

De psychologie van denken en doen

De psychologie van denken en doen

De basis van cognitie

Durk Talsma

OWL PRESS

Voorwoord

Voor u ligt een geheel herziene nieuwe editie van *De psychologie van denken en doen*. Terugkijkend is het moeilijk voor te stellen dat het alweer bijna zes jaar geleden is sinds de eerste editie verscheen. En toch, de afgelopen jaren turbulent noemen is waarschijnlijk een understatement. Slechts een luttele maand na de verschijning werd de wereld getroffen door een wereldwijde pandemie, de COVID-19-crisis. Ik kan mij nog levendig de eerste academiejaren herinneren waarin ik lessen voorzag vanuit een lege werkkamer of in een leeg auditorium voor een livestream. Hoewel de toestand in de wereld in dat opzicht weer enigszins genormaliseerd is, heeft de COVID-19-crisis een blijvende impact gehad op de ontwikkeling van het vakgebied dat het thema is van dit handboek: de cognitieve psychologie. Nieuwe onderzoeksvragen zijn actueel geworden en er is een sterke toename in het aantal experimenten dat online, via een webbrowser kan worden afgenomen. Maar, er is ook sprake geweest van een enorme ontwikkeling in de theorievorming en de resultaten hiervan zijn de laatste jaren dan ook in de vakliteratuur verschenen. In dat opzicht was het de afgelopen twee jaar een ideaal moment om aan een nieuwe editie te werken. De opzet van de huidige editie van het handboek blijft dan ook grotendeels gelijk aan die van de eerste editie, namelijk het aanbieden van een geïntegreerd perspectief op de cognitieve psychologie en de neurale basis hiervan.

Daarnaast bleef het een belangrijke doelstelling te voorkomen dat de onderliggende tekst een saaie opsomming van theorieën en feiten zou worden. Wetenschap is immers een typisch menselijke activiteit, die gekenmerkt wordt door zowel de menselijke genialiteit als door de menselijke zwakheden. Wetenschapsbeoefening is een idiosyncratische activiteit die soms gekarakteriseerd wordt door een hoge mate van anarchie. Verschillende ideeën kunnen botsen en discussies kunnen verhit raken; blunders kunnen fascinerende inzichten opleveren. Achter bijna iedere onderzoeksvraag schuilt een verhaal en het zijn deze verhalen die mij aanvankelijk enthousiasmeerden voor dit vakgebied. Door een aantal van deze verhalen hierin op te nemen hoop ik een deel van mijn enthousiasme door te kunnen geven.

Deze verhalen zijn in de meeste gevallen opgenomen in de vorm van kaderstukjes, dat wil zeggen relatief korte stukjes tekst die min of meer onafhankelijk van de hoofdtekst kunnen worden gelezen. Naast de verhalen en anekdotes, kunnen kaderstukjes controversiële onderwerpen toelichten of een praktische toepassing van de theorie illustreren. Om met name de praktische toepassingen en deze controverses nader toe te lichten is het aantal kaderstukjes in deze editie flink uitgebreid.

Een belangrijke rode draad doorheen het hele boek wordt gevormd door het idee dat het menselijk brein in

principe predictief is, dat wil zeggen dat het er continu naar streeft om de omgeving waarin het functioneert en veranderingen in die omgeving, te voorspellen. Het is met name ook binnen dit theoretische raamwerk dat er belangrijke ontwikkelingen zijn geweest, waardoor het nu mogelijk wordt om vanuit één theoretisch raamwerk te verklaren hoe perceptie, actie, cognitieve controle en emotionele en motivationele processen met elkaar samenhangen en het is die samenhang die ik in dit boek streef te benadrukken en die een belangrijke kern van deze uitgave vormt.

Een tweede belangrijke maatschappelijke ontwikkeling die zich sinds de publicatie van de oorspronkelijke publicatie van *De Psychologie van Denken en Doen* heeft voltrokken, is de opkomst van generatieve artificiële intelligentie (AI). Programma's zoals Chat-GPT of aanverwanten, waren tijdens het schrijven van de eerste editie nog onbestaand, maar zijn nu bijna niet meer weg te denken uit het dagelijks leven en er kan tegenwoordig bijna geen dag voorbijgaan of er verschijnt wel een artikel in de landelijke dagbladen over de gevaren van AI (de potentiële gevaren lijken altijd meer aandacht te krijgen dan de potentiële voordelen in de media; maar dat zegt misschien ook iets over de media). Hoewel de grote taalmodellen (*large language models: LLMs*), waar deze AI-applicaties op gebaseerd zijn, niet fundamenteel nieuw zijn, is de schaalvergroting in rekenkracht die ze mogelijk maakten wel nieuw. Binnen de psychologie bestaat er dan ook al een langere traditie om het gedrag van deze modellen te vergelijken met menselijk gedrag. Hoewel *LLMs* momenteel sterk in de belangstelling staan, wordt hier alweer in toenemende mate duidelijk dat ze maar in een beperkte mate als model voor menselijke cognitie kunnen dienen. Een deel van deze resultaten is ook verwerkt in deze nieuwe editie, al zal het grootste deel hiervan in deel 2 besproken worden. Een belangrijke verandering ten opzichte van de eerste editie is namelijk om deze editie in twee delen uit te brengen. De oorspronkelijke editie was nogal omslachtig en gezien de recente ontwikkelingen in het vakgebied bleek het onmogelijk om de tekst nog verder te reduceren.

Een significant probleem bij het schrijven van een Nederlandstalig handboek over een vakgebied met een sterke internationale (en daardoor Engelstalige) focus is dat van vertalingen. Veel Engelstalige vaktermen, zoals vision scientist, trial of bias, laten zich slechts moeizaam vertalen. Bias is hier een goed voorbeeld van. De woordenboekvertalingen, vooroordeel, vooringenomenheid, voorkeur of gewicht, zijn allemaal net niet van toepassing op de wijze waarop het woord in de Engelse vakliteratuur wordt gebruikt, en waar het zoiets als 'onbewuste voorkeur' (bij mensen) of 'wegingsfactor' (in het geval van een theoretisch model) kan betekenen. Een vergelijkbaar probleem doet zich voor bij het woord 'trial', dat misschien vertaald zou kunnen

worden met 'beurt', maar ook hier dekt de lading de term niet helemaal, omdat trial ook 'aanbiedingsmoment', 'meetpoging' of 'sequentie van gebeurtenissen' kan betekenen. Om de bovengenoemde problemen te vermijden heb ik voor een hybride aanpak gekozen, waar ik een Nederlandstalig begrip gebruik waar het gemakkelijk voorhanden is, terwijl ik ervoor gekozen heb om de originele Engelse termen te gebruiken wanneer het gebruik van een Nederlands begrip te gekunsteld zou worden. Bij twijfelgevallen worden zowel de Nederlandstalige als de Engelstalige termen geïntroduceerd.

Een vergelijkbare strategie heb ik ook gehanteerd bij de beschrijving van experimenten die gebruikmaken van taalstimuli, zoals woorden en zinnen. Om zo veel mogelijk trouw te blijven aan het originele materiaal heb ik er in voorkomende gevallen voor gekozen om de beschrijving uit de originele artikelen te gebruiken. Een bijkomend probleem is dat er vaak geen consensus kan worden bereikt in de wetenschappelijke gemeenschap. Een mooi voorbeeld hiervan betreft de wijze waarop EEG-signalen gevisualiseerd worden. Sommige onderzoekers zijn, omwille van historische redenen, van mening dat een negatieve elektrische spanning omhoog moet worden geplott, terwijl andere onderzoekers de in andere vakgebieden meer gangbare conventie hanteren om positieve spanningen omhoog te plotten. Ook hier is gekozen voor de strategie om zo dicht mogelijk bij de bron te blijven en de conventie van de originele auteurs te volgen, waardoor bij sommige illustraties negatieve, en bij andere positieve spanningen omhoog geplott zijn.

Uiteraard wil ik graag uitgever Sophie Vanluchene bedanken om mij te motiveren aan dit project te beginnen en mij gedurende het proces te begeleiden. Ook ben ik veel dank verschuldigd aan redacteurs Nils De Malsche, Paulien Vandenberghe en Nina Waegemans voor de professionele procesbegeleiding; met name tijdens de slotfase van het project en het handhaven van het strakke tijdschema tijdens de productiefase. Bedankt ook aan Joni Verhulst, de productieverantwoordelijke. Voorts wil ik de grafisch vormgevers bedanken voor hun inzet: Pauline Scharmann en Jeroen Wille voor het ontwerp, Stephanie Philippaerts en Davine Peleman voor het tekenen van een waanzinnige hoeveelheid indrukwekkende figuren, en het team van Crius Group voor de afwerking. Ten slotte wil ik graag eindredacteur Wannes Swings bedanken voor de snelle en bijzonder adequate tekstuele aanpassingen aan het manuscript, en corrector Greet Van Looy voor de puntjes op de i.

Daarnaast wil ik ook al mijn collega's van de vakgroep experimentele psychologie bedanken voor hun steun en aanmoediging. Een paar mensen wil ik hierbij graag met name noemen: Marc Brysbaert, als auteur van het grootste Nederlandstalige inleidende handboek in de psychologie

ben je een bijzondere inspirator geweest en zowel je aanmoediging om dit project door te zetten als je praktische tips zijn bijzonder waardevol voor mij geweest. Frederick Verbruggen, als buurman op de vakgroep was je altijd beschikbaar en bereid om mee te denken over de soms triviale maar actuele problemen die ik tegenkwam en als voorvechter van de nieuwe renaissance in de psychologische methoden heb je indirect veel bijgedragen aan zowel het inleidende als het afsluitende hoofdstuk van dit boek. Rob Hartsuiker, niet alleen je commentaar op mijn outline voor de taalhoofdstukken is bijzonder waardevol gebleken, ook kijk ik met veel plezier terug op onze vele discussies, over het leven binnen en buiten de academie, tijdens de lunch en de koffie na afloop. Guy Vingerhoets, ik wil je graag bedanken voor je constructieve commentaar op Hoofdstukken 1 en 2 en je regelmatige belangstelling naar mijn vorderingen. Tom Verguts, je waardevolle opmerkingen over de inleiding en Hoofdstuk 11 hebben mij zeer geholpen om deze stukken toegankelijker te maken en ook je regelmatige belangstelling naar de vorderingen van het boek heb ik bijzonder gewaardeerd. Michel Quak en Raquel London, als eerste generatie doctoraatstudenten, jullie wil ik ook graag bedanken voor de inspirerende discussies de afgelopen jaren die indirect ook hebben bijgedragen aan de totstandkoming van dit boek. Jonas, Aleksandra, Aolong, Thibault en Ward, ook aan jullie een dikke merci voor de vele interessante discussies. Finally, Nico Boehler & Ruth Krebs, even though a language barrier prevented me from asking you to comment on the reward processing and cognitive control sections of chapter 11, I appreciate the numerous conversations we had throughout the years and the valuable literature suggestions you gave!

Buiten de UGent wil ik ook graag een groot aantal collega's uit binnen- en buitenland bedanken voor hun constructieve commentaren en opbouwende feedback: Hedderik van Rijn en Ritske de Jong; ik wil jullie graag bedanken voor de opbouwende discussies naar aanleiding van mijn initiële plan van aanpak. Monique Lorist wil ik graag bedanken voor het feit dat ik altijd een werkplek in Groningen had op momenten dat ik daar in academiejaar 2018-2019 met enige regelmaat neerstreek voor het werken aan de eerste editie. Daarnaast ben ik een aantal mensen zeer erkentelijk voor commentaar op specifieke delen van dit boek: Eric-Jan Wagenmakers (bayesiaanse inferentiemethode), Bernhard Hommel (H1, H3, H4, H5), Edward de Haan (H1 t.e.m. H6), Sander Nieuwenhuis (H1 en H2), Marit Ruitenberg (H3), Stefan van der Stigchel (H4), Eveline

Crone (H5 en H24), Niels Taatgen (H5), Sebastiaan Mathôt (H10), Pieter Medendorp (H10), Manon Mulckhuyse (H12) en Hein van Schie (H23). Ook ben ik collega's en vrienden Elger Abrahamse, Guido Band, Roshan Cools, Floris de Lange, Jacob Jolij, Leon Kenemans, Peter Klaver, Mark Nieuwenstein, Chris Olivers, Pieter Roelfsema, Heleen Slagter, Jan Theeuwes, Erik van der Burg, Miriam Keetels, Rob van der Lubbe, Nienke van Atteveldt, Freddy van der Veen, Jean Vroomen en Johan Wagemans erkentelijk voor hun enthousiaste reacties en/of bereidheid om (delen van) hoofdstukken na te lezen. Ondanks alle zorgvuldigheid is het bijna onmogelijk om een perfect werk af te leveren. Voor het retrospectief corrigeren van de eerste editie ben ik dan ook bijzonder veel dank verschuldigd aan de opletende ogen van een paar duizend studenten en met name degene onder hen die de nog resterende foutjes aan mij hebben teruggekoppeld. Binnen het mogelijke – en waar relevant – zijn deze correcties ook doorgevoerd in de huidige tekst. Bedankt allemaal: zonder jullie was dit project niet tot stand gekomen.

Mijn familie en vrienden ben ik ook zeer veel dank verschuldigd voor hun geduld. Zeker de laatste maanden werden gekenmerkt door een hyperfocus om het manuscript af te ronden en veel sociale activiteiten hebben hieronder geleden. Ik hoop het binnenkort in te halen!

Ten slotte wil ik graag mijn oprechte dank betuigen aan één bijzonder persoon, zonder wiens continue steun en aanmoediging dit project echt niet van de grond zou zijn gekomen: Juliette, niet alleen je hulp bij het aanleveren van de teksten voor de figuren en het maken en selecteren van de kaderfoto's is instrumenteel geweest in het bijtijds aanleveren van het manuscript, ook je commentaar op de leesbaarheid van de tekst en je continue ondersteuning en aanmoediging hebben een doorslaggevende rol gespeeld in de totstandkoming van dit boek. Het is daarom ook opgedragen aan jou!

Gent, november 2025
Durk Talsma

Scan deze QR-code als je tussentijdse updates over de inhoud van dit boek wil raadplegen.



Voor Juliette

INHOUD

THEMA 1. INLEIDING

HOOFDSTUK 1

Cognitieve psychologie

De geschiedenis en thematiek
van een vakgebied

1	INLEIDING	25	6	EEN MULTIDISCIPLINAIR PERSPECTIEF	41
2	WAAROM COGNITIEVE PSYCHOLOGIE?	27	6.1	COGNITIEVE PSYCHOLOGIE	41
3	COGNITIEVE PSYCHOLOGIE: WHAT’S IN A NAME?	28	6.2	COGNITIEVE NEUROWETENSCHAPPEN	43
4	DE COGNITIEVE PSYCHOLOGIE ALS WETENSCHAPPELIJKE DISCIPLINE	29	6.2.1	Technieken	43
5	DE ONTSTAANSGESCHIEDENIS VAN HET VAKGEBIED	31	6.2.2	Spatiële en temporele resolutie	44
5.1	DE FILOSOFISCHE VERANKERING	31	6.2.3	Toepasbaarheid en beperkingen	44
5.2	DE OPRICHTING VAN PSYCHOLOGISCHE LABORATORIA	31	6.3	COGNITIEVE NEUROPSYCHOLOGIE	47
5.3	HET BEHAVIORISME	32	6.3.1	Assumpties	47
5.4	DE COGNITIEVE REVOLUTIE	33	6.3.2	Dissociaties	47
5.5	ONBEWUSTE ASSOCIATIES	34	6.4	COMPUTATIONEEL MODELLEREN	48
5.6	DE OPKOMST VAN DE COGNITIEVE NEUROWETENSCHAPPEN	35	6.4.1	Productiesystemen	48
5.7	DE MULTIDISCIPLINAIRE BENADERING	36	6.4.2	Neurale netwerken	48
5.8	EEN NIEUWE ROL VOOR EMOTIE EN BEWUSTZIJN	36	6.4.3	Cognitieve architecturen	50
5.9	EEN NIEUWE APPRECIATIE VOOR ACTIE EN ACTIECONTROLE	37	6.5	LINGUISTIEK	50
5.10	DE REPLICATIECRISIS IN DE PSYCHOLOGIE	37	6.6	FILOSOFIE	51
5.10.1	Wetenschapsbeoefening: een ideaal scenario	37	7	VOORUITBLIK	51
5.10.2	Wetenschapsbeoefening: problemen	37	8	BESLUIT	53
5.11	COVID-19 EN VERDER: CRISIS EN OPPORTUNITEITEN	40	9	SAMENVATTING	54
5.12	VOORUITBLIK	41		AANBEVOLEN LITERATUUR	55

HOOFDSTUK 2

Het menselijk brein

1	INLEIDING	57	4	FUNCTIONELE KENMERKEN VAN HET BREIN	75
2	NEUROFYSIOLOGIE	58	4.1	HIËRARCHISCHE NETWERKEN	75
2.1	NEURONEN	58	4.2	ORGANISATIE VAN NETWERKEN	76
2.1.1	Anatomie	58	4.3	FEEDFORWARD- EN FEEDBACKVERBINDINGEN	76
2.1.2	Elektrische potentialen	58	4.4	HEBBIAANS LEREN EN BACK-PROPAGATION	78
2.2	SYNAPSEN	59	4.5	LANGETERMIJNPOTENTIËRING	78
2.3	NEUROTRANSMITTERS	60	4.6	DEFAULT-MODE-ACTIVITEIT	79
2.4	CLASSIFICATIE VAN NEURONEN	60	4.7	HET SAILLANTIENETWERK	80
2.5	GLIACELLEN	62	5	HET PREDICTIEVE BREIN	82
3	ANATOMIE VAN HET BREIN	63	5.1	HET HIËRARCHISCHE BREIN	82
3.1	NAVIGEREN IN HET BREIN	63	5.2	BOTTOM-UP- VERSUS TOP-DOWNVERWERKING	82
3.2	GLOBALE OPBOUW	63	5.3	BAYESIAANSE PRINCIPES	83
3.3	HET VENTRIKELSTELSEL	65	5.4	MANIFESTATIES VAN PREDICTIEVE PROCESSEN	85
3.4	HET RUGGENMERG	65	5.4.1	Wanen en hallucinaties	85
3.5	CRANIALE ZENUWEN	66	5.4.2	Schizofrenie	86
3.6	HET ACHTERBREIN	66	5.4.3	Autisme	86
3.7	HET MIDDENBREIN	67	5.4.4	Mentale inbeelding	88
3.8	HET RETICULAIRE ACTIVATIESYSTEEM	68	5.5	CONCLUSIE IN VERBAND MET PREDICTIVE CODING	88
3.9	HET VOORBREIN	68	6	SAMENVATTING	88
3.9.1	De thalamus en de hypothalamus	68		AANBEVOLEN LITERATUUR	89
3.9.2	Basale ganglia en het striatum	70			
3.9.3	De limbische gebieden	70			
3.9.4	De cortex	70			
3.10	ORGANISATIE VAN DE CORTEX	73			
3.10.1	Lagen en kolommen	73			
3.10.2	De gebieden van Brodmann	74			
3.10.3	Synchronisatie vanuit de thalamus	74			

THEMA 2. CONTROLE

HOOFDSTUK 3

Actie en actiecontrole

1	INLEIDING	93	7.3	MOTORPROGRAMMA’S	110
2	INTERNE REGULATIE	94	7.4	GLOVERS PLANNING-CONTROLEMODEL	110
2.1	HET AUTONOME ZENUWSTELSEL	95	7.5	MOTORCONTROLE	111
2.1.1	Het sympathische zenuwstelsel	95	7.6	OOG- EN HOOFDBEWEGINGEN	112
2.1.2	Het parasymphatische zenuwstelsel	95	7.7	OPTIMALE-FEEDBACKCONTROLE	113
2.2	HET ENDOCRIENE SYSTEEM	95	7.8	PREDICTIVE CODING EN MOTORISCHE CONTROLE	114
3	REFLEXEN	95	8	PROCEDUREEL LEREN	115
3.1	KLASSIEKE CONDITIONERING	96	8.1	VAARDIGHEDEN	115
3.1.1	Voorwaartse, achterwaartse en simultane conditionering	97	8.1.1	Wat is een procedure?	116
3.1.2	Hogere-ordeconditionering	97	8.1.2	Motorische versus cognitieve procedures	116
3.1.3	Extinctie	97	8.1.3	Eigenschappen van procedureel leren	116
3.1.4	Terugval van extinctie	97	8.2	TAKEN	118
3.2	OPERANTE CONDITIONERING	97	8.2.1	De mirror trace-taak	118
4	HABITUATIE EN SENSITISATIE	99	8.2.2	De pursuit rotor-taak	118
5	HET MOTORSYSTEEM	99	8.2.3	De seriële-reactietijdtaak	118
5.1	SPIEREN EN MOTORCOMMANDO’S	100	9	CHUNKING	119
5.2	ZENUWBANEN	100	9.1	CHUNKING EN SEQUENTIELEREN	119
5.3	HERSENGEBIEDEN BETROKKEN BIJ MOTORIEK: VAN INTENTIE TOT ACTIE	102	9.1.1	De discrete-sequentieproductietaak	119
5.3.1	Corticale gebieden	102	9.1.2	Resultaten	120
5.3.2	Subcorticale gebieden	103	9.2	HERSENGEBIEDEN BETROKKEN BIJ CHUNKING EN SEQUENTIËRING	120
6	DE MOTORCORTEX	104	10	MOTORCOGNITIE	121
6.1	CORTICALE PLASTICITEIT	104	10.1	SIMULATIE VAN ACTIES	121
6.2	MOTOREQUIVALENTIE	106	10.2	HET LICHAAMSMODEL	122
7	MOTORISCHE CONTROLE	108	10.3	PERCEPTIE, ACTIE, INTEGRATIE	122
7.1	BELIEF-STATES EN DESIRE-STATES	108	10.4	MOTIVATIE, EMOTIE EN SOCIALE COGNITIE	122
7.2	VAN INTENTIE TOT ACTIE	108	11	SAMENVATTING	122
7.2.1	Greenwalds ideomotortheorie	108		AANBEVOLEN LITERATUUR	123
7.2.2	Theory of event coding	109			

HOOFDSTUK 4

Bewustzijn en aandacht

1	INLEIDING	125	8.2	AANDACHT IS GEEN UNITAIRE FUNCTIE	148
2	FILOSOFISCHE VISIES OP HET BEWUSTZIJN	126	8.3	EXTERNE EN INTERNE AANDACHT	148
2.1	DUALISME	126	8.4	EXTERNE AANDACHT	148
2.1.1	Het cartesiasaanse theater	126	8.4.1	Modaliteiten	148
2.1.2	Het homunculusprobleem	127	8.4.2	Spatiële aandacht	149
2.2	MONISME	127	8.4.3	Temporele aandacht	149
2.3	VAN FILOSOFIE NAAR EMPIRIE	128	8.4.4	Eigenschappen en objecten	150
3	WAT IS BEWUSTZIJN?	129	8.5	INTERNE AANDACHT	150
3.1	EEN OF MEER BEWUSTZIJNEN?	129	8.5.1	Respons en taakselectie	150
3.2	BEWUSTZIJN: NIVEAUS VERSUS INHOUDEN	131	8.5.2	Langetermijngeheugen	151
4	FUNCTIES VAN HET BEWUSTZIJN	132	8.5.3	Werkgeheugen	151
4.1	PERCEPTIE EN HET VISUELE BEWUSTZIJN	132	9	BIASED COMPETITION	152
4.2	HET RAPPORTEREN VAN BEWUSTE ERVARINGEN	134	10	AANDACHTSREGULATIE	155
4.3	CONTROLE VAN ACTIES	135	10.1	NEUROBIOLOGISCHE AANDACHTSMODELLEN	155
4.4	SIMULATIE	136	10.2	ANTERIEURE EN POSTERIEURE AANDACHTSNETWERKEN	156
4.5	SOCIALE COMMUNICATIE	138	10.3	FRONTOPARIËTALE NETWERKEN	156
4.6	INTEGRATIE VAN INFORMATIE	139	10.4	PERIODIC SAMPLING	157
5	SLAAP EN DROMEN	143	11	EEN ONDERSCHIED TUSSEN AANDACHT EN BEWUSTZIJN	158
6	BEWUSTZIJN EN CORTICALE SYNCHRONISATIE	144	11.1	AANDACHT ZONDER BEWUSTZIJN	158
7	AANDACHT	144	11.2	BEWUSTZIJN ZONDER AANDACHT	159
8	EEN TAXONOMIE VOOR AANDACHT	146	12	BESLUIT	161
8.1	DE BASISFUNCTIES EN EIGENSCHAPPEN VAN AANDACHT	146	13	SAMENVATTING	161
8.1.1	Beperkte capaciteit	146		AANBEVOLEN LITERATUUR	163
8.1.2	Selectie	147			
8.1.3	Modulatie	147			
8.1.4	Vigilantie	147			

HOOFDSTUK 5

Cognitieve controle

1	INLEIDING	165	4.9	TAAKWISSELING	184
2	DE NOODZAAK VAN CONTROLE	166	4.9.1	Essentiële kenmerken van taakwisseling	184
			4.9.2	Het taakswitchparadigma	185
2.1	EXECUTIEVE FUNCTIES	166	4.9.3	Mix-, wissel- en residuele wisselkosten	185
2.1.1	Dysexecutief syndroom	166			
2.1.2	Executieve functies: eenheid en diversiteit	167	5	DE NEURALE BASIS VAN COGNITIEVE CONTROLE	186
2.2	EXECUTIEVE FUNCTIES IN HET BREIN	167			
2.3	INHIBITORE CONTROLE	168	6	AUTOMATISCHE EN GECONTROLEERDE PROCESSEN	189
2.3.1	Het begrip inhibitie	168			
2.3.2	Het concept inhibitie in de psychologie	169	6.1	EEN ONDERSCHIED TUSSEN AUTOMATISCHE EN GECONTROLEERDE PROCESSEN	189
2.3.3	Inhibitie en cognitieve controle	169	6.2	DICHOTOMIE OF GRADUELE VERSCHILLEN?	190
2.3.4	Argumenten tegen de noodzaak van het concept inhibitie	170	6.3	ALTERNATIEVE VERKLARINGEN	190
2.4	RESPONSINHIBITIE	171	6.4	DE NEURALE BASIS VOOR AUTOMATISATIE	191
2.4.1	Het stopsignaalparadigma	171	6.5	HET INTERPRETEREN EN OPVOLGEN VAN INSTRUCTIES	191
2.4.2	Neurale mechanismen	172	6.5.1	Automatische invloeden van instructies op gedrag	192
2.4.3	Aandacht	172	6.5.2	Goal neglect	193
2.5	INHIBITIE VAN NIET-MOTORISCHE PROCESSEN	174	6.5.3	Een dissociatie tussen weten en doen: neuro-imaging-evidentie	194
3	CONFLICT, INTERFERENTIE EN FOUTEN	175	7	BESLUIT: MEER CONTROLE, ALTIJD BETER?	196
3.1	CONFLICTMONITORING	175	8	SAMENVATTING	198
3.2	FOUTEN	176		AANBEVOLEN LITERATUUR	199
3.2.1	Post-error slowing	176			
3.2.2	Foutdetectie in het brein	176			
4	TAAKWISSELING EN MULTITASKING	177			
4.1	VERDEELDE AANDACHT	177			
4.2	DUBBELTAKEN	177			
4.3	FACTOREN DIE DUBBELTAKEN BEÏNVLOEDEN	177			
4.4	COGNITIEVE-BOTTLENECKTHEORIE	178			
4.5	CENTRALE CAPACITEIT EN HULPBRONNEN	179			
4.6	COGNITIEVE HULPBRONNEN: EEN SOEPSTEEN?	180			
4.7	MEERVOUDIGE HULPBRONNEN	181			
4.8	THREADED COGNITION	182			

THEMA 3. PERCEPTIE

HOOFDSTUK 6

Visuele perceptie

1	INLEIDING	203	8	KLEURWAARNEMING	214
2	EEN NATUURGETROUW BEELD VAN DE BUITENWERELD?	203	8.1	TRICHROMATISCHE KLEURWAARNEMING	215
			8.2	OPPONENTE-PROCESSENTHEORIE	215
2.1	ZICHTBAAR LICHT: EEN BEPERKT VENSTER OP DE BUITENWERELD	203	8.3	DUAL PROCESS-THEORIE	216
2.2	OOGBEWEGINGEN	204	8.4	KLEURCONSTANTIE	217
2.3	DE CAMERA-ANALOGIE	204	8.4.1	Retinex-theorie	217
			8.4.2	Familiariteit en verwachting	218
3	GEZICHTSVERMOGEN EN HET BREIN	205	9	DIEPTewaARNEMING	218
3.1	HET OOG	206	9.1	MONOCULAIRE CUES	218
			9.2	BINOCULAIRE CUES	219
4	ZENUWBANEN TOT AAN DE CORTEX	206	9.3	OCULOMOTORISCHE CUES	220
			10	OBJECT- EN GEZICHTSHERKENNING	220
5	INITIËLE VERWERKING: VISUELE CORTEX	207			
5.1	PRIMAIRE VISUELE CORTEX (V1)	207	10.1	PATROONHERKENNING	220
5.2	SECUNDAIRE VISUELE CORTEX (V2)	209	10.1.1	Globale en lokale verwerking	220
5.3	VENTRALE EN DORSALE ROUTES	209	10.1.2	Spatiële frequenties	221
6	VERDERE VERWERKING: FUNCTIONELE SPECIALISATIE	209	10.2	PERCEPTUELE ORGANISATIE	221
6.1	VORMVERWERKING	209	10.2.1	Gestaltprincipes	221
6.2	KLEURVERWERKING	210	10.2.2	Figuur-achtergrondsegregatie	222
6.3	BEWEGINGSINFORMATIE	210	10.2.3	Perceptuele organisatie in natuurlijke scènes	222
6.4	HET BINDINGSPROBLEEM	211	10.3	OBJECTHERKENNING	222
7	VERDERE VERWERKING: TWEE VISUELE SYSTEMEN	213	10.3.1	Computervisie	222
7.1	TWEE SYSTEMEN	213	10.3.2	Herkenning door componenten	223
7.2	DORSAAL: VISIE VOOR ACTIE	213	10.3.3	Herkenning door top-downpredicties	224
7.3	VENTRAAL: VISIE VOOR PERCEPTIE	214	10.3.4	Objectrepresentatie in het visuele systeem	225
7.4	TWEE SYSTEMEN: BESLUIT	214	10.3.5	Objectherkenning en predictive coding	225
			10.4	GEZICHTSHERKENNING	226
			10.4.1	Zijn gezichten speciaal?	227
			10.4.2	De fusiform face area	227
			10.4.3	Prosopagnosie	227
			10.4.4	De expertisehypothese	227
			10.4.5	Een model voor gezichtsherkenning	228

11	VISUELE AANDACHT	229	12	VISUELE WAARNEMING EN BEWUSTZIJN	237
11.1	COVERTE VERSUS OVERTE AANDACHT	229	12.1	SUBLIMINALE PERCEPTIE	237
11.2	NEURALE MECHANISMEN	230	12.2	GATEN IN ONZE WAARNEMING	238
11.3	SENSORY GAIN	230	12.2.1	Change blindness versus inattentional blindness	238
11.4	EEN OF MEER ZOEKLICHTEN?	232	12.2.2	Inattentional blindness	239
11.4.1	Locaties of objecten	232			
11.4.2	Aandacht voor niet-ruimtelijke kenmerken van een stimulus	233			
11.5	VISUEEL ZOEKEN	234	13	BESLUIT	239
11.5.1	Feature integration-theorie	234			
11.5.2	Guided search	234	14	SAMENVATTING	240
11.5.3	Het texture tiling-model	236			
11.6	DE INVLOED VAN IRRELEVANTE STIMULI	236		AANBEVOLEN LITERATUUR	242
11.6.1	Perceptuele belasting	236			
11.6.2	Attentional capture	236			

HOOFDSTUK 7

Auditieve perceptie

1	INLEIDING	245	7.3	MISMATCHDETECTIE	260
2	GELUID	245	7.3.1	De mismatch negativity	260
3	DE WERKING VAN HET OOR	249	7.3.2	De neurale basis van de mismatch negativity	261
4	DE AUDITIEVE ZENUWBANEN	251	8	AUDITORY SCENE ANALYSIS	261
5	DE AUDITIEVE CORTEX	252	9	MUZIEKWAARNEMING	263
5.1	TONOTOPIE	253	9.1	BASISPROCESSEN VAN MUZIEKWAARNEMING	264
5.2	PRIMAIRE AUDITIEVE CORTEX: TOONHOOGTE EN FREQUENTIE	253	9.1.1	Harmonie en dissonantie	265
5.3	BELT EN PARABELT: COMPLEXE GELUIDEN	254	9.1.2	Muziek en predicties	266
5.4	‘WAT’- EN ‘WAAR’-VERWERKING IN DE AUDITIEVE CORTEX	254	9.1.3	Muziekwaarneming en prosodie	267
5.5	CORTICALE PLASTICITEIT VAN DE AUDITIEVE CORTEX	255	9.2	MUZIEK EN AUDITIEVE SCÈNEANALYSE	268
			9.2.1	Melodie	268
6	EEN PREDICTIVE CODING-PERSPECTIEF OP AUDITIEVE PERCEPTIE	256	9.2.2	Shepard-toon	268
			9.2.3	Ontbrekende fundamentele frequentie en melodie-invariantie	268
7	BASALE AUDITIEVE VERWERKING	257	9.2.4	Amusie	269
7.1	LOKALISATIE VAN GELUID	257	10	DE NEURALE BASIS VOOR SPRAAKHERKENNING	269
7.2	AUDITIEVE ERP’S	259	10.1	HET SPRAAKSIGNAAL	269
			10.2	ANATOMIE	269
			10.2.1	Spraakherkenning en muziek	270
			10.2.2	Fysiologie	270

11	AUDITIEVE AANDACHT	274	11.2	OBJECTGEBASEERDE AUDITIEVE AANDACHT	276
11.1	AANDACHT ALS FILTER	274	11.3	AUDITIEF ZOEKEN	276
11.1.1	De dichotische luistertaak	274	11.4	INATTENTIONAL DEAFNESS	277
11.1.2	Historische theorieën	274			
11.1.3	Effecten van aandacht op auditieve verwerking	275	12	SAMENVATTING	277
11.1.4	Oriënteren van aandacht	275		AANBEVOLEN LITERATUUR	279

HOOFDSTUK 8

Mechanische en chemische perceptie

1	INLEIDING	281	7	NOCICEPTIE EN PIJN	297
2	EEN ONDERSCHIED TUSSEN MECHANISCHE EN CHEMISCHE PERCEPTIE	282	7.1	SOORTEN PIJN	297
3	BALANS EN LICHAAMSPOSITIE	282	7.2	PIJNHERINNERINGEN	297
3.1	HET EVENWICHTSORGAAN	282	7.3	PIJN EN BEWUSTZIJN	297
3.2	CONTROLE OVER EVENWICHT EN LICHAAMSHOUDING	283	7.3.1	Neurale mechanismen	298
4	SOMATOSENSATIE	285	7.3.2	De pijnmatrix	298
4.1	SOMATOSENSORISCHE RECEPTOREN	285	7.3.3	Aandacht en context	300
4.2	NOCICEPTIEVE RECEPTOREN	285	7.3.4	Emoties en stemming	300
4.3	GEVAARSIGNALLEN	286	7.3.5	Individuele verschillen	301
4.4	HET CENTRALE ZENUWSTELSEL	286	7.4	PIJN EN PREDICTIVE CODING	301
4.5	DE SOMATOSENSORISCHE CORTEX	286	7.5	FANTOOMPIJN	302
4.5.1	De homunculus	286	7.5.1	Perifere veranderingen	303
4.5.2	Kritiek op de homunculus	286	7.5.2	Het ruggenmerg	303
4.6	EEN LICHAAMSMODEL	286	7.5.3	Hersenstam, thalamus en cortex	304
4.7	PLASTICITEIT	289	7.5.4	Motorische feedback	304
4.8	FANTOOMLEDEMATEN	290	7.5.5	De pijngeheugenhypothese	305
5	INTEROCEPTIE	291	7.5.6	Implicaties voor de behandeling van fantoompijn	305
5.1	VISCEROCEPTIE	292	7.6	FIBROMYALGIE	305
5.2	INTEROCEPTIE EN LICHAAMSREGULATIE	292	7.7	PIJNPERCEPTIE ALS EEN GEDISTRIBUEERD SYSTEEM IN HET BREIN	306
5.3	INTEROCEPTIE, GEVOELEN EN PREDICTIVE CODING	293	8	TACTIELE PERCEPTIE EN AANDACHT	306
5.4	ZELFBEWUSTZIJN EN MULTISENSORISCHE INTEGRATIE	295	8.1	TACTIELE PERCEPTIE	306
6	PROPRIOCEPTIE	295	8.2	TACTIELE AANDACHT	307
			8.3	VISUOTACTIELE INTEGRATIE EN AANDACHT	308
			9	VISUOTACTIELE ILLUSIES	309
			9.1	DE RUBBERHANDILLUSIE	310
			9.2	DE PERIPERSONLIJKE RUIMTE	312
			10	SAMENVATTING	313
				AANBEVOLEN LITERATUUR	315

THEMA 4. INTEGRATIE

HOOFDSTUK 9

Multisensorische integratie

1	INLEIDING	319	8	KALIBRATIE	336
2	DE NEURALE BASIS VAN MULTISENSORISCHE PERCEPTIE	320	8.1	AANPASSING AAN AUDIOVISUELE ASYNCHRONICITEIT	337
2.1	ASSOCIATIEVORMING	321	8.2	SINE WAVE SPEECH	337
2.2	SUBCORTICALE ACTIVATIE	321	9	CROSSMODALE AANDACHT	338
2.3	MULTISENSORISCHE INTEGRATIE IN CORTICALE HERSENGEBIEDEN	322	9.1	INTERMODALE AANDACHT	338
2.3.1	Directe connecties tussen de sensorische cortices	322	9.2	CROSSMODALE LINKS	339
2.3.2	Multisensorische associatiegebieden	323	9.3	SPREADING OF ATTENTION	339
3	AUDIOVISUELE ILLUSIES	325	10	AANDACHT EN MULTISENSORISCHE INTEGRATIE	340
3.1	MCGURK-EFFECT	326	10.1	GEEN ROL VOOR AANDACHT	340
3.2	DE BUIKSPREKERSILLUSIE	327	10.2	AANDACHT BEÏNVLOEDT MULTISENSORISCHE INTEGRATIE	341
3.3	TIJDSVOLGORDE/ GELIJKTIGHEIDSBESLISSINGSTAKEN	328	10.3	MULTISENSORISCHE INTEGRATIE BEÏNVLOEDT AANDACHT	342
3.4	DE TEMPORELE BUIKSPREKERSILLUSIE	328	10.4	HET SAILLANTIERAAMWERK	343
3.5	ADDITIONELE-FLITSILLUSIE	328	11	PREDICTIVE CODING EN MULTISENSORISCHE INTEGRATIE	344
3.6	BOUNCE-PASS-ILLUSIE	329	12	MULTISENSORISCHE INTERACTIES GEDURENDE DE LEVENSLOOP	347
4	SYNESTHESIE	330	12.1	ONTWIKKELING	347
5	COMPUTATIONELE MODELLEN	331	12.2	ATYPISCHE ONTWIKKELING	348
6	AUDIOVISUELE DIEPTEPERCEPTIE	333	12.2.1	Schizofrenie	348
7	TOP-DOWNINVLOEDEN OP MULTISENSORISCHE VERWERKING	334	12.2.2	Autisme	348
7.1	MODALITY APPROPRIATENESS-HYPOTHESE	334	13	SAMENVATTING	349
7.2	DE ASSUMPTIE VAN EENHEID	334		AANBEVOLEN LITERATUUR	351

HOOFDSTUK 10

Perceptie-actie-integratie

1	INLEIDING	353	6	MOTORISCHE INBEELDING	381
2	DIRECTE PERCEPTIE	354	7	AANDACHT	382
2.1	OPTISCH STROOMVELD	354	7.1	AANDACHT EN OOGBEWEGINGEN	382
2.2	AFFORDANCES	355	7.2	KRITIEK OP DE PREMOTORTHEORIE	384
2.3	EVALUATIE	356	7.3	ATTENTIONAL REMAPPING	385
3	BEWEGINGSDETECTIE	356	8	SAMENVATTING	386
3.1	ILLUSOIRE BEWEGING	357		AANBEVOLEN LITERATUUR	388
3.2	BIOLOGISCHE BEWEGING	358			
3.3	ANTICIPATIE	359			
4	PERCEPTIE-ACTIECYCLI	360			
4.1	CORTICALE HIËRARCHIE	360			
4.2	PERCEPTIE-ACTIECYCLI	362			
5	VISUEEL GELEIDE ACTIE	364			
5.1	VISUOMOTORISCHE INTEGRATIE	364			
5.2	OPTIMALE-FEEDBACKCONTROLE	365			
5.2.1	Motorcontrole en oogbewegingen	366			
5.2.2	Het ontwikkelen van een motorplan	368			
5.2.3	Oog-hoofd-schoudercoördinatie	368			
5.2.4	De neurale basis voor het bepalen van hoofdpositie	370			
5.2.5	Grijpen	371			
5.2.6	Interactie tussen grijpen en reiken	371			
5.2.7	Een neuraal model voor perceptie-actie-integratie	372			
5.2.8	Besluit	373			
5.3	PRISMA-ADAPTATIE	373			
5.4	MULTISENSORISCHE INTEGRATIE	374			
5.5	SPATIËLE NAVIGATIE	375			
5.5.1	De rol van bewegingsinformatie	376			
5.5.2	Tijd tot contact	377			
5.6	PLANNING EN NAVIGATIE	380			

THEMA 5. EMOTIE EN MOTIVATIE

HOOFDSTUK 11

Motivatatie en beloning

1	INLEIDING	393	6	VERSLAVING EN STRESS	416
2	EEN EVOLUTIONAIR PERSPECTIEF	394	6.1	STRESS EN VERSLAVING	416
3	MOTIVATIETHEORIEËN IN EEN HISTORISCHE CONTEXT	396	6.2	DE INCENTIVE SENSITISATION-THEORIE VAN VERSLAVING	418
3.1	ALGEMENE FYSIOLOGISCHE PRINCIPES	396	7	BELONING EN AANDACHT	419
3.1.1	Homeostatische motivatie	396	8	AANDACHT EN AFFECT	422
3.1.2	Toestandsregulatie zonder homeostatische mechanismen	397	8.1	AFFECTIEVE SIGNIFICANTIE	422
3.1.3	Settling point-regulatie en illusoire homeostase	397	8.2	HET AFFECTIEVE-GRADIËNTMODEL	424
3.1.4	Allostase	398	9	BELONING, LEREN EN NIEUWSGIERIGHEID	424
3.1.5	Allostase en verslaving	398	10	SAMENVATTING	427
3.1.6	Drijfveren	399		AANBEVOLEN LITERATUUR	428
3.2	VERWACHTING EN BELONING	399			
3.3	HET HYDRAULISCHE-DRIJFVEERMODEL VAN LORENZ	400			
3.3.1	Drijfveerreductie en beloning	401			
3.3.2	Hedonistische beloningen	402			
3.3.3	Incentivegebaseerde motivationele concepten	403			
3.3.4	Leuk vinden versus willen	403			
4	MOTIVATIE ALS EEN EVOLUTIONAIR PREDICTIVE CODING-MECHANISME	405			
5	DE NEURALE BASIS VAN MOTIVATIONELE PROCESSEN	406			
5.1	DE ROL VAN DE ANTERIEURE CINGULATE CORTEX	407			
5.2	DE INTERACTIE TUSSEN MOTIVATIE EN COGNITIE	411			
5.3	COGNITIEVE CONTROLE EN BELONING	412			
5.3.1	Beloning en waarde	414			
5.4	DE NEURALE BASIS VAN MOTIVATIE: BESLUIT	415			

HOOFDSTUK 12

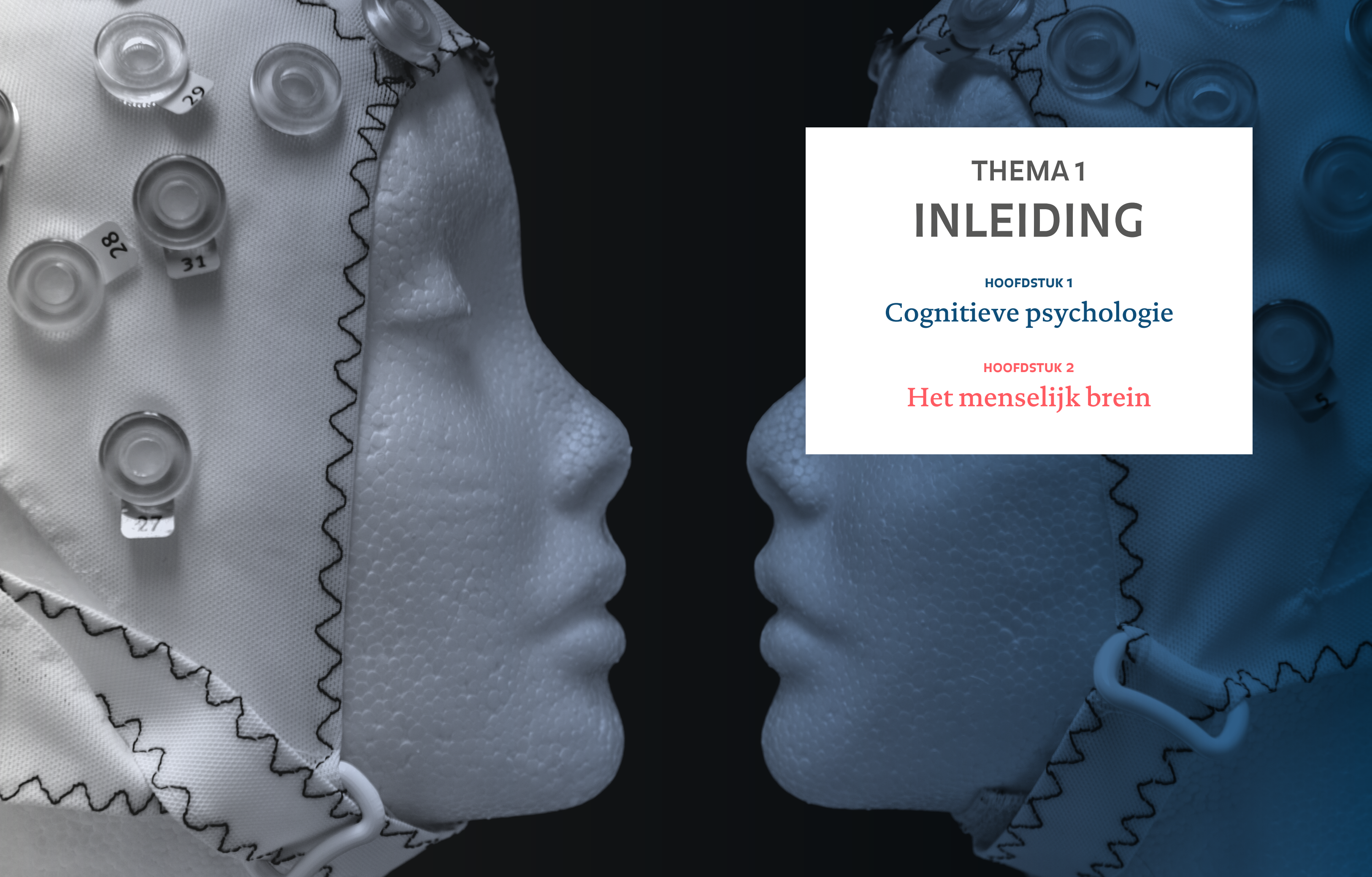
Emotie en cognitie

1	INLEIDING	431	7	EMOTIES ALS CONSTRUCTIES	447
2	EMOTIE, HUMEUR EN GEMOEDSTOESTAND	432	8	INVLOED VAN STEMMING OP COGNITIE	453
3	WAT ZIJN EMOTIES?	432	8.1	NETWERKTHEORIE	453
3.1	CATEGORISCHE BENADERING	432	8.2	AANDACHT EN GEHEUGEN	453
3.2	DIMENSIONALE BENADERING	433	8.2.1	Aandacht	453
3.3	RECENTE ONTWIKKELINGEN	433	8.2.2	Geheugen: stemmingscongruentie	455
4	EMOTIETHEORIEËN	434	8.2.3	Geheugen: het gemoedstoestandsafhankelijke geheugen	455
4.1	JAMES-LANGE-FEEDBACKTHEORIE	434	8.3	BESLISSINGSPROCESSEN	456
4.2	CANNON-BARD-THEORIE	434	8.3.1	Angst	457
4.3	DE SCHACHTER-SINGER-THEORIE	435	8.3.2	Verdriet	457
4.4	DUAL PROCESS-THEORIE	435	8.3.3	Woede	458
4.5	SOMATIC MARKER-THEORIE	436	8.3.4	Positieve stemming	458
4.6	APPRAISAL-THEORIEËN	436	9	COGNITIEVE BIASES	459
4.6.1	Bewuste appraisal	437	9.1	SCHEMATHEORIEËN VAN BECK	459
4.6.2	Onbewuste appraisal	439	9.2	AANDACHTSBIASES	460
4.6.3	Appraisal: beperkingen	440	9.3	INTERPRETATIEBIAS	461
5	TOP-DOWN- EN BOTTOM-UPVERWERKING	440	9.4	GEHEUGENBIASES	461
6	EMOTIEREGULATIE: DE INVLOED VAN COGNITIE OP STEMMING	440	9.5	GECOMBINEERDE-COGNITIEVE-BIASESHYPOTHESE	461
6.1	AANDACHTSONTPLOOIING EN COGNITIEVE VERANDERING	441	9.6	DE COGNITIEVE-KWETSBAARHEIDSHYPOTHESE	462
6.2	EFFECTIVITEIT	442	9.7	CONCLUSIE	463
6.3	HERSENMECHANISMEN VAN EMOTIEREGULATIE	442	10	SAMENVATTING	463
6.4	SLAAP EN INTRUSIEVE GEDACHTEN	444		AANBEVOLEN LITERATUUR	465

APPENDIX: BAYESIAANSE INFERENTIE	466
----------------------------------	-----

BEGRIPPENLIJST	470
----------------	-----

LITERATUUR	496
------------	-----



THEMA 1

INLEIDING

HOOFDSTUK 1

Cognitieve psychologie

HOOFDSTUK 2

Het menselijk brein

Cognitieve psychologie

De geschiedenis en thematiek van een vakgebied

1 INLEIDING

Wat beweegt ons? Deze drie simpele woorden vatten grotendeels de essentie samen van het vakgebied dat de kern van dit boek vormt: de cognitieve psychologie. Wat beweegt ons? We kunnen de vraag zowel letterlijk interpreteren als figuurlijk. Letterlijk in de zin dat ze betrekking heeft op de controle over onze motoriek; hoe we een intentie om te handelen kunnen omzetten in een actie. Figuurlijk in de zin van hoe en waarom een dergelijke intentie ontstaat.

Om te kunnen handelen moeten we uiteraard over voldoende informatie beschikken om te beoordelen hoe we een bepaalde actie het best uitvoeren. Op bijna ieder moment van de dag worden we overladen door een veelheid aan zintuiglijke prikkels en waaruit we alleen die prikkels moeten selecteren die relevant zijn. Op basis daarvan moeten we beslissen hoe we moeten handelen. We moeten dus niet alleen evalueren welke informatie relevant is, maar ook hoe we op basis van die informatie gaan handelen. De meeste situaties die we tegenkomen staan immers meerdere acties toe, en het selecteren van de juiste actie is dan ook een belangrijke opgave in ons dagelijks leven. Uiteraard zijn onze acties niet alleen maar gebaseerd op wat de zintuigen registreren. Ook eerdere ervaringen spelen een belangrijke

rol, wat impliceert dat we ook de relevante informatie die in ons geheugen opgeslagen is, moeten activeren om tot een geïnformeerde keuze te komen.

Veel van wat we doen in het dagelijks leven staat op een of andere wijze in het teken van overleven; ofwel van onszelf als individu, ofwel voor de mensheid als soort. Daarom zijn de meeste van onze acties dan ook een vorm van doelgericht gedrag. Wat we doen wordt bovendien niet alleen maar bepaald door een objectieve evaluatie van de huidige situatie; ook de mogelijke consequenties van een actie kunnen hier in belangrijke mate in doorwegen. Vaak manifesteren deze consequenties zich als emoties: een succesvolle actie kan resulteren in blijheid en een onsuccesvolle in boosheid of verdriet. Deze emoties kunnen daarmee ook onze toekomstige acties beïnvloeden en op die manier kunnen ze in belangrijke mate eveneens hun stempel op onze beslissingsprocessen drukken.

Oorspronkelijk poogden cognitief psychologen het zojuist beschreven gedrag te verklaren vanuit de veronderstelling dat menselijke cognitie te vergelijken was met de manier waarop een computer informatie verwerkt. Volgens deze visie worden relevante signalen uit de omgeving door onze zintuigen waargenomen en verwerkt door een verzameling cognitieve processen, wat uiteindelijk resulteert in een beslissing en een daarmee corresponderende actie.

Hoewel deze informatieverwerkingsbenadering zeer succesvol is gebleken in het verklaren van deelaspecten van ons gedrag, schoot die uiteindelijk in een belangrijke mate tekort. Een van de tekortkomingen is dat er sprake zou zijn van een hoge mate van eenrichtingsverkeer in de informatieverwerking. Het idee was dat de zintuigen prikkels uit de omgeving oppikken en die vervolgens doorsturen naar progressief complexere delen van het brein, waar ook steeds abstractere eigenschappen van deze prikkels zouden worden verwerkt. Dit is een voorbeeld van een **bottom-up**gedreven informatieverwerkingsmechanisme. De zintuigen zijn volgens deze klassieke informatieverwerkingsbenadering daarmee relatief passieve receptoren die signalen uit de buitenwereld registreren en doorgeven aan de interne cognitieve beslissingsprocessen. Deze benadering is echter problematisch omdat ze veronderstelt dat mensen intrinsiek passieve wezens zijn die hun acties vooral laten sturen door externe prikkels. De assumptie dat de belangrijkste informatiestroom bottom-upgedreven is, wordt nog problematischer wanneer we een groot scala aan mentale fenomenen, zoals dromen, hallucinaties of mentale inbeeldingsprocessen, willen verklaren. Dit zijn allemaal fenomenen waarbij ons brein op een of andere wijze visuele of auditieve impressies genereert, zonder dat de zintuigen hier zelf een rol van betekenis in spelen.

De meest actuele verklaringen voor cognitieve processen zijn dan ook veel meer gebaseerd op een visie waarin het brein een veel actievere rol speelt. Mensen zijn intrinsiek nieuwsgierige, explorerende wezens en ons brein is dan ook dag en nacht actief. Het is betrokken bij het creëren van een interne representatie van onze omgeving en bij het simuleren van toekomstscenario's (Thakral, Benoit & Schacter, 2017). Volgens de momenteel invloedrijke **predictive coding**-theorie (Friston, 2010; Hohwy & Seth, 2020; Walsh, McGovern, Clark & O'Connell, 2020) is ons brein dan ook continu bezig om actief interne modellen van onze omgeving te creëren (ZIE FIG. 1.1). Deze modellen kunnen worden beschouwd als mentale simulaties, die trachten te voorspellen wat er in onze omgeving zal veranderen wanneer we de ene of de andere actie uitvoeren (Smith, Badcock & Friston, 2021). De predicties die uit de modellen volgen worden, volgens dit idee, vervolgens gebruikt om specifiek die acties te selecteren die de interne fysiologische toestand van ons lichaam op lange termijn dusdanig in balans houden dat onze overlevingskansen gemaximaliseerd worden.

Predicties kunnen we zien als een voorbeeld van een **top-down**gedreven informatiestroom. Cruciaal hier is dat de gegenereerde predicties continu vergeleken worden met de informatie die de zintuigen vanuit de buitenwereld ontvangen. In die hoedanigheid worden de interne modellen van de omgeving continu geactualiseerd doordat we actief

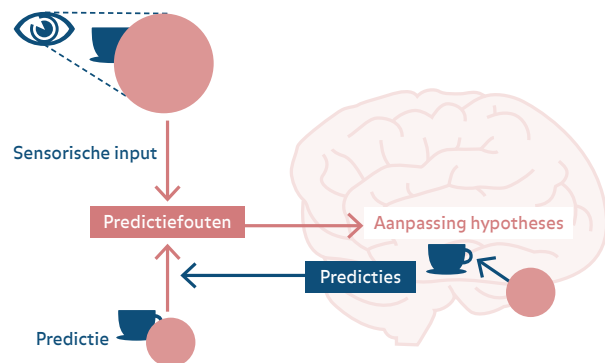


FIG. 1.1 Volgens onze huidige inzichten creëert het brein een mentale simulatie van de buitenwereld op basis van de input van onze zintuigen. Deze mentale simulaties genereren predicties over te verwachten input en deze predicties worden vergeleken met de daadwerkelijke input die we vanuit onze zintuigen ontvangen. Wanneer er een sterke discrepantie is tussen predictie en daadwerkelijke input wordt deze mismatch signaleerd en wordt op basis hiervan het interne model aangepast op basis van de sensorische input. Input die we zowel vanuit de buitenwereld ontvangen als vanuit ons eigen lichaam.

onze omgeving scannen. Dat gebeurt bijvoorbeeld doordat we onze ogen richten op locaties waar we relevante informatie verwachten. De informatie die afkomstig is van onze zintuigen wordt niet of nauwelijks verwerkt zolang er een goede overeenkomst is tussen het interne model en de sensaties die de zintuigen registreren. Wanneer echter een discrepantie optreedt met de predicties van het model, bijvoorbeeld als gevolg van een onverwachte gebeurtenis, kan de zintuigelijke input beschouwd worden als een **predictiefout** die aangeeft dat er sprake is van een discrepantie tussen model en waarneming. Op basis van de predictiefout zullen de interne modellen geactualiseerd worden.

Hoewel de basisprincipes van de *predictive coding*-theorie al tegen het einde van de negentiende eeuw werden geformuleerd door de Duitse pionier Herman Helmholtz, begon het idee dat predictie een principiële functie van het brein is, pas rond de laatste eeuwwisseling algemeen geaccepteerd te worden in de cognitieve neurowetenschappen. Twee ontwikkelingen waren hiervoor cruciaal. Allereerst beschreven twee Amerikaanse neurowetenschappers, Rajesh Rao en Dana Ballard (1999), de basale neurale processen van onze visuele waarneming, waarbij ze predictie en predictiefoutcorrectie als cruciale mechanismen identificeerden. Kort daarna beschreef de Britse neurowetenschapper Karl Friston (2003) een mogelijke mathematische basis voor een *predictive coding*-mechanisme. Sindsdien wordt het concept van *predictive coding* in toenemende mate door een steeds bredere groep cognitief psychologen en neurowetenschappers omarmd. Tegenwoordig vinden we dan ook *predictive coding*-theorieën in een steeds breder

domein van de cognitieve psychologie. In de rest van dit boek zullen we daar dan ook tal van voorbeelden van tegenkomen.

Maar, voordat we dat kunnen doen, moeten we eerst eens stilstaan bij de vraag hoe we al deze kennis over het menselijk functioneren verkregen hebben. En daaraan gerelateerd: wat is het belang van deze kennis?

2 WAAROM COGNITIEVE PSYCHOLOGIE?

In het wiskundelokaal van een vroegere middelbare school hing ooit een poster met de ironische uitspraak: *'To err is human, but to foul things up completely requires a computer'*: 'Vergissen is menselijk, maar de boel helemaal in het honderd laten lopen vereist een computer'. Deze uitspraak illustreert een aantal unieke menselijke kenmerken. Als samenleving zijn we weliswaar vernuftig genoeg geweest om geavanceerde technologieën te ontwikkelen, maar ondanks alle verfijning zijn onze technologieën nog steeds te ruw om zonder menselijke interventie te kunnen werken. Als mensen kunnen we op flexibele wijze de essentie van een bepaald probleem doorzien, terwijl computers dezelfde problemen volgens strikt vastgelegde regels aanpakken, met als gevolg dat ze tot een suboptimale of zelfs volkomen foute oplossing kunnen komen (Gigerenzer & Gray, 2017). Het doorgronden van de flexibiliteit die ons zo uniek maakt, is een van de uitdagingen van de cognitieve psychologie.

Tegelijkertijd geeft deze uitspraak ook weer dat we fouten maken, dat deze fouten soms rampzalige consequenties kunnen hebben en dat het daarom van levensbelang is dat we protocollen ontwikkelen die de consequenties van een fout tot het minimum terugbrengen. Om een voorbeeld te geven: de luchtvaart heeft de afgelopen eeuw een ongekennde impact gehad op de ontwikkeling van de mensheid. Hoewel luchtvaarttechnologie de grenzen van het mogelijke nadert, is reizen per vliegtuig nog steeds een van de veiligste vormen van transport. Deze veiligheid komt onder andere voort uit het feit dat de impact van een ramp zo groot is dat er bijzonder veel geïnvesteerd is in het ontwikkelen van veiligheidsprotocollen.¹ Hierbij is specifiek veel aandacht besteed aan het ontwikkelen van protocollen die voorkomen dat menselijke tekortkomingen tot foutieve handelingen leiden.

Een consequentie van deze protocollen is dat rampen nagenoeg nooit meer plaatsvinden als gevolg van één enkelvoudige fout of vergissing, maar bijna altijd het gevolg zijn



FIG. 1.2 De Boeing 737 van Helios Airways die enkele maanden nadat deze foto gemaakt was zou neerstorten als gevolg van het feit dat alle inzittenden door zuurstofgebrek om het leven waren gekomen. De ramp was het gevolg van een opeenstapeling van menselijke fouten die ieder op zich niet fataal waren.

van een opeenstapeling van fouten. Fouten die ieder op zich niet fataal zijn, maar die in combinatie met elkaar tot een ramp kunnen leiden. Op 14 augustus 2005, bijvoorbeeld, verongelukte een vliegtuig van de Griekse maatschappij Helios Airways, onderweg van Larnaca naar Athene, nadat de bemanning en passagiers door zuurstofgebrek buiten bewustzijn waren geraakt (ZIE FIG. 1.2).

Deze fatale crash was toe te schrijven aan het feit dat tijdens een routine-inspectie op de grond, voorafgaand aan de vlucht, de automatische regulatie van de cabine-luchtdruk uitgeschakeld was. Tijdens verschillende fases van een vlucht dienen piloten een checklist af te werken die dient te verzekeren dat dit soort fouten opgemerkt en gecorrigeerd worden, maar op deze fatale dag werd het probleem niet opgemerkt, waardoor tijdens het opstijgen lucht uit de cabine begon te ontsnappen. Zelfs dat zou nog niet fataal zijn geweest, omdat verlies van luchtdruk automatisch een alarmsignaal activeert. Dit signaal werd echter door de piloten verkeerd geïnterpreteerd, waardoor tijdens het opstijgen lucht uit de cabine bleef ontsnappen, met als gevolg dat de crew en de passagiers langzaam maar zeker het bewustzijn verloren en het vliegtuig uiteindelijk in de buurt van Athene door brandstofgebrek neerstortte (Dekker & Woods, 2010).

Uit dit voorbeeld blijkt dat het van levensbelang is om te achterhalen hoe dit soort fouten gemaakt worden. Dat is alleen maar mogelijk door te weten hoe wij mensen functioneren en door te achterhalen waar onze beperkingen liggen. Waarom misten de bemanningsleden deze belangrijke

¹ Hoewel vliegen veel veiliger is dan autorijden, hebben veel meer mensen last van vliegangst dan angst om aan het verkeer deel te nemen. Deze vertekening treedt op vanwege juist de aandacht die aan dit soort rampen wordt gegeven. De talloze dodelijke verkeersongelukken die dagelijks plaatsvinden krijgen veel minder aandacht, waardoor onze intuïtie voor deze verhoudingen sterk gebiast is.

waarschuwingen? Was het vanwege de zeldzaamheid van de gebeurtenis, omdat de schakelaar normaal gezien nooit in de ‘uit’-stand staat bij vertrek, dat de anomalie niet opgemerkt werd? Was er verwarring omdat verschillende klassen waarschuwingssignalen te veel op elkaar leken of was de bemanning overbelast tijdens een cruciaal moment van de vlucht, waardoor een belangrijk item op de checklist aan hun aandacht ontsnapte? Om dit soort vragen te kunnen beantwoorden is het essentieel dat we weten wanneer twee verschillende signalen uit elkaar gehouden kunnen worden en wanneer ze tot verwarring leiden. Ook is het belangrijk om te weten hoeveel informatie we kunnen verwerken en wat de gevolgen van mentale overbelasting zijn.

Dit voorbeeld illustreert echter slechts één aspect van de cognitieve psychologie. Naast het belang voor veiligheid op de werkvloer, heeft de studie van de menselijke cognitie nog een grote reeks aan andere belangrijke inzichten opgeleverd. Hierna volgen enkele voorbeelden die ons een beter inzicht kunnen geven in ons dagelijks functioneren.

Waarom nemen bijvoorbeeld wekelijks miljoenen mensen deel aan allerlei loterijen, terwijl een objectieve kansberekening ons leert dat de kans om iets te winnen niet opweegt tegen de vereiste inzet. Met andere woorden, wanneer de verwachte opbrengst negatief is? Een belangrijke reden hiervoor is dat statistische waarschijnlijkheden vaak niet objectief gerepresenteerd worden in ons brein, waardoor we kleine kansen vaak enorm overschatten.

Hoe kan het dat we soms de oplossing van een bizar eenvoudig probleem niet kunnen vinden, terwijl we zonder moeite complexe problemen oplossen? Onderzoek op het gebied van probleemoplossing leert ons dat dit te maken heeft met het fenomeen **Einstellung**: wanneer we ons instellen op het oplossen van een complex probleem, zullen we te veel achter een simpel probleem zoeken, waardoor we de simpele oplossing automatisch verwerpen.

Waarom worden we zo vaak afgeleid door triviale activiteiten terwijl we ons beter op een belangrijke taak zouden kunnen concentreren? Hier hebben we te maken met de fenomenen aandacht en cognitieve controle: als we de automatische processen hun gang laten gaan, zullen we automatisch reageren op de meest saillante informatie, terwijl het volbrengen van een taak nu juist vereist dat we dit soort reacties kunnen onderdrukken.

Weer andere voorbeelden betreffen fenomenen waarvoor vroeger een mystieke, spirituele of paranormale (lees: geen) verklaring zou zijn gegeven. We weten tegenwoordig dat veel cognitieve processen reconstructief zijn; dat wil zeggen dat ons brein op basis van spaarzame informatie een rijke en consistente representatie van onze omgeving en onze positie in die omgeving genereert. Wanneer deze processen in een normale wakende toestand functioneren,

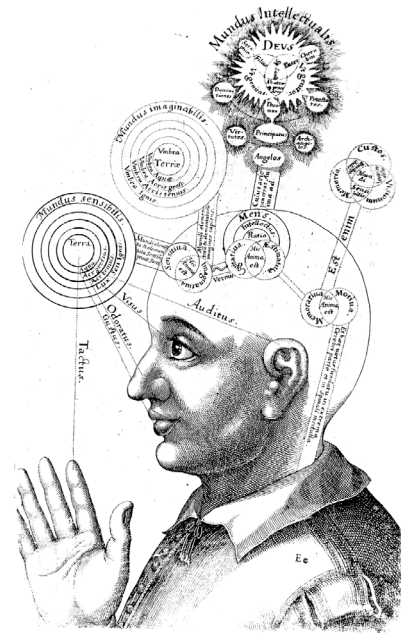


FIG. 1.3 Een illustratie van het concept bewustzijn, door de zeventiende-eeuwse illustrator Robert Fludd. Recent onderzoek wijst erop dat het bewustzijn gerelateerd is aan de integratie van informatie en dat reconstructieve processen hier een belangrijke rol in kunnen spelen. Reconstructie van herinneringen kan resulteren in mentale beelden. Ongecontroleerde en incorrect gecorrigeerde reconstructieprocessen kunnen tijdens de slaap resulteren in dromen en tijdens het waken in hallucinaties.

merken we hier meestal niets van. In sommige situaties, bijvoorbeeld bij visuele illusies, kunnen we echter ervaren dat onze cognitie een representatie genereert die conflicteert met de werkelijkheid. In extremere vorm kunnen dit soort reconstructies fenomenen zoals dromen (Llewellyn, 2016) of hallucinaties (Horga, Schatz, Abi-Dargham & Peterson, 2014; Powers, Kelley & Corlett, 2016; Schmack, Rothkirch, Priller & Sterzer, 2017) veroorzaken. Dit soort bewustzijns-fenomenen waren tot voor kort ontoegankelijk voor empirisch onderzoek, maar hebben de mensheid al eeuwenlang gefascineerd (ZIE FIG. 1.3). De cognitieve psychologie heeft ons in de afgelopen zeven decennia een fascinerende kijk gegeven in de werking van het menselijke functioneren en een schat aan praktische en fundamentele kennis opgeleverd.

3 COGNITIEVE PSYCHOLOGIE: WHAT'S IN A NAME?

In de afgelopen decennia is het vakgebied dat nu algemeen bekendstaat als de cognitieve psychologie bekend geworden onder verschillende namen. Tot in de jaren vijftig van de vorige eeuw stond het in het Nederlandse taalgebied bekend als **experimentele psychologie**. Deze naam werd echter

op voorstel van de Amsterdamse hoogleraar Bert Duijker vervangen door ‘functieleer’, omdat ook andere disciplines binnen de psychologie experimenteel onderzoek uitvoerden. Functieleer is een typisch Nederlandstalig begrip en kent geen equivalent in bijvoorbeeld het Engels of het Duits. In Angelsaksische landen werd het vakgebied vaak aangeduid met de term *psychonomics*, oftewel **psychonomie**. De term psychonomie benadrukt het kwantitatieve karakter van het vakgebied: het meten en precies in kaart brengen van de wetmatigheden van het menselijk gedrag, in tegenstelling tot het traditioneel meer beschrijvende, kwalitatieve karakter van de psychologie.

Sinds het midden van de jaren negentig is de term functieleer, met name in Nederland, in onbruik geraakt, ten faveure van het ook internationaal steeds meer geaccepteerde begrip **cognitieve psychologie**. Cognitie refereert aan het vermogen tot kennisverwerving en informatieverwerking en hangt nauw samen met denkprocessen. Hoewel de term cognitieve psychologie internationaal gezien al sinds het midden van de jaren vijftig gewoon is, is het gebruik ervan vooral sinds ongeveer 1990 steeds verder ingeburgerd, ook door de toenemende populariteit van de **cognitieve neurowetenschappen**, het vakgebied dat zich, samen met de **cognitieve neuropsychologie**, toelegt op het bestuderen van hersenprocessen die ten grondslag liggen aan cognitie. Hoewel de benamingen dus verschillende aspecten accentueren, definiëren ze tezamen feitelijk het vakgebied dat het onderwerp vormt van dit boek: de wetenschappelijke studie naar de basis van menselijk gedrag, op basis van voornamelijk experimentele methodes.

4 DE COGNITIEVE PSYCHOLOGIE ALS WETENSCHAPPELIJKE DISCIPLINE

Wat de cognitieve psychologie als wetenschappelijke discipline dus sterk onderscheidt van andere vormen van psychologie is enerzijds de focus op de basisprocessen van het denken en doen en anderzijds de nadruk op de experimentele methode. Hoewel de cognitieve psychologie ook gebruikmaakt van andere wetenschappelijke methodes, zoals quasi-experimenteel of correlatieel onderzoek, heeft de overgrote meerderheid van studies op dit gebied een experimenteel karakter. Om het gebruik van deze methodologie in grote lijnen te kunnen volgen, moeten we eerst eens stilstaan bij de vraag wat dit precies inhoudt. Daarom

eerst even een korte introductie van de wetenschappelijke benadering die de experimentele psychologie volgt.

Wetenschapsbeoefening is gebaseerd op een cyclus die een aantal stadia omvat. In eerste instantie beginnen we, vaak op basis van een aantal toevallig beschikbare observaties, met het formuleren van een mogelijke verklaring voor het fenomeen waar we in geïnteresseerd zijn. Met andere woorden, we formuleren een theorie. Deze theorie stelt ons in staat om predicties te doen over wat er zou gebeuren onder condities die we nog niet geobserveerd hebben: we formuleren, met andere woorden, hypothesen. Nu kunnen we een experiment opzetten om te verifiëren of een van die hypothesen ontkracht zou kunnen worden. Het is echter per definitie onmogelijk om theorieën te ‘bewijzen’, want zolang geen resultaten worden gevonden die conflicteren met de theorie blijft de theorie aannemelijk. Wanneer de resultaten van ons experiment in overeenstemming zijn met de theorie hebben we geen reden om te vermoeden dat er een probleem is met de theorie, maar dat sluit natuurlijk niet uit dat in de toekomst wel resultaten gevonden worden die conflicteren met de theorie. Wanneer we nu echter al resultaten vinden die conflicteren met de theorie, dan zullen we de theorie ofwel moeten verwerpen, ofwel moeten aanpassen.

Eén experiment kan om deze reden weliswaar evidentie leveren tegen een bepaalde hypothese; het kan ze nooit bevestigen. Het is pas op basis van een veelheid van studies, die gebruikmaken van verschillende methodes en benaderingen, dat een consistent beeld ontstaat van de werking van een bepaald proces of fenomeen. Dit is een voorbeeld van **convergerende operaties**: wanneer verschillende methodes, ieder met hun eigen sterktes en zwaktes, resultaten opleveren die consistent zijn met elkaar kunnen we een beeld vormen van de werking van een cognitief proces. Om deze reden is één wetenschappelijke studie, in tegenstelling tot wat de populaire media ons soms willen doen geloven, niet heel erg informatief. Dat is een van de redenen waarom de wetenschappelijke literatuur zo uitgebreid is. Een eenvoudige zoekopdracht, in bijvoorbeeld google scholar, levert voor het sleutelwoord ‘attention’ alleen al meer dan 7.6 miljoen artikelen.² Het zal dan ook duidelijk zijn dat de selectie hoeveelheid literatuur die in dit boek besproken wordt, slechts het tipje van de ijsberg is. De selectie is echter niet willekeurig, maar gebaseerd op de impact die de besproken artikelen op het vakgebied hebben gehad.

² 7.640.000 hits op 28 oktober 2025, om precies te zijn. Om je een idee te geven van de omvang van deze literatuur: als we ervan uitgaan dat een artikel uitgeprint op A4-formaat ongeveer 2,5 mm dik is, levert dat een stapel literatuur op waar je een boekenplank van 19,1 kilometer (!) lengte mee zou kunnen vullen. Vergeleken met de zoekopdracht op 22 september 2019, voor de 1^e editie is dit een toename van 1.320.000 artikelen, wat de totale lengte van de boekenplank ongeveer 3,3 kilometer heeft doen toenemen.

KADER 1.1
EEN OVERZICHT VAN BELANGRIJKE ONTWIKKELINGEN

400 jaar voor onze tijdsrekening: de Griekse filosoof Plato stelt dat het brein de zetel van logos, het rationele deel van de menselijke ziel vormt.

1011: Alhazens studie van de eigenschappen van licht verandert fundamenteel ons inzicht in de werking van het oog.

1700: publicatie van John Lockes *On the association of ideas*.

1868: de Utrechtse hoogleraar Franciscus Cornelis Donders publiceert een methode om de tijdsduur van mentale processen te meten.

1879: oprichting van het eerste psychologische laboratorium, door Wilhelm Wundt in Leipzig.

1891: eerste Belgisch psychologisch laboratorium, opgericht door Jules Van Biervliet aan de Universiteit Gent.

1892: oprichting van het eerste Nederlandse psychologische laboratorium, door Gerard Heymans, aan de Rijksuniversiteit Groningen.

1926: de ontdekking van het menselijke EEG door de Duitse psychiater Hans Berger.

1935: de Amerikaan John Ridley Stroop ontdekt dat het benoemen van de kleur waarin een woord gedrukt is vertraagt wanneer de betekenis van het woord conflicteert met deze kleur.

1940-1945: James Gibsons observaties tijdens het trainen van piloten tijdens de Tweede Wereldoorlog resulteert in de formulering van zijn directe-perceptietheorie.

1953: de Amerikaanse neurochirurg William Scoville voert een experimentele operatie uit op de dan 27-jarige Henry Molaison. Vanaf dat moment kan Molaison geen nieuwe herinneringen meer vormen.

1954: de Amerikaans-Canadese neurowetenschappers Herbert Jasper en Wilder Penfield ontdekken verschillende ritmes in het EEG, relateren die aan mentale toestanden en ontwikkelen een chirurgische procedure voor het bestrijden van epilepsie.

1954: de Britse psycholoog Donald Broadbent presenteert zijn vroege-selectietheorie van aandacht.

1956: de Amerikaanse psycholoog George Miller publiceert zijn invloedrijke paper ‘The magic number seven’ over de capaciteit van ons kortetermijngeheugen.

1968: Atkinson en Shiffrin publiceren een model voor het kortetermijngeheugen.

1969: publicatie van Saul Sternbergs additieve-factoren-methode.

1973: de psychologen Daniel Kahneman en Aron Tversky publiceren over gebiaste statistische intuïties.

1974: de Amerikaanse psychologen Barbara en Charles Eriksen publiceren over de effecten van interferentie bij een letterdiscriminatietaak.

1974: de Britse psychologen Alan Baddeley en Graham Hitch publiceren de eerste versie van hun *working memory*-model.

1977: de Amerikaanse cognitief psychologen Richard Shiffrin en Walter Schneider maken onderscheid tussen automatische en gecontroleerde cognitieve verwerkingsprocessen.

1980: Anne Treisman en Garry Gelade publiceren hun *feature integration theory* over de rol van aandacht in visueel zoeken.

1981: Roger Sperry deelt de Nobelprijs voor de fysiologie met David Hubel en Torsten Wiesel voor hun baanbrekende werk op het gebied van de neurofysiologie.

1990: de simultane ontdekking van een foutendetectie-mechanisme in het brein door de Duitser Michael Falkenstein en de Amerikaan Bill Gehring.

1990: start van het ‘decennium van het brein’ in de Verenigde Staten.

1992: de Amerikaanse neurowetenschapper Joseph LeDoux beschrijft een mechanisme waarmee emoties ons gedrag kunnen beïnvloeden.

1994: de Amerikaanse cognitief psycholoog Michael Posner suggereert het mogelijke bestaan van twee hersennetwerken die betrokken zijn bij de controle van aandacht.

1995: de Australische filosoof David Chalmers identificeert welke aspecten van het bewustzijn wel en welke aspecten niet empirisch te onderzoeken zijn.

1999: Rao en Ballard publiceren een paper die predictieve processen in het visuele systeem beschrijft.

2002: Daniel Kahneman ontvangt de Nobelprijs in de economie voor zijn cognitief-psychologisch onderzoek naar beoordelings- en beslissingsgedrag.

2005: publicatie van Karl Fristons *A theory of cortical responses*.

2011: start van de replicatiecrisis in de psychologie.

2017: de Amerikaanse neurowetenschapper Lisa Feldman Barrett ontwikkelt de *constructed emotions theory*.

2020: de wereldwijde COVID-19-pandemie dwingt onderzoekers tijdelijk om studies online uit te voeren.

2021: vanwege de sociale onrust die door de pandemie is ontstaan, is er een hernieuwde interesse in de wijze waarop mensen met waarheid omgaan.

2022: wereldwijde lancering van ChatGPT: een van de eerste succesvolle grote taalmodellen ter wereld.

2024: belangrijke theoretische ontwikkelingen die een link leggen tussen cognitieve controle en thalamo-corticale interacties.

5 DE ONTSTAANSGESCHIEDENIS
VAN HET VAKGEBIED

5.1 DE FILOSOFISCHE VERANKERING

Wat we tegenwoordig weten over het menselijk functioneren is niet van de ene op de andere dag uit de lucht komen vallen, maar kent een lange geschiedenis die waarschijnlijk al net zo oud is als de mensheid zelf (ZIE KADER 1.1 VOOR EEN OVERZICHT VAN BELANGRIJKE ONTWIKKELINGEN). Hoewel de oudste ideeën over ons ‘mens-zijn’ waarschijnlijk verloren zijn gegaan, kunnen we vanaf ongeveer het jaar 400 voor het begin van onze tijdrekening zeker de eerste bronnen vinden die hierover rapporteren. Rond die periode hield de Griekse filosoof Empedocles zich bezig met vragen over visuele waarneming (Siegel, 1959) en beargumenteerde Plato al dat het brein de zetel van logos, het rationele deel van de ziel, vormt (Crivellato & Ribatti, 2007). Empedocles veronderstelde dat we in staat zijn om de buitenwereld waar te nemen doordat onze ogen een innerlijk vuur bevatten, dat naar buiten straalt en daardoor de objecten rondom ons doet oplichten (FIG. 1.4A). De theorie dat de ogen licht emitteren (uitstralen), **emissietheorie** genaamd, bleek achteraf grandioos incorrect te zijn, maar heeft wel de basis gelegd voor baanbrekend theoretisch werk op het gebied van licht en optiek.

Het was de Arabische wis-, natuur- en sterrenkundige Ibn al-Haytham (in het Westen bekend onder de naam Alhazen) die in de jaren 1011-1012 Empedocles’ fout opmerkte en, na een intensieve studie van de eigenschappen van licht, opperde dat waarneming plaatsvindt doordat licht, dat door objecten rondom ons weerkaatst wordt, onze ogen ‘immiteert’, oftewel binnendringt (Smith, 1998). Alhazen formuleerde op basis hiervan een alternatieve theorie, die bekendstaat als de **immissietheorie**, en die vormt vandaag nog steeds de basis voor onze kennis over de werking van het oog (FIG. 1.4B).

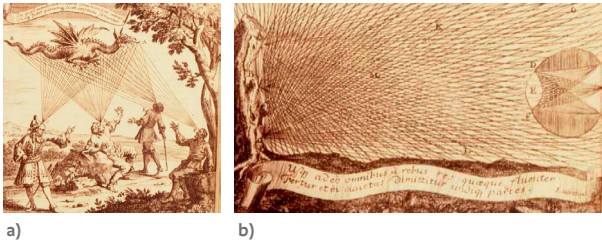


FIG.1.4 Links (a): aanvankelijk dachten Griekse filosofen dat het oog een vorm van straling uitstuurde die de objecten die we waarnamen, bescheen. Rechts (b): visuele waarneming zoals Ibn al-Haytham het zich rond het jaar 1011 voorstelde. Licht dat gereflecteerd wordt door een object wordt opgevangen door onze ogen.

Onze waarnemingen zouden volgens het **associativisme** op een of andere wijze met elkaar worden verweven. Tezamen met eerdere ervaringen en ideeën zouden op deze manier **associaties** tussen waarnemingen en gedachten worden gevormd, die de basis zouden vormen voor complexere concepten. De geschiedenis van het associativisme gaat eveneens terug tot de tijd van Plato en dan met name diens leerling Aristoteles, maar begon vooral invloedrijk te worden tegen het einde van de zeventiende eeuw, toen de Britse filosoof en arts John Locke een nieuw hoofdstuk getiteld ‘Of the association of ideas’ toevoegde aan zijn boek *Essays concerning human understanding* (Bullard, 2016). De ideeën van Locke werden verder uitgewerkt door de schotse filosoof David Hume (1739). Hume beschreef in zijn *Treatise of human nature* hoe de nabijheid van individuele sensorische impressies, zowel in tijd als in ruimte, bepalend zou zijn voor de vorming van reeksen gedachten en ideeën. Associaties waren in het werk van Hume dan ook vooral een manier om te beschrijven hoe ideeën gevormd konden worden. Hierbij werd nog in het midden gelaten welke processen er precies aan ten grondslag lagen.

Studies naar deze onderliggende processen vonden pas plaats tegen het einde van de negentiende eeuw, op basis van het werk van onder anderen de Russische fysioloog Ivan Pavlov en de Amerikaanse psycholoog Edward Thorndike. Pavlov richtte zich vooral op de vraag hoe twee onafhankelijke stimuli met elkaar geassocieerd konden worden en introduceerde het concept van **klassiek conditioneren**, terwijl Thorndike (1898) zich richtte op de vraag hoe consequenties van bepaalde keuzes een rol speelden in associatievorming. Hij was hiermee een van de eersten die het proces van **operante conditionering** bestudeerde. Operante conditionering beschrijft hoe beloning kan bijdragen aan het versterken van spontaan gevormde associaties en straf aan het verzwakken ervan. Thorndike legde hiermee de basis voor het idee van **shaping**, het proces dat beschrijft hoe gedrag door middel van specifieke straffen en beloningen steeds verder verfijnd kan worden.

5.2 DE OPRICHTING VAN
PSYCHOLOGISCHE LABORATORIA

Het jaar 1879 kan worden beschouwd als de start van de psychologie als een empirisch wetenschappelijke discipline (ZIE FIG. 1.5). In dat jaar vestigde Wilhelm Wundt het eerste officiële psychologische laboratorium aan de Universiteit van Leipzig. Wundts werk bouwde voort op dat van de eerdere Leipziger fysiologen Ernst Heinrich Weber en Gustav Theodor Fechner. Weber en Fechner gebruikten de **psychofysische** methode om wetmatigheden in onze visuele waarneming vast te stellen. Zo vond Weber bijvoorbeeld

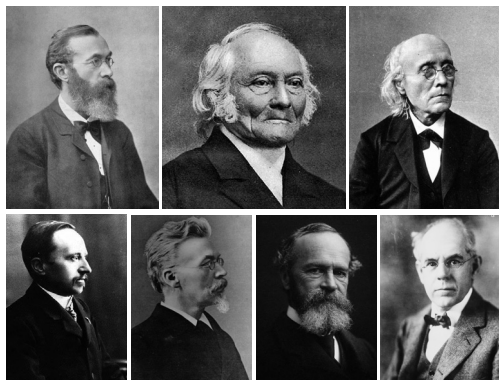


FIG. 1.5 Prominente pioniers die ertoe hebben bijgedragen de psychologie als wetenschappelijke discipline gestalte te geven. Bovenste rij, v.l.n.r.: Wilhelm Wundt, Ernst Heinrich Weber en Gustav Fechner. Onderste rij, v.l.n.r.: Jules Van Biervliet, Gerard Heymans, William James en James McKeen Cattell.

dat het kleinste verschil tussen twee objecten, wat we nog net kunnen waarnemen, lineair afhankelijk is van de grootte van deze objecten. Dit wetmatige verband staat bekend als de Weberfractie. Wundt richtte zich echter vooral op de vraag wat de essentie van bewuste ervaringen is. Mede door Wundts productiviteit ontstond tegen het einde van de negentiende eeuw een bloeiende Duitse school van experimenteel psychologen, die zich onder andere door vele internationale doctoraatsstudenten van Wundt ook snel naar het buitenland uitbreidde.

In België werd aan de Universiteit Gent in het academiejaar 1890-1891 het eerste laboratorium voor de experimentele psychologie opgericht door de filosoof Jules Van Biervliet. In 1892 richtte Gerard Heymans in Nederland eveneens een psychologisch laboratorium op aan de Rijksuniversiteit Groningen. In de Verenigde Staten wordt de filosoof William James (1842-1910) vaak beschouwd als een van de grondleggers van de psychologie. Het was echter een voormalig student van Wundt, James McKeen Cattell, die als eerste een officiële positie als hoogleraar psychologie bekleedde.

Het onderzoek in deze laboratoria beperkte zich niet tot de studie van pure mentale processen. Zo was Cattell bijzonder geïnteresseerd in individuele verschillen en in het ontwikkelen van psychologische testen om deze verschillen te meten. Wundt hield zich ook bezig met cultu-

rele psychologie en Heymans was betrokken bij de studie van parapsychologische fenomenen. Het centrale thema van de Duitse school, die later bekend zou staan als het structuralisme, bleef echter de structuur van de bewuste ervaring. Om deze structuur te achterhalen maakten Wundt en collega's regelmatig gebruik van een methode genaamd **introspectie**. Dit is een methode waarbij een proefpersoon op een zo gestructureerd mogelijke wijze moet proberen om een subjectieve ervaring te beschrijven. De methode werd vooral gebruikt door een van Wundts voormalige studenten, de Brit Edward Titchener. Hoewel introspectie tegenwoordig nog steeds in beperkte mate gebruikt wordt,³ bleek de methode, ondanks de strikte protocollen die door Titchener en collega's werden ontwikkeld, vaak ontoereikend om de gezochte structuur van een bewuste ervaring te achterhalen.

5.3 HET BEHAVIORISME

Vanwege deze ontoereikendheid kwam er vooral in de Verenigde Staten veel kritiek op het onderzoek naar mentale processen. Deze kritiek culmineerde in het artikel 'Psychology as the behaviorist views it' van John B. Watson in 1913. Watson stelde dat psychologie vooral de studie van menselijk gedrag dient te zijn en dat dit gedrag onder strikt gecontroleerde omstandigheden bestudeerd dient te worden, op een wijze die vergelijkbaar is met de manier waarop de **ethologie** diergedrag bestudeert. Net zoals het bij dieren onmogelijk is om te speculeren over interne mentale toestanden, zou de psychologie zich volgens Watson ook verre moeten houden van mentale processen. Het enige wat we kunnen controleren is de **stimulus** die we aanbieden en het enige wat we kunnen observeren is de **respons** van de proefpersoon op die stimulus; de interne cognitieve processen beschouwde Watson als een black box. De psychologie zou zich volgens Watson dan ook moeten beperken tot het beschrijven van deze stimulus-responsassociaties en het vastleggen van de wetmatigheden erin, zonder te speculeren over de interne mentale processen achter deze wetmatigheden.

Hoewel het behaviorisme enig succes heeft geboekt in het beschrijven van leerprocessen, met name van het **klassieke** en **operante conditioneren**, bleek de behavioristische benadering al snel tekort te schieten om de vol-

ledige rijkdom aan menselijk gedrag in termen van pure stimulus-responsassociaties te beschrijven. Omdat het vaak niet mogelijk was om te verklaren hoe een specifieke stimulus tot een bepaalde reactie leidde, bleek het al snel nodig om tussenstadia te formuleren: een stimulus zou in een dergelijke situatie niet direct een observeerbare respons opleveren, maar een interne respons die vervolgens weer een interne stimulus genereerde die uiteindelijk de externe observeerbare respons opleverde. In feite waren deze interne stimulus-responsassociaties verbloemde beschrijvingen van mentale processen. Het toestaan van dergelijke constructies leidde er niet alleen toe dat de deur naar de cognitieve psychologie weer op een kier werd gezet, het resulteerde feitelijk ook in het faillissement van het behaviorisme als belangrijke stroming in de psychologie.

5.4 DE COGNITIEVE REVOLUTIE

De start van een verandering die we tegenwoordig vaak omschrijven als de 'cognitieve revolutie' vond plaats tegen het begin van de jaren vijftig van de vorige eeuw (Miller, 2003). In die periode voltrokken zich een aantal bijzonder belangrijke ontwikkelingen. Edward Tolman (1948) publiceerde zijn invloedrijke werk over spatiële navigatie en introduceerde het concept van de cognitieve kaart. George Miller (1956) presenteerde zijn invloedrijke artikel 'The magic number seven' over de capaciteit van het kortetermijngeheugen. Allen Newell en Herbert Simon waren bezig een invloedrijk computermodel op het gebied van probleemoplossing te ontwikkelen genaamd *general problem solver* (zie Newell, Shaw & Simon, 1958); Bruner, Goodnow en Austin (1956) publiceerden de eerste studie over conceptvorming vanuit een cognitief-psychologisch perspectief en Noam Chomsky presenteerde zijn theorie over taal.

Overigens moet hierbij wel opgemerkt worden dat de overgang van het structuralisme, via het behaviorisme, naar de cognitieve psychologie, in werkelijkheid veel minder abrupt was dan de traditionele geschiedschrijving van de psychologie ons wil doen geloven. Veel vragen die voor de jaren vijftig werden gesteld, waren in essentie cognitief. Zo was de Amerikaanse psycholoog John Ridley Stroop in 1935 al geïnteresseerd in de mate waarin de betekenis van woorden automatisch werd verwerkt. Op een vergelijkbare wijze was de Amerikaanse bioloog Herbert G. Birch in 1945 al geïnteresseerd in de vraag of inzicht een rol speelde in probleemoplossing. Dat zijn maar een paar voorbeelden van invloedrijke cognitieve studies die in de periode tot de Tweede Wereldoorlog zijn uitgevoerd. Deze studies illustreren dat, hoewel de cognitieve psychologie op zich pas later tot zijn recht kwam, de interesse in cognitie na de initiële interesse van de Duitse structuralisten nooit helemaal ver-

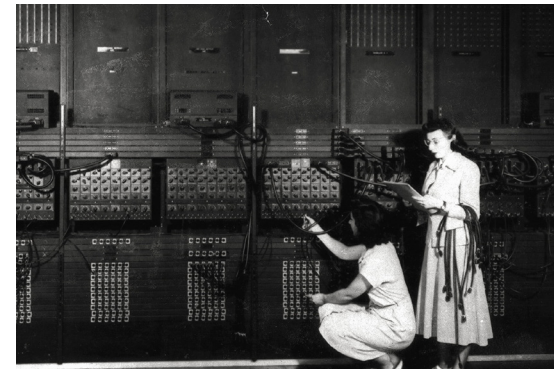


FIG. 1.6 De Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC) was een van de eerste digitale programmeerbare computers. De beschikbaarheid van dit soort computers droeg bij aan de hernieuwde interesse in cognitieve processen.

dwenen is. Om deze reden zouden we dan misschien ook beter over een cognitieve evolutie kunnen spreken, die in de jaren vijftig in een stroomversnelling terecht kwam, dan over een cognitieve revolutie.

Dat in de jaren vijftig een sterke toename in de interesse in cognitieve processen plaatsvond, staat echter buiten kijf. Waarom juist in de jaren vijftig? Hier zijn een aantal specifieke redenen voor aan te wijzen. Ten eerste bleek het behaviorisme er steeds minder goed in te slagen om gedrag te verklaren en begon het daardoor geleidelijk aan invloed te verliezen. Ten tweede was in de Tweede Wereldoorlog de ontwikkeling van de digitale technologie zo ver gevorderd dat de eerste bruikbare computers verschenen, die als metafoor voor de menselijke informatieverwerking gingen dienen (ZIE KADER 1.3). Deze computers konden op een flexibele wijze informatie verwerken doordat de instructies die ze moesten uitvoeren, opgeslagen lagen in (volgens huidige standaarden overigens zeer rudimentaire) programma's (ZIE FIG. 1.6).

Het was ook in deze periode dat het onderscheid tussen **hardware** en **software** werd gemaakt. Volgens de meest uitgesproken versie van de eerder genoemde **computermetafoor** kunnen we de menselijke informatieverwerking zien als software en het brein als de hardware waar deze software op draait. De basis voor deze metafoor wordt gevormd door het idee dat de menselijke informatieverwerking bestaat uit symboolmanipulatie. We verwerken informatie die in symbolische vorm kan worden waargenomen, opgeslagen en gemanipuleerd. Symboolmanipulatieprocessen kunnen in principe onafhankelijk van de hardware geïmplementeerd worden, waardoor cognitieve processen ook onafhankelijk leken te zijn van de neurale systemen die deze cognitieve processen uitvoerden.

Theoretische modellen die in tweede helft van de twintigste eeuw werden ontwikkeld, zijn dan ook in hoge mate

³ In studies naar bewustzijn wordt bijvoorbeeld een letter gepresenteerd op een achtergrond die zo ruzig is dat de letter in kwestie nauwelijks waar te nemen is. Wanneer proefpersonen nu in de helft van alle gevallen rapporteren de letter niet waar te kunnen nemen, spreken we over een stimulus die op de subjectieve **waarnemingsdrempel** is gepresenteerd. Dit soort vormen van subjectieve responsen zijn een vorm van introspectie. Deze introspectieve maten kunnen gebruikt worden om de hersenactiviteit die optreedt wanneer de stimulus wel bewust werd waargenomen te vergelijken met de hersenactiviteit die optreedt wanneer de stimulus niet bewust werd waargenomen.

geïnspireerd door de computermetafoor. Deze modellen namen vaak de vorm aan van stroomdiagrammen, waarin de volgorde waarin verschillende processen werden aangesproken, werd weergegeven. Een belangrijk punt van discussie in die tijd was of cognitieve verwerking strikt serieel verliep of dat er sprake was van een min of meer parallelle verwerking. Er is sprake van seriële verwerking wanneer de verschillende verwerkingsstadia elkaar strikt moeten opvolgen. Bij parallelle verwerking kunnen de verschillende verwerkingsstadia echter (deels) met elkaar overlappen. Een andere belangrijke ontwikkeling in deze periode betrof de vraag in hoeverre cognitieve processen automatisch dan wel gecontroleerd verlopen. Er is sprake van automatische verwerking wanneer een antwoord op een probleem onmiddellijk verkregen wordt en niet afhankelijk is van bijvoorbeeld taakmoeilijkheid of de complexiteit van een stimulus. Gecontroleerde verwerking vindt daarentegen plaats onder controle van aandachtsprocessen en deze vorm van verwerking wordt wel beïnvloed door taakmoeilijkheid of complexiteit van de stimulus. Met name in de jaren zeventig is veel onderzoek verricht op dit gebied (Schneider & Shiffrin, 1977; Shiffrin & Schneider, 1977).

In de periode die volgde, gedurende de jaren zeventig en tachtig, vonden belangrijke ontwikkelingen plaats die nog steeds de basis vormen van onze kennis over cognitie. Philip Johnson-Laird (1994) werkte een theorie over mentale representaties uit. Daniel Kahneman en Amos Tversky (Kahneman & Tversky, 1972, 1982a, 1982b; Tversky & Kahneman, 1973) stelden vast dat beoordelingen en beslissingen door allerhande cognitieve biases beïnvloed kunnen worden. Alan Baddeley en Graham Hitch (1974) formuleerden een model voor ons werkgeheugen. En Michael Posners (1980) ideeën over de neurale basis van aandacht vormen nog steeds een belangrijk fundament voor recent onderzoek op dit gebied.

5.5 ONBEWUSTE ASSOCIATIES

Onderzoek in de late jaren zeventig bleef zich daarnaast ook richten op de vraag in hoeverre complexe handelingen automatisch, dat wil zeggen buiten de controle van aandacht en bewustzijn om, uitgevoerd konden worden. Resultaten die in die periode verkregen werden, suggereerden dat sommige taken op basis van oefening geautomatiseerd kunnen worden. Hierbij werd verondersteld dat associatievorming een belangrijke rol speelt: door herhaling zou het brein steeds efficiënter in staat zijn om associaties te vormen tussen een bepaalde stimulus en een corresponderende actie. De vraag bleef echter in hoeverre dit proces van associatievorming complex gedrag kan verklaren.

Een van de beste voorbeelden van deze associatievorming wordt gevormd door het **primingeffect** (Meyer &

Schvaneveldt, 1971). Dit effect beschrijft hoe de verwerking van een bepaald woord beïnvloed kan worden door een ander woord dat kort daarvoor werd aangeboden. Stel dat je moet beslissen of het woord VERPLEEGSTER wel of niet een bestaand woord is. Wanneer direct voor de aanbidding hiervan een gerelateerd woord is aangeboden, zoals DOKTER, dan zien we dat deze beslissing sneller verloopt dan wanneer een ongerelateerd woord zoals PIZZA werd aangeboden. Tegenwoordig kunnen we deze resultaten verklaren door te veronderstellen dat concepten gerepresenteerd worden in netwerken van neurale activiteit en dat deze netwerken met elkaar verbonden zijn. Hierdoor zal de activatie van één concept ervoor zorgen dat vergelijkbare concepten die in ons geheugen opgeslagen zijn ook geactiveerd worden.

Hoewel deze zogenaamde semantische primingeffecten zeer robuust zijn, is het nog de vraag hoe ver het associatieproces reikt. Cognitief psycholoog en Nobelprijswinnaar Daniel Kahneman (2011) stelde in zijn bestseller *Thinking: Fast and slow* bijvoorbeeld nog dat associatievorming een aanzienlijke rol speelt in veel cognitieve processen. Sommige onderzoekers beweren dat associaties zulke extreme vormen kunnen aannemen dat ze zelfs een groot deel van ons handelen beïnvloeden. Zo zou het denken aan oudere mensen ons onbewust trager doen wandelen; zou het dragen van een ballpoint in onze mond, die ervoor zorgt dat onze lippen in een glimlach worden geforceerd, ons vrolijker doen voelen; zou het weerstand bieden tegen onze impuls om een koekje te eten onze vat op een houdgreep doen verslappen (omdat onze wilskracht opdraakt); of zou louter de aanwezigheid van een doos in onze buurt ons creatiever doen worden, omdat we letterlijk ‘out of the box’ denken! Hoewel elk van deze laatste bevindingen ten minste ooit één keer in de literatuur is gerapporteerd, en Kahneman in 2011 ook nog niet aan het bestaan ervan twijfelde, kunnen we ons afvragen hoe robuust deze laatste vormen van associaties zijn. Op deze vraag zullen we later nog uitgebreid terugkomen.

Associatievorming is volgens Kahneman veelomvattend, omdat ze ons in staat stelt om snel, efficiënt en zonder veel moeite relevante informatie uit ons geheugen op te halen en op basis van deze informatie predicties te maken over toekomstige uitkomsten. Associatievorming kan op deze manier dus beschouwd worden als een onderdeel van het top-down-predictiemechanisme. Hoewel deze associatieve predicties in de praktijk vaak bruikbare oplossingen bieden, is het probleem dat ze vaak onnauwkeurig zijn, beïnvloed kunnen worden door irrelevante aspecten van de probleemstelling, of gekleurd kunnen worden door onze eigen vooringenomenheden (Engels: **biases**).

Volgens Kahneman zijn er daarom ook twee verschillende types processen die een rol spelen in de menselijke cognitie. Het eerste proces, door Kahneman (op voorstel

van Stanovich & West, 2000) **Systeem 1** genoemd, omvat vormen van verwerking die gebaseerd zijn op snelle, onbewuste en associatieve processen. Systeem 1-processen resulteren vaak zonder veel moeite in een snelle oplossing voor een probleem. Deze oplossingen zijn echter gevoelig voor biases en beïnvloeding door irrelevante aspecten van de probleemstelling. In situaties waarin de oplossing die door Systeem 1 is geformuleerd niet voldoet, zoals het geval is bij het oplossen van logische puzzels, of bij het uitwerken van complexe redeneringen, is het mogelijk om door het rekruteren van extra mentale processen een veel nauwkeurigere oplossing te verkrijgen.

In dat geval spreekt Kahneman over **Systeem 2**-verwerking. Anders dan bij Systeem 1, is de oplossing die door Systeem 2 geproduceerd wordt veel minder gevoelig voor bias en produceert het daardoor vaak een sterk verbeterde oplossing. Deze verbetering gaat echter wel ten koste van een flinke aanspraak op de beperkte mentale verwerkingskracht. We moeten, met andere woorden, onze aandacht goed bij dit soort taken houden. Het onderscheid tussen automatische en gecontroleerde processen, zoals voorgesteld door Kahnemans Systeem 1 en Systeem 2, is essentieel en we zullen zien dat dit onderscheid met name in het thema ‘Hogere cognitie’, zoals besproken zal worden in deel 2, een prominente plaats inneemt.

5.6 DE OPKOMST VAN DE COGNITIEVE NEUROWETENSCHAPPEN

De cognitief-psychologische revolutie van het midden van de twintigste eeuw leidde een productieve wetenschappelijke benadering in die momenteel nog steeds bijzonder invloedrijk is. Veel empirische studies die in de tweede helft van de twintigste eeuw zijn uitgevoerd, zijn nog steeds relevant en een groot aantal theoretische modellen uit die tijd laten nog steeds hun invloed gelden op de cognitieve psychologie. In de periode 1990-2000 begon de pure experimenteel-psychologische traditie echter aan kracht in te boeten, ten faveure van een benadering die het mogelijk maakte om experimenteel-psychologische studies te combineren met metingen van hersenactiviteit. Met deze ontwikkeling begon ook de computermetafoor minder invloedrijk te worden. Er zijn een aantal redenen voor deze tanende invloed en de corresponderende opkomst

van de cognitieve neurowetenschappen, waarmee we hierna uitvoeriger zullen kennismaken.

Een belangrijke reden waarom de computermetafoor veel van haar oorspronkelijke invloed heeft verloren is dat cognitiewetenschappers in toenemende mate een discrepantie begonnen op te merken tussen taken waar een computer goed in is en taken waar mensen goed in zijn. Terwijl computers van oudsher goed zijn geweest in de uitvoering van taken die we gewoonlijk als ‘hogere’ cognitie beschouwen, zoals rekenen en formele logica, zijn mensen ver superieur in het herkennen van gezichten, in het analyseren van visuele informatie, of in het vinden van een weg door een doolhof; vaardigheden die we vanouds als ‘basale cognitieve vaardigheden’ omschrijven en die een sterk beroep doen op patroonherkenning.

Hoe ‘lager’ de cognitieve vaardigheid, hoe meer moeite het kost om computers die taak te laten uitvoeren.⁴ Ter illustratie: computers kunnen al sinds het midden van de twintigste eeuw perfect rekenen en logische vraagstukken oplossen. Het was echter pas in het midden van de jaren negentig dat een computer een schaakgrootmeester kon verslaan, het is pas sinds ongeveer 2015 dat auto’s op basis van een artificieel computervisiesysteem zelfstandig op de openbare weg mogen rijden en het is pas sinds een paar jaar dat ze in enkele grote steden in de Verenigde Staten van Amerika betalende passagiers mogen vervoeren. Een van de consequenties van deze realisatie is ook dat tegenwoordig de omgekeerde tendens waar te nemen is: algoritmes die worden gebruikt voor onder andere patroonherkenning, de zogenaamde **machinelearning-algoritmes**, zijn tegenwoordig gebaseerd op principes die op de neurobiologie geïnspireerd zijn (Goel, Goel & Kumar, 2022; Schmidhuber, 2015). Deze algoritmes vormen tegenwoordig ook de basis voor de grote taalmodellen (*large language models*) die de grondslag vormen voor veel generatieve-artificiële-intelligentietoepassingen, zoals het bekende ChatGPT.

Naast de realisatie dat basale cognitieve functies bizar complex zijn, groeide ook het besef dat cognitieve functies niet los gezien kunnen worden van ons lichaam. De meeste cognitieve functies zijn waarschijnlijk ontstaan om het lichaam een evolutionair voordeel te geven; om te kunnen eten, om ons te verplaatsen, om te vluchten voor of te vechten met belagers, en om nakomelingen te genereren. Hieruit kunnen we de tweede reden distilleren waarom de computermetafoor tanende is: cognitieve functies zijn onlosmakelijk

4 Dit fenomeen staat bekend als de paradox van Moravec, genoemd naar de artificiële-intelligentieonderzoeker Hans Moravec, die in de jaren tachtig, samen met zijn collega computerwetenschappers Rodney Brooks en Marvin Minsky, ontdekte dat hogere cognitieve processen veel gemakkelijker te emuleren waren door een computer dan de basale cognitieve functies.

verbonden met lichaamsfuncties. Deze realisatie heeft geleid tot de invloedrijke stroming van de **belichaamde cognitie** (Engels: *embodied cognition*), die beschrijft hoe cognitieve processen (deels) gedreven worden door de interpretatie van de signalen die ons lichaam afgeeft (Clark, 1999).

De derde reden waarom de computermetafoor haar invloed aan het verliezen is, houdt verband met de opkomst van de cognitieve neurowetenschappen, die ons in staat stellen de relatie tussen brein en cognitie te bestuderen. Deze discipline kwam in de jaren negentig tot ontwikkeling doordat diverse nieuwe technieken ontwikkeld werden die het mogelijk maken om de activiteit van het levende brein te meten en deze activiteit te relateren aan specifieke psychologische processen. Het moet echter gezegd worden: deze ontwikkeling was feitelijk ook al vanaf de jaren vijftig bezig en kan zelfs getraceerd worden tot de gedragsneurologie uit de negentiende eeuw. Het is namelijk een te simpele voorstelling van zaken om te zeggen dat er voor de jaren negentig geen cognitief hersenonderzoek werd uitgevoerd. De mogelijkheid om fysiologische signalen van het lichaam te relateren aan cognitieve processen was al sinds het begin van de cognitieve revolutie beschikbaar en heeft geresulteerd in de ontwikkeling van een vakgebied dat bekendstaat onder de naam **psychofysiologie**.

Belangrijke onderzoekslijnen binnen de psychofysiologie houden zich bijvoorbeeld bezig met de studie van de invloed van cognitieve processen op het hartritme (Rohmert, Laurig, Philipp & Luczak, 1973), de huidgeleiding (Barry, 1975) of de pupildiameter (Kahneman, Onuska & Wolman, 1968). Pioniersstudies naar de invloed van stress en mentale inspanning op hartritmevariabiliteit (Aasman, Mulder & Mulder, 1987) hebben bijvoorbeeld een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van moderne sporthorloges. De meest invloedrijke ontwikkelingen in de psychofysiologie vonden echter plaats op het gebied van de elektro-encefalografie (EEG; zie FIG. 1.7). EEG-studies hebben een bijzonder belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van dit vakgebied en hebben in de jaren zestig en zeventig met name veel bijgedragen aan onze kennis over aandacht (Hillyard & Galambos, 1967; Hillyard, Hink, Schwent & Picton, 1973; Näätänen, 1970; Walter, Cooper, Aldridge, McCallum & Winter, 1964).

Dit elektrofysiologisch onderzoek, in combinatie met de toenemende beschikbaarheid van nieuwe methoden om hersenactiviteit te meten, resulteerde gedurende de jaren tachtig in een hernieuwde interesse in de relatie tussen brein en cognitie. Dat deed een aantal Amerikaanse beroepsverenigingen voor neurowetenschappers besluiten om zich in te zetten voor het verkrijgen van extra onderzoeksgeld voor cognitief neurowetenschappelijk onderzoek. Deze inzet wierp tegen het einde van de jaren tachtig zijn vruchten af,

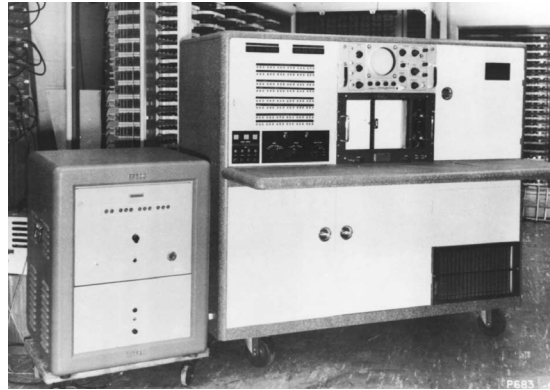


FIG. 1.7 Voorbeeld van een digitale 'average response computer' van het einde van de jaren vijftig van de vorige eeuw. Deze gespecialiseerde apparaten maakten het mogelijk om EEG-signalen te analyseren. Foto: Barlow (1997).

toen het Amerikaanse congres instemde met extra financiering voor de neurowetenschappen. Deze instemming werd op 18 juli 1990 officieel door de toenmalige Amerikaanse president George Herbert Bush bekrachtigd toen hij de jaren negentig uitriep tot het Decennium van het Brein.

5.7 DE MULTIDISCIPLINAIRE BENADERING

In het eerste decennium van de eenentwintigste eeuw veranderde de benadering binnen de cognitieve psychologie onder invloed van de hiervoor genoemde ontwikkelingen in de neurowetenschappen. Door nieuwe mogelijkheden die de neurowetenschappen boden, werden het laatste decennium van de twintigste eeuw en het eerste decennium van de eenentwintigste eeuw gekenmerkt door een sterk accent op de lokalisatie van hersenfuncties. Hoewel dit nog steeds deels het geval is, is het accent in de laatste jaren verschoven van de pure lokalisatie van hersenfuncties naar het vaststellen hoe verschillende delen van het brein samenwerken bij de uitvoering van een cognitieve taak. In deze nieuwe benadering is er sprake van een multidisciplinaire benadering, waarin cognitief psychologen, neuropsychologen, cognitieve neurowetenschappers, informatici, linguïsten, fysici en filosofen in multidisciplinaire teams samenwerken.

5.8 EEN NIEUWE ROL VOOR EMOTIE EN BEWUSTZIJN

Een tweede ontwikkeling die min of meer samenviel met de toenemende invloed van de cognitieve neurowetenschappen ontstond vanuit een hernieuwde interesse in de rol van emotie en bewustzijn in de menselijke cognitie. Onder invloed van het behaviorisme en de computermetafoor werden deze aspecten van cognitie oorspronkelijk grotendeels genegeerd.

Rond het einde van de twintigste eeuw begon de interesse in de rol van cognitieve processen in emotieregulatie toe te nemen, onder andere door de ontwikkeling van cognitieve modellen voor emotieregulatie (Davidson, 2000; Gross, 1998) en de toegenomen realisatie dat cognitieve processen en de regulatie van de interne lichaamstoestand niet los van elkaar gezien kunnen worden (Clark, 1999).

Een hernieuwde interesse in het bewustzijn begon onder andere met de realisatie dat de technieken die ons in staat stelden om hersenactiviteit aan cognitieve processen te relateren, ook gebruikt konden worden om de relatie tussen hersenactiviteit en bewustwording te bestuderen. Deze ontwikkelingen werden ingeleid door een aantal invloedrijke essays, waarvan 'Consciousness explained' van de Amerikaanse filosoof en cognitiewetenschapper Daniel Dennett (1991) een van de bekendste is. Een tweede belangrijke ontwikkeling die de hernieuwde interesse in het bewustzijn initieerde, was de paper 'Facing up to the problem of consciousness' waarin de Australische filosoof David Chalmers (1995) beschreef welke aspecten van het bewustzijn wel en welke aspecten niet toegankelijk zijn voor empirisch onderzoek.

5.9 EEN NIEUWE APPRECIATIE VOOR ACTIE EN ACTIECONTROLE

Gedurende de eerste eeuw waarin de psychologie als wetenschappelijke discipline bestond, lag de nadruk van het onderzoek vooral op de onderwerpen perceptie, aandacht, geheugen, taal en hogere cognitie, terwijl – ironisch genoeg – de meest basale vorm van psychologie nauwelijks door psychologen werd bestudeerd. Actie en actiecontrole vormen de basis voor ons gedrag, maar tot het einde van de vorige eeuw was de studie hiervan, enkele sportpsychologen daargelaten, voornamelijk het domein van de bewegingswetenschappen. Sinds het begin van de eenentwintigste eeuw is ons begrip van de neurale basis voor actiecontrole sterk toegenomen, en is ook vanuit de psychologie een hernieuwde interesse in dit onderwerp ontstaan.

5.10 DE REPLICATIECRISIS IN DE PSYCHOLOGIE

In september 2011 tekenden zich de eerste symptomen af van een crisis in de psychologie als wetenschappelijke discipline. De Nederlandse sociaal psycholoog Diederik Stapel werd toen ontslagen na onthullingen waaruit bleek

dat hij de data van minstens 55 wetenschappelijke studies had verzonnen. Hoewel de Stapel-affaire een van de meest spraakmakende – en uitzonderlijke – gevallen van wetenschappelijke fraude ooit is geweest,⁵ heeft ze indirect bijgedragen aan het besef dat er een groot probleem was ontstaan in de psychologische wetenschapsbeoefening. De commissie die de Stapel-affaire had onderzocht, onder leiding van de Nederlandse psycholinguïst Willem Levelt, had namelijk geconstateerd dat veel wetenschappers die zich wel aan de regels houden ook gevoelig zijn voor precies die biases waar ze zelf soms onderzoek naar deden. Zekere vrijheden in de keuze van de gebruikte analysemethoden konden daardoor soms leiden tot resultaten die net iets consistentere leken te zijn met de hypothese van de onderzoeker dan ze in werkelijkheid misschien waren. Om te begrijpen hoe dit kan, moeten we eerst eens nader bekijken hoe het wetenschappelijk proces werkt.

5.10.1 Wetenschapsbeoefening: een ideaal scenario

Idealiter is het een streven van de wetenschap om op een zo objectief mogelijke wijze de wetmatigheden te beschrijven die het onderwerp van studie kunnen verklaren. Zoals we eerder schetsten, gebeurt dat door middel van het doorlopen van een cyclus waarbij we op basis van een verzameling observaties een hypothese formuleren. Vervolgens kunnen we een experiment ontwikkelen om te testen of deze hypothese klopt. De uitkomsten van het experiment kunnen vervolgens weer de basis vormen voor nieuwe hypothesen en dan kunnen we weer nieuwe experimenten ontwerpen om die hypothesen te toetsen. Het probleem met deze benadering is echter dat ze in de praktijk – tot voor kort – niet goed werkte, en wel om een aantal specifieke redenen die we hierna zullen bespreken.

5.10.2 Wetenschapsbeoefening: problemen

Er zijn in de praktijk namelijk een aantal problemen met het voorgaande scenario. Het eerste probleem is dat wetenschappelijke resultaten gepubliceerd moeten worden in een wetenschappelijk tijdschrift voordat ze erkend worden en deze tijdschriften zijn niet zomaar bereid om alle resultaten te publiceren. Uiteraard worden studies waarin grove fouten zijn gemaakt geweigerd en idealiter worden deze fouten geïdentificeerd door twee of drie onafhankelijke beoordelaars (Engels: reviewers) die dit op basis van vrijwilligheid

5 Ook binnen andere wetenschappelijke domeinen komt dit soort gevallen van fraude bij hoge uitzondering voor. De spraakmakende affaire rondom koude kernfusie, de frauduleuze claim dat vaccinaties autisme zouden veroorzaken, of opzienbarende claims van het Amerikaanse bedrijf Theranos dat één speldenprik bloed voldoende zou zijn om alle mogelijk ziektes op te kunnen sporen zijn voorbeelden uit de fysica, de geneeskunde en de farmacie.

doen. Er zijn echter nog twee redenen om studies te weigeren; een wetenschappelijke en een niet-wetenschappelijke.

De wetenschappelijke reden om studies te weigeren houdt verband met het vertrouwen dat de reviewers hebben in de robuustheid van de resultaten. Deze robuustheid is vaak gerelateerd aan de methode die gebruikt wordt om te testen of een experiment al dan niet een betrouwbaar resultaat heeft opgeleverd. We kunnen dit illustreren met een voorbeeld. Stel, we willen onderzoeken of mensen 's ochtends sneller op een willekeurige stimulus reageren dan 's avonds. Hiertoe meten we bij een grote groep mensen de reactietijden op verschillende stimuli op twee verschillende momenten van de dag. Er zijn dus twee condities: een ochtendconditie en een avondconditie. We berekenen voor ieder individu voor elk van deze condities een gemiddelde reactietijd en bepalen op basis van deze individuele gemiddelden vervolgens een groeps-gemiddelde voor iedere conditie. We vinden hier een gemiddelde reactietijd van 450 milliseconden (ms) voor de ochtendconditie en van 470 ms voor de avondconditie. In eerste instantie zouden we kunnen concluderen dat mensen 's ochtends inderdaad sneller zijn dan 's avonds, maar hoe zeker zijn we van die conclusie? Als de individuele verschillen binnen iedere conditie klein zijn ten opzichte van het verschil tussen de condities, dan is het waarschijnlijk dat het verschil tussen de condities betekenisvol is. Maar, als deze individuele verschillen binnen iedere conditie groot zijn ten opzichte van het conditieverschil, dan is de kans groot dat het gevonden verschil relatief betekenisloos is. Bovendien kan het zo zijn dat een paar toevallige trage uitschieters in de avondconditie het gevonden verschil tussen de condities veroorzaken, zonder dat dit betekenisvol is. Eén individu kan bijvoorbeeld afgeleid zijn en tijdens het experiment even een telefoontje plegen, met een extreem lange reactietijd tot gevolg, die het avondgemiddelde sterk beïnvloedt. Uiteraard is deze *outlier* volledig betekenisloos, maar die kan het gemiddelde wel beïnvloeden. Om te kunnen vaststellen wat er aan de hand is, moeten we met behulp van statistische technieken achterhalen hoe robuust onze metingen zijn. Hiertoe gaan we als volgt te werk: we gaan er in eerste instantie van uit dat er géén verschil is tussen de ochtend- en de avondconditie. Dat is de **nulhypothese**.⁶ Klassieke statistische analysetechnieken stellen ons alleen in staat om te schatten hoe waarschijnlijk het is dat deze nulhypothese correct is, gegeven de data die we hebben verzameld. Met andere woorden, de technieken stellen ons in staat om te schatten hoe groot de kans is dat

het verschil tussen de twee conditiegemiddelden een toevalsbevinding is.

Wanneer we nu vinden dat de kans dat dit een toevalsbevinding is zeer klein is, mogen we de nulhypothese verwerpen. We mogen dan concluderen dat er daadwerkelijk een verschil is tussen de ochtend- en de avondmetingen en we spreken dan van een statistisch **significant** resultaat. Op basis van een enigszins arbitraire afspraak wordt hiervoor vaak een kritieke waarde van 0,05 gebruikt (m.a.w. wanneer de kans dat ons gevonden resultaat een toevalsbevinding is kleiner is dan 0,05, spreken we van een significant resultaat).

Wanneer we niet kunnen uitsluiten dat er sprake is van een toevalsbevinding, en er dus ook geen sprake is van een significant resultaat, mogen we de nulhypothese niet verwerpen, en spreken we van een **nulresultaat**. In dit geval hebben we een probleem, omdat we eigenlijk nog steeds niets weten: we hebben geen evidentie gevonden dat er een verschil tussen de condities is. Maar, de afwezigheid van evidentie is niet hetzelfde als evidentie voor de afwezigheid van een verschil. Het kan immers best zijn dat dat mensen 's ochtends wel degelijk sneller zijn dan 's avonds, maar dat onze meting niet gevoelig genoeg was om dit verschil te detecteren, bijvoorbeeld omdat we te weinig observaties hebben, of omdat onze metingen zelf niet nauwkeurig genoeg zijn. Om deze reden worden nulresultaten vaak afgewezen door wetenschappelijke tijdschriften. Dit is de wetenschappelijke reden: er is onvoldoende evidentie om conclusies te trekken.

Ook als we wel een significant effect hebben gevonden, is er echter nog een potentieel probleem. Er is immers nog steeds een kleine kans dat het gevonden verschil tussen de condities puur toevallig is. Om deze reden is het uitermate belangrijk dat gevonden resultaten **gerepliceerd** worden; het liefst door een onafhankelijk team van onderzoekers. Een groot probleem in de psychologie is dat er tot een vijftiental jaren geleden een schrijnend gebrek aan replicatiepogingen is geweest. Een belangrijke reden hiervoor is dat wetenschappelijk onderzoek in toenemende mate beïnvloed werd door commerciële motieven. Veel wetenschappelijke tijdschriften zijn in handen geraakt van grote commerciële uitgeverij die er actief op aansturen de impact van hun tijdschriften te verhogen. Hierdoor willen veel tijdschriften alleen nog maar originele studies publiceren die opzienbarende resultaten opleveren. Daarnaast worden de carrièreperspectieven van jonge wetenschappers ook in hoge mate bepaald door de mogelijkheid om originele en vernieuwende resultaten te publiceren. Dit is de niet-wetenschappelijke reden dat

studies soms niet gepubliceerd worden: het selectieve publicatiebeleid, in combinatie met de prestatiedruk op jonge wetenschappers, bevoordeelde studies die nieuwe en opzienbarende resultaten beschrijven, ten koste van studies die de kritische replicatiepogingen ondernamen. Het laatste decennium wordt echter gekenmerkt door een toenemend besef dat replicatie cruciaal is. De hiervoor geschetste problemen worden uitgebreid besproken in een toenemend aantal publicaties (Chambers, 2017; Munafo, Chambers, Collins, Fortunaro & Macleod, 2020; Ritchie, 2020) en sinds de identificatie van het probleem zijn talloze uitgebreide replicatie-initiatieven gestart, zoals het *many labs*-project en het 'Berkeley Initiative for transparency in the social sciences' (Klein et al., 2014).

Laten we het probleem van het historische gebrek aan replicatiepogingen echter nog eens nader bekijken. Vanwege een lange geschiedenis die gekenmerkt wordt door een selectief publicatie- en aanstellingsbeleid is er een reële kans dat de vakliteratuur vervuild is door opmerkelijke bevindingen die eigenlijk gewoon toevalstreffers zijn. Ook dit probleem kunnen we illustreren met een simpel voorbeeld. Stel dat we een effect willen vinden dat eigenlijk niet bestaat. Omdat we niet precies weten hoe we dit opmerkelijke effect moeten gaan meten, draaien we allerlei varianten van ons experiment. Van de twintig varianten die we bedenken, leveren negentien een nulresultaat op, maar bij een van de twintig vinden we een significant resultaat. We kunnen nu denken dat dit ene experiment het juiste experiment is, en dit resultaat laten we publiceren en de rest verdwijnt in een bureaula. Om te weten wat er echt aan de hand is, zouden de resultaten van de negentien andere experimenten echter ook gepubliceerd moeten worden. Vanwege de selectieve publicatiecultuur gebeurde dat echter vaak niet. We spreken in dit geval van een zogenaamd **file drawer**-effect. Het gebrek aan replicatie is niet alleen problematisch omdat het de interpretatie van de literatuur bemoeilijkt, het is ook problematisch omdat de carrière van individuele onderzoekers afhangt van het vinden van een opmerkelijk resultaat. Dat laatste kan ertoe leiden dat onderzoekers onbewust strategieën toepassen om de data zo te masseren dat ze net iets gunstiger uit de statistische analyse komen.⁷ Dit kan bijvoorbeeld door een aantal van de meest extreme meetresultaten uit de data te verwijderen of door een andere statistische techniek te kiezen.

Kahneman (2011) beschreef in zijn boek *Ons feilbare denken* een aantal relatief bizarre primingeffecten die eerder door andere onderzoekers gepubliceerd waren, en die later

niet gerepliceerd konden worden. Aanvankelijk beschreef hij deze studies vrij kritiekloos omdat ze pasten in zijn beeld van de psychologie. In die zin werd Kahneman misschien ook het slachtoffer van een van de biases die hij in zijn eigen werk zo eloquent had onderzocht. Kort na de publicatie ervan verschenen echter een aantal studies die er niet in slaagden de genoemde primingeffecten te repliceren. Hierna was het juist Kahneman die aan de alarmbel trok en door middel van een massale e-mail naar honderden collega's zich inzette voor een massieve replicatiepoging. Kahneman schreef in zijn mail:

For all these reasons, right or wrong, your field is now the poster child for doubts about the integrity of psychological research. Your problem is not with the few people who have actively challenged the validity of some priming results. It is with the much larger population of colleagues who in the past accepted your surprising results as facts when they were published. These people have now attached a question mark to the field, and it is your responsibility to remove it.

Op basis van de initiële replicatiepogingen, de mail van Kahneman en een felle discussie die hieruit is ontstaan, is het concept replicatie de laatste jaren opnieuw op de wetenschappelijke agenda verschenen. Wetenschappers zijn mensen en als zodanig gevoelig voor alle cognitieve biases die te bedenken zijn. Maar wetenschappers zijn ook creatief in het bedenken van procedures die voorkomen dat ze juist ten prooi vallen aan dit soort biases. Geïnspireerd door deze recente ontwikkelingen zijn dan ook een groot aantal initiatieven opgestart om de kwaliteit van het wetenschappelijke proces te waarborgen. Een van de belangrijke – en zware – taken die de psychologie de komende decennia op zich zal moeten nemen, zal bestaan uit het vaststellen welke psychologische fenomenen echt robuust zijn en welke achteraf toevalstreffers bleken te zijn.

De voorgaande sectie heeft misschien een wat somber beeld van de psychologie geschetst, maar dat beeld moeten we toch nuanceren. Hoewel er zeker problemen zijn geweest, zou misschien een beeld kunnen ontstaan van slordige wetenschappers die voor hun fouten terechtgewezen moeten worden. Dat laatste is zeker niet het geval. Ten eerste zijn er momenteel volop initiatieven gelanceerd om de geschetste problemen te voorkomen (zie verder). Daarnaast zullen resultaten die achteraf niet te repliceren zijn, gaandeweg hun impact verliezen. Dat conclusies achteraf niet juist blijken te zijn, zou ook niet mogen leiden

⁶ Het alternatief voor de nulhypothese, namelijk de veronderstelling dat er wel een verschil tussen de condities is (wat eigenlijk onze werkelijke hypothese is), staat simpelweg bekend als de alternatieve hypothese.

⁷ Afgezien van de Stapel-affaire en enkele andere spraakmakende fraudezaken is in de voorkomende zaken geen sprake van opzettelijke manipulatie of bedrog, eerder van onbewuste beïnvloeding, die ingegeven is door een oprechte overtuiging dat het gezochte effect ook echt bestaat

tot reputatieschade voor de auteurs die de oorspronkelijke resultaten hebben gerapporteerd; met name wanneer het onderzoek zelf naar eer en geweten is uitgevoerd. De interpretatie van onderzoeksgegevens is immers altijd intrinsiek verbonden met onzekerheid en eerdere conclusies kunnen altijd op basis van voortschrijdend inzicht bijgesteld worden. Wetenschappelijk onderzoek moet daarom ook altijd plaatsvinden in een open omgeving waar ideeën en resultaten in vrijheid gedeeld moeten kunnen worden, en waar de vrijheid moet heersen om ideeën na te jagen die achteraf niet blijken te kloppen. Maar, in de wetenschap moet ook de vrijheid heersen om deze ideeën te mogen bekritisieren.

Openheid en toegankelijkheid zijn dan ook belangrijke kernwaarden van wetenschappelijk onderzoek. De ontwikkeling van het internet heeft vanaf het midden van de jaren negentig ook op diverse vlakken een belangrijke bijdrage geleverd aan open communicatie. Een van die ontwikkelingen is bijvoorbeeld de oprichting van het **Center for Open Science** (COS; <https://cos.io>) en het bijbehorende *open science framework* (OSF). Het COS is een website waar onderzoekers onderzoeksprojecten kunnen registreren, de ruwe onderzoeksgegevens kunnen opslaan, tezamen met de exacte protocollen die gebruikt zijn voor de data-analyse. Dat laatste gebeurt meestal in de vorm van scripts die door de analysesoftware gebruikt worden om de ruwe gegevens te verwerken. Wanneer zowel de ruwe gegevens als de scripts via een dergelijk onlineplatform beschikbaar worden gesteld, kunnen andere onderzoekers altijd verifiëren of de analyses correct uitgevoerd zijn en of ze overeenkomen met de wijze waarop de oorspronkelijke onderzoeksgroep ze beschreef. Hierbij is het belangrijk dat de gebruikte methodes worden geregistreerd voordat de data verzameld worden, omdat daardoor wordt uitgesloten dat discrepante resultaten leiden tot keuzes die oorspronkelijk niet gepland waren.

Een tweede belangrijke ontwikkeling is dat het internet onderzoekers de mogelijkheid biedt tot wereldwijde samenwerkingen. Dit biedt bijvoorbeeld de mogelijkheid om gelijktijdig onderzoeksresultaten in meerdere laboratoria te verzamelen. Door resultaten te vergelijken die op verschillende locaties in de wereld zijn verkregen, kunnen belangrijke inzichten over de generalisatie van resultaten worden verkregen, waardoor bijvoorbeeld bepaald kan worden in hoeverre bepaalde resultaten cultuurspecifiek zijn. Ook stelt het onderzoekers in staat om massaal belangrijke onderzoeksresultaten te repliceren, zoals dat bijvoorbeeld gebeurt in het al eerder beschreven *many labs*-initiatief.

Het internet stelt onderzoekers eveneens in staat om gezamenlijk nieuwe onderzoeksmethoden uit te werken en hiervoor gezamenlijk ook de software te ontwikkelen. Een belangrijk concept hier is **open source**. Open source

wil zeggen dat onderzoekers de programmacode van zelfgeschreven software met elkaar delen, op een zodanige wijze dat meerdere onderzoekers gezamenlijk aan de ontwikkeling van nieuwe software werken en elkaars werk kunnen controleren. Voorbeelden van een dergelijke ontwikkeling zijn het programma *R* (R core team, 2024) en het bijbehorende pakket *RStudio* voor de (statistische) analyse en grafische weergave van onderzoeksgegevens, en *PsychoPy* (Peirce et al., 2019) voor de aansturing van psychologische experimenten.

Ten slotte heeft de replicatiecrisis er ook toe geleid dat onderzoekers opnieuw de beperkingen van klassieke onderzoeksmethodes hebben geëvalueerd. Zoals eerder beschreven zijn de klassieke statistische methodes niet geschikt om evidentie voor een bepaalde theorie te vinden en kunnen ze alleen een inschatting maken van hoe waarschijnlijk het is dat we de nulhypothese moeten verwwerpen. Daarnaast kunnen de klassieke methodes ook geen evidentie ten faveure voor de nulhypothese vinden. Strikt genomen is dit een bizarre situatie, als we bedenken dat er al een eeuwenoude methode bestaat die dat wel kan. Al meer dan 250 jaar geleden beschreef de Britse predikant en logicus Thomas Bayes een theorema dat bepaalt hoe we onze inschatting van de kans op een bepaalde gebeurtenis zouden moeten aanpassen op basis van nieuwe evidentie (ZIE APPENDIX). Deze bayesiaanse benadering is de laatste decennia met een spectaculaire comeback bezig. Binnen de data-analyse worden de bayesiaanse modellen tegenwoordig in toenemende mate gebruikt om te discrimineren tussen de nulhypothese en de alternatieve hypothese en ook om te bepalen hoe sterk de evidentie ten gunste van de nulhypothese is. Deze berekeningen kunnen met de eerder genoemde *R*-software worden uitgevoerd, maar ook door het speciaal hiervoor ontwikkelde *JASP* (*JASP Team*, 2024).

5.11 COVID-19 EN VERDER: CRISIS EN OPPORTUNITeiten

Aan het begin van dit decennium werden we getroffen door de uitbraak van een wereldwijde pandemie. Zoals de rest van de samenleving probeerde zich aan te passen aan een nieuwe realiteit, zo moesten ook cognitief psychologen hun methoden aanpassen. Dit gebeurde bijvoorbeeld via een versnelde overstap naar online-experimenten die proefpersonen vanuit een veilige thuisomgeving konden uitvoeren. De pandemie bracht echter ook nieuwe en unieke mogelijkheden om onderzoek uit te voeren. Zo was er veel sociale onrust en werd een deel van de bevolking wereldwijd getroffen door een diep wantrouwen in de overheid en de medische wetenschap. Dit riep specifieke vragen op: hoe kunnen mensen bijvoorbeeld gemotiveerd worden om vrij-

willig deel te nemen aan vaccinatieprogramma's (Chevallier, Hacquin & Mercier, 2021) en waarom beschouwden sommigen alle aan COVID-19-gerelateerde informatie als fake news (Pennycook & Rand, 2021)?

De huidige tijdsgeest, waarin nieuws ons sneller bereikt dan ooit tevoren, en waarin sociale media nadrukkelijker dan ooit een prominente rol spelen in ons dagelijkse leven, brengt dan ook nieuwe uitdagingen voor de psychologie als wetenschap. Vandaag zijn politieke standpunten vaak sterk gepolariseerd en de vraag hoe mensen een opinie vormen en hoe ze daarbij hun opinies laten beïnvloeden door biases is momenteel bijzonder actueel. Bovendien wordt het steeds gemakkelijker om door middel van generatieve AI-toepassingen de opinie van mensen te beïnvloeden en het is de vraag wat de impact van dit soort toepassingen op de menselijke informatieverwerking is. Deze vragen zullen het wetenschappelijk onderzoek in de komende decennia ongetwijfeld in sterke mate beïnvloeden. We kunnen ons dan ook afvragen in hoeverre menselijke cognitie constant blijft over de tijd. Opinies en morele waarden veranderen over tijd en dit roept de vraag op in hoeverre basale menselijke cognitieve processen constant blijven over de eeuwen heen (Muthukrishna, Henrich & Slingerland, 2021). Vanuit dit perspectief is het ook interessant om eventuele veranderingen in de tijd te volgen.

Een hieraan gerelateerde ontwikkeling is het besef dat deelnemers aan psychologische studies vaak niet representatief zijn voor de mensheid als geheel. Historisch gezien waren de meeste proefpersonen die aan psychologisch onderzoek deelnamen *WEIRD* (*Western, Educated, Industrialized, Rich, and Democratic*). Om een betere representativiteit te bewerkstelligen is er daarom de laatste jaren sprake van een sterkere bewustwording van de noodzaak om meer inclusieve en diversere steekproeven te verkrijgen.

5.12 VOORUITBLIK

Hoewel verre van compleet, heeft het voorgaande een kort historisch overzicht gegeven van de ontwikkeling van de cognitieve psychologie, vanaf de oudheid tot recente ontwikkelingen. Deze ontwikkelingen zijn nog volop gaande en we mogen in de komende decennia dan ook interessante ontwikkelingen verwachten. Zo biedt het *predictive coding*-raamwerk bijvoorbeeld een kader om de link tussen brein, cognitie en gedrag verder te verstevigen en om de rol van emoties en gemotiveerd gedrag te verklaren vanuit één centraal theoretisch kader. Hoewel momenteel nog enkele details ontbreken om deze link volledig te kunnen begrijpen, begint modern onderzoek deze leemtes steeds verder op te vullen (Pezzulo, Parr & Friston, 2022). De cognitieve psychologie is, met andere woorden, spannender dan ooit.

6 EEN MULTIDISCIPLINAIR PERSPECTIEF

Zoals in het historisch overzicht werd beschreven, is onze kennis over de menselijke cognitie tegenwoordig grotendeels gebaseerd op een multidisciplinaire benadering, waarin cognitief psychologen, cognitieve neurowetenschappers, neuropsychologen, wis- en natuurkundigen, linguïsten en filosofen participeren. In de volgende delen zullen we deze bijdragen nader beschouwen.

6.1 COGNITIEVE PSYCHOLOGIE

Aanvankelijk bestond bijna alle onderzoek op het gebied van menselijke cognitie uit gedragsexperimenten die onder gecontroleerde omstandigheden werden uitgevoerd bij neurotypische proefpersonen. Hierbij zijn de reactietijd (*KADER 1.2*) of de accuratesse (*KADER 1.4*) van de proefpersoon vaak de belangrijkste afhankelijke maten. Vanuit deze traditie zijn ingenieuze experimenten bedacht die ons veel geleerd hebben over de processen die betrokken zijn bij onder andere aandacht, waarneming, geheugen en het denken en redeneren.

Een belangrijke uitdaging bij cognitief gedragsonderzoek bestaat eruit taken te ontwikkelen die puur zijn. De meeste van onze cognitieve taken vereisen een mix van verschillende processen, wat de interpretatie van een experiment vaak bemoeilijkt. Stel dat we willen onderzoeken hoe goed een respons, die al in voorbereiding is, nog onderdrukt kan worden. Om deze vraag te onderzoeken kunnen we een experiment opzetten, waarbij een stimulus op een beeldscherm verschijnt, en waarbij we zo snel mogelijk een beslissing moeten nemen over deze stimulus. We presenteren bijvoorbeeld een plaatje van een groen figuurtje. De taak is om zo snel mogelijk met de linkerhand te reageren wanneer dit figuurtje naar links wijst en met de rechterhand wanneer het naar rechts wijst.

Soms verschijnt een rood figuurtje kort na aanbidding van het groene. Dat is een teken dat we niet meer mogen reageren en we moeten dus de respons die we al aan het voorbereiden waren afbreken. Wanneer dit rode figuurtje kort na het groene figuurtje verschijnt, is dat over het algemeen geen probleem. Wanneer het rode figuurtje echter pas heel laat verschijnt, zullen we merken dat het bijna onmogelijk is om de respons nog te onderdrukken en zullen we toch nog reageren. Door de tijd tussen de aanbidding van het groene en het rode figuurtje te variëren kunnen we vaststellen wanneer we nog net in staat zijn om een voorbereide respons te onderdrukken.

Dit experiment, dat ook bekendstaat als de stopsignaaltask, is de basis voor veel studies op het gebied van responsinhibitie (Verbruggen & Logan, 2008). Om de

resultaten goed te kunnen interpreteren, moeten we ons echter bewust zijn van een aantal factoren die de uitvoering van deze taak kunnen beïnvloeden. Beïnvloedt de presentatie van de tweede stimulus bijvoorbeeld de verwerking van de eerste stimulus? Of gaan proefpersonen bijvoorbeeld trager reageren wanneer ze verwachten dat een stopsignaal kan worden gepresenteerd? Om deze factoren uit te sluiten, moeten we een aantal controle-experimenten opzetten. Zo kunnen we bijvoorbeeld gebruikmaken van een toontje in plaats van een rood figuurtje als stopsignaal, of kunnen we proefpersonen extra belonen voor snelle reacties, waardoor we de invloed van externe stimuli of van motivationele processen op dit stopproces kunnen bestuderen.

Een belangrijke kracht van cognitief gedragsonderzoek is dat het de basis heeft gevormd voor ons begrip van de menselijke cognitie. De meeste invloedrijke theorieën in de cognitieve psychologie zijn ontwikkeld op basis van dit type onderzoek. De cognitieve neuropsychologie heeft zich pas kunnen ontwikkelen nadat op basis van cognitieve theorieën duidelijkheid ontstond over welke stoornissen theoretisch relevant waren. Op vergelijkbare wijze vormen cognitief-psychologische theorieën eveneens de basis voor ontwikkelingen in de cognitieve neurowetenschappen.

Ondanks de hiervoor genoemde bijdragen kent het cognitieve gedragsonderzoek ook een aantal beperkingen.

Iemands gedrag kan in de laboratoriumsituatie bijvoorbeeld sterk afwijken van dat van het dagelijks leven. De gegevens die we in een dergelijk experiment verkrijgen, zijn dan ook moeilijk te generaliseren naar het dagelijks leven. In een dergelijk geval is er sprake van een beperkte ecologische validiteit. Een tweede beperking is dat we vaak alleen maar kunnen meten hoelang een reactie duurt, en of die fout of juist is. Deze reactietijd en accuratessesmaten leveren alleen maar indirecte evidentie voor de onderliggende cognitieve processen. Een derde beperking is dat de theorieën in veel gevallen in zeer algemene termen beschreven worden, waardoor ze feitelijk te vaag zijn om zeer specifieke predicties voor vervolgonderzoek te genereren.

Een vierde beperking, ten slotte, is dat de resultaten van een bepaalde taak of van een bepaald paradigma heel erg specifiek zijn en niet, of nauwelijks, generaliseren naar andere experimenten of paradigma's. We spreken in dit geval over paradigmaspecificiteit. Een gevaar van paradigmaspecificiteit is dat het experiment niet meer dient als gereedschap om een cognitief proces te onderzoeken, maar als een doel voor onderzoek op zich. Met andere woorden, nieuw onderzoek wordt in dergelijke gevallen vooral opgezet om de beperkingen van het paradigma te leren kennen en in mindere mate om nog iets te leren over de achterliggende cognitieve processen.

onderzoeker in geïnteresseerd is. De tijdsduur van één specifiek proces kan hierbij geschat worden door de complexiteit van één specifieke component van de taak te manipuleren.

Bijvoorbeeld, je presenteert een set van vier willekeurige letters en vraagt aan de proefpersoon die te onthouden. Na een paar seconden presenteert je opnieuw een letter (de zogenaamde **teststimulus**) en de proefpersoon moet aangeven of deze letter onderdeel was van de eerdere set, door zo snel mogelijk op een knop te drukken. Je kunt nu het effect van geheugenbelasting onderzoeken door de proefpersoon te instrueren om ofwel maar een deel van de aangeboden letters te onthouden, ofwel de volledige reeks. Hoe meer stimuli je moet onthouden, hoe langer het zal duren voordat je kunt reageren. Ook kun je het effect van de duur van het onthouden onderzoeken door de tweede stimulus ofwel na 2 seconden ofwel pas na 4 seconden te presenteren. Ten slotte kun je het effect van visuele waarneming onderzoeken door de teststimulus meer of minder ruizig te maken. Omdat je al deze factoren onafhankelijk van elkaar kunt manipuleren, kun je ook onderzoeken of de verschillende cognitieve processen elkaar beïnvloeden. Je mag verwachten dat hoe ruiziger een stimulus is, hoe langer het duurt eer je hem goed waargenomen hebt, maar is dit effect afhankelijk van de mate waarin je geheugen belast is? Indien dat het geval is, zul je verwachten dat onder een hoge geheugenbelasting het effect van ruis groter is dan onder een lage geheugenbelasting.

Om een betrouwbare schatting te verkrijgen van dit soort processen moeten we rekening houden met het feit

dat tijdens de metingen allerlei verstorende invloeden een rol kunnen spelen die onze metingen kunnen beïnvloeden, maar die feitelijk niet echt ter zake doen. Zo kan het gebeuren dat we toevallig even met onze ogen knipperen tijdens de aanbieding van een stimulus, of dat we toevallig even afgeleid worden door een gedachte of door een onverwachte beweging van de proefleider. Om dit soort storende invloeden zo veel mogelijk uit te sluiten, proberen we de schatting van de metingen betrouwbaarder te maken door ze een aantal keren te herhalen en de resultaten van deze metingen te middelen. Iedere individuele meting die in het experiment uitgevoerd wordt, omschrijven we met de term **trial**.

Een belangrijke assumptie in deze benadering is dat de gemiddelde reactietijd over een aantal trials een schatting is van de tijdsduur van het proces waarin we geïnteresseerd zijn, terwijl de variatie van de individuele reactietijden beschouwd wordt als ruis. Hoewel deze benadering over het algemeen valide is, kunnen we ons afvragen of dat altijd terecht is: stel dat je een complexe beslissing moet nemen, dan kan je beslissingstijd sterk afhangen van de snelheid waarmee je evidentie voor de ene dan wel de andere keuze verzamelt, informatie die in de variatie van je reactietijden gereflecteerd wordt. Een methode die gebruikmaakt van deze variatie is het zogenaamde driftdiffusiemodel (Ratcliff & McKoon, 2008), waarin de variantie in de reactietijden gebruikt wordt als schatter voor de wijze waarop we evidentie verzamelen die kan leiden tot een specifieke keuze.

KADER 1.2 MENTALE CHRONOMETRIE: DE STUDIE VAN REACTIETIJDEN

Een belangrijke doorbraak in de studie van menselijke cognitie komt voort uit de realisatie dat cognitieve processen niet instantaan plaatsvinden, maar tijd vragen. Deze realisatie volgde uit het pionierswerk van Herman von Helmholtz, die er als eerste in slaagde de snelheid van zenuwimpulsen te meten. De eerste succesvolle metingen van het menselijk reactievermogen werden uitgevoerd door de Utrechtse hoogleraar Franciscus Cornelis Donders (zie Draaisma, 2002). Donders (1868) paste een methode toe die in essentie zeer eenvoudig is: samen met zijn student De Jaager bevestigde hij een elektrode aan de linker- en de rechtervoet van een proefpersoon, waardoor een lichte schok kon worden toegediend. De schok startte tevens een chronometer. De proefpersoon kreeg de instructie zijn hand te bewegen in de richting van de schok, waardoor een elektrisch circuit onderbroken werd wat de chronometer weer stopte.

Vooraf werd de proefpersoon al verteld aan welke voet de schok zou worden toegediend, zodat de reactietijd van de proefpersoon de waarneming van – en de reactie op – de schok zou reflecteren. In een tweede conditie werd de schok willekeurig aan de linker- of rechtervoet aangeboden, zodat de proefpersoon nu ook moest beslissen in welke richting hij zijn hand moest bewegen. Donders en De Jaager merkten op

dat de reactietijd nu groter was en schreven dit verschil toe aan de extra stap die genomen moest worden: het nemen van de beslissing om de hand naar links of naar rechts te bewegen. Deze benadering staat bekend als de **subtractiemethode**: de tijdsduur van een psychologisch proces (in dit voorbeeld het maken van de keuze tussen links of rechts) wordt geschat door in één experimentele conditie wel een beroep te doen op dit proces en in een tweede conditie er geen beroep op te doen. De tijdsduur van het proces in kwestie wordt dan verkregen door de gemiddelde reactietijden van de tweede conditie van die van de eerste conditie af te trekken.

Hoewel de subtractiemethode gebruikt kan worden om de tijdsduur van diverse psychologische processen te schatten, kleefte er wel een belangrijke tekortkoming aan: er zijn namelijk altijd twee verschillende taken nodig en het is bijna onmogelijk om zuivere taken op te stellen; dat wil zeggen taken die op slechts één aspect na identiek zijn. Om dit probleem te omzeilen is de subtractiemethode in de jaren vijftig en zestig langzaam in onbruik geraakt ten gunste van een verbeterde versie ervan: de **additieve-factorenmethode** (Sternberg, 1969). De belangrijkste verandering is dat er nu slechts sprake is van één taak die een beroep doet op alle cognitieve processen waar de

6.2 COGNITIEVE NEUROWETENSCHAPPEN

De cognitieve neurowetenschappen proberen cognitieve processen te begrijpen door het levende brein te bestuderen. Hoewel EEG-onderzoek ons sinds de jaren vijftig van de twintigste eeuw al veel heeft geleerd over cruciale hersenfuncties, is onze kennis over het brein sinds de jaren negentig exponentieel toegenomen door de ontwikkeling van een groot scala aan technieken die het mogelijk maakten om de werking van het brein op een **non-invasieve** manier in kaart te brengen. Dat kan gebeuren door ofwel de elektromagnetische signalen die het brein produceert te meten, waardoor van milliseconde tot milliseconde veranderingen in hersenactiviteit gevolgd kunnen worden, ofwel door de veranderingen in doorbloeding van het hersenweefsel te meten, waardoor tot op een paar kubieke millimeter bepaald kan worden waar in het brein activatieveranderingen optreden. Door deze veranderingen in hersenactivatie te relateren aan gedrag kunnen we nieuwe inzichten in cognitieve processen krijgen.

6.2.1 Technieken

De eerste van de nieuwe technieken die in de jaren negentig beschikbaar werd, was positronemissietomografie (PET; zie KADER 4.3). Hiermee kan de glucose-opname in

verschillende hersengebieden gemeten worden, wat ons in staat stelt vast te stellen waar in het brein de activiteit toeneemt ten gevolge van een cognitieve activiteit. Deze techniek heeft gedurende een relatief korte tijd bijzonder veel bijgedragen aan onze kennis over aandacht (Corbetta, Miezin, Dobmeyer, Shulman & Petersen, 1991) en de werking van het visuele systeem (Kosslyn, 1999). Hoewel positronemissietomografie een korte bloeitijd heeft doorgemaakt, wordt deze techniek nu nog maar in een aantal specifieke situaties toegepast. De reden hiervoor is dat de techniek nogal omslachtig in gebruik is en daardoor slechts beperkt inzetbaar is.

Rond het begin van de eenentwintigste eeuw is positronemissietomografie daarom ook bijna volledig vervangen door een andere techniek: de functionele *magnetic resonance imaging* (fMRI)-techniek (zie KADER 2.2). Deze techniek werkt op basis van magnetisme en radiopulsen en is ook in staat de zuurstofopname in het brein te meten. Op die manier stelt deze techniek ons ook in staat om te bepalen welke gebieden in het brein actiever worden ten gevolge van cognitieve processen.

Twee andere technieken die in deze periode hebben bijgedragen aan de opkomst van de cognitieve neurowetenschappen zijn magneto-encefalografie (MEG) en

transcraniële magnetische stimulatie (TMS). Het magneto-encefalogram is de magnetische tegenhanger van het elektro-encefalogram (EEG). Iedere elektrische stroom produceert een corresponderend magnetisch veld, waardoor we met een magnetometer in principe dezelfde activiteit kunnen meten als met EEG. Magneto-encefalografie heeft echter als voordeel dat de magneetvelden niet door de schedel worden vervormd, zoals dat bij elektro-encefalografie wél het geval is (ZIE KADER 2.3). Om deze reden kan de oorsprong van het magneetveld beter in het brein gelokaliseerd worden dan het geval is bij elektro-encefalografie. Het is echter een misvatting om te veronderstellen dat MEG qua techniek superieur is aan EEG (Srinivasan, Winter & Nunez, 2006). MEG is in staat om bronnen van hersenactiviteit op te pikken die met EEG niet goed gemeten kunnen worden en vice versa.

Hoewel MEG nog steeds gebruikt wordt heeft het, ondanks de vele voordelen, EEG-onderzoek dan ook niet vervangen. Er vindt tegenwoordig nog steeds veel meer EEG-onderzoek plaats dan MEG-onderzoek. Een van de belangrijkste redenen hiervoor is het kostenaspect. Klassieke magnetometers zijn zeer gevoelig voor elektromagnetische ruis en moeten daarom tot bijna het absolute nulpunt worden gekoeld en worden afgeschermd van het aardmagnetische veld, waardoor de plaatsing en het onderhoud van een MEG-scanner alleen al significante kostenposten zijn. Om de voordelen van MEG verder ten volle te kunnen benutten, moet bovendien voor iedere proefpersoon een realistisch driedimensionaal model van het brein worden gemaakt, wat op zich weer een gedetailleerde MRI-scan en een arbeidsintensief reconstructieproces vereist, wat nog meer doorweegt in het onderzoeksbudget.

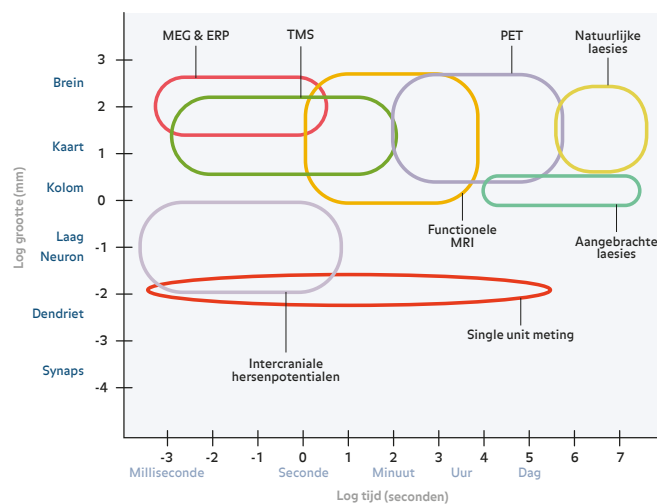


FIG. 1.8 Een overzicht van de temporele en spatiële resolutie van de meest gebruikte technieken om hersenactiviteit te meten.

Transcraniële magnetische stimulatie (TMS) is een techniek die ook gebruikmaakt van magnetisme, maar die in tegenstelling tot de voorgaande technieken geen hersenactiviteit registreert, maar juist manipuleert. TMS werkt op basis van het gegeven dat een speciaal vormgegeven magnetische spoel gedurende een korte tijd een zeer sterke magneetpuls kan produceren. Wanneer deze puls op een specifiek gebied in het brein wordt gericht, kan het tijdelijk de normale werking van dit deel van het brein beïnvloeden, waardoor op experimentele wijze vastgesteld kan worden wat de rol van dit hersengebied is tijdens de uitvoering van een cognitieve taak.

6.2.2 Spatiële en temporele resolutie

Iedere techniek die hiervoor besproken is, heeft specifieke voor- en nadelen. Welke techniek het best gebruikt kan worden, hangt dan ook af van een aantal factoren. Naast praktische overwegingen, zoals kosten en beschikbaarheid, wordt een van de belangrijkste overwegingen om een techniek te kiezen gevormd door de **spatiële** en **temporele resolutie** van de techniek (Churchland & Sejnowski, 1994). De spatiële resolutie geeft de nauwkeurigheid weer waarmee een techniek kan vaststellen waar in het brein activatieveranderingen optreden. De temporele resolutie geeft daarentegen aan hoe nauwkeurig de techniek kan vaststellen wanneer in het brein een activatieverandering optreedt. Figuur 1.8 geeft een overzicht van de verschillende technieken. Welke techniek het best gebruikt wordt, is in sterke mate afhankelijk van de onderzoeksvraag.

6.2.3 Toepasbaarheid en beperkingen

Het huidige arsenaal aan *neuroimaging*-technieken heeft in de afgelopen dertig jaar een onschatbare waarde aan nieuwe kennis en inzichten opgeleverd. Mee door het succes ervan is echter wel het risico van een te groot vertrouwen in deze technieken ontstaan. Om deze reden moeten we, ter afsluiting, wel een aantal belangrijke beperkingen noemen. Een van deze beperkingen is dat de meeste van de hier beschreven technieken correlatieel van aard zijn, en daarom alleen maar gebruikt kunnen worden om een verband tussen hersenactivatie en gedrag vast te stellen, zonder dat hiervoor de oorzakelijkheid kan worden vastgesteld. TMS is hierop een duidelijke uitzondering.

Een tweede belangrijke beperking is dat er speciale statistische methodes nodig zijn, omdat het naïef analyseren van de enorme hoeveelheden data die verwerkt moeten worden, kan resulteren in het probleem van **kanskapitalisatie**. Eerder hebben we al gezien dat een statistisch significant resultaat niet uitsluit dat een gevonden effect toch nog een toevalsbevinding is en dat, als we een test maar vaak genoeg herhalen, het zelfs zeer waarschijnlijk wordt dat we bij toeval een paar significante resultaten vinden. Bij fMRI is dit probleem zeer

evident: hier wordt het brein onderverdeeld in een zeer groot aantal (~37.000) kleine volumes, voxels genaamd, ter grootte van ongeveer 27 mm³. Wanneer voor ieder van deze 37.000 volumes afzonderlijk moet worden bepaald of er sprake is van significante verschillen in activiteit tussen condities, mogen we, zelfs wanneer onze experimentele manipulatie geen enkel effect heeft, een aanzienlijk aantal toevalsbevindingen verwachten. Dat laatste werd treffend geïllustreerd aan de hand van een studie van Bennett, Baird, Miller en Wolford (2009), die statistisch significante activatie vonden

in één voxel in het brein van een overleden Atlantische zalm die in de fMRI-scanner menselijke gezichten moest classificeren! Uiteraard is het onmogelijk dat een zalm deze taak kan uitvoeren, laat staan een dode zalm, dus deze activatie moest wel aan het toeval toe te schrijven zijn. Om deze reden beargumenteren Bennett et al. dat het absoluut noodzakelijk is om voor dit soort toevalligheden te corrigeren. Hoewel dit soort methodes inmiddels wel ontwikkeld zijn, bieden de meeste ervan de onderzoekers wel veel keuzevrijheid, waardoor het risico op toevalsbevindingen nog steeds aanwezig is.

KADER 1.3 INFORMATIE, COMPRESSIE, PREDICTIE EN COMPLEXITEIT

Een belangrijk kenmerk van de cognitieve psychologie is dat ze de mens als een informatieverwerker beschouwt. In deze context is het opmerkelijk dat er maar weinig inleidende handboeken op dit vakgebied zijn die een formele definitie van het concept **informatie** geven. Hoewel we de meeste psychologische theorieën prima kunnen begrijpen vanuit een intuïtieve notie van dit concept, is het voor het begrip van de fijnere nuances van een aantal theoretische raamwerken wel essentieel om een meer formele definitie te hanteren.

Een van de meest gebruikte formele definities van informatie is ontsprongen aan het brein van de Amerikaanse wiskundige Claude Shannon (1948). Shannon was werkzaam bij de Bell Telephone Company en hield zich bezig met de vraag hoe het gebruik van de beperkte capaciteit van het telefoonnetwerk geoptimaliseerd kon worden of, anders geformuleerd, hoe een signaal nog betrouwbaar over een ruzig communicatiekanaal kan worden gestuurd. Het werk van Shannon heeft een verreikende impact gehad: het heeft niet alleen de communicatie met de Voyager-ruimtesondes naar de buitenplaneten en de rand van het zonnestelsel mogelijk gemaakt, maar heeft ook aan de wieg gestaan van de ontwikkeling van de compact disc, mp3-spelers, digitale videostreaming, mobiele telefoons en de ontwikkeling van het internet. Tegenwoordig wordt het werk van Shannon ook in toenemende mate relevant voor de cognitieve psychologie, dus een korte introductie is op haar plaats.

Shannon bespreekt informatie vanuit de context van een verzameling van mogelijke berichten die door een afzender over een ruizige communicatielijn verstuurd kan worden en die door de ontvanger vervolgens weer gedecodeerd kan worden. Er is dus altijd sprake van een zender, een transmissielijn en een ontvanger. Informatie is in deze context gedefinieerd als de hoeveelheid onzekerheid die wordt weggenomen door een communicatie en is daarmee dus afhankelijk van het aantal boodschappen die de zender en de ontvanger kunnen uitwisselen en de waarschijnlijkheid die met elk van deze boodschappen geassocieerd is. Dat laatste klinkt misschien nog een beetje abstract, maar kan met een eenvoudig voorbeeld verduidelijkt worden.

Stel, we hebben een app die de weersverwachting voor de komende dag kan weergeven. In België of Nederland, waar het kan regenen of vriezen, waar het bewolkt kan zijn, waar de zon kan schijnen of waar het kan stormen, is deze app waarschijnlijk veel informatiever dan in de Sahara, waar het, afgezien van een incidentele zandstorm, bijna altijd zonnig is. Stel dat deze app iedere dag een code ontvangt van een weerserver, die de verwachte weerstoestand op je huidige locatie doorgeeft. In Nederland of België is er, voordat deze code wordt ontvangen, sprake van een hoge mate van onzekerheid (ieder weerstype komt immers vaak voor). Nadat de app de code ontvangen heeft, is deze onzekerheid weggenomen (we gaan er voor het gemak even van uit dat de weerserver een perfect kloppend weerbericht geeft). In de Sahara is er echter veel minder onzekerheid, omdat de kans dat het weerbericht ‘zonnig’ zal luiden bijzonder hoog is. Mocht het echter onverhoopt een keer gaan regenen, dan zal de boodschap ‘regen’ echter wel hoogst informatief (en zeker verrassend) zijn, omdat in de Sahara deze boodschap met een zeer lage probabilmiteit geassocieerd is. Omdat het bericht ‘regen’ echter zeer infrequent is, zal een willekeurige communicatie gemiddeld minder informatief zijn dan in Nederland/Beigië.

Shannon (1948) toonde aan dat de onzekerheid die per communicatie wordt weggenomen, afhankelijk is van de relatieve kans op de gestuurde boodschap: hoe lager deze kans, hoe informatiever de communicatie en hoe groter de verrassing (Engels: *surprise*) van de boodschap. Informatie wordt daarmee een toevalsvariabele, waarvan de verwachtingswaarde gelijk is aan de informatie-entropie. Entropie refereert over het algemeen aan de mate van onzekerheid in een systeem en de definitie van informatie-entropie die Shannon introduceerde, is analoog aan de klassieke statistische definitie van entropie die de natuurkundige Ludwig Boltzmann introduceerde in de thermodynamica. Shannon vond dat de gemiddelde hoeveelheid informatie die per communicatie verstuurd wordt, uitgedrukt kan worden met de volgende formule, die ook wel de Shannon-informatiefunctie, of Shannon-entropie wordt genoemd:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i)$$