

SPIEKBRIF

Een houvast te midden van alle termen in dit boek:

- » **Cerebellum:** Ook wel de kleine hersenen genoemd, met een structuur die lijkt op een bloemkool. Cruciale schakel binnen het systeem van de motorische aansturing.
- » **Hersenstam:** Verbindt de grote hersenen met het ruggenmerg en de kleine hersenen; huisvest evolutionair oudere functies, zoals de regulatie van je hartritme en je ademhaling.
- » **Neuron:** De magische eenheid waarmee ons brein zijn werk doet. Neuronen komen voor in alle soorten en maten, maar ze hebben altijd dendrietten, een cellichaam en een axon. Communiceren door middel van korte elektrische signaaltjes.
- » **Neurotransmitters:** Moleculen die de communicatie tussen neuronen verzorgen, en dat zo efficiënt en zo snel mogelijk. Op dit moment zijn er tussen de vijftig en zestig neurotransmitters bekend en nieuwe worden nog steeds ontdekt.
- » **Synaps:** Communicatiepunt tussen neuronen; twee uitstulpingen, van het ene en het andere neuron, die elkaar ontmoeten in een waterige omgeving waarin onder andere elektrisch geladen deeltjes (ionen) rondrijven.
- » **Occipitaalkwab:** Hier wordt vooral visuele informatie verwerkt.
- » **Temporaalkwab:** Houdt zich bezig met geuren en geluiden en speelt daarnaast een cruciale rol in ons geheugen.
- » **Pariëtaalkwab:** Ontvangt informatie van een ander zintuig, namelijk tast, en combineert verschillende soorten zintuiglijke informatie.
- » **Frontaalkwab:** Huisvest functies als redeneren, plannen, complexe emoties en zelfcontrole. Hier worden ook veel bewegingen aangestuurd.
- » **Hersenkernen:** Groepen cellen die diep verstopt in ons brein liggen, met gespecialiseerde functies. In dit boek komen onder andere aan bod de *nucleus subthalamicus*, de *amygdala* en de *nucleus suprachiasmaticus*.

Voorwoord

Ons brein is een geleiachtige massa met een gewicht van anderhalve kilo. Als je er licht op drukt, veert het terug. Het stuurt alles aan wat we doen, dag en nacht, en blijft ons hele leven bij ons. Veel mensen hebben er geen flauw idee van hoe hun eigen hersenen werken, maar gebruiken ze gewoon alleen maar (sommigen misschien iets meer dan anderen). Ze hoeven een brein niet direct te zien, laat staan in hun handen te houden. Voor ons is het brein pure fascinatie. Die fascinatie en onze kennis willen we met je delen.

In de inleiding en het eerste hoofdstuk leggen we wat basisprincipes uit, zodat je de rest van het boek beter kunt volgen. We raden je aan, zeker als je nog nooit iets over hersenen hebt gelezen, dit als eerste te lezen. De overige hoofdstukken staan in willekeurige volgorde en vragen geen verdere voorkennis – slechts een brein om ze mee te kunnen lezen en te begrijpen. Vindt dat brein dit boekje eigenlijk waardeloos, dan hebben wij er gelukkig wel plezier in gehad. De avondlijke uurtjes en discussies hebben zelfs nóg meer kennis over dat orgaan in onze hersenpan opgeleverd.

We hebben geprobeerd de essentie van onze kennis over hersenen naar voren te brengen en we gebruiken daarom eenvoudige voorbeelden, zonder al te veel details.

We wensen je enorm veel leesplezier,

Matthijs & Han

Inhoud

Voorwoord	5
Inleiding	13
Wat doet het brein?	13
Hersengebieden	14
Binnenin	16
De hoofdrolspeler	16
Hoe verder?	18
Hoofdstuk 1: Het werkende brein	19
Signaaloverdracht	19
Synaps	20
Membraan- en actiepotentiaal	21
Happy hour	22
Door heel het brein	23
Nogmaals de synaps	24
Neurotransmitters	25
Glutamaat	26
GABA (gamma-aminoboterzuur)	26
Dopamine	27
Serotonine	28
Cerebellum	29
Balletje vangen	30
Leven zonder cerebellum	32
Hersenonderzoek	33
Proefdieren	34
Lastig onderzoeksgebied	35
Kleuren volgen	36

Hoofdstuk 2: De cellen van het brein	39
Gliacellen	39
Oligodendrocyten	40
Astrocyten	41
Neurale stamcellen	43
Van stamcel tot neuron	43
Nieuwe neuronen	44
Spiegelneuronen	46
Imitatie	46
Empathische hersencellen	47
Plaats bepalen	48
Londense taxichauffeurs	48
Place cells	50
Grid cells	51
 Hoofdstuk 3: Het lerende brein	 53
Geheugen	53
Langetermijnpotentiatie	54
Trauma	57
Aanleg	58
Stressstoornis	59
EMDR als therapie	60
Slaap	63
Waardoor wil je slapen?	64
Nog een drijfveer om te slapen	64
Slapend leren	66
Dromend leren	66
 Hoofdstuk 4: Het sociale brein	 69
Drie systemen om voort te planten	69
Pure lust of je libido	70
Romantische liefde	71
Hechting	72

Acteren	75
Emotiecontrole	75
In ons achterhoofd	77
Prosopagnosie	78
Holistische waarneming	79
Alleen zwart-wit	80
Muziek in het brein	81
Het waarnemen van een toon	81
Harmonische neuronen	82
Harmonische wereld	83
Nature versus nurture	83
Complexere muziek	84
Fijn voor het brein	85
Hoofdstuk 5: Het bijzondere brein	87
Synesthesie	87
Projectors en associators	88
Snoeien van synapsen	89
Ideesthesie	89
Synesthesie en creativiteit	90
Dementie	92
Vormen van dementie	92
Alzheimer	94
Neglect	99
De ene helft valt weg	99
Visuele extinctie	101
Locked-In Syndroom	102
De hersenstam	102
Schade aan de snelweg	102
Eenrichtingsverkeer	103
Spreken met je ogen	104
Communiceren met hersenactiviteit	105

Aura's	107
Aura's in maten en soorten	107
Migralepsie	108
Extatische epilepsie	109
Bijna-doodervaringen	110
Karakteristieke ervaringen	111
Neurowetenschappelijke verklaring	111
Activatie van het stervende brein	112
Spiritualiteit	113
Narcolepsie	114
Orexine	115
Op de wipwap	115
Kataplexie	116
Therapie?	118

Hoofdstuk 6: Het gemanipuleerde brein..... 119

Antidepressiva	119
Serotonine-hypothese	120
Neuroplasticiteit	121
Deep Brain Stimulation	122
Pulsen bij Parkinson	122
Gilles de la Tourette	124
Andere stoornissen	124
Neuromodulatie	125
Split-brain patiënten	126
Epilepsie	128
Lobotomie	131
De eerste keer	131
Becky en Lucy	131
Het idee	133
Brain-to-Brain Interface	135
Iemand laten bewegen	135
Brain-to-computer interface	137

Moderne manipulaties	139
Het oog van de alg	139
Optogenetica	140
Gouden nanodeeltjes	141
Hoofdstuk 7: Het brein onder invloed	143
Alcohol	143
Cannabis	147
THC	147
Effecten	148
Als pijnstiller	149
XTC	150
De 'hug drug'	150
De serotoninebank	151
Serotonine en je stemming	152
Gevaarlijk?	153
Verslavend?	154
Hoofdstuk 8: Films en boeken	155
A Beautiful Mind	155
One Flew Over The Cuckoo's Nest	156
Rain Man	156
Limitless	156
Lucy	156
Awakenings	157
Memento	157
Girl interrupted	157
What's eating Gilbert Grape?	158
Index	159

Hoofdstuk 1

Het werkende brein

Al die deelgebiedjes in de hersenen, hoe werken die nou eigenlijk, en hoe verloopt bijvoorbeeld de communicatie tussen neuronen en welke stoffen spelen in dit proces een rol?

Signaaloverdracht

Neuronen versturen signalen naar elkaar, ze communiceren. Dat klinkt, als je het zo zegt, heel vanzelfsprekend. Maar hoe verloopt die communicatie precies? Hoe geeft een neuron een seintje aan zijn buurman?

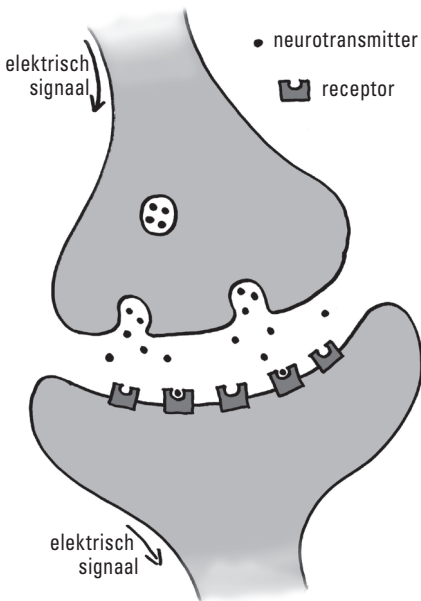
Synaps

De basis van de neuronale signaaloverdracht is elektriciteit. Je brein is een gigantisch netwerk van flinterdunne elektriciteitskabels die op miljarden manieren met elkaar zijn verbonden. Bijna alles wat er in je brein gebeurt, is terug te leiden naar elektrische activiteit in de snoeren van je brein, de verbindingen tussen neuronen. We richten ons op het punt waar deze twee ‘snoeren’ elkaar treffen, waar de signaaloverdracht plaatsvindt, de synaps.



De synaps is het communicatiepunt tussen de neuronen. Het zijn twee uitstulpingen, van het ene en het andere neuron, die elkaar ontmoeten in een waterige omgeving waarin onder andere elektrisch geladen deeltjes (ionen) rondrijven.

Stel: het centrum van een neuron, het cellichaam, is actief en zendt een elektrisch signaal naar al zijn uitlopers. Dit signaal komt aan bij duizenden synapsen. Bij één zo'n synaps communiceren twee neuronen. Het neuron vóór de synaps (*presynaptisch neuron*) zorgt ervoor dat er neurotransmitters in de synaps worden vrijgegeven. In figuur 1.1 is te zien dat deze neurotransmitters in blaasjes zitten opgeslagen in de neuronen. Door de elektrische prikkel die arriveert, worden deze neurotransmitters vrijgegeven. Ze gaan de blaasjes uit en de synaptische spleet in, waar ze zich een weg banen naar het neuron ná de synaps (*postsynaptisch neuron*). In het celmembraan van het postsynaptische neuron bevinden zich allerlei receptoren waarop deze neurotransmitters kunnen aangrijpen. De receptoren zorgen er op hun beurt voor dat het postsynaptische neuron actief wordt. De synaps is daarmee feitelijk het doorgeefluik. En de neurotransmitters, die dus door de synaps manoeuvreren, fungeren als boodschapper.



FIGUUR 1.1: Neurotransmitters gaan de synaptische spleet in.

Membraan- en actiepotentiaal

In de synaptische spleet bevinden zich allerlei ionen. De twee belangrijkste voor de signaaloverdracht zijn natrium en kalium. Deze twee ionen bevinden zich ook binnen in de neuronen, maar in andere concentraties. Buiten de neuronen is veel natrium en weinig kalium, terwijl dit binnen de neuronen omgekeerd is: weinig natrium en veel kalium. Door deze verschillende concentraties tussen de buitenwereld en de binnenkant ontstaat er een negatief rustpotentiaal in het neuron, oftewel er staat een negatief voltage over het celmembraan (~ -70 mV).



Deze rustpotentialiaal is heel erg belangrijk voor het goed functioneren van de signaaloverdracht. Natrium en kalium staan in dit geval onder continue spanning met elkaar en willen allebei dolgraag naar de andere kant, maar dat kan niet want de receptoren die in het celmembraan zitten, staan nog dicht.

Vergelijk het neuron met een kroeg waar veel vaste gasten (kalium) zitten en er gebeurt niet zoveel op dit moment. Ze drinken een biertje en klaverjassen wat. Maar dan gebeurt er iets bijzonders. Er komt een *happy hour* (neurotransmitter) aan.

Happy hour

Deze neurotransmitter gaat aan receptoren op het postsynaptische neuron zitten en deze receptoren gaan openstaan. Het happy hour wordt aan het grote publiek (natrium) bekendgemaakt en de kroeg opent zijn deuren speciaal voor natrium. Omdat er juist veel natrium buiten het neuron is en weinig binnenin, heeft het de drive om naar binnen te stromen. Als je ziet dat het gezellig is ergens, ga je sneller naar binnen en op een gegeven moment vloeit het natrium zó massaal naar binnen, dat er ineens een positief membraanpotentialiaal ontstaat ($\sim +40$ mV).

Maar nu gaat kalium protesteren, want de vaste gasten houden er niet van als er zoveel volk in hun kroeg is. De kroegbaas, het neuron, vindt het te druk en zet de achterdeur speciaal voor kalium open en de vaste gasten stromen maar al te graag naar buiten. Door de speciale kaliumkanalen stroomt kalium massaal de cel uit en hierdoor zakt de spanning weer terug naar de rustpotentialiaal (~ -70 mV).

Het hele happy hour wordt een actiepotentialiaal genoemd. Maar daarna willen de vaste gasten natuurlijk weer terug naar hun

barkruk. Natrium vindt het happy hour na een uurtje (enkele milliseconden) genoeg geweest en vertrekt. De vaste kaliumgasten kunnen nu weer lekker terug hun eigen kroeg in. En dan is de kroeg er weer klaar voor en is het wachten op het volgende happy hour.

Door heel het brein

De actiepotentiaal die nu in het postsynaptische neuron is, verspreidt zich richting het andere uiteinde van het neuron, het axon. Dat is de kabel die het uitgaande signaal doorstuurt naar de volgende neuronen. De stroom die in het uiteinde van het axon aankomt, zorgt ervoor dat er neurotransmitters worden vrijgemaakt en dat ze in de synaptische spleet kunnen worden afgegeven. Hier begint het riedeltje opnieuw.

Een standaard actiepotentiaal zoals hierboven staat beschreven, duurt enkele milliseconden. Ze komen echter in alle soorten en maten voor, van 2 of bijvoorbeeld 100 milliseconden, met een vleugje calcium erbij of als een aanhoudende reeks van happy hours. En dit in heel je brein, continu, de hele dag, de hele nacht. Als je slaapt en als je sport, in 86 miljard neuronen.

MEER CONNECTIES IN HET BREIN DAN ATOMEN IN HET HEELAL?



TECHNISCHE
INFO

Prachtige bewering. Ontzettend niet waar. Wetenschappers hebben na oneindig veel berekeningen geschat dat er ongeveer 10^{80} atomen in ons heelal zijn. Dat is een 10 met 80 nullen. Er zijn weinig natuurlijke hoeveelheden die daar ook maar in de buurt komen.

En het aantal sterren dan? Zijn er daar meer van in ons universum dan hersenconnecties? Volgens ESA (European Space Agency) zijn er tussen 10^{22} en 10^{24} sterren in ons universum. Dat is best veel. En dat is waarschijnlijk nog een onderschatting ook. Het schatten van alle connecties tussen al die hersencellen van ons is een pittige opgave en de taxaties lopen uiteen, maar in ons brein zijn ongeveer 10^{15} tot 10^{17} verbindingen te vinden. Het verschil is dus ongeveer een factor 10 miljoen, in het voordeel van het universum, wel iets minder dus. Het is wel een mooie toevoeging als je op het strand ligt en de nietigheid van het bestaan weer eens aan het overpeinzen bent.

Nogmaals de synaps

De communicatie tussen neuronen, de handdruk tussen het axon van de ene cel en de dendriet van de andere, verloopt in speciale contactpunten. Alles is hier ingericht om zo efficiënt mogelijk de signalen over te brengen. En deze contactpunten, de synapsen, dat is waar het allemaal om draait. Welke signalen worden overgedragen, en welke niet? En tussen welke cellen of welke gebieden?

Elke paar honderd milliseconden stormt er weer een elektrisch signaal door het axon, recht op de synaps af. Door de plotselinge verandering van elektrische lading geeft hij neurotransmitters af. Dit zijn signaalmoleculen die een korte oversteek naar het andere neuron wagen om het signaal door te geven. Aan de overkant zitten namelijk receptoren te wachten, eiwitten die weer een elektrisch signaal kunnen genereren. De receptoren van het volgende neuron kunnen daarmee de golf van neurotransmitters terug omzetten in een elektrische impuls.

Elk neuron gebruikt hoofdzakelijk één neurotransmitter en het maakt een wereld van verschil welke neurotransmitter dit is. Elke neurotransmitter heeft namelijk unieke eigenschappen (zie verderop in dit hoofdstuk).



TECHNISCHE
INFO

ONGEËVENAARD

Miljarden hersencellen zijn op ontelbare manieren met elkaar verbonden en via deze contactpunten wisselen ze signalen uit. Door oneindig veel minuscule stroompjes wordt alle zintuiglijke informatie op de best mogelijke manier gebruikt om ons gedrag te leiden.

Dit gebeurt allemaal op een waanzinnig korte tijdschaal en op een microscopisch klein niveau. Niks om ons heen gebeurt zo precies en zo snel als in de hersenen. Dat maakt het zo ongelooflijk complex, zo moeilijk te onderzoeken en zo interessant.

Neurotransmitters

Neuronen moeten met elkaar kunnen communiceren. Als ze dat niet zouden doen, loopt het heel erg slecht met je af. Die communicatie loopt in veel gevallen via de neurotransmitters. Zij zorgen dat neuronnen informatie aan elkaar kunnen overdragen en dat dat zo efficiënt en zo snel mogelijk gebeurt. Sommige beslissingen moet je in een split-second nemen en dan is het wel zo prettig als je een optimaal functionerende informatieverwerking tot je beschikking hebt.

Op dit moment zijn er tussen de vijftig en zestig neurotransmitters bekend. Nieuwe worden nog steeds ontdekt en wetenschappers ruziën over welke moleculen wel en welke niet tot de neurotransmitters behoren. In dit hoofdstuk wordt slechts een aantal van de meest voorkomende neurotransmitters beschreven.

Glutamaat

Deze neurotransmitter komt het meest voor in ons brein en hij werkt dan ook op ongeveer 50% van onze synapsen. Hij is op veel plekken aanwezig en is er voornamelijk om basaal werk te doen in ons brein. Het is eigenlijk de vakkenvuller van het brein: hij zorgt ervoor dat de supermarkt kan blijven draaien. Als hij doet wat hij moet doen, is hij de perfecte werknemer: doet z'n werk en laat zich niet gemakkelijk van de wijs brengen.



BELANGRIJK

Glutamaat brengt alle positieve stroompjes over en verzorgt de overdracht van de meeste informatie in het brein: zonder glutamaat overleef je geen seconde.

GABA (gamma-aminoboterzuur)

Waar glutamaat juist zorgt voor activatie van neuronen, doet GABA het tegenovergestelde: het zorgt ervoor dat neuronen minder gaan vuren. Het heeft dus een 'inhiberende' werking. Op de werkvloer best prettig dat er iemand is die de rust kan bewaren. Te veel activiteit in ons brein is namelijk ook niet goed, want dit kan bijvoorbeeld leiden tot een epileptische aanval.



TECHNISCHE
INFO

Glutamaat is de plus en GABA is de min. Samen brengen ze de positieve en negatieve signalen over waarmee neuronen hun berekeningen doen. Maar naast deze twee 'basale' neurotransmitters is er nog een aantal modulatoire neurotransmitters in het brein te vinden. Deze neurotransmit-