

Dietrich Albert

DAS BEWUSSTSEIN ALS NEURONALES NETZ

Herrn em.o.Univ.-Prof. Dr.phil. Erich Mittenecker
zum 76. Geburtstag gewidmet

Das Thema „Bewußtsein als neuronales Netz“ wurde mir – einem Wissenschaftler, der den Schwerpunkt seiner Forschung und Lehre im Bereich der Allgemeinen Psychologie hat – seitens der URANIA vorgeschlagen. Warum habe ich mich angesprochen gefühlt und nicht etwa einen Vertreter der Neuropsychologie für zuständig erklärt?

Die Psychologie ist die Wissenschaft vom Erleben und Verhalten, die sich in eine Reihe von Fächern ausdifferenziert hat, wie beispielsweise Allgemeine Psychologie, Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung, Entwicklungspsychologie, Neuropsychologie, Psychologische Diagnostik, Sozialpsychologie – hinzu kommen die zahlreichen Anwendungsfächer der Psychologie, allen voran die Arbeits-, Organisations- und Umweltpsychologie, die Klinische Psychologie und die Pädagogische Psychologie.

Die ‚Neuropsychologie‘, oder die weiter gefaßte ‚Biologische Psychologie‘, hat die neuronalen und biologischen Grundlagen für das Erleben und Verhalten zum Gegenstand. In diesem Zusammenhang spielt zweifellos die Verarbeitung neuronaler Signale durch Neuronen und Nervenetze eine zentrale Rolle, wie sie uns bereits aus der Schulzeit bekannt ist. Ein Neuron besteht aus mehreren Komponenten – wie Zellkern und -körper, Axon, Dendriten und Endknöpfen, die mit anderen Zellen Synapsen bilden und die Grundlage der Vernetzung darstellen. Bei unserem Thema allerdings haben wir es mit einem abstrakten Neuron zu tun, d.h. einem mathematischen Modell

eines Neurons, welches in Analogie zu real existierenden Neuronen deren wichtige Prozeßeigenschaften formal beschreibt (eine Kurzdefinition siehe z.B. in Werner, 1995, S. 686). Es handelt sich um ein signalverarbeitendes Prozeßelement, welches einer Reihe von simultanen Eingangswerten einen Ausgangswert dynamisch zuordnet. Die von anderen Neuronen (Prozeßelementen) oder von Rezeptoren kommenden und sich ständig ändernden Eingangswerte werden gewichtet. Die Gewichte beschreiben die Art (Erregung oder Hemmung) und die Stärke der Verbindung zwischen den Prozeßelementen, also den abstrakten Neuronen. Der Grad der Aktivierung eines Prozeßelementes hängt von der gewichteten Summe dieser Eingangswerte, einem Empfindlichkeits- oder Schwellenwert und dem zeitlich vorangehenden Aktivierungsgrad ab. Diese Abhängigkeit wird durch eine von mehreren möglichen Aktivierungsfunktionen präzisiert. Aus dem Aktivierungsgrad berechnet eine Ausgabefunktion den Ausgangswert, der einen der Eingangswerte für andere Neurone darstellt. Aus derartigen abstrakten Neuronen lassen sich Abstraktionen von Nervennetzen bilden, die sogenannten künstlichen neuronalen Netze, welche unterschiedliche Eigenschaften haben können, je nach ihrer ‚Architektur‘ (Kurzdefinition siehe z.B. in Werner, 1995, S. 686 – 690; einfache Beispiele siehe unten). Mit Hilfe von mathematischen oder computerbasierten Verfahren lassen sich Aussagen über Eigenschaften neuronaler Netze gewinnen – beispielsweise über die Robustheit ihrer Verarbeitung gegenüber unvollständigen oder verrauschten Eingangsinformationen bzw. -signalen, über die Konvergenzbedingungen für das Erzielen eines Verarbeitungsergebnisses, über das Zeitverhalten der Aktivität der künstlichen Neurone, über typische Erregungsmuster von Neuronengruppierungen.

Die moderne Psychologie bezieht Eigenschaften des Erlebens und Verhaltens auf Eigenschaften derartiger neuronaler Netze, wobei insbesondere die Allgemeine Psychologie angesprochen ist. Sie kann als die Lehre von den psychischen Funktionen und Instanzen definiert werden. Gegenstand der Allgemeinen Psychologie sind demgemäß Wahrnehmung, Motivation und Emotion, Kognitive Prozesse wie Denken, Urteilen, Problemlösen usw., Lernen und

Gedächtnis, Sprache, Psychomotorik usw.. In derartigen Aufzählungen kommt erstaunlicherweise der Begriff ‚Bewußtsein‘ nicht (mehr oder noch nicht wieder) vor, obwohl es sich dabei doch zweifellos um eine psychische Funktion oder Instanz handelt. Wie ist dies zu erklären?

WARUM IST DIE PSYCHOLOGIE NICHT MEHR DEFINIERT ALS DIE WISSENSCHAFT VOM BEWUSSTSEIN?

Als Relikt der Psychologie des 19. Jahrhunderts wurde vereinzelt bis weit in unser Jahrhundert hinein sogar die gesamte Psychologie als Wissenschaft vom Bewußtsein charakterisiert, beispielsweise durch Hubert Gruender (1932, Seite 1): „Psychology may be defined as *the science of our conscious life*.“ Dabei werden zwei Aspekte von Bewußtsein bzw. Bewußtheit hervorgehoben. (a) Als innere Erfahrung bzw. Introspektion ist Bewußtsein Informationsgeber über vitale psychische Prozesse wie Gedanken, Gefühle, Stimmungen, Wahrnehmungen, Ziele, usw., also über Subjektives, über Privates, über einer anderen Person nicht unmittelbar Zugängliches. (b) In Form einer Subjekt-Objekt-Relation stellt Bewußtsein den Bezug zu externen oder internen Objekten her: ‚Ich denke über etwas nach‘, ‚ich hasse oder liebe etwas, nehme etwas wahr‘ usw.; im Englischen wird dieser Aspekt auch häufig ‚awareness‘ genannt („etwas gewahrsein bzw. -werden“). Warum aber ist die Psychologie heute nicht mehr definiert als die Wissenschaft vom Bewußtsein?

Im 19. Jahrhundert war die Psychologie, zumindest soweit sie unmittelbar der Philosophie entstammt, weitgehend Bewußtseinspsychologie: Ganz im Sinne der beiden genannten Aspekte von Bewußtsein, waren sowohl der Gegenstand als auch die Methode der Psychologie durch ‚Bewußtsein‘ bestimmt. Ein frühes Beispiel ist die Vorstellungsmechanik von Johann Friedrich Herbart, mit welcher er an die seit Aristoteles entwickelte Assoziationstheorie anknüpft. Er war insofern fortschrittlich, als er sich „Ueber die Möglichkeit und Nothwendigkeit, Mathematik auf Psychologie anzuwenden“ (Herbart, 1822) nicht nur äußerte, sondern ganz im Sinne der angesprochenen Abstraktion und Formalisierung Differentialgleichungsmodelle

zum Werden und Vergehen von Vorstellungen und Ideen entwickelte. Dabei sind beispielweise ‚Erregung‘, ‚Hemmung‘ und ‚Schwelle‘ wohldefinierte theoretische Begriffe, insoweit und auch hinsichtlich der verwendeten Mathematik sind seine Modelle durchaus mit heutigen neuronalen Netzwerken vergleichbar.

Herbart – und andere aus der Philosophie stammende Psychologen – verwendeten als empirische Beobachtungsmethode die Selbstbeobachtung, die Introspektion. Herbart war insoweit – so können wir es heute nennen – ein ‚armchair psychologist‘. Erleben, Fühlen und Denken sind subjektive Prozesse, die zwischenmenschliche Kommunikation darüber ist unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten höchst problematisch und schwierig; dies wird unmittelbar einsichtig, wenn man beispielsweise versucht, mit einer farbenblinden oder farbschwachen Person darüber zu sprechen, wie sie z.B. einen roten Gegenstand wahrnimmt – und umgekehrt. Entsprechendes gilt auch für die Kommunikation zwischen Normalsichtigen sowie generell für die Kommunikation über subjektives Erleben.

Während beispielweise Johannes Rehmke 1910 in der Publikationsreihe „Sammlung historischer Monographien philosophischer Begriffe“ des Heidelberger Verlages Carl Winter seine Monographie „Das Bewusstsein“ veröffentlicht, kommt in dem einflußreichen zweibändigen Werk „Experimental Psychology“ von Edward B. Titchener (1901, 1905 in London bei MacMillan erschienen) das Wort Bewußtsein bereits nicht mehr vor. Vielmehr setzt sich der Autor kritisch mit der Methode der Selbstbeobachtung auseinander. Was war passiert?

Die Lösung der Psychologie von der Philosophie war unter dem Einfluß und nach dem Vorbild von Physiologie und Physik weitgehend vollzogen worden. An die Stelle von Subjektivität trat Objektivität. Selbstbeobachtung wurde durch Fremdbeobachtung, unsystematisches Beobachten durch Experimentieren ersetzt. Die Bewußtseinspsychologie wurde durch die Verhaltenspsychologie, den Behaviorismus, abgelöst – dabei wurde allerdings, aus heutiger Sicht, „Das Kind mit dem Bade ausgeschüttet“.

Warum aber verwendet Gruender in seinem Buch über experimentelle Psychologie dreißig Jahre später noch immer den Begriff Bewußtsein, um Psychologie zu definieren? Er war als Jesuit verständlicherweise eher der philosophischen Tradition verhaftet. Später scheint allerdings auch in der Philosophie (des Geistes) ein Umdenken stattgefunden zu haben, so schreibt Ulrich Schnabel (in DIE ZEIT Nr. 22, Seite 30 am 23. Mai 1997): „Menschliches Bewußtsein, also die Fähigkeit zu subjektivem innerem Erleben, galt in der Naturwissenschaft und der Philosophie des Denkens lange Zeit als wenig seriöser Gegenstand. ‚Wenn man noch vor wenigen Jahren in einer Diskussion der Kognitionswissenschaften die Rede auf das Bewußtsein brachte, wurde das als ein Zeichen schlechten Geschmacks gewertet‘, meint etwa der Philosoph John Searle von der kalifornischen Universität Berkely. ‚Die höheren Semester, immer auf die gesellschaftlichen Mores ihrer Disziplin ausgerichtet, verdrehten die Augen zur Decke und nahmen eine Miene milden Angewidertseins an.“

Wie aber ist auf diesem Hintergrund zu erklären, daß es in der Psychologie seit einigen Jahren wieder seriös und karrierefördernd ist, über Bewußtsein zu forschen? Man trennte die Untersuchungsmethode vom Gegenstand der Untersuchung – und knüpfte damit nach langer Pause an eine Entwicklung an, die bereits um die Jahrhundertwende begonnen aber abrupt beendet wurde: Der subjektive Gegenstand Bewußtsein wird experimentell untersucht, die subjektive Methode wurde durch eine objektive ersetzt.

An einigen Beispielen soll im folgenden erläutert werden, welche Eigenschaften dem Bewußtsein als psychische Funktion zugeschrieben werden, woran man sie erkennen kann und wie sie mittels neuronaler Netzwerke nachgebildet bzw. modelliert werden.

ENGE DES BEWUSSTSEINS BZW. ARBEITSGEDÄCHTNISSES UND ERREGUNGSKREISE

Der amerikanische Philosoph und Psychologe William James unterschied Ende des 19. Jahrhunderts zwei verschiedene Gedächtnisse

danach, ob die Gedächtnisinhalte bewußt oder nichtbewußt sind und nannte sie Primär- und Sekundärgedächtnis. Heute sprechen wir von Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis und von Langzeit- oder Wissensgedächtnis. Die Kapazität des kurzfristigen Behaltens wurde bereits vor über 100 Jahren von Ebbinghaus, dem Begründer der experimentellen Gedächtnisforschung, mit ca. sieben Einheiten als begrenzt festgestellt. Er stellte nämlich fest, daß er nach einmaligem Durchlesen bis zu sieben Silben richtig erinnern kann. Die Dauer kurzfristigen Behaltens ist ebenfalls begrenzt. Sie kann aber, wie G. E. Müller und A. Pilzecker bereits wenig später unsystematisch beobachteten, durch bewußtes, wiederholtes inneres Sprechen bzw. durch Perseveration verlängert werden. Dadurch wird gleichzeitig das langfristige Einprägen gefördert, also die Aufnahme in das unbewußte Wissensgedächtnis, welches eine – bezogen auf die Lebensdauer – unbegrenzte Kapazität und hohe Dauer aufweist. Bei der Wiederbewußtmachung, dem Erinnern, spielt die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses bzw. die Enge des Bewußtseins wieder eine Rolle. So schreiben bereits G. E. Müller und A. Pilzecker (1900, Seite 79): „In jedem Augenblicke des wachen Lebens sind zahlreiche Reproduktionstendenzen in uns vorhanden, von denen wegen der ‚Enge des Bewußtseins‘ in jedem Augenblicke nur eine wirksam werden kann.“ Es kommt danach beim Erinnern zu einer Konkurrenz von Reproduktionstendenzen. Je stärker eine Reproduktionstendenz erregt ist, desto größer ist ihre Chance, zu einer bewußten Erinnerung zu führen, sie wird jedoch von anderen Reproduktionstendenzen gehemmt und hemmt diese beim „Kampf um das enge Bewußtsein“. Müller und Pilzecker erwarteten deshalb unter bestimmten Bedingungen eine Verlängerung von Erinnerungszeiten bzw. -latenzen, die sie tatsächlich im Paarassoziationsexperiment fanden. Dadurch wurden die oben genannten Überlegungen Herbarts zum Entstehen und Vergehen von Vorstellungsassoziationen einer experimentellen Überprüfung zugänglich.

In neuerer Zeit hat der amerikanische Psychologe Donald O. Hebb (1949) anhaltende Aktivierung im Sinne von Perseveration durch neuronale Erregungskreise erklärt, für die er sowohl neuronale Strukturen als auch mathematische Formulierungen fand. Seitdem

ist das Aufrechterhalten von Erregung bis zur Weiterleitung eine wichtige Komponente der koordinierten Informationsverarbeitung in neuronalen Netzen. Dabei spielt auch eine zeitliche Synchronisation eine wichtige Rolle, die der Münchner Psychologe Pöppel und der Leipziger Psychologe Geißler mit der Dauer des bewußten psychischen Moments in Verbindung bringen.

Die Auffrischung durch Wiederholung mittels einer artikulatorischen Schleife ist ein wichtiges Hilfssystem im Modell des Arbeitsgedächtnisses, welches der britische Gedächtnisforscher Baddeley (1986) aufstellte und durch systematische experimentelle Befunde bestätigte. So fand er z.B. daß Leserate und Erinnerungsleistung für Sequenzen von fünf Wörtern in gleicher Weise von der Länge der einzelnen Wörter abhängen. Im deutschen Sprachraum wurde ein entsprechendes Ergebnis nicht nur für Wörter sondern auch für nicht im Lexikon stehende Silben in einem Experiment der Bochumer Kolleg/innen Hans-Georg Bosshardt und Christel Lang (1996) gefunden.

UNTER WELCHEN BEDINGUNGEN UND WARUM WIRD UNS ETWAS WIE BEWUSST

Unsere bewußte Wahrnehmung ermöglicht uns ein der aktuellen Umgebung entsprechendes, realitätsgerechtes Erleben und Handeln. Von großem Interesse für die Forschung sind jedoch seit jeher solche Phänomene, in denen die bewußte Wahrnehmung *nicht* realitätsgerecht funktioniert, wie beispielsweise die sogenannten optischen Täuschungen. Derartige Phänomene stellen nicht etwa einen Beleg für Mängel unseres Wahrnehmungssystems dar, sie sind auch nicht etwa als Kuriosa von Interesse, sondern sie liefern bedeutsame empirische Fakten, um die Funktionsweise der bewußten Wahrnehmung zu verstehen. Ein Beispiel läßt sich durch das sogenannte Hermann-Gitter demonstrieren (siehe Abbildung 1).

Wenn Sie aus angemessener Entfernung einen Kreuzungspunkt des Hermann-Gitters fixierend betrachten, sehen Sie ihn vermutlich heller als die übrigen Kreuzungspunkte und die Linien zwischen den

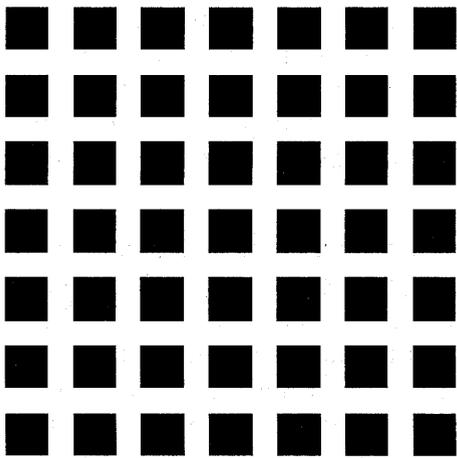


Abbildung 1: Hermann-Gitter

Kreuzungspunkten. Sie werden jeden dieser anderen, dunkel verfärbten Punkte jedoch heller sehen, sobald Sie ihn fixieren. Sie nehmen eine dunkle Verfärbung der übrigen Kreuzungspunkte bewusst wahr, wobei Ihnen vermutlich gleichzeitig bewusst ist, daß Sie etwas sehen, was gar nicht vorhanden ist. Dies ist ein Beispiel für unterschiedliche, gleichzeitig nebeneinander existierende Bewußtseinsformen, deren Inhalte sich sogar widersprechen können.

Die Erklärung dieses Phänomens durch sogenannte rezeptive Felder liegt in der Tradition der lateralen Hemmung (,seitliche' Hemmung), es werden in beiden Fällen die Informationen mehrerer Eingangselemente durch ein neuronales Netz systematisch miteinander verknüpft. Die laterale Hemmung wurde als Prinzip der Kontrastverstärkung bei der Wahrnehmung von Konturen bereits im 19. Jahrhundert durch den österreichischen Physiker und Psychologen Ernst Mach erkannt und mathematisiert. Als neuronales Netz läßt sich die laterale Hemmung leicht realisieren, wie die Abbildung 2 illustriert.

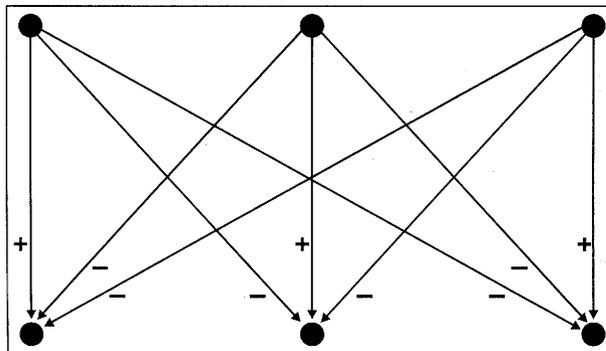


Abbildung 2: Veranschaulichung eines Netzwerkes lateraler Hemmung

Das Hermann-Gitter-Phänomen ist dadurch zu erklären, daß es rezeptive Felder (on-center receptive fields) gibt und die des peripheren Sehens größer sind als die des zentralen (fovealen) Sehens. Ein On-Center-Feld ist ein Detektor für helle Punkte, es ist immer dann besonders aktiv, wenn Licht ins Zentrum und kein Licht auf die Peripherie des Feldes fällt – sonst nicht. Durch die Kreuzungspunkte oder die sie verbindenden Linien fällt zwar genug Licht auf das Zentrum eines Feldes – es fällt auch hinreichend viel Licht auf die Peripherie, um dieses Feld zu aktivieren, aber nicht genug Licht, um es vollständig zu erregen und die Wahrnehmung eines hellen Punktes zu erzeugen. Man sieht deshalb dunkle Punkte oder Linien. Bei den kleinen Feldern der Retina, also bei Fixation eines Kreuzungspunktes, fällt viel Licht auch auf die Peripherie, so daß ein heller Punkt gesehen wird, der allerdings in Abhängigkeit von der Entfernung zwischen Augen und Vorlage ebenfalls abgeschwächt sein kann.

Ein anderes Phänomen, welches ebenfalls zu einer bewußten Wahrnehmung von Nichtvorhandenem führt, ist das der Illusionären Konturen. Ein Beispiel gibt die Abbildung 3 wieder. Es kommt hier das sogenannte Einfachheitsprinzip zur Geltung, welches besagt, daß unser wahrnehmendes System im Falle unterschiedlicher Interpretationsmöglichkeiten einer Reizsituation die einfachste Interpretation realisiert. Die Frage ist natürlich, wie das wahrnehmende System diese Leistung erbringt, die gleichzeitig ein Beispiel für Robustheit der Verarbeitung gegenüber unvollständigen Eingangsinformationen darstellt. Es wurden neuronale Netze konzipiert, in denen die Informationen, welche auf einer niedrigen Ebene durch Konturdetektoren

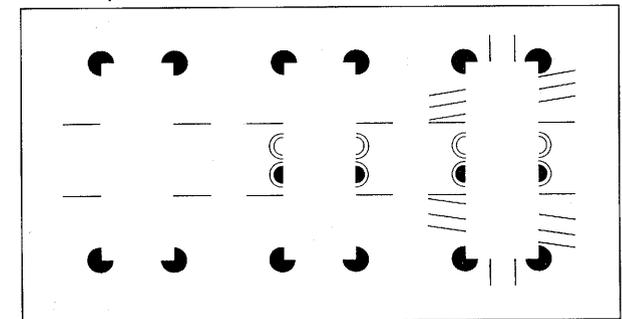


Abbildung 3: Illusionäre Konturen (aus Schiffman, 1996. Copyright © by John Wiley & Sons, Inc. Wiedergabe mit Genehmigung)

bereitgestellt werden, in kooperativer Weise verarbeitet werden, um auf höherer Verarbeitungsebene z.B. Dreieck- oder Rechteckdetektoren zu aktivieren (kooperative Netzwerke).

Ein allseits bekanntes Phänomen, welches mit der Bewußtwerdung einer bestimmten Interpretation einer verrauschten Reizsituation zu tun hat, ist der sogenannte Party-Effekt, bei dem der eigene Name aus großem Stimmengewirr herausgehört bzw. -gefiltert wird. Ein vergleichbarer Effekt besteht darin, daß einem der eigene Name beim Lesen – beispielsweise einer Tageszeitung – „ins Auge springt“. Auch motivationale Zustände können die Bewußtwerdung beeinflussen, beispielsweise wird bei Hunger die Wahrnehmungsschwelle selektiv für nahrungsbezogene Reize gesenkt. Derartige Phänomene weisen bereits darauf hin, daß die Vorstellung, bewußte Wahrnehmungs- und Erkennungsleistungen seien lediglich reizseitig gesteuert, zu simpel ist.

Erkennungsleistungen dieser Art, die wir hier als Ergebnis von Bewußtwerdungsprozessen ansehen, wurden im Labor intensiv beim Erkennen von Buchstaben und Wörtern experimentell untersucht. Zur Erklärung der gefundenen Ergebnisse wurden zunächst neuronale Netze mit mehreren Ebenen konzipiert, in denen – ganz im Sinne einer reizseitigen Verarbeitung, hier spricht man von „bottom up“-Verarbeitung – die von Merkmalsdetektoren gelieferten Informationen auf Buchstabendetektoren und diese auf Detektoren für Wörter einwirken. Diese Netze sind insofern ähnlich den Lateralen-Hemmungs-Netzen konzipiert, als Erregung und Hemmung dazu führen, daß sich die jeweils angemessene Interpretation rasch durchsetzt. Diese Vorstellungsweise ist jedoch zu einfach, konnte doch experimentell nachgewiesen werden, daß auch die Wortebene auf das Erkennen von Buchstaben einwirkt. Die neuronalen Netze wurden um eine dementsprechende Verarbeitungskomponente ergänzt, man nennt sie „top down“-Verarbeitung. Es leuchtet nicht unmittelbar ein, daß ein noch nicht erkanntes Wort auf das Erkennen der für seine Erkennung vorauszusetzenden Bestandteile einwirken kann. Man muß sich vergegenwärtigen, daß – wie unser Gehirn – neuronale Netze parallel verarbeitende Systeme sind, in denen sehr

viele verschiedene, miteinander vernetzte Bestandteile gleichzeitig in unterschiedlichem Maße aktiviert oder deaktiviert sein können – und es sich dabei um ein dynamisches Geschehen handelt. Dabei wird in der Regel – ähnlich wie bei den oben angesprochenen Erinnerungs- und Wahrnehmungsvorgängen – eine Konkurrenz von mehreren zwar aktivierten, aber nicht bewußten Interpretationsmöglichkeiten entstehen. In dieser Phase können auch die „oben“ auf Wortebene aktivierten Einheiten die „unteren“ Buchstabeneinheiten aktivieren oder hemmen. Nach einiger Zeit setzt sich eine bestimmte Kombination von vergleichsweise wenigen aktivierten Elementen durch, der Prozeß konvergiert, es kommt zu einer eindeutigen Interpretation.

Wie aber lassen sich derartige, der direkten Beobachtung entzogene „top-down“-Prozesse – hier die Wirkung der Wortebene auf die Buchstabenebene – im psychologischen Experiment nachweisen? Einer Person wird ein Buchstabe dargeboten, entweder allein oder als Bestandteil eines Wortes. Die Darbietung des oder der Buchstaben wird nach sehr kurzer Zeit (einem Bruchteil einer Sekunde) beendet, indem jeder Buchstabe durch einen maskierenden Reiz (z.B. ein Zufallsmuster) ersetzt wird. Gleichzeitig werden zwei Buchstaben zur Auswahl dargeboten, einer davon ist der dargebotene, und die Person hat anzugeben, welcher der beiden Buchstaben in der angegebenen Position dargeboten wurde. Wählt die Person den richtigen Buchstaben häufiger oder schneller nach der Wort- als nach der Einzelbuchstaben-Darbietung aus, ist die fördernde Wirkung eines Wortes auf das Erkennen eines Buchstaben nachgewiesen worden – andernfalls nicht. Tatsächlich tritt regelmäßig die fördernde Wortwirkung auf.

Wie aber reagiert das Verarbeitungssystem, wenn Informationen dargeboten werden, die sich gar nicht integrieren bzw. vereinbaren lassen?

Es müssen zwei Fälle unterschieden werden, nämlich (a) eine uneindeutige Reizsituation, die zwei oder mehr gleichwertige (das Einfachheitsprinzip ist also nicht anwendbar), aber unterschiedliche, unvereinbare Interpretationen derselben Reizsituation ermöglicht,

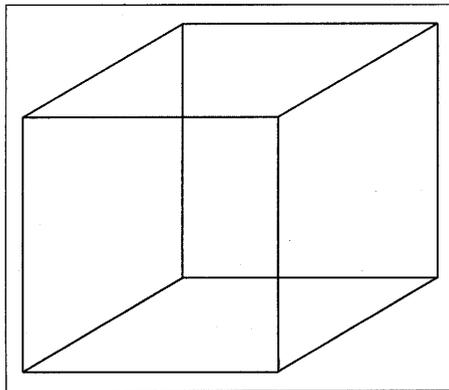


Abbildung 4: Necker-Wheatstone-Würfel

und (b) zwei unterschiedliche Reizquellen, die jede für sich eindeutig interpretiert werden kann, deren Interpretationen sich aber widersprechen.

Das klassische Beispiel zu (a) ist der Necker-Wheatstone-Würfel, der zwei gleichwertige Interpretationen zulässt (siehe Abbildung 4). Für die Erklärung des „Kippens“ zwischen den beiden Interpretationen wurde ein neuronales Netzwerk von Rumelhart und McClelland (1986) entwickelt, dessen Architektur in Abbildung 5 veranschaulicht ist.

Eine bekannte Alltagserfahrung zu (b) sind die Reisekrankheit bzw. die Seekrankheit, bei der vestibuläre und visuelle Informationen nicht übereinstimmen. Das System kann offenbar keine Lösung dieses Konfliktes zwischen den Informationsquellen finden, es entsteht Übelkeit. In anderen Fällen dominiert eine der Informationsquellen, Beispiele für dominante visuelle Informationen sind die Hexenschaukel und viele IMAX-Filmdarbietungen. Ein frühes Modell, um derartige und eine Reihe anderer Phänomene zu erklären, basiert auf dem bekannten Reafferenzprinzip der Biologen Erich von Holst und Horst Mittelstaedt.

Werden die unterschiedlichen Formen von Bewußtsein linear angeordnet, so wird dem Bewußtsein des eigenen Selbst bzw. der Selbstreflexion zumeist die oberste Stufe eingeräumt. Albert und Körner (1996) haben vorgeschlagen, ein zweistufiges Harmonie-Netzwerk zu verwenden, um Entscheidungen, wie wir sie tagtäglich treffen, und Entscheidungen, welche das eigene Selbst betreffen, zu modellieren. Letztere nennen sie ‚freie‘ Willensentscheidungen.

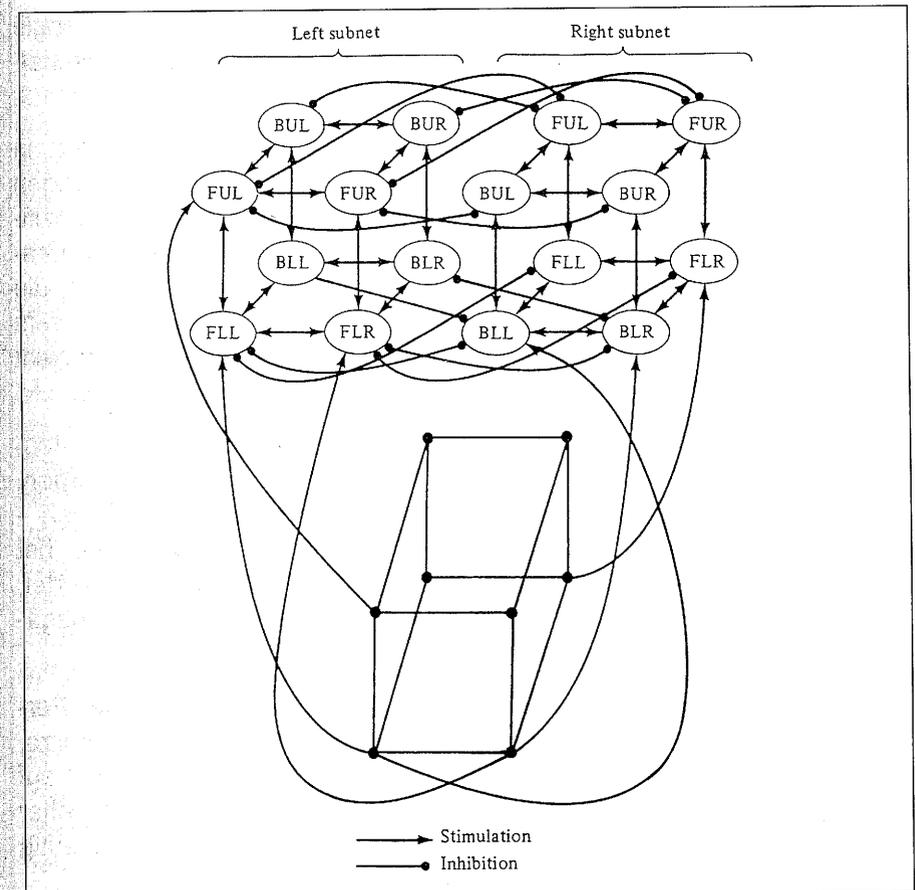


Abbildung 5: Architektur zweier verknüpfter Netzwerke, eines für jede der beiden Interpretationen des Necker-Wheatstone-Würfels: B = back bzw. hinten, F = front bzw. vorn, R = right bzw. rechts, L = left bzw. links, U = upper bzw. oben, L = lower bzw. unten (Aus: *Arbib*, 1987; nach Rumelhart und McClelland, 1986. Copyright © by The MIT Press. Wiedergabe mit Genehmigung)

KÖNNEN NICHTBEWUSSTE UMGEBUNGSREIZE ERLEBEN, VERHALTEN UND HANDELN BEEINFLUSSEN?

Obwohl sie empirisch wegen einer Reihe methodischer Probleme schwer zu untersuchen ist, hat die Frage, ob nichtbewusste Reize

unser Erleben, Verhalten und Handeln beeinflussen, die Psychologie der letzten 200 Jahre wiederholt in unterschiedlicher Weise beschäftigt. Im folgenden werden einige typische Beispiele gegeben.

In den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts zeigte Greenspoon in einem Experiment, daß durch einfache bestätigende Äußerungen einer Person das Sprechverhalten einer anderen Person in spezifischer Weise beeinflusst werden kann (verbale Konditionierung, Greenspoon-Effekt). Dieses Phänomen trat auch dann auf, wenn die Versuchsteilnehmer/innen einen Zusammenhang zwischen ihrem spezifischen Sprechverhalten und Greenspoons Bestätigungen nicht bemerkten, ihnen dieser Zusammenhang „nicht bewußt“ war.

Lösen nicht bewußt wahrgenommene Reize – Reize, deren Intensität so gering ist, daß sie nicht bewußt wahrgenommen werden, also unterhalb der Schwelle der bewußten Wahrnehmung liegen – Empfindungen aus? Der Physiker und Psychologe Fechner hat diese Frage Mitte des 19. Jahrhunderts dahingehend beantwortet, daß gemäß einer logarithmischen psychophysischen Funktion negative Empfindungswerte entstehen.

Läßt sich durch unterschwellige Reize gar das Verhalten einer Person beeinflussen, kann man sie beispielsweise durch sehr kurze, nicht sichtbare Werbe-Einblendungen in einem Kinofilm zum Kauf eines Produktes bewegen? Diese Frage wurde trotz zahlreicher Untersuchungen wegen methodischer Probleme nicht eindeutig geklärt.

Erst kürzlich aber hat sich der Braunschweiger Psychologe Dirk Vorberg wieder mit der unterschweligen, der subliminalen Wahrnehmung befaßt. Er verwendete die oben bereits erwähnte Maskierungstechnik, um unsichtbare Reize darzubieten. Er konnte in methodisch einwandfreien Experimenten zeigen, daß zwar durch Maskierung die bewußte Wahrnehmung visueller Reize verhindert wird, die Reize aber gleichwohl das motorische Verhalten beeinflussen. Und zwar ließ sich systematisch die Reaktionszeit einer motorischen Wahlreaktion verlängern oder verkürzen, je nachdem ob der unbewußt wahrgenommene Reiz inkompatibel oder kompatibel zu dem anschließend dargebotenen Hinweisreiz für die motorische

Reaktion ist. Für ihre bahnende oder hemmende Wirkung ist es gleichgültig, ob die Reize bewußt oder unbewußt wahrgenommen werden. Dementsprechend hat Vorberg ein Akkumulator-Modell – es ließe sich leicht in Form eines neuronalen Netzes realisieren – entwickelt, welches dieselben Verarbeitungsmechanismen für unbewußte und bewußte Reize annimmt.

SCHLUSSBEMERKUNG

Der Augsburger Philosoph und Wissenschaftstheoretiker Klaus Mainzer (1997, Seite 61) schreibt in seinem Buch ‚Gehirn, Computer, Komplexität‘: „Scheinprobleme entstehen dann, wenn hinter dem Gegenstandswort ‚Bewußtsein‘ ein bestimmter Gegenstand bzw. Stoff gesucht wird. So wurde häufig eine zentrale Kontrollinstanz namens ‚Bewußtsein‘ als eine Art Homunkulus vorgestellt, der alle Fäden in der Hand hält und im Neocortex als ‚oberster‘ Gehirnschicht sitzt. Tatsächlich erzeugt aber ein dezentrales, weit verzweigtes Netz *komplex miteinander verschalteter neuronaler Strukturen* die Gehirnzustände, die wir in Praxis und Labor als mehr oder weniger ‚bewußt‘ bezeichnen.“

Mir ging es darum, den Anteil der experimentellen und theoretischen Psychologie vorzustellen, wenn es darum geht, im Rahmen interdisziplinärer Forschung zum Thema ‚Bewußtsein‘ zu präzisieren, wie neuronale Netze diese Zustände erzeugen, die als ‚bewußt‘ bezeichnet werden, und um welche es sich dabei handelt. Ohne in diesem Beitrag auf Details eingehen zu können – stattdessen verweise ich auf einführende Monographien von Bruce und Green (1990), Levine (1991) und Martinedale (1991) – habe ich mich bemüht, beispielhaft zu verdeutlichen, wie die Psychologie durch aufeinander abgestimmte theoretische und experimentelle Forschung das Problem der Modellierung derjenigen Prozesse bearbeitet, die zu bewußtem Erleben und Verhalten führen, welche Phänome dazu untersucht und welche experimentellen Methoden und Verfahren dabei verwendet werden, um das spezifische – den empirischen Ergebnissen jeweils angemessene und ihr Zustandekommen erklärende – neuronale Netzwerkmodell zu finden.

LITERATURANGABEN

- Albert, D. / Körner, C. (1996). Entscheidungs- und Willensfreiheit in konnektionistischen Modellen. In M.von Cranach / K. Foppa (Hrsg.), *Freiheit des Entscheidens und Handelns. Ein Problem der nomologischen Psychologie* (S. 219-233). Heidelberg: Asanger.
- Arbib, M. A. (1987); *Brains, Machines and Mathematics* (2nd ed.). New York: Springer
- Baddeley, A. D. (1986) *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Bosshardt, H.-G. / Laug, C. (1995). Zusammenhänge zwischen Wortlänge, Lexikalität und Sprechgeschwindigkeit. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42 (4), S. 576-593.
- Bruce, V. / Green, P. R. (1990). *Visual Perception: Physiology, Psychology and Ecology* (2nd ed.). East Sussex: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Gruender, H. (1932). *Experimental Psychology*. Milwaukee: The Bruce Publishing.
- Hebb, D. O. (1949). *Organization of Behavior*. New York: John Wiley & Sons.
- Herbart, J. F. (1822). *Über die Möglichkeit und Nothwendigkeit, Mathematik auf Psychologie anzuwenden*. Königsberg: Bey den Gebrüder Borträger.
- Levine, D. S. (1991). *Introduction to Neural & Cognitive Modeling*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Mainzer, K. (1997). *Gehirn, Computer, Komplexität*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Martindale, C. (1991). *Cognitive Psychology: A Neural-Network Approach*. Belmont: Wadsworth.
- Müller, G. E. / Pilzecker, A. (1900). Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Gedächtnis. *Zeitschrift für Psychologie, Ergänzungsband 1*. Leipzig: Barth
- Rumelhart, D. / McClelland, J., Eds. (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. The MIT Press/Bradford Books.
- Schiffman, H. R. (1996). *Sensation and perception: An Integrated Approach* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Werner, D. (Hrsg.). (1995). *Taschenbuch der Informatik*. Leipzig: Fachbuchverlag.

Gert Pfurtscheller

Bewußtsein in Interaktion mit dem Computer

Unter einer bewußten Interaktion zwischen dem Gehirn und einem Computer versteht man, daß Signale vom Gehirn, die durch eine bewußte mentale Aktivität moduliert werden können, bestimmte Funktionen in einem Computer steuern. Das kann z.B. zur Steuerung eines Cursors auf einem Bildschirm oder zur Steuerung einer Handprothese eingesetzt werden. Das Wahrnehmen der mental gesteuerten Cursor- bzw. Prothesenbewegung wirkt als „Feedback“ und verändert in Folge die Gehirnaktivität. Es besteht also ein doppelter Informationsfluß, einerseits vom Gehirn zum Computer und andererseits durch das Feedback vom Computer zum Gehirn. Ein technisches System, das eine derartige Interaktion zwischen Gehirn und Computer ermöglicht, wird als „Brain-Computer-Interface“ (BCI) bezeichnet.

Funktion und Anwendungen eines BCI

Als meßbares Gehirnsignal steht uns die bioelektrische Hirnaktivität (EEG) zur Verfügung, die mit Elektroden von der Kopfhaut abgeleitet werden kann. Das EEG dient als Inputsignal für das BCI, das als Ausgangssignal im einfachsten Fall ein binäres Steuersignal liefert (Bild 1).

Bevor wir uns den Grundlagen einer solchen Gehirn-Computer-Kommunikation zuwenden, möchte ich kurz auf die Frage eingehen, wer ein solches BCI benötigt. Drei Gruppen von Patienten können in Zukunft davon profitieren:

- Patienten mit amyotrophischer Lateralsklerose (ALS) in einem fortgeschrittenen Stadium