 BASISSTOF 1

Je kunt uitleggen wat homeostase is.

- Homeostase: het in stand houden van een dynamisch evenwicht in het inwendige milieu van organismen.
  - Homeostase is een voorbeeld van zelfregulatie op het organisatieniveau organisme.
- Inwendig milieu: bloed en weefselvloeistof tussen de cellen van een weefsel.
- Uitwendig milieu: de omgeving.
  - Tussen het inwendige en het uitwendige milieu bevindt zich ten minste één cellaag.

7.1.2

Je kunt uitleggen hoe regelkringen een rol spelen bij het handhaven van de homeostase bij de mens.

- Via regelkringen worden bepaalde normwaarden gehandhaafd. Hierdoor is er een dynamisch evenwicht: een evenwicht dat schommelt rondom een bepaalde normwaarde.
  - Voorbeelden van normwaarden zijn de zuurstofconcentratie en glucoseconcentratie in het bloed.
- Een regelkring bestaat uit een sensor, een controlecentrum en een effector.
- Bij negatieve terugkoppeling heeft het resultaat van een proces een remmende invloed op het proces (zie ook *BiNaS* tabel 89C).
- Bij positieve terugkoppeling versterkt een toename van het resultaat het proces.

7.2.1 BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven op welke manieren hormonen de cellen van weefsels en organen kunnen beïnvloeden.

- Hormoonklieren (endocriene klieren) van het hormoonstelsel geven hormonen (signaalstoffen) af aan het bloed (secretie).
- Exocriene klieren (zweetklieren, speekselklieren) geven hun product af via een afvoerbuis.
- Hormonen regelen de werking van doelwitorganen: organen waarvan de cellen receptoren bezitten waaraan het hormoon kan binden (zie ook *BiNaS* tabel 89A).
  - De binding kan in deze cellen een reactie in gang zetten of een reactie stoppen.
  - Een hormoon kan processen in meerdere doelwitorganen regelen.
  - De mate van reactie van doelwitorganen wordt onder andere bepaald door de hormoonconcentratie en het aantal hormoonreceptoren op de celmembranen van de cellen.
  - Hormonen reguleren vooral geleidelijke processen, zoals groei en voortplanting.
- De werking van hormonen (zie ook *BiNaS* tabel 89B).
- Steroïdhormonen: in vet oplosbare hormonen die binden aan een receptor in het cytoplasma van een doelwitcel.
  - Er wordt een hormoon-receptorcomplex gevormd dat via een kernporie naar het kernplasma wordt getransporteerd. Daar kan het bepaalde genen in het DNA aan- of uitzetten. Wanneer een gen aanstaat, kan de cel eiwitten maken. De gevormde eiwitmoleculen kunnen verschillende functies hebben.
- Peptidehormonen (eiwithormonen) binden aan een receptor in het celmembraan van een doelwitcel.
  - Aan de binnenzijde van het celmembraan wordt een second messenger geactiveerd of gevormd. Deze kan bijvoorbeeld een enzym activeren. Het geactiveerde enzym kan het signaal doorgeven aan een volgend signaalmolecuul, een specifieke reactie op gang brengen in het cytoplasma of genen in het DNA aan- of uitzetten.
  - Signaalcascade (cascade): een signaal wordt in de cel via meerdere schakels doorgegeven.

7.2.2

Je kunt de werking van hormoonklieren en hun hormonen beschrijven en afleiden hoe doelwitorganen op de hormonen reageren.

- De hypothalamus controleert veel homeostatische regelmechanismen en bestuurt het hormoonstelsel, doordat neuronen neurohormonen produceren en afgeven (neurosecretie).
- De hypofyse produceert o.a. hormonen die de werking van andere hormoonklieren beïnvloeden.

- De hypofyseachterkwab geeft neurohormonen (ADH, oxytocine) af die worden geproduceerd door neuronen in de hypothalamus.
  - Oxytocine: stimuleert het ontstaan van weeën aan het einde van de zwangerschap en tijdens de geboorte en zorgt voor de melksecretie bij het zogen.
  - ADH: regelt de resorptie van water in de nieren bij de vorming van urine.
- De hypofysevoorkwab:
  - De secretie van hormonen door de hypofyse staat onder invloed van releasing hormonen en inhibiting hormonen die door de hypothalamus worden afgegeven.
  - Groeihormoon: regelt de groei en ontwikkeling.
  - Prolactine: stimuleert de productie van melk door melkklieren in de borsten.
  - Thyreoïdstimulerend hormoon (TSH): reguleert de schildklier.
  - FSH en LH reguleren processen in de eierstokken en teelballen.
  - Adrenocorticotroop hormoon (ACTH): stimuleert de bijnierschors tot de afgifte van cortisol.
- De schildklier produceert schildklierhormoon (thyroxine).
  - Schildklierhormoon stimuleert de stofwisseling. Bij kinderen stimuleert het ook de groei en ontwikkeling.
  - TRF (uit de hypothalamus) stimuleert de vorming en afgifte van TSH door de hypofysevoorkwab.
  - TSH stimuleert de vorming van schildklierweefsel, de opname van jodium door de schildkliercellen en de productie van schildklierhormoon.
  - Schildklierhormoon remt de productie van TRF en TSH (negatieve terugkoppeling).
- Spijsverteringshormonen worden geproduceerd door endocriene cellen in de alvleesklier en maag- en darmwand.
- Eilandjes van Langerhans in de alvleesklier produceren insuline en glucagon.
  - Insuline en glucagon regelen de glucoseconcentratie in het bloed.
  - Insuline verlaagt de glucoseconcentratie in het bloed, doordat insuline de opname van glucose in lichaamscellen stimuleert en ervoor zorgt dat in cellen van lever en spieren glucose wordt omgezet in glycogeen.
  - Glucagon verhoogt de glucoseconcentratie in het bloed, doordat het in cellen van lever en spieren de omzetting van glycogeen in glucose stimuleert. Glucose wordt afgegeven aan het bloed.
- De nieren produceren epo (erytropoëtine) dat de productie van rode bloedcellen in het rode beenmerg stimuleert.
- Het bijniermerg produceert bij stressvolle situaties adrenaline dat een snelle, kortdurende werking heeft.
  - Adrenaline bevordert de stofwisseling, de omzetting van glycogeen in glucose en de afgifte van glucose aan het bloed en zorgt ervoor dat het lichaam in staat is snel te handelen in stresssituaties.
- De bijnierschors produceert o.a. cortisol onder invloed van ACTH.
  - Cortisol onderdrukt de activiteit van het afweersysteem en verhoogt de glucoseconcentratie in het bloed.

7.3.1 BASISSTOF 3

Je kunt de bouw en signaalverwerking van de verschillende typen neuronen beschrijven.

- Een neuron bestaat uit een cellichaam met een kern en bevat cytoplasma met ribosomen en endoplasmatisch reticulum.
- Uitlopers:
  - dendrieten: uitlopers die impulsen naar het cellichaam toe geleiden;
  - axonen: uitlopers die impulsen van het cellichaam af geleiden;
  - myelineschede: isolerende laag om veel axonen die wordt gevormd door cellen van Schwann. Tussen de cellen bevinden zich insnoeringen. De witte kleur van de witte stof in de hersenen en in het ruggenmerg wordt veroorzaakt door de myelinescheden om de uitlopers;
  - cell junction: de verbinding tussen cellen in meercellige organismen.
- Communicatie met neurotransmitters.
  - Een axon eindigt in synapsen. Blaasjes met neurotransmitters worden in synapsen afgegeven in de synapsspleet tussen een neuron en een doelwitcel.
  - De neurotransmitters binden aan receptoren in het membraan van de doelwitcel en kunnen daardoor in die cel een reactie op gang brengen of stoppen.
  - Communicatie via impulsen en neurotransmitters is snel.
- Het opvangen van prikkels uit de omgeving en het tot stand komen van gedrag is mogelijk door signaalverwerking door zenuwcellen (zie *BiNaS* tabel 88A).

- Sensorische neuronen (gevoelszenuwcellen):
  - Geleiden impulsen van zintuigcellen (receptoren) naar het centrale zenuwstelsel.
  - De cellichamen liggen meestal vlak bij het centrale zenuwstelsel in spinale ganglia (ruggenmergzenuwknopen) en hebben één lange dendriet.
- Motorische neuronen (bewegingszenuwcellen):
  - Geleiden impulsen van het centrale zenuwstelsel naar effectoren (spieren of klieren).
  - De cellichamen liggen in het centrale zenuwstelsel en hebben één lang axon.
- Schakelneuronen:
  - Geleiden impulsen binnen het centrale zenuwstelsel.
  - Liggen geheel binnen het centrale zenuwstelsel (in ruggenmerg, hersenstam, grote hersenen en kleine hersenen).
- Zenuw: een bundel uitlopers van zenuwcellen, omgeven door een laag bindweefsel.
  - Zenuwen verbinden het centrale zenuwstelsel met alle lichaamsdelen.
  - Drie typen zenuwen: gevoelszenuwen, bewegingszenuwen, gemengde zenuwen.

7.3.2

Je kunt de bouw, functies en werking van de verschillende delen van het zenuwstelsel beschrijven.

- Indeling zenuwstelsel op grond van de bouw:
  - het centrale zenuwstelsel: grote hersenen, kleine hersenen, hersenstam en ruggenmerg;
  - het perifere zenuwstelsel: zenuwen.
- Indeling zenuwstelsel op grond van de functie:
  - het animale zenuwstelsel: regelt vooral de bewuste reacties en de houding en beweging van het lichaam;
  - het autonome (vegetatieve) zenuwstelsel: regelt vooral de werking van inwendige organen.
- Werking van het zenuwstelsel:
  - Zintuigcellen (receptoren) vangen prikkels op en zetten deze om in impulsen.
  - Prikkel: een invloed uit het milieu op een organisme.
  - Neuronen (conductoren) geleiden impulsen naar het centrale zenuwstelsel, verwerken deze in het centrale zenuwstelsel en geleiden impulsen vanaf het centrale zenuwstelsel.
  - Spieren of klieren (effectoren) reageren op impulsen afkomstig van het centrale zenuwstelsel.
  - Gliacellen in zenuwweefsel hebben een ondersteunende functie.
- Zenuw: een bundel uitlopers van neuronen, omgeven door een laag bindweefsel.
  - Zenuwen verbinden het centrale zenuwstelsel met alle lichaamsdelen.
  - Drie typen zenuwen: gevoelszenuwen, bewegingszenuwen, gemengde zenuwen.
- Grote hersenen (zie *BiNaS* tabel 88C):
  - Functie: het verwerken van impulsen.
  - In de grijze stof (hersenschors) liggen de cellichamen van schakelcellen.
  - In de witte stof (het merg) liggen de uitlopers.
  - Centra in de hersenschors: de plaats waar impulsen aankomen en worden verwerkt en waar impulsen kunnen ontstaan.
  - Primair gevoelscentrum: hier komen impulsen binnen en worden ze verwerkt (bewustwording).
  - Secundair gevoelscentrum: hier wordt het verband gelegd tussen de waarneming en eerdere waarnemingen (interpreteren en begrijpen).
  - Primair bewegingscentrum: hier ontstaan impulsen die naar spieren of klieren worden geleid.
  - Secundair bewegingscentrum: hier worden impulsen afkomstig uit primaire bewegingscentra op elkaar afgestemd.
- Kleine hersenen:
  - Functie: het coördineren van bewegingen en het evenwicht handhaven.
- Hersenstam, bestaat uit o.a. verlengde merg en hypothalamus.
  - Functie: o.a. geleiden van impulsen:
    - van het ruggenmerg naar de grote en kleine hersenen en omgekeerd;
    - via zenuwen in hoofd en hals naar de grote en kleine hersenen en omgekeerd;
    - in reflexbogen van hoofd en hals.
  - In het verlengde merg bevinden zich centra die activiteiten van het autonome zenuwstelsel controleren en sturen.
- Ruggenmerg (zie *BiNaS* tabel 88J):
  - Functies: geleiden van impulsen van zenuwen in de romp en de ledematen naar de hersenen en omgekeerd en geleiden van impulsen in reflexbogen in romp en ledematen.

7.4.1 BASISSTOF 4

Je kunt de functie van reflexen en een reflexboog beschrijven.

- Reflex: een vaste, snelle, onbewuste reactie op een bepaalde prikkel.
  - Functies: beschermen van het lichaam, handhaven van bepaalde lichaamshoudingen en bij bewegingen.
  - Doordat de weg die een impuls bij een reflex aflegt korter is, neemt de reactiesnelheid toe.
- Reflexboog: de weg die impulsen bij een reflex afleggen: zintuigcellen → sensorisch neuron → schakelneuron in ruggenmerg of hersenstam geeft exciterende of inhiberende neurotransmitters af → motorisch neuron → wel of geen impuls naar spier of klier (zie *BiNaS* tabel 88K).
  - De grote hersenen maken geen deel uit van de reflexbogen; toch komen bij veel reflexen ook impulsen in de grote hersenen aan.

7.4.2

Je kunt de werking van het autonome (of vegetatieve) zenuwstelsel beschrijven.

- Het autonome zenuwstelsel staat niet onder invloed van de wil en werkt nauw samen met het hormoonstelsel (zie *BiNaS* tabel 88L).
- Het orthosympatische deel:
  - Beïnvloedt organen zodanig dat het lichaam activiteiten kan verrichten: de verbranding wordt bevorderd.
  - Effecten: o.a. verhoging van de hartslag- en ademfrequentie en vertraging van de vertering.
- Het parasympatische deel:
  - Beïnvloedt organen zodanig dat het lichaam in een toestand van rust en herstel kan komen. De stofwisseling wordt bevorderd.
  - Effecten: o.a. verlaging van de hartslag- en ademfrequentie en versnelling van de vertering.
  - Elk doelwitorgaan ontvangt impulsen van een orthosympatische en een parasympatische zenuw.

7.5.1 BASISSTOF 5

Je kunt beschrijven hoe impulsgeleiding plaatsvindt.

- Impulsgeleiding: het geleiden van impulsen langs het celmembraan van een zenuwcel.
  - Natriumionen (Na^+) en kaliumionen (K^+) vormen de basis voor impulsgeleiding.
  - In het cytoplasma zit relatief veel K^+, buiten de cel relatief veel Na^+ (zie *BiNaS* tabel 88D).
  - Direct tegen de buitenkant van het celmembraan zitten meer moleculen met een positieve lading. Direct tegen de binnenkant van het celmembraan zitten meer moleculen met een negatieve lading.
  - Bij een zenuwcel die geen impuls geleidt is er langs het celmembraan een verschil in elektrische lading tussen het cytoplasma en de buitenkant van −70 mV: de rustpotentiaal.
  - De rustpotentiaal wordt in stand gehouden door natrium-kaliumpompen.
  - Natrium-kaliumpompen: transporteren natriumionen de cel uit en kaliumionen de cel in. Dit transport kost veel ATP (zie *BiNaS* tabel 88E).
- Depolarisatie: door binding van neurotransmitter of door prikkeling wordt de membraanpotentiaal minder negatief.
- Actiepotentiaal: de binnenkant van het celmembraan krijgt gedurende korte tijd een positieve lading ten opzichte van de buitenkant (zie *BiNaS* tabel 88F) .
  - Bij −50 mV (drempelwaarde) openen er voldoende Na^+-kanalen, waardoor grote hoeveelheden Na^+-ionen de cel instromen.
  - Wanneer het verschil in elektrische lading de drempelwaarde (de prikkeldrempel) bereikt, kan er volgens het 'alles-of-nietsprincipe' een impuls ontstaan.
  - De prikkeldrempel is de kleinste prikkelsterkte die een impuls veroorzaakt.
  - Bij prikkeling boven de prikkeldrempel (−50 mV) ontstaat een impuls.
- Repolarisatie: na de depolarisatie sluiten de Na^+-kanalen en openen de K^+-kanalen. K^+-ionen stromen de cel uit.
- Hyperpolarisatie: de membraanpotentiaal is tijdelijk lager dan −70 mV. De oorspronkelijke elektrische lading van het celmembraan wordt hersteld door de natrium-kaliumpomp.
- Refractaire periode: periode waarin er geen of minder makkelijk een actiepotentiaal kan ontstaan.
- Impulssterkte: de grootte van de verandering in de spanning over het celmembraan.
  - De impulssterkte is voor alle neuronen gelijk.
- Impulsfrequentie: het aantal impulsen dat per tijdseenheid door een neuron wordt geleid.
  - Hoe sterker de prikkeling van een zintuigcel, des te hoger de impulsfrequentie in het sensorische neuron dat erop is aangesloten.
  - Impulsgeleiding in een ongemyeliniseerde uitloper: door verandering van elektrische lading op een plaats van het celmembraan verplaatsen positieve ionen zich aan de

binnenkant van het celmembraan, waardoor de impuls naar de volgende plaats wordt geleid.
- Sprongsgewijze impulsgeleiding: bij uitlopers van neuronen met een myelineschede (axonen) 'springen' de impulsen van insnoering naar insnoering. Dit vergroot de impulsgeleidingssnelheid.

7.5.2

Je kunt beschrijven hoe impulsoverdracht plaatsvindt.

- Impulsoverdracht vindt plaats in een synaps (zie *BiNaS* tabel 88G).
  - Een axon geeft neurotransmitters af in de synapsspleet tussen een zenuwcel en een doelwitcel.
  - Synapsspleet: ruimte tussen het membraan van het ene neuron en het postsynaptische membraan van het volgende neuron (of een spiercel of kliercel).
  - Wanneer een impuls aankomt bij het uiteinde van een axon, versmelten de blaasjes met het presynaptische membraan en komen de neurotransmitters vrij in de synapsspleet.
  - De neurotransmitters binden aan receptoreiwitten in het postsynaptische membraan. Hierdoor openen er ionkanalen in het membraan en kunnen ionen de cel in of de cel uit stromen.
- Binding van de neurotransmitter kan direct of indirect (via second messenger) werken.
- Exciterende postsynaptische potentiaal (EPSP): een kleine depolarisatie van het postsynaptische membraan die ontstaat, doordat neurotransmitters binden aan receptoreiwitten, waardoor Na^+-kanalen en K^+-kanalen opengaan.
- Inhiberende postsynaptische potentiaal (IPSP): een kleine hyperpolarisatie van het postsynaptische membraan die ontstaat, doordat neurotransmitters binden aan receptoreiwitten, waardoor er porie-eiwitten voor K^+- en/of Cl^--ionen opengaan, maar de porie-eiwitten voor Na^+-ionen blijven dicht.
- Summatie: als uit meerdere axonuiteinden tegelijk of kort na elkaar neurotransmitter vrijkomt, ontstaan depolarisaties die bij elkaar opgeteld samen de drempelwaarde kunnen overschrijden, waardoor een actiepotentiaal kan ontstaan.
  - EPSP's en IPSP's die in een korte tijd een motorisch neuron bereiken, worden opgeteld.
  - IPSP's kunnen het effect van EPSP's neutraliseren.
- Bepaalde stoffen (o.a. geneesmiddelen en drugs) kunnen de impulsoverdracht beïnvloeden.

7.6.1 BASISSTOF 6

Je kunt de bouw en functie van glad spierweefsel en dwarsgestreept spierweefsel beschrijven.

- Typen spierweefsel: glad spierweefsel, dwarsgestreept spierweefsel en hartspierweefsel.
  - Glad spierweefsel komt voor in buisvormige of holle organen, zoals darmen en longen. Het wordt aangestuurd door het autonome zenuwstelsel of door hormonen. Het bestaat uit langwerpige spiercellen met een celkern.
  - Dwarsgestreept spierweefsel komt voor in skeletspieren en huidspieren. Het bestaat uit spiervezels die elk zijn ontstaan door versmelting van vele spiercellen en wordt aangestuurd door het animale zenuwstelsel.
  - Hartspierweefsel bestaat uit spiercellen met dwarse strepen die zich vertakken. Het wordt aangestuurd door het autonome zenuwstelsel.
- Bouw van een skeletspier (zie *BiNaS* tabel 90C).
  - Een skeletspier bestaat uit spierbundels, die op hun beurt bestaan uit spiervezels.
  - Skeletspieren zijn met pezen bevestigd aan delen van het skelet. Pezen kunnen niet samentrekken.
  - Motorisch eindplaatje: het uiteinde van een vertakt axon van een motorisch neuron.
  - Motorische eenheid: alle spiervezels die via motorische eindplaatjes in verbinding staan met één motorisch neuron.
- Contractie van een skeletspier.
  - Motorische eindplaatjes geven de neurotransmitter acetylcholine af, waardoor impulsen van een motorisch neuron worden overgedragen op spiervezels.
  - Ca^{2+}-ionen diffunderen de myofibrillen in en binden aan bepaalde eiwitten op de actinefilamenten. De myosinemoleculen strekken en binden aan de vrijgekomen bindingsplaatsen.
  - Bij het terugvallen in hun oorspronkelijke positie trekken de myosinemoleculen de actinefilamenten mee en verkorten de spierfibrillen. Hierdoor worden de spiervezels korter.
- Tonus (spierspanning): de kracht die de spier uitoefent op de aanhechtingsplaatsen van de pezen.

  - De tonus speelt een belangrijke rol bij de handhaving van de lichaamshouding, zoals bij zitten of staan.
- Spierspoeltjes geven informatie door over de uitrekking van een spiervezel aan het centrale zenuwstelsel. Peesspoeltjes reageren op de spierspanning.

7.6.2

Je kunt de bouw en werking van spieren beschrijven.

- Antagonisten: spieren waarvan het samentrekken een tegengesteld effect heeft.
- Je kunt spiervezels indelen in langzame en snelle spiervezels.
- Langzame spiervezels zijn goed doorbloed en heten daarom rode spiervezels. Ze bevatten veel mitochondriën en raken niet snel vermoeid.
- Snelle spiervezels zijn minder doorbloed en heten daarom witte spiervezels. Ze bevatten minder mitochondriën en raken sneller vermoeid.
  - De verhouding snelle en langzame spiervezels in je spieren is grotendeels genetisch bepaald.

7.6.3

Je kunt de effecten van training, revalidatie en dopinggebruik uitleggen.

- Door krachttraining krijgen de spieren meer spiercellen en neemt het aantal filamenten in de spierfibrillen toe, waardoor de spieren zwaarder worden en de skeletspieren betere prestaties leveren.
- Door duurtraining neemt vooral de doorbloeding van de spieren toe en wordt het uithoudingsvermogen groter.
- Een warming-up is een rustig begin van de training die steeds intensiever wordt, waardoor je de bloedsomloop, stofwisselingsprocessen en impulsgeleiding stimuleert.
- Een coolingdown bestaat uit activiteiten die ervoor zorgen dat het lichaam na het sporten weer tot rust komt en goed kan herstellen en die de afvoer van afvalstoffen uit de spieren bevordert.
  - In de 'beweegrichtlijnen' geeft de overheid een advies over hoeveel beweging nodig is voor een gezonde leefstijl.
- Doping: verboden middelen of methoden die bij sport soms worden gebruikt om prestaties te verhogen.
  - Anabole steroïden zijn middelen die het lichaam van een sporter ertoe aanzetten meer spierweefsel te vormen, zodat de spiermassa toeneemt en de sportprestaties verbeteren.
  - Toediening van het hormoon epo (erytropoëtine) stimuleert de aanmaak van rode bloedcellen, waardoor het uithoudingsvermogen van de sporter groter wordt.

SAMENHANG

7.S.1 Je kunt de invloed van alcohol toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.

ONDERZOEK - PRACTICA

7.O.1 Je ervaart dat het lastig is bepaalde impulsen in je hersenen te onderdrukken.

7.O.2 Je kunt een preparaat van het ruggenmerg bekijken en de delen herkennen en benoemen.

7.O.3 Je ervaart de werking van een reflex.

7.O.4 Je kunt een preparaat van spierweefsel met een microscoop bekijken en er een tekening van maken.

7.O.5 Je kunt een onderzoek opzetten en uitvoeren volgens de natuurwetenschappelijke onderzoeksmethode.

Ga naar de *Flitskaarten* en de *Oefentoets*.

NOTITIES

EXAMENOPGAVEN

EVOLUTIE VAN DE MENSTRUATIE

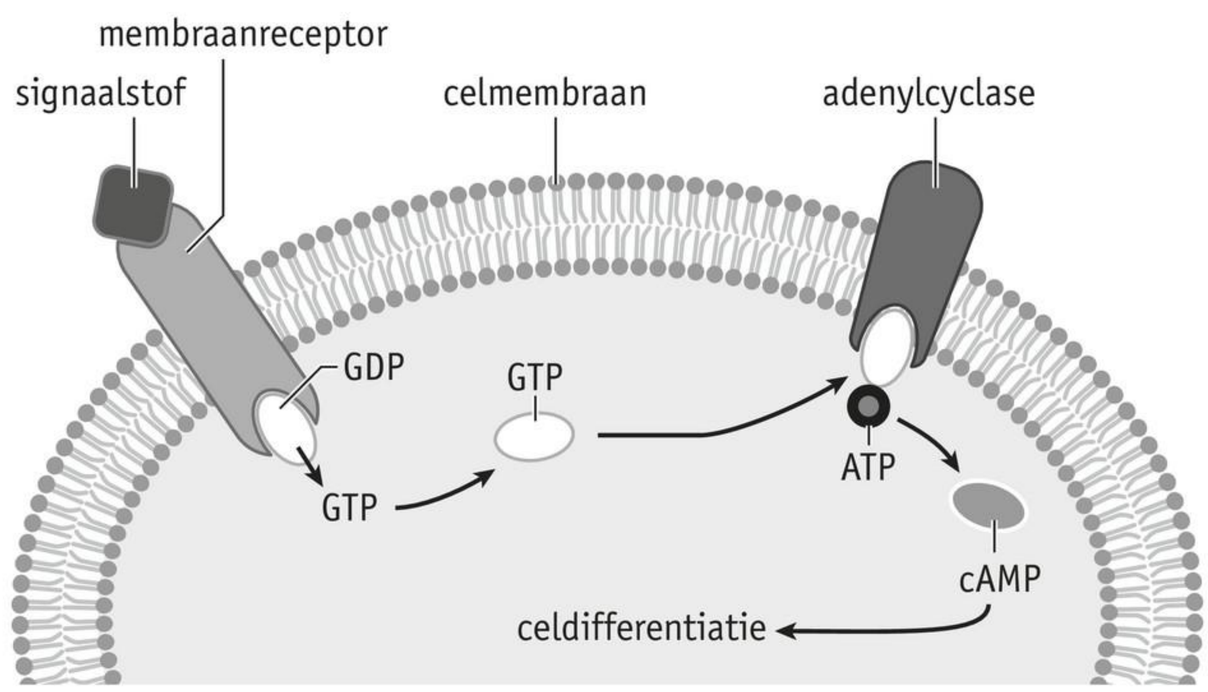
Naar: examen vwo 2022-1, vragen 26, 27 en 28.

De mens is een van de weinige zoogdieren die menstrueert. Evolutiebiologen onderzoeken hoe dit in de evolutie is ontstaan.

Bij zoogdieren wordt tijdens de rijping van eicellen in de eierstokken het baarmoederslijmvlies dikker door de invloed van oestrogeen. Het gereedmaken van het verdikte baarmoederslijmvlies voor de innesteling van een embryo wordt bij niet-menstruerende zoogdieren pas in gang gezet als een embryo in de baarmoeder aanwezig is. De baarmoederslijmvliescellen van de moeder worden dan aangezet tot decidualisatie. Dit is het vormen van een cellaag (de decidua) waarin het embryo zich kan innestelen. Als de innesteling uitblijft, wordt dit verdikte baarmoederslijmvlies niet afgestoten, maar geabsorbeerd. Er volgt dus geen menstruatie.

Bij menstruerende zoogdieren begint de vorming van de decidua 'vanzelf': het progesteron dat door het geel lichaam wordt afgegeven, veroorzaakt de celdifferentiatie in het baarmoederslijmvlies. Dit wordt spontane decidualisatie genoemd. Bij de menstruatie wordt de decidua afgescheiden.

De vorming van de decidua wordt bij niet-menstruerende zoogdieren veroorzaakt, doordat het embryo via een aantal tussenstappen zorgt voor een toename van de second messenger cAMP in de cellen van het baarmoederslijmvlies, die daardoor differentiëren tot decidua-cellen.

Bij menstruerende zoogdieren leidt progesteronproductie tijdens de maandelijkse cyclus tot de toename van cAMP en de daaropvolgende celdifferentiatie van de baarmoederslijmvliescellen. In afbeelding 1 is deze signaalcascade schematisch weergegeven.

■ **Afb. 1** Signaalcascade leidt tot celdifferentiatie.