

Zelforganiserende kunstmatige neurale netwerken die de interactie tussen het biologische domein en het omgevingsdomein verduidelijken

N. J. M. VAN BEVEREN

SAMENVATTING In de natuurwetenschappen staan ‘complexe dynamische systemen’ in de belangstelling. Een eigenschap van dit soort systemen is het vermogen tot zelforganisatie. Voor het ontstaan ervan is de interactie tussen omgevingsfactoren en biologische factoren van belang. Het doel van deze bijdrage is de zelforganisatie zoals deze wellicht in het brein optreedt, te verduidelijken aan de hand van een kunstmatig neuraal netwerk. Aansluitend wordt ingegaan op het belang van zelforganisatie voor de psychiatrie.

[TIJDSCHRIFT VOOR PSYCHIATRIE 44 (2002) 2, 119-127]

TREFWOORDEN dynamische systemen, kunstmatig neuraal netwerk, zelforganisatie

In de natuurwetenschappen staan de laatste jaren ‘complexe dynamische systemen’ in de belangstelling (Madore & Freedman 1987). Onder systeem wordt in dit verband verstaan een verzameling van eenvoudige bestanddelen die met elkaar en hun omgeving interacties aangaan. Een opvallende eigenschap van dit soort systemen is ‘zelforganisatie’, die gedefinieerd wordt als het vermogen om structuur te ontwikkelen zonder expliciete richtinggeving vanuit de omgeving (Van Heijst 1998). Een kenmerkend voorbeeld is het ontstaan van de typische ijskristalstructuur van sneeuwvlokken. Het is evident dat precieze informatie over deze kristalstructuur noch in de watermoleculen, noch in de omgeving aanwezig is. Het is een eigenschap die onder geschikte omstandigheden ontstaat uit de interactie van watermoleculen met de omgeving. Een groot aantal verschillende gebieden zijn beschreven

waar zelforganiserende fenomenen zijn waargenomen: meteorologische processen, economische ordening, chemische reacties, de formatie van sterrenstelsels, de morfologie van longweefsel en het ontstaan van stroompatronen in vloeistoffen (Madore & Freedman 1987).

In de psychiatrie trekt het verschijnsel de aandacht, aangezien voor het ontstaan van zelforganisatie de interactie tussen omgevingsfactoren en systeemeigenschappen (de ‘biologie’) van belang is en aldus een nieuwe invalshoek voor het nature-nurture-vraagstuk kan worden gevonden (Elman e.a. 1996; Sadock & Sadock 2000). Zelforganisatie heeft voor de psychiatrie belangrijke implicaties, maar is een complex fenomeen, dat op basis van louter een globale beschrijving moeilijk inzichtelijk te maken is. Het doel van deze bijdrage is het ontstaan van zelforganisatie zoals deze wellicht in het brein optreedt, te ver-

duidelijken aan de hand van een bepaald type 'kunstmatig neurale netwerk' (KNN). Dit type KNN vertoont ook veranderlijke representaties van gegevens onder invloed van omgevingsfactoren, waardoor inzicht kan ontstaan in plastische processen in het brein. Aansluitend wordt ingegaan op het belang van zelforganiserende netwerken voor de psychiatrie.

ZELFORGANISERENDE NETWERKEN ALS MODEL VOOR DE INTERACTIE TUSSEN BIOLOGIE EN OMGEVING

KNN's zijn computermodellen van neurale informatieverwerking die in staat zijn gegevens op te slaan door de sterkte van verbindingen tussen kunstmatige neuronen (KN's) te veranderen. Een belangrijk aspect hierbij is dat de modellen neurobiologisch geïnspireerd zijn, maar ook blootgesteld kunnen worden aan 'omgevingsinvloeden' in de vorm van informatie die aan de modellen wordt aangeboden en door de modellen wordt geleerd. Zij zijn daardoor in principe in staat een conceptuele brug te slaan tussen het biologische en het psychosociale domein (Spitzer 1995a).

Eerder zijn in dit tijdschrift een aantal KNN's met psychiatrisch belang besproken (Van Beveren & Colon 1997a). Sindsdien is bij de in die publicatie gepresenteerde onderzoeklijnen vooral vooruitgang geboekt in het construeren van KNN's die gestoorde rijping van het brein als pathologisch mechanisme voor schizofrenie simuleren (McGlashan & Hoffman 2000).

In dit essay komt een soort KNN aan de orde dat de relatie tussen biologie en omgeving goed weergeeft en in interactie met de 'kunstmatige omgeving' zelforganisatie vertoont: het op de architectuur van de cortex gebaseerde 'Kohonen-netwerk' dat door de Finse natuurkundige Kohonen in de jaren zeventig en tachtig is ontworpen (Ritter & Kohonen 1989).

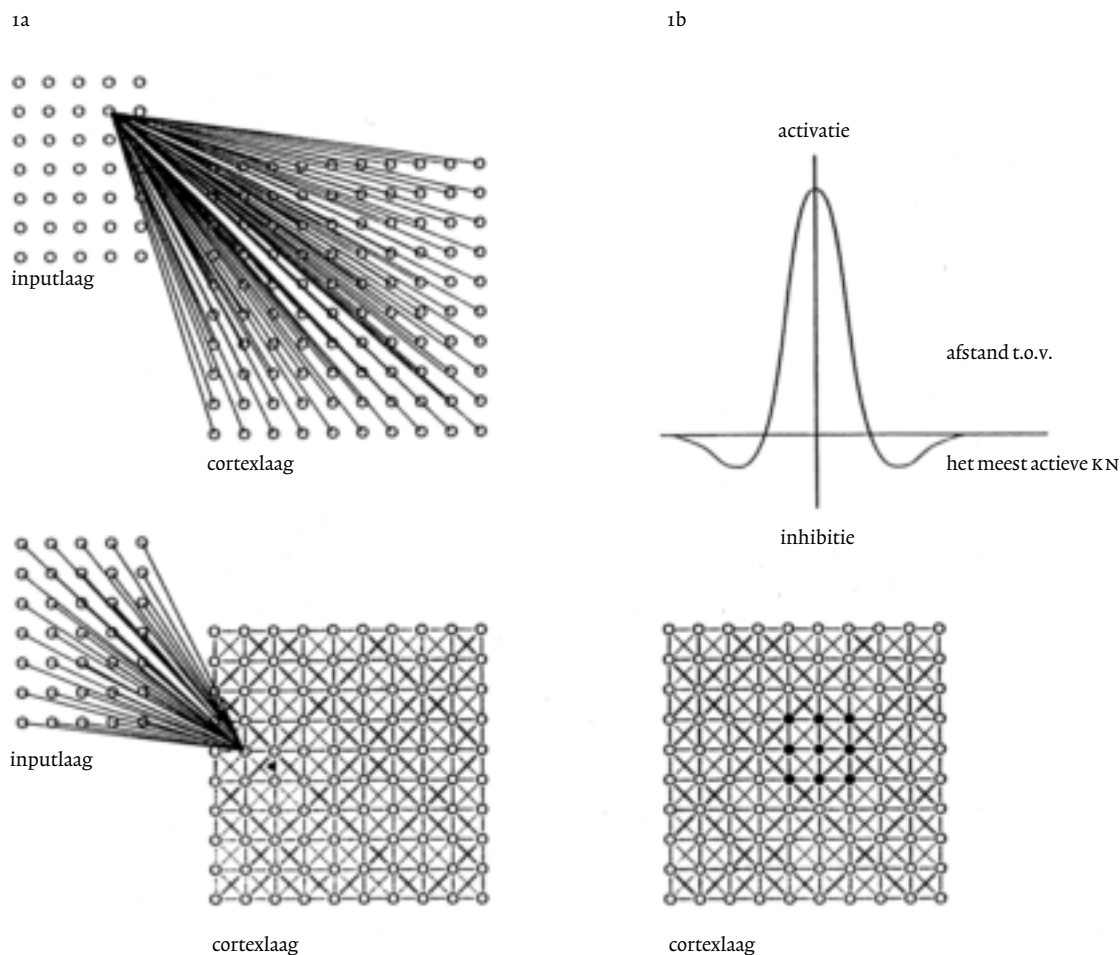
Kunstmatige Neurale Netwerken – algemene werking Samengevat komt de werking van elk

KNN op het volgende neer (Van Beveren & Colon 1997b). Een KNN is een computermodel dat bestaat uit een aantal KN's die fictief (door een getal dat de sterkte van de onderlinge verbinding uitdrukt) met elkaar verbonden zijn. Elk KN wordt gekenmerkt door een getalsmatige activering ('0' of '1') en door getallen die de sterkte van de verbindingen met andere KN's aangeven. Elk KN ontvangt impulsen van alle KN's waarmee het verbonden is. In elk KN worden alle inkomende impulsen bij elkaar opgeteld. Impulsen van sterke verbindingen hebben een grote invloed, impulsen van zwakkere verbindingen een geringere invloed. Overschrijden de opgetelde impulsen een zekere grenswaarde, dan zendt het KN zelf een impuls uit. Zo is elk KN actief of inactief, afhankelijk van de activiteit van alle andere KN's. Deze activiteit wordt voor ieder KN regelmatig berekend. De sterkte van de verbindingen tussen de KN's is variabel. Verbindingen tussen KN's met gelijke activiteit worden sterker. Dit vormt de basis voor leerprocessen in het netwerk. Uiteindelijk vormt het netwerk een dynamisch systeem waarbij actieve en inactieve KN's elkaar bij voortduring beïnvloeden.

Kunstmatige Neurale Netwerken – het Kohonen-netwerk Figuur 1 (naar Spitzer 1995b) laat het KNN zien zoals dat ontwikkeld is door Kohonen (Ritter & Kohonen 1989).

In figuur 1 zijn twee met elkaar verbonden netwerken van respectievelijk 35 en 100 KN's te zien (figuur 1a). Het netwerk van 35 KN's wordt de inputlaag of de sensor laag genoemd. Het netwerk van 100 KN's wordt de cortex- of representatielaag genoemd. Elk KN van de ene laag is verbonden met alle KN's van de andere laag en vice versa. De KN's van de cortexlaag zijn onderling ook verbonden, en wel zodanig dat het meest actieve KN zijn directe omgeving activeert en verder weg gelegen KN's inhibeert (figuur 1b). Dit mechanisme is gebaseerd op de aanwezigheid in de cortex van kolomsgewijze activering en laterale inhibitie door GABA-erge (gamma-aminoboterzuur) interneuronen.

FIGUUR 1 Structuur van het Kohonen-netwerk (naar Spitzer 1995b)



1a. Het Kohonen-netwerk bestaat uit twee met elkaar verbonden netwerken, de inputlaag en de cortexlaag. Elk kunstmatig neuron (KN) van de inputlaag is verbonden met elk KN van de cortexlaag en vice versa (om redenen van duidelijkheid boven en onder gescheiden weergegeven). Alle KN's van de cortexlaag zijn onderling ook verbonden.

1b. De verbindingen tussen de KN's van de cortexlaag functioneren volgens het principe van laterale activering en inhibitie: het meest actieve KN activeert zijn directe omgeving en inhibeert de rest van de cortexlaag.

Dit KNN is in staat om zonder nadere explicitering ordening (zelforganisatie) tot stand te brengen in onderling samenhangende, maar verschillende gegevens (bijvoorbeeld plaatjes van dieren). In het navolgende gesimplificeerde voorbeeld (naar Ritter & Kohonen 1989) worden plaatjes van dieren gebruikt (het mechanisme werkt ook bij meer abstracte gegevens). Eigenschappen van dieren, zoals 'is klein', 'heeft hoeven' of 'kan jagen'

werden door Ritter & Kohonen in gevectoriseerde vorm aangeboden. De technische aspecten hiervan vallen buiten het bestek van dit artikel. Het basisprincipe wordt door de simplificatie niet aangetast.

Uitgangspunt is een situatie waarin de sterkte van de verbindingen tussen de KN's van de input- en cortexlaag willekeurig sterk zijn. De cortexlaag bezit in deze uitgangssituatie geen

specifieke structuur. In het voorbeeld wordt de inputlaag nu geactiveerd in de vorm van een silhouet van een kip (zie figuur 2a).

Willekeurige KN's in de cortexlaag zullen nu geactiveerd worden en deze willekeurige KN's zullen elkaar wederzijds gaan activeren en inhiberen. Het eindresultaat zal zijn dat er uiteindelijk één beperkt groepje KN's in de cortexlaag actief wordt. Dit mechanisme staat bekend onder de naam 'winner takes all'. Bovendien worden door het leermechanisme de verbindingen tussen de KN's in de inputlaag en de winnende KN's (de 'kip-KN's') in de cortexlaag versterkt, waardoor het plaatje en de daarbijbehorende plek op de cortexlaag met elkaar verbonden raken. Wordt nu een geheel verschillend silhouet aangeboden (bijvoorbeeld een kat), dan zal een geheel andere combinatie van KN's geactiveerd worden en een ander groepje KN's zal nu de winnaar zijn. Wordt een enigszins op een kat gelijkend silhouet aangeboden (een leeuw) dan zal door de globale overeenkomst in uiterlijk een groepje KN's geactiveerd worden dat in de buurt van de 'kat-KN's' ligt. Door afwisselend verschillende plaatjes van dieren aan te bieden 'leert' het KNN (in enkele honderden sessies) de plaatjes herkennen en ontstaat er uiteindelijk een geordende representatie in de cortexlaag waarin plaatjes met gelijke eigenschappen dicht bij elkaar geprojecteerd worden, en die met ongelijke eigenschappen ver van elkaar (zie figuur 2b). Algemeener gezegd: er ontstaat een relatie tussen een hoogdimensionale hoeveelheid gegevens (in dit geval de plaatjes) en een laagdimensionale afbeeldingsruimte (namelijk de beperkte hoeveelheid ruimte in de cortexlaag), waarbij een spontane ordening ontstaat op basis van gelijkheid en verschil. De ruimte die een concept verwerft (bijvoorbeeld het concept 'kip'), heet de representatieruimte.

Plaatjes die tijdens het leren vaak aangeboden worden, verwerven veel ruimte ten opzichte van plaatjes die minder vaak worden aangeboden. Naarmate een bepaald soort input dus vaker voorkomt, 'eist' die categorie meer representatieruimte op ten koste van naastgelegen categorie-

en. Het kernbegrip hier is 'competitie om representatieruimte' (Ritter & Kohonen 1989).

Essentieel is dus dat er geen 'externe instantie' is die al deze processen stuurt, maar dat zelforganisatie ontstaat uit de interactie van het netwerk met de aangeboden informatie, in andere woorden: uit de interactie van het (biologisch geïnspireerde) model met zijn (sociale) omgeving. De sturende en noodzakelijke factoren hiervoor zijn de onderlinge samenhang van de concepten, hun frequentie van voorkomen en de intrinsieke structuur van het model.

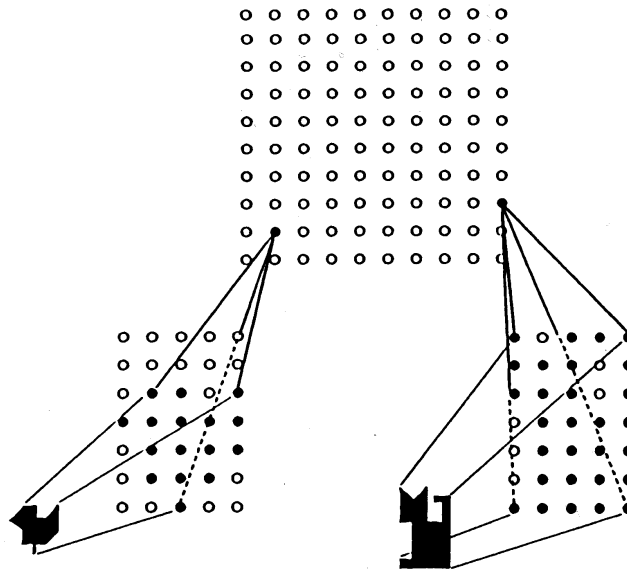
DE RELATIE TUSSEN HET KOHONEN-MODEL EN CORTICALE INFORMATIEVERWERKING

Het Kohonen-netwerk wordt beschouwd als een model dat in staat is de manier waarop geordende corticale representaties ontstaan te simuleren (Ritter 1995; Spitzer 1995a; Gustafsson 1997). Voorbeelden van georganiseerde corticale representaties zijn de bekende 'homunculus' van Penfield in de somatosensore cortex (Penfield & Boldrey 1937) en de zogenaamde tonotope en retinotopie kaarten zoals die in de auditieve en visuele cortex worden gevonden. Kenmerkend voor deze representaties is dat, net zoals in het Kohonen-netwerk, veel voorkomende, 'belangrijke' input meer representatieruimte verwerft dan minder belangrijke input. In de Penfield-homunculus wordt dit fenomeen beeldend weergegeven door bijvoorbeeld de grote handen ten opzichte van andere lichaamsdelen.

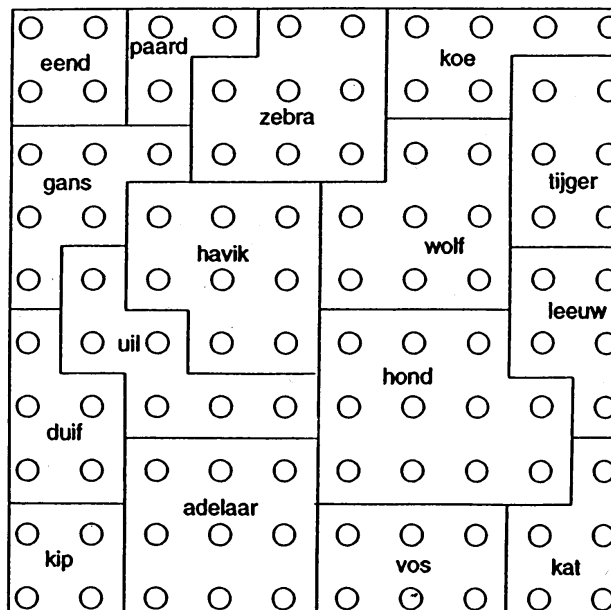
Representaties in de primaire sensore cortexgebieden zijn in hoge mate plastisch en kunnen veranderen onder invloed van omgevingsfactoren (Kaas 1995). Illustratief is een bijdrage van Pantev e.a. (1998) die vonden dat tonotope kaarten in de auditieve cortex van beroepsmusici grotere representaties vertoonden voor het frequentiespectrum van pianotonen en dat dit verschijnsel des te uitgesprokener was naarmate de musici op jongere leeftijd met muziekles waren begonnen. Deze verschijnselen komen overeen

FIGUUR 2 De ontwikkeling van representaties in de cortexlaag (gesimplificeerd)

2a



2b



2a. Het aanbieden van verschillende dieren resulteert door het 'winner-takes-all-mechanisme' in het actief worden van verschillende kunstmatige neuronen (KN's) in de cortexlaag.

2b. In de cortexlaag heeft zich een ruimtelijke ordening ontwikkeld op geleide van overeenkomsten en verschillen tussen de dieren (naar Ritter & Kohonen 1989).

met de veranderlijke representaties die in Kohonen-netwerken ontstaan onder invloed van de frequentie van voorkomen van aangeboden concepten. De laatstgenoemde bevinding suggereert bovendien dat het jonge brein plastischer is dan het oude.

Een belangrijke vraag voor de psychiatrische toepasbaarheid is of de beschreven fenomenen niet alleen voorkomen in de primaire sensorische cortexgebieden, maar ook in bijvoorbeeld de associatieve cortex, waar de meer complexe aspecten van de menselijke belevingswereld worden gerepresenteerd (Mesulam 1998).

Hierover is nog niet veel bekend. Representaties van abstracte concepten zijn gevonden bij de uil en de vleermuis (Kohonen & Hari 1999). Er zijn aanwijzingen dat plasticiteit van de hippocampus kan optreden bij het verwerken van complexe ruimtelijke informatie, zoals blijkt uit een onderzoek onder Londense taxichauffeurs (Maguire e.a. 2000). Het is aannemelijk (Spitzer 1995a) dat juist representaties in associatieve cortexgebieden het meest plastisch zijn, omdat die representaties in feite de adaptieve menselijke vermogens bepalen. De observatie dat de structuur van de gehele cortex globaal gelijk is (Elman e.a. 1996, pp. 258 e.v.), gekoppeld aan de overweging dat vorm en functie in het algemeen nauw verbonden zijn, vormt wel een ondersteuning voor de hypothese dat ordening van representaties op basis van gelijksoortige mechanismen als die in de sensorische gebieden, ook in de associatieve gebieden zou kunnen voorkomen.

BELANG VOOR DE PSYCHIATRIE: SIMULATIES EN CONCEPTUELE WAARDE

Simulaties Ter illustratie worden simulaties met betrekking tot het optreden van fantoomverschijnselen na amputaties (Spitzer e.a. 1995) en met betrekking tot affectieve informatieverwerking (Armony e.a. 1995) besproken.

Fantoomverschijnselen Spitzer e.a. (1995) verichtten een simulatie met een Kohonen-net-

werk met betrekking tot het optreden van fantoomverschijnselen. Zij leerden een Kohonen-netwerk letters als model voor de ontwikkeling van geordende sensorische representaties. Inderdaad ontwikkelde zich een ordening op basis van globale visuele overeenkomsten en verschillen ('E' bij 'F', 'C' bij 'G', enzovoort). Amputatie werd gesimuleerd door een deel van de representaties in de cortexlaag te wissen en de daarbijbehorende letters niet meer aan te bieden. Deze letters kunnen dan geen competitie meer aangaan om representatieruimte en er verschijnt in feite een 'braakliggend' representatiegebied. Er treedt dan 'overgroei' van naburige representaties op. De hypothese is dat wanneer dit proces zich in werkelijkheid voordoet, de verstoring van de sensorische kaart die dit tot gevolg heeft, door andere hersengebieden geïnterpreteerd wordt als prikkeling afkomstig uit het geamputeerde lichaamsdeel (Flor e.a. 1995). Deze bevindingen verklaren dat na amputatie van de arm prikkeling van de arm wordt ervaren als in feite het gezicht wordt geprikkeld (Ramachandran e.a. 1992). (In de somatosensore cortex grenzen de representaties van het gezicht en de hand-arm aan elkaar).

Affectieve informatieverwerking LeDoux (1994) beschreef een biologisch model van affectieve informatieverwerking dat gekenmerkt wordt door het bestaan van twee routes: een limbisch pad dat snel op globale wijze de affectieve waarde van prikkels interpreteert en via de amygdala een angstrespons bewerkstelligt, en een tragere, meer specifiek evaluerende corticale route die een modulerende invloed uitoefent op de limbische route. De limbische route zou bijvoorbeeld geactiveerd kunnen worden door het waarnemen van een kronkelig, dun silhouet, omdat dit een slang zou kunnen zijn, waarna de corticale route tot de conclusie kan komen dat het in werkelijkheid gaat om een gebogen tak en de op gang komende angstrespons inhibeert.

Armony e.a. (1995) simuleerden dit biologische model met gekoppelde KNN's, waarbij een

variant van het Kohonen-netwerk model stond voor de corticale route. Op basis van dit model werd de voorspelling gedaan dat beschadiging van de cortico-limbische route affectieve informatieverwerking op een specifieke manier zou veranderen, namelijk dat door het wegvallen van de modulerende corticale invloed ongepaste affectieve activering tot stand zou komen. Deze voorspelling werd bij proefdieren bevestigd (Armony e.a. 1997). Er kon verder aangetoond worden dat onder invloed van affectieve informatie uit de limbische route veranderingen in de corticale representaties konden optreden, waarbij met affect verbonden representaties grotere representatieruimte verwierven.

Deze bevindingen zijn van belang voor de theorievorming over de interactie tussen affect en cognities. Van belang is dat in beide simulaties competitie om representatieruimte en daarmee samenhangende verstoringen in zelforganisatie een sleutelrol spelen.

Conceptuele waarde Het begrip zelforganisatie is op een fundamenteel niveau van belang voor een filosofisch probleem binnen de gedragswetenschappen dat bekend staat als de 'homunculus-paradox'. Met het begrip 'homunculus' (niet te verwarren met de eerder aangehaalde homunculus van Penfield) wordt in dit verband bedoeld dat het mentale leven gecontroleerd wordt door een innerlijk wezen dat onze handelingen regisseert (Elman e.a. 1996, p. 85). In feite zit in de semantiek van veel psychologische functies een dergelijke interne regulator verborgen ('de aandacht richten'; 'iets afweren'). Het paradoxale is dat het bestaan van een interne regulerende instantie onwaarschijnlijk is en het gevaar van oneindige regressie in zich verbergt (wie controleert de controlerende instantie?), maar dat zonder een regulerende instantie de vraag is waarom mentale processen en gedrag niet ongereguleerd zijn. Zelforganisatie biedt een oplossing voor deze paradox: mentale processen en gedrag zijn niet ongereguleerd, omdat georganiseerde globale fenomenen kunnen

ontstaan vanuit lokale interacties.

Zo redenerend kan psychopathologie beschouwd worden als verstoringen van zelforganiserende processen, bijvoorbeeld omdat representaties over- of ondervertegenwoordigd raken, of onjuist georganiseerd. In de meest recente editie van Kaplan & Sadock's *Textbook of Psychiatry* wordt dit zelfs expliciet zo verwoord: 'psychiatric disturbances may be conceptualized as disturbances in self-organisational processes' (Sadock & Sadock 2000, p. 393).


Spitzer (1995a) verwoordt in dit verband een weliswaar gewaagde, maar interessante gedachte. Hij stelt namelijk dat op basis van bovenstaande de positie kan worden ingenomen dat het brein (met name tijdens de eerste levensjaren) daadwerkelijk 'gevuld' raakt met omgevingsinvloeden die al concurrerend om representatieruimte tot zelforganisatie komen. Spitzer wijst dan in deze context op het gevaar dat een overmaat aan gewelddadige films, videospelletjes en dergelijke zelforganisatie tot stand kan brengen rond het thema 'geweld', terwijl andere thema's minder representatieruimte verwerven.

Nu is de gedachte dat 'verkeerde dingen in de opvoeding' schadelijk kunnen zijn op zichzelf natuurlijk niet bijzonder origineel en op basis van de gepresenteerde gegevens maar zeer ten dele gerechtvaardigd. Van belang is de gevolgde methodiek, namelijk dat deze gedachte wordt verwoord in termen van een conceptueel kader dat tot stand is gekomen op basis van, en ondersteund wordt door, computersimulaties.

CONCLUSIE

Met behulp van computermodellen kunnen moeilijk te begrijpen theoretische fenomenen daadwerkelijk gesimuleerd worden en daardoor inzichtelijker gemaakt worden. Andersom kunnen verschijnselen die in de modellen waargenomen worden, weer theorievorming ondersteunen en een samenhangend conceptueel kader creëren. Dit biedt een extra mogelijkheid om de psychiatrie te ontwikkelen in de richting van een

vak met een duidelijk natuurwetenschappelijk fundament. Dit proces hoeft niet gepaard te gaan met veronachtzaming van omgevings- of ontwikkelingsfactoren, aangezien de gebruikte modellen juist bij uitstek geschikt zijn om de interactie daarvan met de biologie te verduidelijken. Evenmin hoeft het ten koste te gaan van de maatschappelijke toepasbaarheid van psychiatrische uitspraken, zoals het ook in de natuurwetenschappen en de economie niet ongebruikelijk is om op basis van computermodellen uitspraken te doen over het gedrag van complexe systemen én om dergelijke uitspraken te gebruiken in het maatschappelijk debat. Voorbeelden zijn bijvoorbeeld de discussie over klimaatverandering door CO₂-uitstoot of het voeren van beleid op basis van economische modellen.

 Met dank aan Clementien Heim voor de illustraties.

LITERATUUR

- Armony, J.L., Servan-Schreiber, D., Cohen, J.D., e.a. (1995). An anatomically constrained neural network model of fear conditioning. *Behavioral Neuroscience*, 109, 246-257.
- Armony, J.L., Servan-Schreiber, D., Romanski, L.M., e.a. (1997). Stimulus generalization of fear responses: effects of auditory cortex lesions in a computational model and in rats. *Cerebral Cortex*, 7, 157-165.
- Beveren, J.M. van, & Colon, E.J. (1997a). Kunstmatige neurale netwerken in de psychiatrie. Een literatuuronderzoek naar neuropsychiatrische toepassingen. *Tijdschrift voor Psychiatrie*, 39, 769-780.
- Beveren, J.M. van, & Colon, E.J. (1997b). Kunstmatige neurale netwerken in de psychiatrie. Theoretische concepten. *Tijdschrift voor Psychiatrie*, 39, 721-732.
- Elman, J.L., Bates, E., Johnson, M.H., e.a. (1996). *Rethinking innateness. A connectionist perspective on development*. Cambridge MA: The MIT Press.
- Gustafsson, L. (1997). Inadequate cortical feature maps: a neural circuit theory of autism. *Biological Psychiatry*, 42, 1138-1147.
- Heijst, J.J. van. (1998). *Self-organisation in neural networks as model for the development of motorcontrol*. Proefschrift. Rijksuniversiteit Groningen.
- Kaas, J.H. (1995). The reorganisation of sensory and motor maps in adult mammals. In M. Gazzaniga (Red.), *The cognitive neurosciences* (pp. 51-71). Cambridge MA: MIT Press.
- Kohonen, T., & Hari, R. (1999). Where the abstract feature maps of the brain might come from. *Trends in neuroscience*, 22, 135-139.
- LeDoux, J.E. (1994). Emotion, memory, and the brain. *Scientific American*, 270, 50-57.
- Madore, B.F., & Freedman, W.L. (1987). Self-organizing structures. *American Scientist*, 75, 252-259.
- Maguire, E.A., Gadian, D.G., Johnsrude, I.S., e.a. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 97, 4398-4403.
- McGlashan, T.H., & Hoffman, R.E. (2000). Schizophrenia as a disorder of developmentally reduced synaptic connectivity. *Archives of General Psychiatry*, 57, 637-648.
- Mesulam, M.M. (1998). From sensation to cognition. *Brain*, 121, 1013-1052.
- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., e.a. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 392, 811-814.
- Ramachandran, V.S., Rogers-Ramachandran, D., & Stewart, M. (1992). Perceptual correlates of massive cortical reorganization. *Science*, 258, 1159-1160.
- Ritter, H. (1995). Self-organising feature maps: Kohonen maps. In M.A. Arbib (Red.), *The handbook of brain theory and neural networks* (pp. 846-851). Cambridge MA: MIT Press.
- Ritter, H., & Kohonen, T. (1989). Self-organising semantic maps. *Biological Cybernetics*, 61, 241-254.
- Sadock, B.J., & Sadock, V.A. (2000). *Kaplan & Sadock's Comprehensive textbook of psychiatry*. Philadelphia PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Spitzer, M. (1995a). Conceptual developments in the neurosciences relevant to psychiatry. *Current Opinion in Psychiatry*, 8, 317-329.
- Spitzer, M. (1995b). A neurocomputational approach to delusions. *Comprehensive Psychiatry*, 36, 83-105.
- Spitzer, M., Bohler, P., Weisbrod, M., e.a. (1995). A neural network model of phantom limbs. *Biological Cybernetics*, 72, 197-206.

AUTEUR

N. J. M. VAN BEVEREN was ten tijde van het schrijven van dit artikel assistent-geneeskundige in opleiding tot psychiater, werkzaam bij de afdeling psychiatrie van het Academisch Ziekenhuis Dijkzigt te Rotterdam, en is nu als psychiater verbonden aan dezelfde instelling.

Correspondentieadres: N.J.M. van Beveren, Academisch

Ziekenhuis Rotterdam, locatie Dijkzigt, Postbus 2040, 3000 CA Rotterdam.

E-mail: vanbev@planet.nl.

Geen strijdige belangen meegegeeld.

Het artikel werd voor publicatie geaccepteerd op 23-3-2001.

SUMMARY

Self-organizing artificial neural networks which illustrate the interaction between the biological and environmental domain – N.J.M. van Beveren –

In natural science 'complex dynamical systems' are in the focus of interest. A property of these kind of systems is their ability for self-organization. For its emergence the interaction of environmental and biological parameters is of importance. The purpose of this study is to elucidate self-organization as it might occur in the brain guided by the description of an artificial neural network. Subsequently, the psychiatric interest is dealt with.

[TIJDSCHRIFT VOOR PSYCHIATRIE 44 (2002) 2, 119-127]

KEYWORDS artificial neural network, dynamical systems, self-organization