UNSER ZIEL MUSS EINE GESTALT-NEUROWISSENSCHAFT SEIN*

*Peter Ulric Tse***

Ich empfinde die Verleihung des Metzger-Preises an mich als eine große Ehre. Über diese Anerkennung durch die *Gesellschaft für Gestalttheorie und ihre Anwendungen (GTA)* habe ich mich sehr gefreut.

Viele glauben, Gestaltpsychologie sei eine Bewegung der Vergangenheit. Ich teile diese Ansicht nicht. Die Gestaltpsychologie wird wieder an Einfluß gewinnen, je mehr sich die Grenzen der gegenwärtigen Ausrichtung der neurowissenschaftlichen Forschung abzeichnen. Es wird in den kommenden Jahren eine Renaissance der Gestalttheorie geben. Diese Wiedergeburt des Gestalt-Denkens wird zweifellos anders aussehen als die Gestaltpsychologie der Vergangenheit. In meinem heutigen Vortrag möchte ich darlegen, warum die Neurowissenschaften in eine Sackgasse geraten sind und weshalb eine neue Art des Denkens notwendig ist. Ich möchte aber auch zeigen, wie die Gestaltpsychologie der Zukunft aussehen könnte.

Das vorherrschende Vorbild in den Neurowissenschaften wie auch in der Psychologie heisst *Cognitive Neuroscience*. Es verbindet traditionelle Kognitive Psychologie mit der Hirnforschung. Wie alle wissenschaftlichen Bewegungen in der Vergangenheit ist die Cognitive Neuroscience von gemeinsamen Metaphern beherrscht. So hat beispielsweise Leibniz die Funktionen des Gehirns mit den Funktionen einer Wassermuehle verglichen, und von Freud stammt der Vergleich des Gehirns mit einer hydraulischen Pumpe. Das Gehirn wird stets mit dem am höchsten entwickelten Gebilde eines Zeitalters verglichen. Dies ist keine Überraschung, denn noch immer ist das menschliche Gehirn das komplexeste Gebilde, welches wir kennen. Die bekannteste Analogie fuer Cognitive Neuroscience ist natuerlich der Computer. Man nimmt an, dass das Gehirn die Information in aehnlicher Weise verarbeitet wie ein Computer. Dabei wird stets behauptet, dass die Cognitive Neuroscience zum Ziel hat, die Verarbeitung der Information im Gehirns zu verstehen. Viele Neurowissenschaftler geben nur bei

---

* Schriftliche Fassung des Vortrags, den Peter Ulric TSE anläßlich der Verleihung des Wolfgang-Metzger-Preises 2002 bei der 13. Wissenschaftlichen Arbeitstagung der GTA in Karlsruhe zu halten beabsichtigte. Der damals beginnende Irak-Krieg verhinderte die Teilnahme des Preisträgers an der Tagung.

** Lothar SPILLMANN, Walter H. EHRENSTEIN, Kai HAMBURGER und Gerhard STEMBERGER haben den Text durchgelesen und mein manchmal mangelhaftes Deutsch verbessert. Ich bedanke mich herzlich für ihre Hilfe. Für eventuelle Mißverständnisse bin ich allein verantwortlich. P. U. T.

einem Gespraech unter vier Augen zu, dass sie sich auch fuer Subjektivitaet oder das Bewusstsein interessieren. Hartnaeckige Wissenschaftler behaupten, dass Neurone die Einheiten der Informationsverarbeitung sind, ebenso wie Computer-Chips die Einheiten der Informationsverarbeitung im Computer sind. Die Analogie mit einem Computer ist aber nicht sehr nützlich. Im Gehirn gibt es offenbar keinen Unterschied zwischen Software und Hardware. Der Computer kann seine eigenen Verdrahtungen nicht ändern, aber das Gehirn besitzt die Fähigkeit, zwischen Neuronen neue Verbindungen entstehen zu lassen.

Ich bin der Meinung, daß diese Art zu denken ihre Grenzen erreicht hat. Mein Vortrag handelt hauptsächlich von den Problemen, die aus dieser Analogie erwachsen.

Erstens verstehen wir immer noch nicht, wie Information im Gehirn verarbeitet wird. Wir gehen davon aus, daß Information über die Frequenz oder die Amplitude der Aktions-Potentiale kodiert wird. Aber das könnte auch falsch sein. Denken Sie an die Netzhaut. Dort gibt es, bevor man zu den Ganglienzellen kommt, keine Aktions-Potentiale. Die Neuronen verarbeiten Information, aber diese Verarbeitung ist analog, nicht digital. Was wäre, wenn die lokale Verarbeitung im Gehirn analog statt digital erfolgte? Was wäre ferner, wenn analoge Übertragungsweisen wichtiger wären als bisher angenommen? Könnte es sein, daß sich in der Phylogenese Aktions-Potentiale hauptsächlich dazu entwickelt haben, um Potentiale von einem Ort zu einem anderen, weiter entfernten Ort zu leiten? Falls diese Annahme zuträfe, wäre die gegenwärtige Beschränkung auf Aktions-Potentiale zu einengend. Es gibt den bekannten Witz: Jemand hat seinen Schlüssel an einer bestimmten Stelle verloren, sucht ihn aber an einer anderen. Auf die Frage eines Freundes, warum er dort suche, antwortet er: "Weil hier mehr Licht ist." Ich denke, daß dieser Witz das geschilderte Problem veranschaulicht. Es ist relativ einfach, Aktions-Potentiale zu messen und zu beschreiben. Das bedeutet aber nicht, daß der Schlüssel zum Gehirn oder der neuronale Code tatsächlich dort zu finden wäre, wo man etwas messen kann. Tatsächlich wäre es viel schwieriger, analoge Veränderungen von Potentialen im Gehirn zu messen. Ich will mit meinen Bemerkungen auch keineswegs sagen, daß die Informationsverarbeitung im Gehirn mit Aktionspotentialen nichts zu tun hätte. Ganz im Gegenteil. Aber man muß immer wieder skeptisch sein, besonders gegenüber Dingen, die man schon deswegen glaubt, weil Sie einleuchtend sind oder weil die meisten daran glauben.

Es gibt noch einen weiteren Einwand, der zeigt, wo die kognitiven Neurowissenschaften an ihre Grenzen stoßen. Auch wenn die Analogie mit dem Computer teilweise berechtigt sein mag, gibt es noch immer keine Methode, mit der wir herausfinden könnten, wie das Gehirn Information verarbeitet. Wir können von einzelnen Zellen mit Elektroden ableiten. Obwohl einzelne Neurone verschieden empfindlich sind (d.h.verschiedene rezeptive Felder haben), ist es sehr wahrscheinlich, daß Information eher in Populationen von Neuronen repräsentiert

ist oder in neuronalen Netzwerken verarbeitet wird. Von David MARR stammt der Ausspruch, es sei wenig sinnvoll, von einzelnen Neuronen abzuleiten, wenn man das Gehirn als Ganzes verstehen will. Wenn man dies tut, ist es, als ob man das Flugverhalten von Vögeln verstehen lernen will, indem man einzelne Federn abmisst. Wir brauchen eine ganz andere Perspektive, um das Fliegen des Voegels zu verstehen, nämlich die des Vogels. Genauso kann man die Architektur eines Gebäudes nicht verstehen, wenn man nur einen einzelnen Ziegelstein betrachtet. In ähnlicher Weise, wie ein Ziegel ein Teil von vielen verschiedenen Gebäuden sein könnte, ohne sich von anderen Ziegeln zu unterscheiden, könnte ein Neuron ein Teil von mehreren Netzwerken sein. Die neue Perspektive, die wir brauchen, um die Arbeitsweise des Gehirns zu verstehen, besteht also in einem umfassenden Verständnis von Netzwerken, Schaltungen und Verbindungen. Leider ist die beste Methode, die wir derzeit haben, die gleichzeitige Abmessung von mehreren Neuronen. Man kann bereits von 4, 16, oder noch mehr Zellen simultan ableiten, aber man weiß nicht, ob diese Zellen etwas miteinander zu tun haben, geschweige denn, ob sie zur selben kortikalen Schicht oder zum selben Netzwerk gehören. Dehalb können wir bestenfalls nur Korrelationen zwischen den Zellen bestimmen. Was wir also brauchen, ist eine ganz neue Methode, eine, mit der man gleichzeitig hunderte, vielleicht auch tausende von Neuronen, die zum selben Netzwerk gehören, gleichzeitig erfaßt. Dagegen können wir mit den jetzigen Methoden über Kausalität der Informationsverarbeitung innerhalb eines Netzwerks derzeit nur wenig Aussagen machen. Vermutlich wird es noch eine Weile dauern, bis wir die notwendigen Methoden haben, um zu verstehen, wie das Gehirn funktioniert.

Wir haben andere Methoden, wie zum Beispiel die Elektroenzephalographie, aber auch diese Methode hat ihre Grenzen. Wir können damit zwar schnelle Potential-Änderungen dokumentieren, aber wenn wir herausfinden möchten, wie das Gehirn Information verarbeitet, ist es ein wenig so, als ob man durch Messung der Vibrationen eines Kühlschranks feststellen möchte, was sich im Kühlschrank befindet. Auch mit der Methode der Kernspin-Tomographie können wir das ganze Gehirn erfassen. Aber diese Methode hat bislang eine geringe zeitliche Auflösung, sodaß es damit nicht möglich ist, Ereignisse zu messen, die eine unmittelbare, nicht bloß eine indirekte Korrelation mit der Informationsverarbeitung im Gehirn haben.

Eine Grundidee der Gestalt-Bewegung ist, daß das Ganze mehr und auch anders ist als die Summe seiner Teile (Übersummativität bzw. Nicht-Summativität). Das ist zweifellos der Fall. So kann zum Beispiel keine einzelne Zelle allein die Funktion eines Rohrs übernehmen. Wenn aber mehrere Zellen eine Ader formen, erhält das so gebildete Ganze neue Eigenschaften. In diesem Fall kann dann die Ader als Rohr funktionieren, durch das Blut fließen kann. Ein anderes Beispiel: Ein Blutegel bewegt sich mit einer Wellenbewegung, obwohl keine einzige seiner Zellen allein diese Bewegung vollbringen kann. Diese Bewegung ist daher eine neugewonnene Fähigkeit eines neuro-muskulären Netzwerks von Zellen. In gleicher Weise ergeben

selbst viele individuelle elektronische Bauteile noch kein Radio. Nur wenn sie die richtige Gestalt besitzen, also hinsichtlich ihrer Konfiguration, Struktur und Anordnung sinnentsprechend zusammengestellt werden, können die Bauteile neue Fähigkeiten annehmen und als Radio funktionieren. Was macht den Unterschied zwischen einer Vielzahl von Bauteilen und einem Radio aus? Die Komponenten sind dieselben, aber die raum-zeitlichen Beziehungen zwischen den Teilen sind verschieden. Wichtig ist es zu verstehen, daß solche Beziehungen eine eigene Existenz haben. Sie beruhen auf Gegenständen, sind aber nicht selber Gegenstände. Die individuellen Komponenten oder Zellen können ersetzt werden. Jedes Atom oder sogar jede Zelle kann ersetzt werden, aber die Gestalt bleibt erhalten. Umgekehrt kann die gleiche Gestalt aus mehreren verschiedenen Bauteilen bestehen. Gestalten existieren nur durch die Beziehungen zwischen Teilen, die letztendlich aus Material oder Energie bestehen. Sie sind aber nicht selber Material oder Energie.

Diese Idee ist eigentlich sehr alt. Der griechische Philosoph HERAKLIT hat gesagt "Man kann nie zweimal in den selben Fluss steigen." Damit meint er, daß das Wasser eines Flusses sich fortlaufend ändert. Die Gestalt des Flusses bleibt jedoch unverändert. Ein Fluss ist also eine Gestalt, die mehr und anderes ist als die einzelnen Wassermoleküle, aus denen er besteht. Ein Fluss ist ein Muster von Beziehungen zwischen Bestandteilen, das höheren Gesetze gehorcht als denen seiner einzelnen Bestandteile. Die Gesetze, mit deren Hilfe wir Energie beschreiben, - zum Beispiel, daß Energie weder entstehen noch vergehen kann - sind anders als diejenigen, welche für Gestalten bestimmend sind, obwohl Gestalten durch ihre Energie existieren. Ebenso wie Information kann eine Gestalt zerstört werden oder wiederentstehen. Eine wichtige Aufgabe in der Zukunft wird es sein, diese Gesetze zu finden und zu verstehen.

Ein weiteres Problem für die kognitiven Neurowissenschaften ist die Idee von neuronalen rezeptiven Feldern. Ein rezeptives Feld ist ein abgegrenzter Bezirk auf der Netzhaut, der die Empfindlichkeit einer Zelle bestimmt. Diese Idee war sehr wichtig, aber sie hat auch den Erkenntnisfortschritt behindert. An die Entdeckungen von HUBEL und WIESEL knüpften sich große Erwartungen, weil diese Autoren sehr spezifische rezeptive Felder von Neuronen im Sehhirn beschrieben. Viele Sehforscher erhofften sich davon ein reduktionistisches Verständnis des Gehirns, dergestalt, daß globale Reize in einzelnen Zellen verarbeitet werden. Man sprach beispielsweise von "Großmutterzellen", als ob etwas so vielschichtiges und komplexes wie die Darstellung einer Großmutter mit einer einzelnen Zelle zu erreichen wäre. Heutzutage spricht man lieber von Repräsentationen, die durch die Aktivität einer Anzahl von Neuronen entstehen. Selbst wenn dies zuträfe, müßte diese Information irgendwie dekodiert werden, entweder durch die Zelle selbst oder durch eine Population von Neuronen. Wir sind jedoch weit davon entfernt zu verstehen, wie man sich dies vorzustellen hat.

Das vielleicht größte Rätsel ist, wie aus neuronalen Ereignissen im Gehirn Bewußtsein entsteht. Gestalttheoretiker haben grundlegende Prinzipien, Gesetze und Regeln beschrieben, die Auskunft darüber geben, wie sich Sehreize zeitlich und räumlich gruppieren und dadurch als Figur vom Grund abheben. Neurowissenschaftler haben diese Ideen aufgegriffen und im wesentlichen für sich akzeptiert. Die Frage ist jedoch nicht, wie Reize anschaulich gruppiert werden, sondern wie solche Regeln in der neuronalen Verarbeitung der Information implementiert sind, sodaß Wahrnehmung und Bewußtsein entstehen können. Es ist so, als würden wir wir zwei unvollendete Seiten einer Brücke betrachten. Einerseits wissen wir bereits eine Menge über die Leistungen des Gehirns, wie sie in unserer bewußten Erfahrung vorliegen und wie wir sie mit Hilfe von psychophysischen Methoden quantifizieren können. Andererseits wissen wir auch viel über die Arbeitsweise von Einzelneuronen. Was wir hingegen noch nicht verstehen, ist, wie diese Neuronen zusammenwirken, d.h. kurzzeitige Verbindungen eingehen, um Wahrnehmungsinhalte abzubilden. Das heißt, es fehlt immer noch ein Verständnis der Brücke, die die Verbindung zwischen Neuronen und Bewußtsein erschafft. Neurowissenschaftler stimmen zwar darin überein, daß diese Verbindung zwischen neuronaler Verarbeitung und Bewußtsein in neuronalen Netzen stattfinden muß. Wie dies aber im einzelnen erfolgt, ist noch nicht bekannt.

Ich möchte mich jetzt den Grenzen der traditionellen Gestaltpsychologie zuwenden. Ihre tiefgreifendste Einsicht war, daß Wahrnehmungen im Gehirn ganzheitlich repräsentiert sein müssen. Heute aber brauchen wir ein neurophysiologisches Verständnis der Prozesse, die die ganzheitliche Darstellung im Gehirn bewerkstelligen. Die von den Gestalttheoretikern hierbei stets in Analogie zu den Feldern der Physik angeführte Feldtheorie ist meines Erachtens nicht viel mehr als eine Analogie, da sie zu unspezifisch ist, um eine neuronale Theorie von ganzheitlichen Vorgängen im Gehirn zu begründen. Eine Analogie kann nützlich sein, aber auch gefährlich. Sie kann insofern nützlich sein, als sie einen schwierigen Sachverhalt, den man nicht versteht, in gewisser Weise veranschaulicht. Sie kann aber auch insofern in die Irre führen, als sie den Sachverhalt nur teilweise trifft.

Wir brauchen mehr als Analogien, um die hier behandelten ganzheitlichen Vorgänge zu verstehen. Teile können auf verschiedene Weise holistische Züge annehmen, eine Ader kann als Rohr, ein Radio als Empfänger fungieren. In beiden Fällen handelt es sich um neu hinzugewonnene Fähigkeiten von Bauteilen, die diese Fähigkeiten für sich alleine nicht besitzen. Den Fähigkeiten, als Rohr oder Empfänger zu funktionieren, ist nichts gemein. Wasser das durch ein Rohr fließt, unterliegt beispielsweise BERNOULLIs Gesetz: Je schneller eine Flüssigkeit fließt, desto weniger Druck übt sie auf das Rohr aus. Dieses Gesetz ist für ein Radio weder zutreffend noch nützlich. Auf beide Sachverhalte einfach nur den Ausdruck "ganzheitlich" anzuwenden, würde nichts erklären – „ganzheitlich“ wäre in dieser

Weise nur ein Wort. Auch "Gestalt" ist bei solcher Verwendung nur eine Bezeichnung. Um ganzheitliche Prozesse zu verstehen, müssen wir mehr als verschwommene Ideen von "neu hinzutretenden Eigenschaften" haben. Wir müssen konkrete Modelle entwickeln, die es uns erlauben, spezifische Fähigkeiten von Bauteilen bzw. von neuronalen Netzwerken vorherzusagen. Wir suchen immer noch nach einer Theorie, die uns erklären hilft, wie ganzheitliche Verarbeitung im Gehirn stattfindet und wie Bewußtsein überhaupt entsteht. Erst eine solche Theorie würde es uns erlauben, von einer "Gestalt Neuroscience" zu sprechen. Unsere Aufgabe besteht darin, eine derartige Gestalt-Neurowissenschaft zu verwirklichen.

Zusammenfassung

Die Gestalttheorie wird in den kommenden Jahren in dem Maße eine Renaissance erleben, in dem die Neurowissenschaften an die Grenzen ihrer gegenwärtigen Ausrichtung stoßen, die von der Vorherrschaft der Computer-Analogie für die Gehirnvorgänge beherrscht ist. Die Metapher vom Gehirn als Computer war in den letzten Jahren sowohl hilfreich als auch hinderlich. Man kann zwar sagen, daß das Gehirn Informationen verarbeitet, aber das Gehirn ist offensichtlich trotzdem kein Computer. So gibt es zum Beispiel im Gehirn keine Unterscheidung zwischen Hardware und Software und – anders als bei einem Computer – schafft sich das Gehirn seine Verbindungen ständig selbst. Im Unterschied zu einem Computer kann die Informationsverarbeitung im Gehirn nicht auf Prozesse eines einzelnen Neurons oder einer anderen einzelnen zentralen Prozessor-Einheit reduziert werden. Darüber hinaus ist es zweifelhaft, ob sich die Informationsverarbeitung im Gehirn auf einfache funktionale Komponenten - wie etwa die rezeptiven Felder des sensorischen Cortex - reduzieren läßt. Die zentrale Aufgabe für die Zukunft besteht darin, wie aus der Aktivität neuronaler Netzwerke die ganzheitlichen Eigenschaften der Gehirnfunktion entstehen können. Die Gestalttheorie kann klären, was genau unter Ganzheitlichkeit zu verstehen ist. Ganzheitlichkeit ist tatsächlich ein nur schlecht definierter Ausdruck, der in unterschiedlichsten Bedeutungen verwendet wird. Wir brauchen ein wesentlich spezifischeres Verständnis davon, welche neue Funktionalität und Fähigkeit durch Ensembles von Neuronen hervorgebracht werden, die bei der Lösung eines Problems zusammenwirken. Diese neu entstehenden Eigenschaften verschiedener Regelkreise können tatsächlich sehr unterschiedlich sein und mit den jeweils anderen nur soviel gemeinsam haben, daß sie eben alle neu entstehende Eigenschaften ganzer Netzwerke sind. Wir brauchen ein viel spezifischers Verständnis davon, wie solche „Schaltungen“ zum Entstehen bestimmter neu auftretender Eigenschaften führen können. Die Gestalttheorie muß insofern reifen und über vage Analogien und Bezugnahmen auf Feldtheorien hinausgehen, wenn wir die materielle Grundlage des ganzheitlichen Fnktionierens verstehen wollen. Wir brauchen ein wissenschaftliches Verständnis der von neuronalen Netzwerken neu hervorgebrachten Eigenschaften, wenn wir die Funktionsweise des Gehirns je verstehen wollen.

Summary

Gestalt theory will undergo a renaissance in the coming years as neuroscience reaches the limits of current thinking, which is dominated by the computer metaphor of brain processing. The metaphor of the brain as a computer has both helped and hindered us in recent decades. The brain may process information, but it is manifestly not a computer. For example, in the brain there is no software/hardware distinction, and the brain, unlike a computer, is

continually rewiring itself. Unlike a computer, information processing in the brain cannot be reduced to the processing of a single neuron or any other single central processing unit. Moreover, it is doubtful whether information processing in the brain can be reduced to simple functional components, such as the receptive fields of sensory cortex. The central task of the future is to understand how holistic properties of brain function can emerge from the activity of neuronal networks. Gestalt theory can clarify what exactly is meant by holism. This is in fact a poorly defined word used to mean many things. We require a much more specific understanding of what new functionality and capacities emerge from ensembles of neurons dedicated to the solution of a common problem. The emergent properties of different circuits may in fact be quite diverse, having nothing in common with one another other than that they are emergent properties of whole networks. We require a much more specific understanding of how circuitry can give rise to specific emergent properties. Gestalt theory must mature and move beyond vague analogies and references to field theory if we are to understand the material basis of holistic function. We require a scientific understanding of emergent properties of neural networks if we are ever to understand brain processing.

Address of the Author:

Peter Ulric Tse
Department of Psychological and Brain Sciences
H. B. 6207, Moore Hall
Dartmouth College
Hanover NH 03755
Tel: (603) 646-4014
Fax: (603) 646-1419
http://www.dartmouth.edu/~psych/people/faculty/tse.html