LARA WIERENGA EN DIRMA JANSE

ATLAS VAN ONS BREIN

Een visuele reis door de hersenen

Lannoo

Inhoud

1 Bouwstenen van het brein

1 Hoe verhoudt je brein zich tot de rest van je lichaam?
Hoe het verkeer tussen je zintuigen, hersenen, organen en spieren geregeld wordt
Over het zenuwstelsel — 10

2 Hoe oud (of jong) zijn de neurowetenschappen?
Hoe het breinterrein ontgonnen werd
Een kleine geschiedenis van het hersenonderzoek — 18

3 Hoe is je brein opgebouwd?
Waarom die vakantiewijn thuis minder lekker smaakt
De anatomie van het brein — 28

4 Wat zie je als je in- en uitzoomt op het brein?
It's a small world after all
Het brein op kleine en grote schaal — 40

5 Hoe werken neuronen?
Een golfbeweging in je brein
Over neuronen en gliacellen — 46

6 Hoe meten hersenonderzoekers het brein in levende mensen?
Meten is weten
Meetinstrumenten voor het brein — 54

2 Van brein in de dop tot brein in de drop

1 Welke ontwikkelingshordes neem je als kind?
'Ze worden zo snel groot!'
Over de ontwikkelingsmijlpalen in je kindertijd — 68

2 Hoe ontwikkelt het brein zich voor de geboorte?
Het brein in de dop
Over het brein in de baarmoeder — 80

3 Hoe ontwikkelt het brein zich na de geboorte?
The Big Brain Bang
Mijlpalen voor het babybrein — 90

4 Waarom zijn pubers tegendraads en impulsief?
Het brein uit balans
Over het puberende brein — 98

5 Waarom takelt je brein 'af'?
Wat Willem nog weet (en wat hij vergeet)
Over het ouderenbrein — 106

3 Mannen- en vrouwenbreinen?

1 Wat bedoelen mensen als ze beweren dat mannen en vrouwen 'verschillen'?
Mannen van Mars, Vrouwen van Venus of Mensen van Aarde?
Over man-vrouwverschillen in gedrag — 112

2 Zijn man-vrouwverschillen biologisch of sociaal-cultureel bepaald?
Typisch meisjes / jongens!?
Over de mogelijke oorzaken van man-vrouwverschillen — 122

3 Zijn er aangeboren verschillen in het brein van mannen en vrouwen?
Hoe zingende zebravinkjes (en hun zwijgende vrouwtjes) neurowetenschappers aan het denken zetten
Over de invloed van geslachtschromosomen op het brein — 130

4 **Vermannelijkt testosteron het brein?**
De man als testosteronbom?
Over de invloed van geslachtshormonen op de hersenen — 136

5 **Verklaren breinverschillen bij mannen en vrouwen ook de man-vrouwverschillen in gedrag?**
Blame my (fe)male brain?!
Over het verband tussen breinverschillen (m/v) en gedragsverschillen (m/v) — 146

4 Knappe koppen: buitengewone breinen?

1 **Wat betekent het precies als mensen je 'intelligent' noemen?**
Jouw g-factor
Over het begrip 'intelligentie' — 156

2 **Waarom noemen we mensen intelligenter dan dieren?**
Al zijn dieren nog zo slim, ze halen het nooit van Pim of Kim
Over dierlijke, menselijke, gemiddelde en buitengewone intelligentie — 164

3 **Waarom doet muziek ons huilen en bewegen?**
Waarom muziek je (brein) raakt
Over hoe je brein muziek ervaart — 174

4 **Is geniaal goed zijn in muziek een aangeboren talent of aangeleerd gedrag?**
Het muzikantenbrein
Waarom ook Mozart 10.000 uren moest musiceren — 184

5 **Hoe meet je creativiteit?**
Het creatieve brein
Het brein tussen uitproberen en falen — 194

5 De beste studiezaal voor je brein

1 **Hoe leert het brein (het best)?**
Het (optimaal) lerende brein
Hoe je brein lessen trekt uit andermans fouten — 204

2 **Hoe ontwikkelen cognitieve vaardigheden zich?**
Het dirigerende brein
Over executieve functies — 214

3 **Waarom onthoud je beter na een verkwikkende nachtrust?**
Slaap er nog eens een nachtje over!
Over de invloed van slapen op leren — 224

4 **Waarom krijg je een black-out tijdens een toets?**
Het mediterende brein
De effecten van een 'stressy' brein op leren — 232

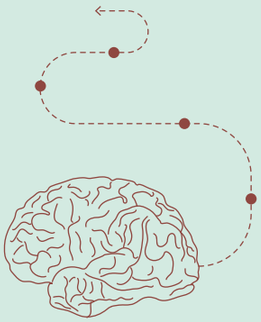
5 **Worden jonge hersenen lui van digitale snufjes?**
Het brein 2.0
Over de hersenontwikkeling van de digitale generatie — 238

Dankwoord en leeslijst — 245
Bibliografie — 246
Index — 254

IN DIT HOOFDSTUK

1

Leer je hoe het brein met je lijf communiceert.



2

Neem je een duik in de geschiedenis van de breinwetenschap.

3

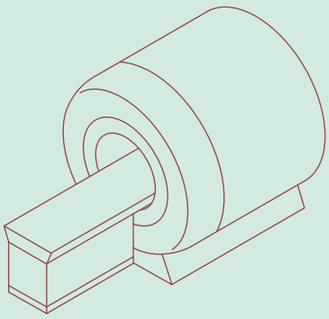
Maak je kennis met alle onderdelen van het brein.

4

Bekijk je het brein op verschillende ordes van grootte.

5

Leer je hoe neuronen werken.



6

Ontdek je hoe neurowetenschappers hersenen meten.

1

Bouwstenen van het brein

In dit hoofdstuk nemen we je mee op reis door je lichaam. Je zult hier ontdekken hoe je lichaam reageert op je omgeving. We beginnen deze reis groot, met het zenuwstelsel dat zich in je lichaam bevindt. Vervolgens zoomen we steeds verder in. Zo beschrijven we hoe het brein onderdeel is van dit zenuwstelsel en bespreken we alle onderdelen van het brein die je met het blote oog zou kunnen zien. We leggen uit waartoe die onderdelen dienen. Vervolgens zoomen we nog verder in, tot we aankomen bij de kleinste cellen van je brein, de neuronen. Geen paniek: sommige termen en begrippen die we hier alvast oppervlakkig aanraken, leggen we je verderop in het boek in geuren en kleuren uit. Ook wisselen we de complexere delen af met een intermezzo over de geschiedenis van de neurowetenschappen (met – hoe kan het ook anders – een tijdlijn). En we sluiten af met een introductie in de toolkit van de hersenwetenschapper. Daarbij komen er zowel *no-brainers* als breinbrekers voorbij, weetjes die je zonder inspanning respectievelijk met flink wat focus kunt lezen. Jij beslist hoe jouw pet vandaag staat!

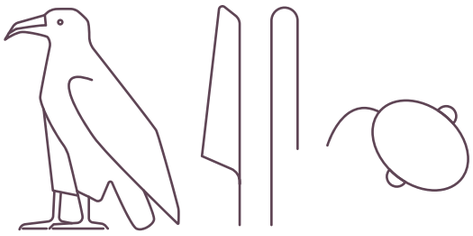
Hoe het breinterrein ontgonnen werd

2

Hoe oud (of jong) zijn de neuro-wetenschappen?

Een kleine geschiedenis van het hersenonderzoek

De eerste beschrijving van het brein dateert uit de 17de eeuw v.Chr. Op een bijna 5 meter lang papyrus beschreef een oud-Egyptische arts een tiental patiënten, hun diagnose en behandeling inbegrepen. Een aantal patiënten had een hersenletsel. Hij bleek zelfs een link te leggen tussen het hersenletsel van patiënten en hun motorische beperkingen. Dat is opvallend omdat archeologen die bezig zijn met de opgravingen van mummies ervan uitgaan dat de oude Egyptenaren het brein helemaal niet belangrijk vonden. Ze verwijderden alle organen heel secuur en bewaarden die in potten in of om de tombe. Behalve... het brein. Dat werd gewoon weggegooid nadat ze het via de neusgaten hadden verwijderd. De oude Egyptenaren zagen immers niet in dat het een belangrijke functie zou hebben.



Dit zijn de Egyptische hiërogliefen voor 'brein' en 'schedel', voor het eerst gevonden in het Papyrus Edwin Smith dat stamt uit de 17de eeuw v.Chr.

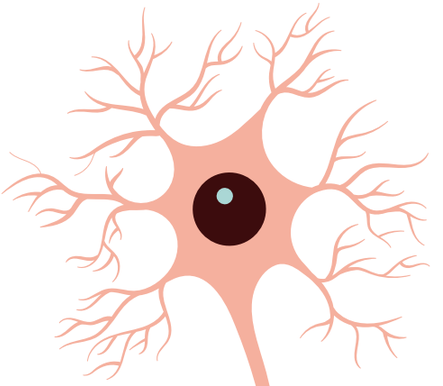
Nu, meer dan 3700 jaar later, weten we aardig wat meer over de bouwstenen van de hersenen en hoe die zijn opgebouwd. Maar in vergelijking met andere organen weten we nog steeds relatief weinig over de werking van het brein. Dat is wellicht niet zo vreemd als je bedenkt dat het vakgebied van de neuro- of hersenwetenschappen op zichzelf nog geen 20 jaar oud is. Hoe verliep die reis van ontdekkingen over het brein de afgelopen 3700 jaar dan?

HART VERSUS BREIN

De oude Grieken hielden zich bezig met het vraagstuk wat de relatie was tussen geest en lichaam. Oftewel, hoe kunnen fysiek meetbare eigenschappen, zoals organen in het lichaam, niet-meetbare mentale processen, zoals ervaringen en gedachten, tot stand brengen? Het was de oud-Griekse dokter Alcmaeon van Croton (5de eeuw v.Chr.) die voor het eerst beschreef dat zintuigen, en dus onze ervaringen, verbonden zijn met de hersenen: 'We ruiken door onze neusgaten, door de lucht naar ons brein te ademen.' De filosoof Plato (c. 428-c. 348 v.Chr.) daarentegen, zag het lichaam en de geest als twee losse elementen, waarbij de eeuwige en onveranderlijke ziel gevangenzat in het vergankelijke lichaam. Maar hij had geen oplossing voor hoe die dan met elkaar verbonden zouden zijn. De filosoof Hippocrates (c. 460-c. 370 v.Chr.) beschreef voor het eerst dat al onze gedachten, gewaarwordingen, gevoelens en kennis in het brein zitten. Dat was in zijn tijd een revolutionair idee, want zijn tijdgenoten, onder wie Aristoteles (c. 384-c. 322 v.Chr.), dachten dat het hart het meest belangrijke orgaan was. Daarin zouden zich dan intelligentie, beweging en beleving bevinden. Aristoteles vond het brein niet zo belangrijk en dacht dat de functie van het brein die van het hart ondersteunde, om het hart af te koelen. Daarom werd het brein nog lang genegeerd.

LEVENSSAPPEN

In de 2de eeuw n.Chr. brengt de arts Claudius Galen (c. 129-c. 216) de focus terug op het brein. In die tijd was anatomisch onderzoek op mensen verboden, dus deed hij onderzoek bij dieren en met name primaten. In Galens tijd dacht men dat lichaamssappen de belangrijkste elementen van het lichaam waren: de 'levenssappen'. Het was dus niet zo gek dat hij dacht dat ook het hersenvocht in elk van drie ventrikels of hersenkamers het belangrijkste onderdeel van de hersenen vormde. In de holtes van de ventrikels zaten volgens hem de verbeelding, de ratio



ALCMAEON

5de eeuw v.Chr

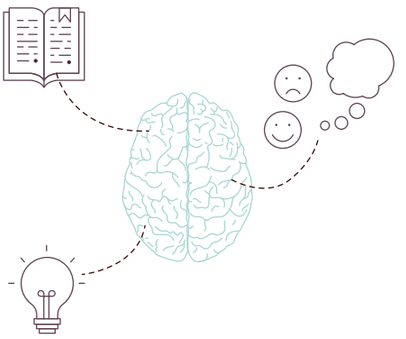
PLATO

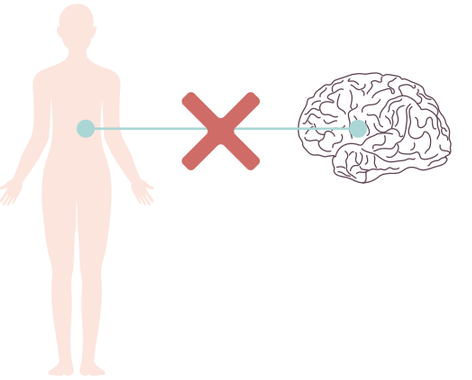
c. 428-c. 348 v.Chr.

HIPPOCRATES

c. 460-c. 370 v.Chr.

Het gedachtegoed van Plato was erg populair onder de eerste kerkvaders enkele eeuwen later. De verachting van het lichaam en verheerlijking van de ziel die Plato beschreef in zijn boek *Phaedo* werden nagenoeg overgenomen door het christendom. Dat is opvallend omdat de joodse traditie geen onderscheid maakte tussen materie en geest, lichaam en ziel.





'Men zou moeten weten dat vanuit de hersenen en niets anders, vreugde, verrukkingen, gelach, sport, verdriet, zorgen, wanhoop en klaagzangen komen. En zo, op een bijzondere wijze, verwerven we wijsheid en kennis, en zien en horen we, en weten we wat fout is en wat eerlijk is, wat slecht is en wat goed, wat zoet is en wat onsmakelijk... en door hetzelfde orgaan worden we gek en ijlen we en overvallen ons angsten en verschrikkingen... Al deze dingen die we moeten ondergaan als de hersenen niet gezond zijn... Ik ben van mening dat de hersenen de grootste kracht op de mens uitoefenen.'

— Hippocrates (c. 460-c. 370 v.Chr.)

ARISTOTELES

c. 384-c. 322 v.Chr.

DE TOEKOMSTVOORSPELLER

Het *striatum* of gestreepte lichaam

Voor je reageert op je omgeving, moet je eerst de juiste beslissing nemen. Je striatum bevindt zich onder de hersenschors, en helpt je daarbij. Het striatum draagt bij aan de selectie, timing en voorbereiding van een gepaste reactie. Het staat dan ook in verbinding met zowel de primaire hersenschors van de zintuigen als de motorische hersenschors voor het aansturen van de spieren (→ p. 88), en helpt zo om voorspellingen te maken over de toekomst.

Extra handig: het striatum reageert sterk als je iets goed of fout hebt gedaan. Dat helpt je om de volgende keer gepaster te reageren. Het striatum speelt daarom een belangrijke rol bij het leren van nieuwe vaardigheden. Een belangrijke signaalstof hierbij is dopamine. Als je een beloning krijgt, zoals eten of geld nadat je iets goed hebt gedaan, zal er veel dopamine vrijkomen. Dat zorgt voor een prettig, positief gevoel. Onderzoekers ontdekten dat je dat prettige gevoel na verloop van tijd al vóór de beloning krijgt, bijvoorbeeld als je de geur van je lievelingsmaaltijd ruikt. In anticipatie op de beloning wordt de dopamine al afgegeven, waardoor het striatum wordt geactiveerd en de 'toekomst voorspelt', namelijk dat je lekker zult eten. Maar als de beloning uiteindelijk tegenvalt, neemt de dopamine af. Zo ook bij het openen van de Italiaanse wijn bij thuiskomst: de verwachtingen over de smaak zijn hoog. Voordat je een slok neemt, wordt het striatum al actief. Maar bij de eerste slok blijkt dat de smaak niet is wat je ervan had verwacht. Er vindt een heuse dip in dopamineafgifte plaats, waardoor het striatum niet als dusdanig geactiveerd wordt.

DE KAART VAN BRODMANN

De kaart van Brodmann (schutblad achteraan het boek) is inmiddels alweer meer dan 100 jaar oud. Is er niet al lang een nieuwere kaart van het brein? Jazeker, er zijn zelfs veel verschillende nieuwe breinkaarten. Wetenschappers zijn het er alleen niet over eens hoe je nu het beste een afgebakend hersendeel kunt beschrijven: sommige onderzoekers maken kaarten op basis van de verbindingen die een hersengebied heeft met andere gebieden; andere onderzoekers kijken naar welke stofjes (eiwitten en enzymen) er aanwezig zijn of welke genen afgeschreven worden; weer andere onderzoekers brengen de hersenen in kaart aan de hand van welke gebieden actief zijn als je iets doet of ergens aan denkt in de hersenscanner. En dan zijn er ook nog onderzoekers die al deze methodes combineren om een kaart te maken. Daardoor zijn er veel verschillende soorten kaarten van het brein te vinden. Het is niet zo dat sommige kaarten fout zijn en anderen goed, het zijn als het ware beschrijvingen van het brein vanuit verschillende dimensies. Dat leert ons hoe complex het brein is.

DE DIRIGENT

De *cortex cerebri* of hersenschors

Aan de buitenkant van het brein zie je kronkels die allemaal onderdeel zijn van de hersenschors. De buitenste delen van de kronkels worden windingen genoemd, terwijl de naar binnen gevouwen dalen groeven heten. Lekker plaatsbesparend is dat: doordat de hersenschors zo kronkelig is, past er veel meer van in zo'n kleine schedel. Als de hersenschors glad was geweest, net zoals die van muizen, dan waren onze hersenen zo groot geweest als een voetbal... Daaromheen had je dan een grotere schedel nodig gehad. De vouwen zijn een efficiente, evolutionaire aanpassing waardoor je veel meer brein kwijt kunt in een relatief kleine schedel. De kronkels zijn er niet zomaar lukraak: bij de meeste mensen zitten ze ongeveer op dezelfde plek. Zo is de hersenschors opgedeeld in een linker- en rechterhelft, die ook wel de linkerhemisfeer en rechterhemisfeer worden genoemd. Ook de vier grote hersenkwabben kunnen door een geoefend oog aan de hand van de windingen en groeven herkend worden. Achteraan bevindt zich de occipitaalkwab of achterhoofdskwab, bovenaan de pariëtaalkwab of wandbeenkwab, aan de zijkanten de temporaalkwab of slaapkwab en vooraan de frontaalkwab of voorhoofdskwab. De kwabben kun je ook weer opdelen in verschillende hersendelen. Ieder deel is betrokken bij een of meerdere taken en functies in het brein, bijvoorbeeld de hersendelen voor taalbegrip.

Als je de hersenschors onder de microscoop legt, zie je dat die bestaat uit laagjes cellen die op elkaar gestapeld zijn. Die verschillende cellagen hebben hun eigen functie: in sommige lagen komt informatie binnen, andere cellagen versturen informatie. De specifieke stapeling van cellen wordt de cytoarchitectuur genoemd. Die cytoarchitectuur verschilt per hersendeel, afhankelijk van de functie ervan. De eerste onderzoeker die aan de hand van hun cytoarchitectuur de verschillende hersendelen in kaart bracht, was Korbinian Brodmann (1868-1918) in 1909. Zijn kaart was een belangrijke stap voor de moderne hersenwetenschappen, en wordt nog steeds gebruikt. De hersenschors zelf is ook cartograaf (→ p. 36). De hersenschors voor tast (somatosensorische hersenschors) bevat een kaart, of een *homunculus*, van het hele lichaam. De lichaamsdelen met veel zenuwen, zoals de lippen en handen, nemen naar verhouding meer ruimte in op die schors. Ook de motorische hersenschors heeft zo'n kaart, waarbij lichaamsdelen die door meer neuronen worden aangestuurd, meer ruimte innemen. Je handen en lippen kun je dan ook veel verfijnder aansturen dan bijvoorbeeld je heupen.

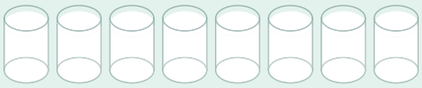
HET BREIN IN MATEN EN GEWICHTEN

Hoe groot is een gemiddeld volwassen brein?

1-1,5 liter

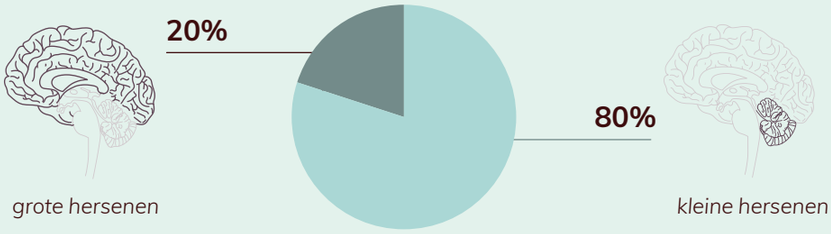
Hiervan is meer dan 75% water!

Dat is even groot als de inhoud van **8 glazen water**.



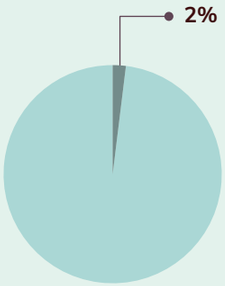
De 'grote' kleine hersenen

De naam 'kleine' hersenen is misleidend: ze bevatten namelijk 80% van het totale aantal neuronen in het brein.

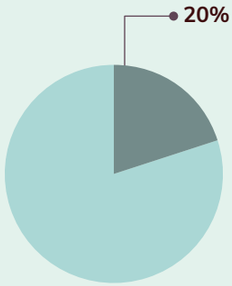


Gewicht versus energieverbuik

Gewicht
Aandeel breingewicht in het totale lichaamsgewicht, in procenten

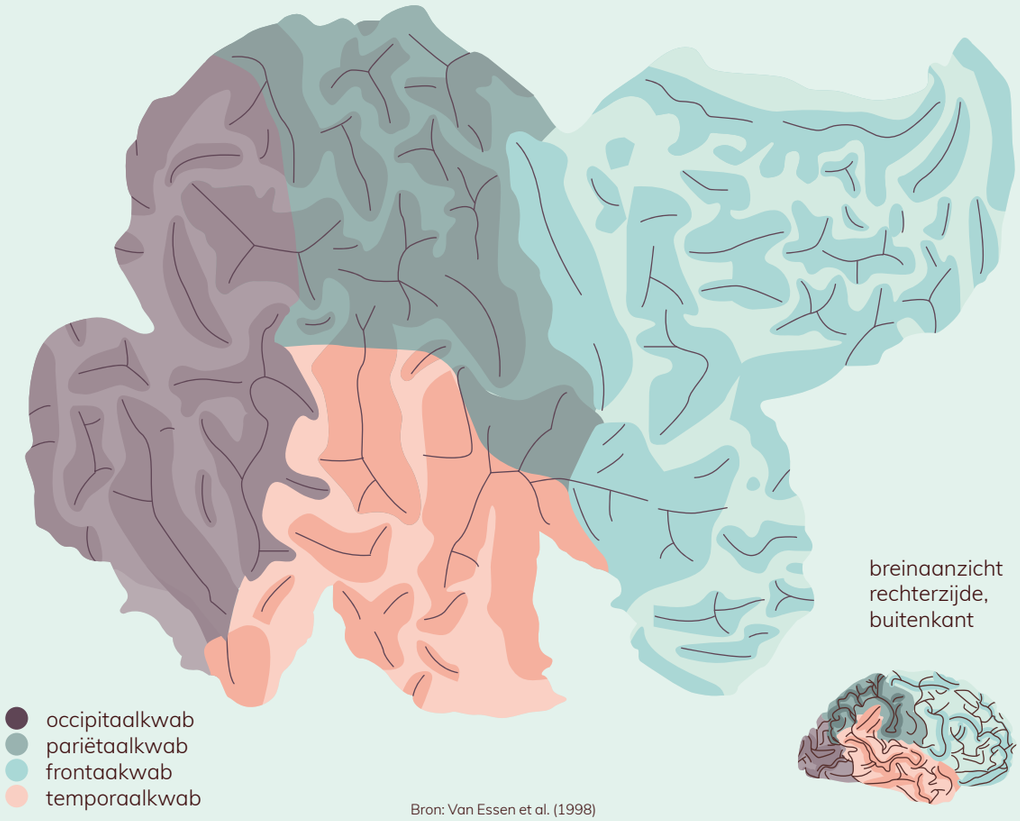


Energieverbruik
Aandeel brein in het totale energieverbruik lichaam, in procenten



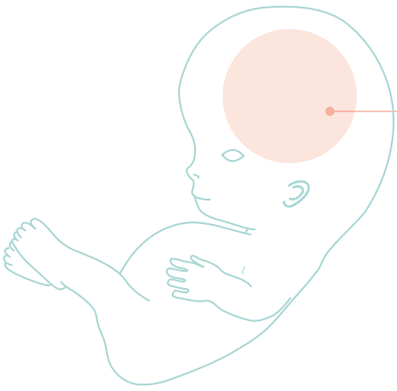
Van krant tot kronkels

De buitenkant van het brein, de hersenschors, ziet er kronkelig uit. Maar eigenlijk is de hersenschors een plat vlak dat opgevouwen in de schedel zit. Je kunt hem vergelijken met een stuk papier waar je een prop van maakt. Als je de hersenschors van een volwassene helemaal zou uitvouwen, is die zo groot als een opengeslagen krant.



Bron: Van Essen et al. (1998)

aantal nieuwe synaps-verbindingen per seconde



VOLOP VERBONDEN

Tijdens de embryonale ontwikkeling worden maar liefst 40.000 synapsverbindingen per seconde aangemaakt. Dat resulteert in 500 triljoen synaptische verbindingen bij de geboorte, ongekend veel dus. Na de geboorte zal dat nooit meer met zo'n grote hoeveelheid gebeuren. Ter vergelijking: het aantal mensen dat ooit is geboren, wordt in het jaar 2050 geschat op 113 miljard. Als elk van die mensen gemiddeld 320 miljoen woorden in zijn, haar of hun leven uitspreekt komt dat neer op een totaal van bijna 42 triljoen woorden voor de gehele mensheid tegen 2050. Het brein heeft dus meer dan 10 keer zo veel verbindingen als het aantal woorden dat ooit is uitgesproken op aarde.

WANNEER WORD JIJ JIJ?
De ontwikkeling van het prenatale brein

De levenscyclus van een neuron

De verdere ontwikkeling van het prenatale brein is een complexe onderneming en verloopt volgens een gestructureerd plan, waarbij de juiste processen op de juiste plek en tijd moeten plaatsvinden. Wordt er van dat plan en de timing afgeweken, dan kan dat grote consequenties hebben voor het eindproduct. De belangrijkste processen zijn de 'neuronale proliferatie', de 'neuronmigratie' (samen ook wel onderdelen van 'neurogenese'), de 'synaptogenese' en de 'apoptose'. We verklaren ons nader!

De neuronenfabriek

Neuronale proliferatie

De aanmaak van nieuwe neuronen wordt 'neuronale proliferatie' genoemd. Die productie gaat razendsnel: tijdens de zwangerschap worden gemiddeld 250.000 nieuwe neuronen per minuut aangemaakt. Dat is nodig om bij de geboorte op ruim 100 miljard uit te komen, 40% meer dan er bij volwassenen overblijven. Dat gebeurt in de neuronenfabriek aan de binnenkant van de neurale buis. Die neuronenfabriek wordt later de 'subventriculaire zone'.

Neuronen op reis

Neuronmigratie

Vanaf de subventriculaire zone moeten de neuronen naar hun uiteindelijke locatie in het brein reizen. Die 'neuronmigratie' gebeurt via gliacellen die een soort touwladders naar de hersenschors vormen. De neuronen-touwklimmers komen zo op hun uiteindelijke positie. Bij de geboorte zitten bijna alle neuronen op hun plek.

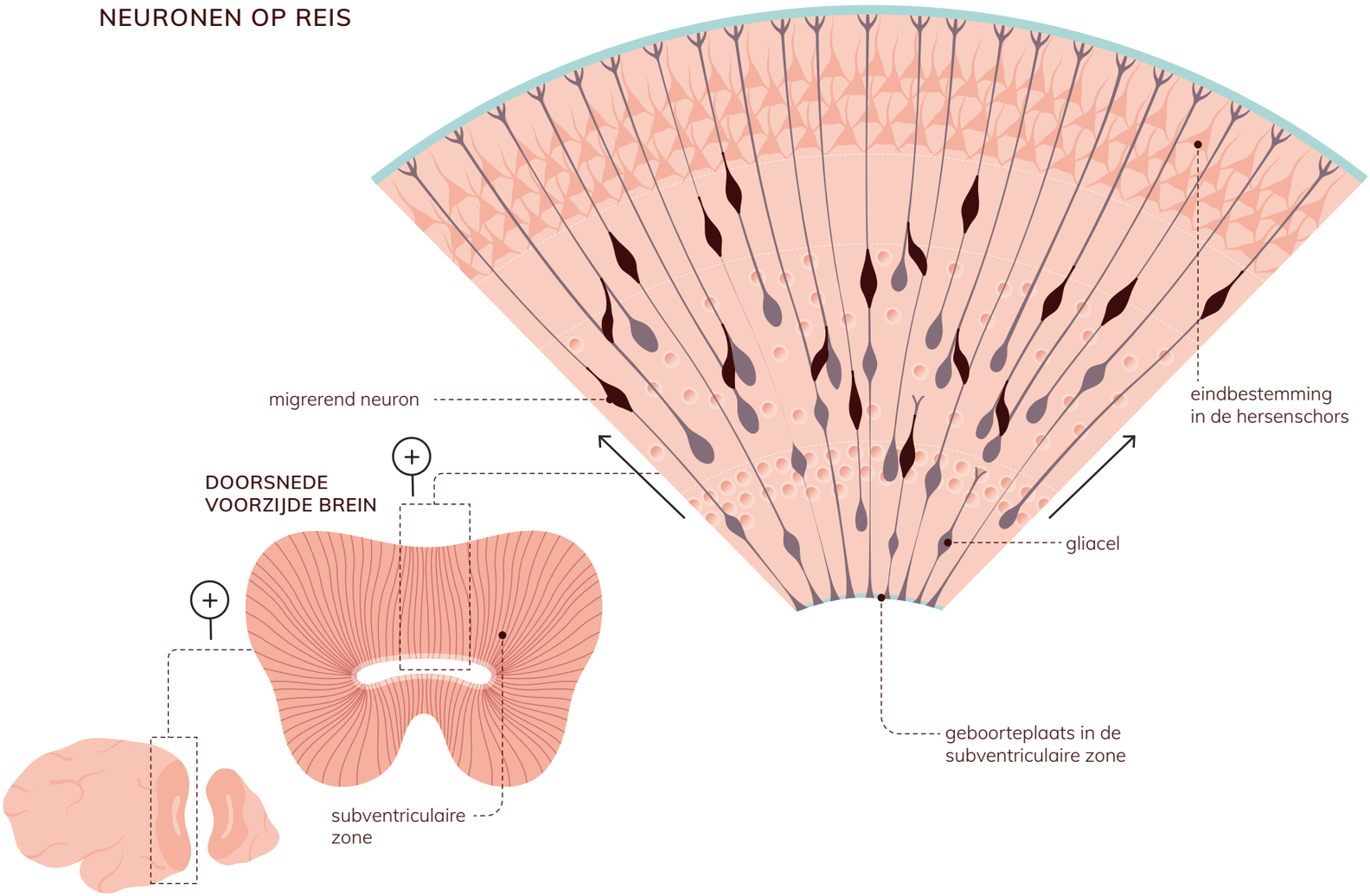
Nieuwe neuronenburen

Synaptogenese en apoptose

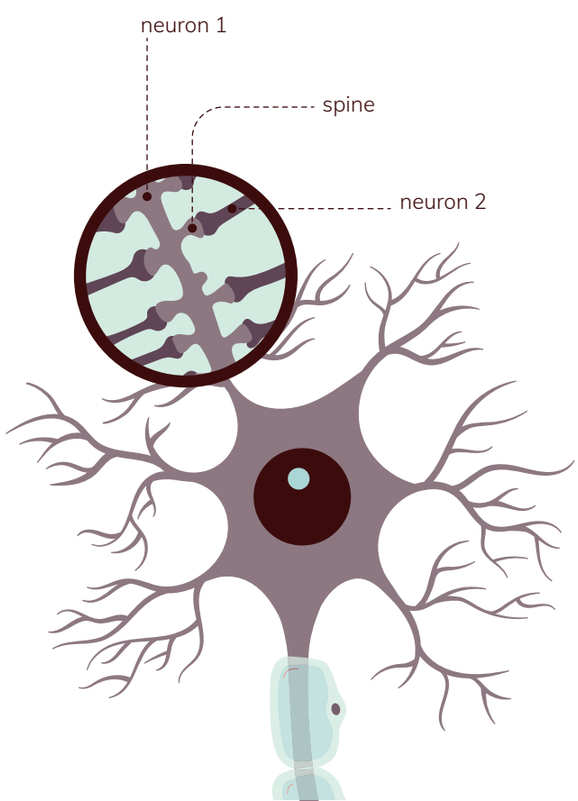
Zodra de neuronen op hun definitieve plek in de hersenschors arriveren, maken ze contact met andere neuronen door synaptische verbindingen te vormen. Dat proces heet 'synaptogenese'. Op die manier ontstaat het breinnetwerk. In eerste instantie is er een enorme overproductie aan neuronen. Voor de geboorte worden er een heleboel van die neuronen weer afgebroken. Dat proces noemen we dan weer *apoptose* of 'geplande celdood'.

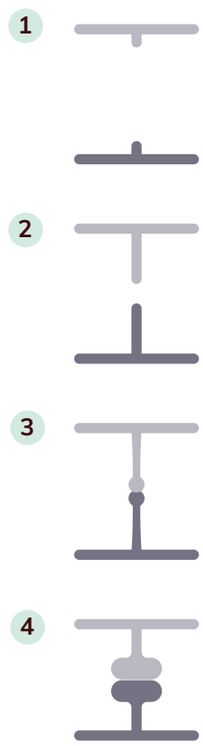
De processen van 'neuronale proliferatie', 'neuronmigratie', 'synaptogenese' en 'apoptose' zijn dynamisch en gebeuren in verschillende hersengebieden op verschillende momenten in de ontwikkeling.

NEURONEN OP REIS



SYNAPTOGENESE





Groei

Kleine uitstulpingen, spines genoemd, groeien op de ontvangers van neuronen. Spines blijven zich gedurende je levensloop ontwikkelen.

Het eerste contact

De spines maken contact met de spines van andere neuronen.

Verbinding

Er ontstaat een synaptische verbinding. Eiwitten spannen een soort van touwtje om die verbinding in stand te houden.

Stabilisatie

Als een synapsverbinding veel gebruikt wordt, wordt die groter en stabieler. Andere, zwakkere verbindingen verdwijnen weer.

DE DOPAMINEMACHINE

Het beloningsnetwerk in je brein kun je zien als een complexe machine. De verschillende radartjes werken samen om je een euforisch gevoel te bezorgen.

IN 4 STAPPEN TOT EEN BELONING

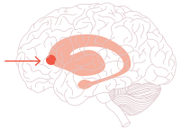
1. Een externe prikkel komt binnen, zoals het geluid van een rinkelende jackpot in het casino.
2. De fabrieken transporteren dopamine, de stof die je een euforisch gevoel bezorgt, naar de aanliggende kern en prefrontale schors.
3. De prefrontale schors neemt de juiste beslissingen en remt een al te enthousiaste verwerking van beloningen af.
4. De aanliggende kern stuurt signalen terug naar de prefrontale schors om de beloningssignalen constant te updaten. Dat heet *recurrent loops*.

dopaminefabriek
ventrale tegmentum

Produceert dopamine. De export van deze fabriek gaat richting de aanliggende kern en de frontale schors.

mediale prefrontale schors

Plant doelgerichte handelingen, en emotionele en sociale beslissingen.



aanliggende kern
nucleus accumbens

Verwerkt de beloning. Dit centrale gedeelte van de machine draait bijvoorbeeld harder als de beloning die je krijgt groter is dan verwacht.

ventrale mediale prefrontale schors

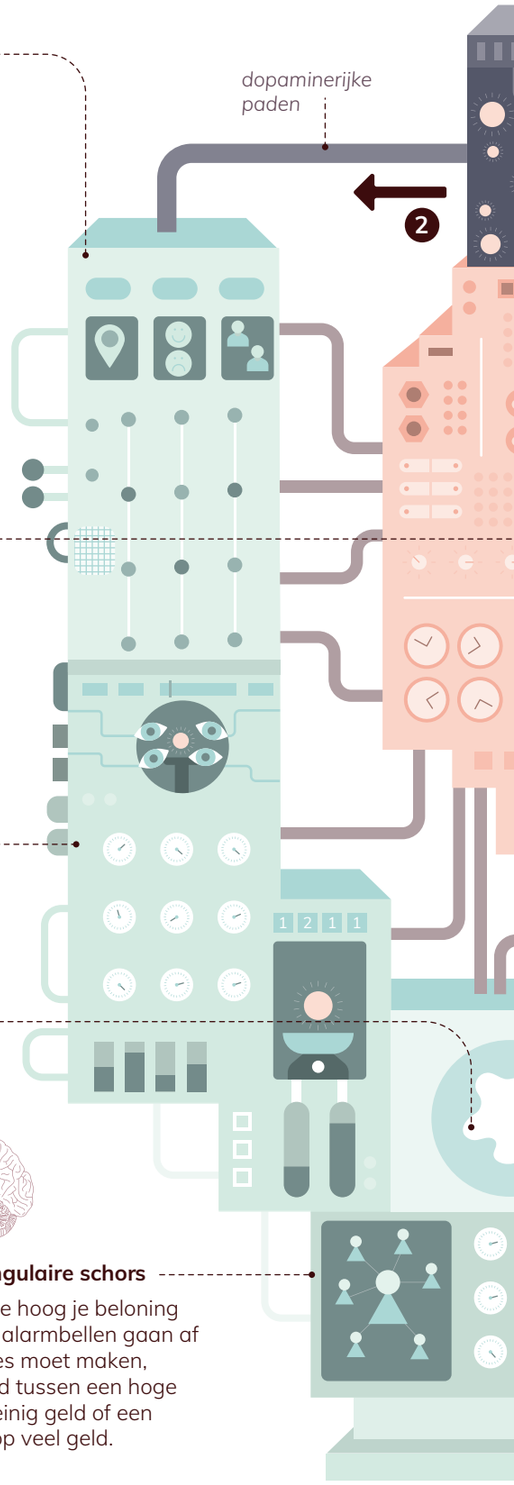
Activeert de aanliggende kern. Hij berekent onder andere hoe groot de beloning zal zijn en of je die krijgt op het moment dat je haar verwacht.

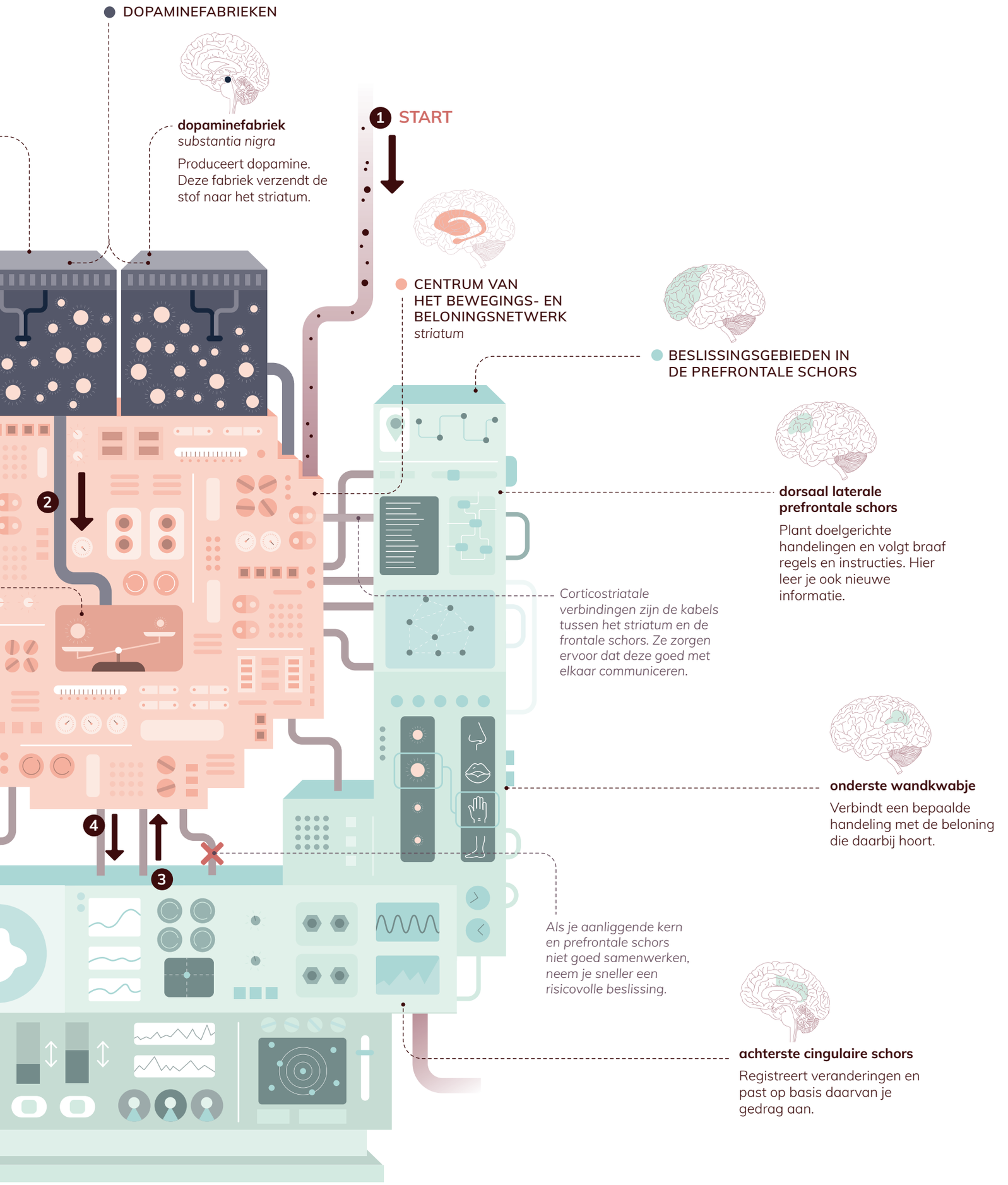
Eiland van Reil
insula

Hoewel dopamine dit eiland niet rechtstreeks stimuleert, is het toch actief als je bijvoorbeeld een beloning verwacht of geld verliest.

voorste cingulaire schors

Schat in hoe hoog je beloning zal zijn. De alarmbellen gaan af als je keuzes moet maken, bijvoorbeeld tussen een hoge kans op weinig geld of een lage kans op veel geld.




DOPAMINEFABRIEKEN
dopaminefabriek
substantia nigra
Produceert dopamine. Deze fabriek verzendt de stof naar het striatum.
1 START
CENTRUM VAN HET BEWEGINGS- EN BELONINGSNETWERK
striatum
BESLISSINGSGEBIEDEN IN DE PREFRONTALE SCHORS
dorsaal laterale prefrontale schors
Plant doelgerichte handelingen en volgt braaf regels en instructies. Hier leer je ook nieuwe informatie.
2
Corticostriatale verbindingen zijn de kabels tussen het striatum en de frontale schors. Ze zorgen ervoor dat deze goed met elkaar communiceren.
onderste wandkwabje
Verbindt een bepaalde handeling met de beloning die daarbij hoort.
4
3
Als je aanliggende kern en prefrontale schors niet goed samenwerken, neem je sneller een risicovolle beslissing.
achterste cingulaire schors
Registreert veranderingen en past op basis daarvan je gedrag aan.

HOE VERWERKT JE BREIN MUZIEK?

Een geluidssignaal onderneemt een lange reis om jou een muzikale beleving te schenken. Van een vibratie in je oorschelp tot een complex signaal in je auditieve hersenschors. Dit allemaal zodat een nummer van de Beach Boys je kan terugvoeren naar die ene zomerse avond op het terras...

HOE LOKALISEER JE GELUID?

Mensen zijn niet alleen in staat om de sterkte van een geluid waar te nemen, ze kunnen ook bepalen uit welke richting het komt. Dat vermogen noemen we 'richtinghoren'. En daarvoor is het handig dat een geluid in je linkeroor door de rechterhersenhelft wordt 'opgevangen' en vice versa. Neem een geluid recht voor je: dat zal tegelijkertijd 'aankomen' in beide oren. Bevindt een geluid zich links van je, dan komt dat harder en eerder binnen in je linkeroor, en zachter en later in je rechteroor. De signaalfrequenties die doorgegeven worden in het gehoorsysteem verschillen dus in zowel intensiteit als aankomsttijd. En die verschillen helpen je brein om te bepalen waar het geluid vandaan komt.

START

1 **Geluidsgolven** komen binnen.

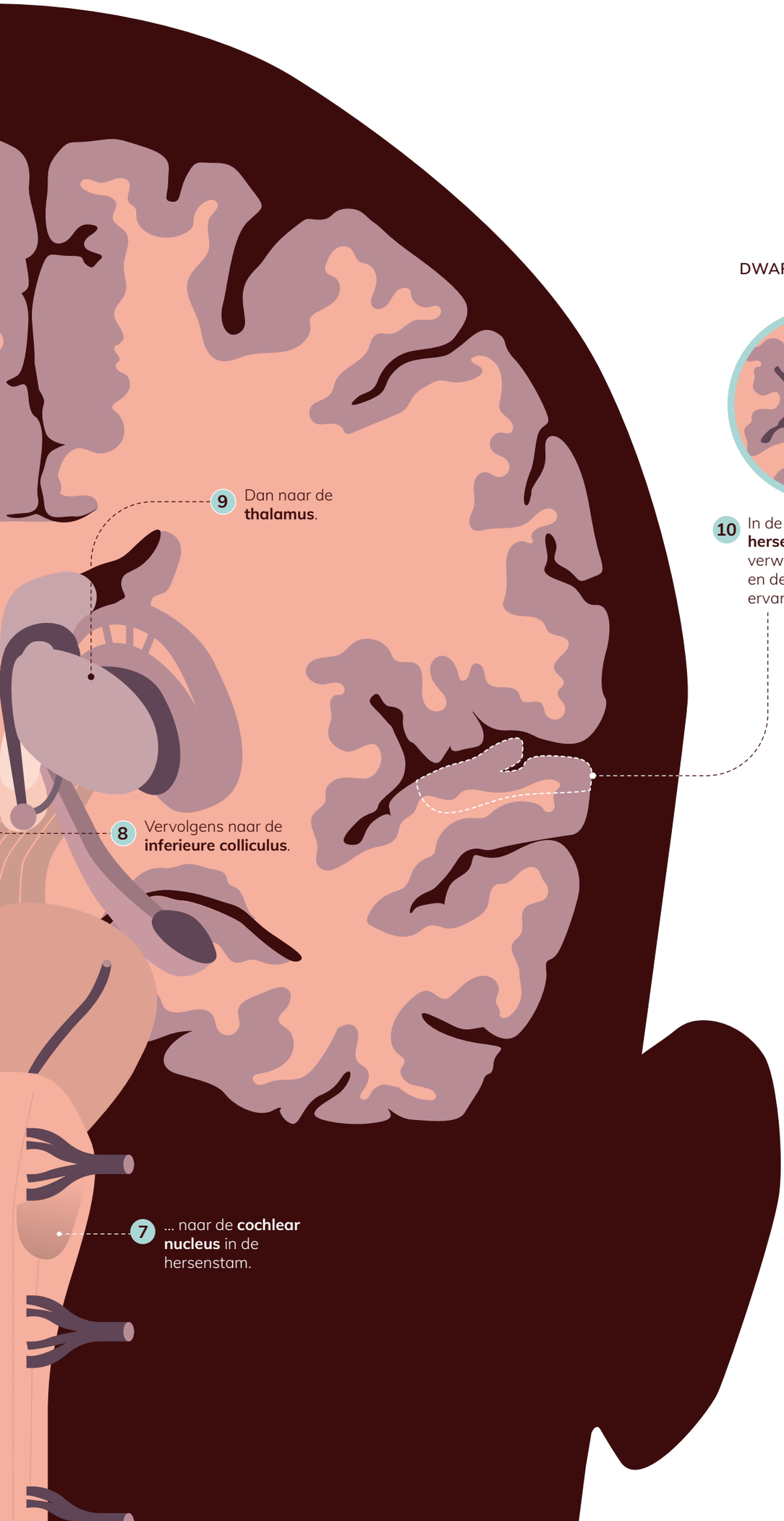
2 **Gehoorschelp** versterkt het geluid.

3 **Trommelvlies** vibreert.

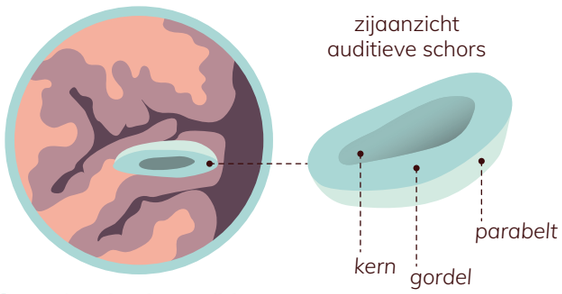
4 **Gehoorbeentjes** vibreren.

5 De trillingen bereiken het **slakkenhuis**. Hierin bevinden zich 3 kamers, waarvan de middelste wel 40.000 haarcellen bevat. Die zetten de vibraties om in elektrische signalen.

6 De **gehoorzenuw** vangt de elektrische signalen op en stuurt ze door...



DWARSDOORSNEDE BREIN



10 In de **primaire auditieve hersenschors** vindt de eerste verwerking van geluiden plaats, en de complexe interpretatie ervan.

WWW.LANNOO.COM

Registreer u op onze website en we sturen u regelmatig een nieuwsbrief met informatie over nieuwe boeken en met interessante, exclusieve aanbiedingen.

Auteurs: Dirma Janse, Lara Wierenga
Ontwerp: Studio Lannoo (Mieke Verloigne)
Redactie: Fieke Van der Gucht

Mede tot stand gekomen dankzij de Dr. Hendrik Mullerprijs voor hoogleraar Eveline Crone

© Uitgeverij Lannoo nv, Tielt, 2022 en Dirma Janse, Lara Wierenga

D/2022/45/431
ISBN 978 94 014 8172 4
NUR 870

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten volgens de wettelijke bepalingen te regelen. Zij die menen nog zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich tot de uitgever wenden.