

MANFRED FAHLE

ÄSTHETIK ALS TEILASPEKT BEI DER SYNTHESE MENSCHLICHER WAHRNEHMUNG

Für Werner Maihofer

Wahrnehmung, Ästhetik und das Hirn

Im vorliegenden Text soll es um die Synthese der Wahrnehmung und um die Beziehung dieser synthetisierten Wahrnehmung zur Ästhetik gehen. Wahrnehmung ist, ebenso wie das Erleben ästhetischer Erfahrungen, ganz sicher eine Leistung, die ganz wesentlich auf der Funktion unseres zentralen Nervensystems, genauer: der Großhirnrinde, beruht. Lassen Sie mich daher damit beginnen, einige relevant erscheinende Aspekte der Hirnfunktion zu diskutieren.

Vor zehn Jahren war es noch stärker als heute en vogue, das Gehirn mittels einer Analogie zum Computer zu beschreiben. Mittlerweile hat sich aber zunehmend die Erkenntnis durchgesetzt, dass es sich beim menschlichen Gehirn keinesfalls um eine Art von Computer handelt. In unserem Kopf befindet sich keine Hardware, sondern eher „wetware“. „Wetware“ bedeutet, dass die Bestandteile dieses als Gehirn bezeichneten informationsverarbeitenden Apparates überwiegend aus Wasser bestehen, also im Gegensatz zu den Chips der Computer ziemlich nass sind. Insofern kann die biologische „wetware“ der ingenieurerzeugten „hard-“ und „software“ gegenüber gestellt werden. Diese „wetware“ unseres Gehirnes folgt ganz eigenen Regeln, die sich grundlegend von den in Computern normalerweise verwendeten unterscheiden. Daher taugt die Computeranalogie nicht, wenn wir Hirnfunktionen in ihrem Verhältnis zu Wahrnehmung und Ästhetik verstehen wollen.

Wahrnehmung bedarf vermutlich keiner Definition, die umgangssprachliche Bedeutung ist ausreichend klar. Doch der zweite zentrale Begriff des Titels dieses Textes erfordert eine Definition. Laut Duden-

Fremdwörterlexikon bezeichnet Ästhetik „die Wissenschaft vom Schönen“ bzw. die „Lehre von der Gesetzmäßigkeit und Harmonie in Natur und Kunst“. Ein verwandter Begriff, die Ästhesiologie, verbindet auf das Schönste die Wahrnehmung mit der Ästhetik. Er bezeichnet die „Lehre von den Sinnesorganen und ihren Funktionen“. Im Rahmen der Siegener Tagung haben wir Definitionen gehört von „Beauty is in the eye of the beholder“ über „Beauty is in the genome of the beholder“ bis zu „Meaning is in the eye of the decoder“. Ich möchte eine weitere Definition anschließen, nämlich „Beauty is in the brain of the beholder“. Ich hoffe, Sie davon überzeugen zu können, dass diese Definition „Sinn“ macht.

Individualität des visuellen Systems

Wir beginnen also, wie oben angekündigt, damit, den Wahrnehmungsapparat zu analysieren. All unser Sehen startet in der Netzhaut mit Stäbchen und Zapfen, die das von der Außenwelt stammende Licht in elektrische Aktivität umwandeln. Das bedeutet, bereits in der Netzhaut findet ein Bruch der physikalischen Signal-Natur statt. Aus elektromagnetischen Wellen werden elektrische Impulse, die mit den Objekten, von denen diese elektromagnetischen Wellen ausgehen, keinesfalls identisch sind. Die Netzhaut ist übrigens „verdreht“, d.h. die Fotorezeptoren verstecken sich vor dem Licht und sind in die falsche Richtung ausgerichtet, d.h. vom Licht weg, in Richtung auf die Außenhülle des Auges. Kein Ingenieur würde eine solche Lösung wählen. Insofern ist diese Tatsache bereits ein Hinweis darauf, dass die Evolution einen gewissen Einfluss auf die Ausstattung unserer Sinnessysteme ausgeübt hat: die realisierten Problemlösungen wurden nicht am Reißbrett entworfen, sondern bauten auf bereits vorhandenen, entwicklungsgeschichtlich älteren, Nervensystemen auf.

Die Verteilung der verschiedenen Fotorezeptor-Klassen, und damit der verschiedenen Zapfen eines Individuums, kann seit einigen Jahren direkt sichtbar gemacht werden. Sie wissen alle, unsere Netzhaut besitzt drei verschiedene Fotorezeptoren-Typen für das Tagsehen, die in erster Näherung bevorzugt auf rotes Licht, grünes Licht und blaues Licht antworten. (Selbstverständlich ist das Licht eigentlich nicht farbig, sondern besitzt eine Wellenlänge – die Farbe entsteht erst im Gehirn). Eine Methode, die aus der Astronomie entliehen wurde, hat es ermöglicht, unter experimentellen Bedingungen das Auflösungsvermögen der Optik des Auges vorübergehend um den Faktor drei bis vier zu steigern. Das bedeutet, dass man durch die Optik des Auges auf die Fotorezeptoren

schauen, die einzelnen Fotorezeptoren unterscheiden und diese selektiv bleichen kann. Man „überschüttet“ also die Netzhaut mit „rotem“ Licht, um die Fotorezeptoren, die darauf am stärksten reagieren, auszubleichen. Das Ausmaß der Bleichung jedes einzelnen Rezeptors kann mit Hilfe der neuen Methode gemessen werden. Dann verwendet man „grünes“ Licht, um die Rezeptoren zu bleichen, die am stärksten auf diese Wellenlänge reagieren und danach jene, die auf „Blau“ reagieren. Auf diese Art und Weise konnte man bei mehreren Versuchspersonen die Verteilung der einzelnen Rezeptortypen untersuchen. Dabei stellte man zur großen Verwunderung fest, dass die Relation zwischen Grün- und Rot-Rezeptoren bereits bei diesen wenigen Versuchspersonen um den Faktor zwei schwankte. Das heißt, eine der Versuchspersonen besaß relativ betrachtet doppelt so viele Rot-Rezeptoren wie die andere. Offenbar ist bereits auf der Ebene der Netzhaut Ihr „Rot“ etwas Anderes als mein „Rot“. Wenn wir beide auf das gleiche Objekt schauen, unterscheiden sich die Erregungen unserer Nervensysteme bereits auf der Ebene der Netzhäute. Mit anderen Worten: Individualität der Wahrnehmung manifestiert sich bereits auf der Ebene der Netzhaut.

Einige allgemeine Prinzipien der Hirnfunktion: Spezialisierung

Diese Individualisierung ist selbstverständlich nicht auf die Netzhaut beschränkt, sondern setzt sich im Gehirn fort. Die Repräsentation der Außenwelt im Gehirn lässt sich durch einige wenige allgemeine Prinzipien recht gut beschreiben. Eines dieser Prinzipien ist die Spezialisierung. Spezialisierung bedeutet, dass verschiedene Teile des Gehirns unterschiedliche Aufgaben erfüllen. Der hintere (okzipitale) Teil sowie Anteile des Scheitel- und Schläfenlappens (vgl. Abb. 1) vermitteln den Seheindruck. Im Schläfenlappen ist auch das Hirnzentrum für die Repräsentation des Raumes lokalisiert, im Scheitellappen die Körperfühlsphäre und im Frontallappen die Motorik sowie die „Persönlichkeit“. Vielen wird vielleicht noch aus dem Schulunterricht geläufig sein, wo die Körperfühlsphäre lokalisiert ist (Abb. 2). Unterschiedliche Teile des Cortex informieren uns darüber, wo wir berührt werden (sensorischer Homunculus) oder steuern die Bewegungen des Körpers (motorischer Homunculus). Diese Cortexareale sind recht gut geordnet, beispielsweise nimmt die Repräsentation des Gesichtes nur einen kleinen umschriebenen Teil des Cortex ein. Ein benachbarter Teil des Gehirns repräsentiert den Kopf, andere die Hände oder Füße. Direkt neben bzw. hinter dem motorischen

Homunculus findet sich der sensorische Homunculus. Die Teile des Gehirns im braun eingefärbten Bereich repräsentieren verschiedene Teile des Körpers. Sie werden in Abb. 2 sehen, dass gute Entsprechungen zwischen der Motorik und der Sensorik existieren, mit einer kleinen Ausnahme: Ein bestimmter Teil des Körpers ist nur in der sensorischen Karte vorhanden, nicht aber in der motorischen Karte.

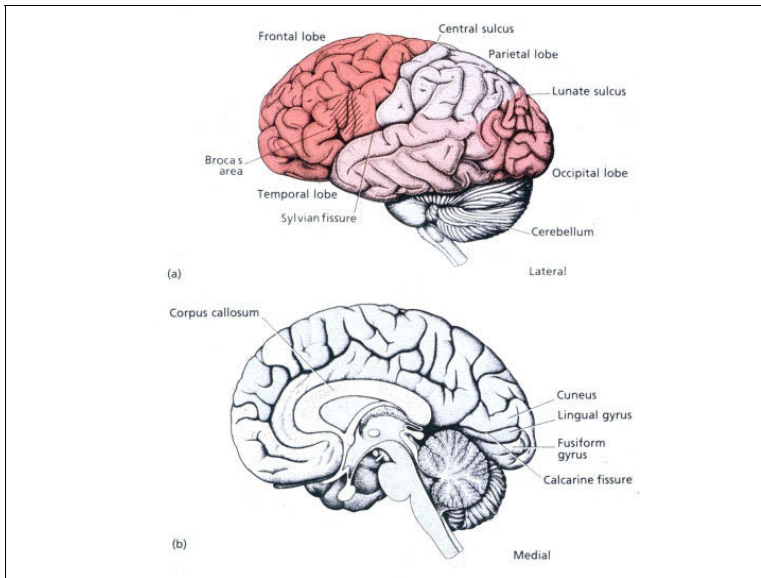


Abb. 1: Schematische Ansicht des menschlichen Gehirns mit makroskopischer Gliederung¹

1 Zeki, S.: *A Vision of the Brain*, Oxford 1993, S. 18, Abb. 2.2.

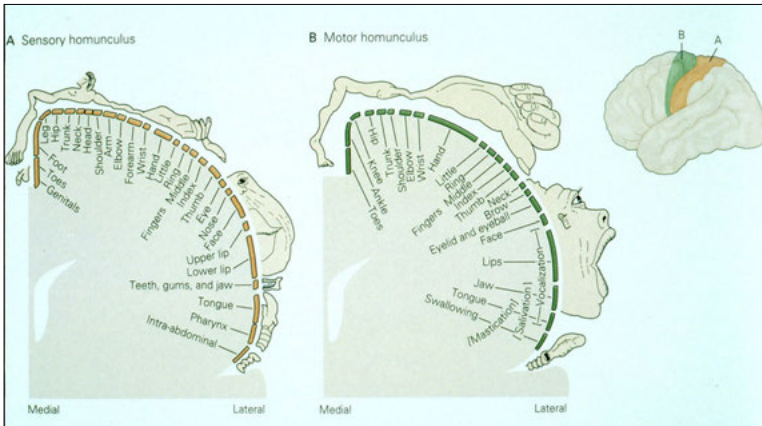


Abb. 2: Repräsentation des Körpers in der menschlichen Großhirnrinde (sensorischer Homunculus) sowie der „Körpersteuerung“ (motorischer Homunculus)²

Die Ausdehnung unterschiedlicher sensorischer Areale variiert zwischen unterschiedlichen Spezies. Die Teile, die besonders wichtig sind, nehmen einen großen Teil der Repräsentation ein, d.h. die Größe der corticalen Repräsentation richtet sich nicht primär nach der Größe der Oberfläche dieses Körperteils, sondern nach der Anzahl der Sinnesrezeptoren in oder auf diesem Körperteil. Am Rücken finden sich nur wenige Rezeptoren, daher ist seine cortikale Repräsentation relativ klein, dagegen nehmen die Hände einen überproportional großen Teil der Körperrepräsentation ein. Die Größe der einzelnen Repräsentationen erlaubt daher gewisse Aussagen über Vorlieben der einzelnen Tierarten (Abb. 3). Offenbar sind das Reden und das Schmecken für Menschen relativ wichtig und auch das Berühren, während die Füße nicht mehr so wichtig sind wie bei unseren Vorfahren. Affenhände und -füße hingegen, wenn man diese Körperteile so bezeichnen darf, besitzen etwa gleich große Repräsentationen. Die Katze sieht ziemlich gefährlich aus, und das Kaninchen hat nichts als Essen im Sinn.

2 Kandel, E. R./Schwartz, H./Jessel, T. M.: *Principles of Neural Science*, New York 2000, S. 344, Abb. 18.6.

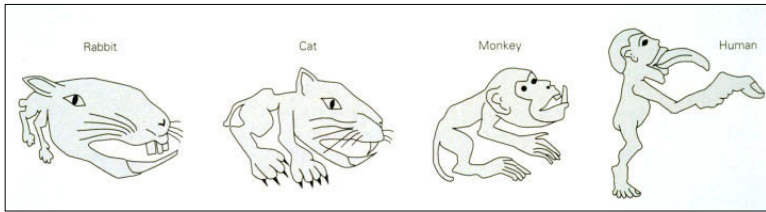


Abb. 3: Repräsentation des Körpers unterschiedlicher Tierarten im jeweiligen Cortex als Funktion der Repräsentationsgröße der entsprechenden Körperregion im sensomotorischen Cortex³

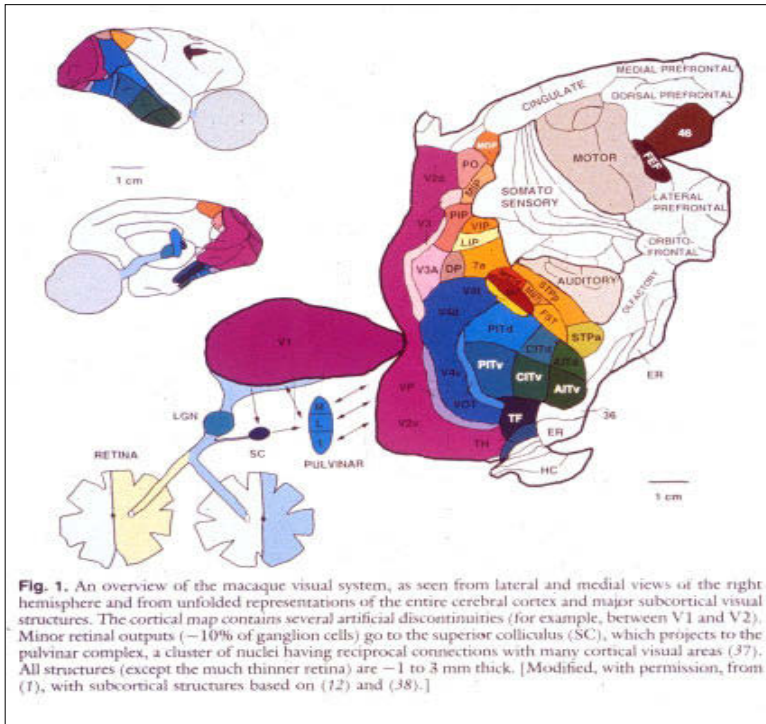


Abb. 4: Schematische Darstellung des Cortex eines Rhesusaffen einschließlich seiner Verbindung mit dem Auge⁴

3 Kandel/Schwartz/Jessel (wie Anm. 2), S. 388, Abb. 20.5.

4 van Essen, D. C./Anderson, C. H./Felleman, D. J.: „Information Processing in the Primate Visual System: An Integrated Systems Perspective“, in: *Science*, 255 (1992), S. 419-423, hier S. 420, Abb. 1.

Die Spezialisierung des Cortex geht aber noch viel weiter. Wie oben bereits angedeutet, befasst sich der hintere, okzipitale Anteil des Cortex mit der Analyse visueller Informationen, also mit dem Sehen. Innerhalb dieser Spezialisierung auf das Sehen findet sich noch eine erstaunlich weitgehende Unterspezialisierung. Abb. 4 zeigt eine schematische Ansicht des Cortex eines Rhesusaffen und seine Verbindung mit dem Auge. Alle farbig unterlegten Anteile dieses Cortex haben direkt oder indirekt etwas mit der Analyse visueller Reize zu tun, wie man insbesondere aus Einzelzellableitungen weiß. Die Abbildung illustriert zwei wesentliche Erkenntnisse: Erstens, dass etwa ein Drittel des Cortex für Sehen, also die Analyse visueller Informationen verwendet wird. Der Mensch ist von der Evolution eher dafür vorgesehen, die visuelle Außenwelt zu analysieren, als für die Durchführung komplexer mathematischer Operationen. (Für Mathematik steht ein wesentlich geringerer Anteil des Gehirns zur Verfügung, deshalb sind Menschen in dieser Hinsicht auch Computern deutlich unterlegen.) Zweitens sehen wir aus der Abbildung, dass sich der Bereich des Gehirns, der sich mit visuellen Eingangserregungen befasst, in mindestens vierzig unterscheidbare Unterabteilungen aufgliedern lässt. Mit anderen Worten, der visuelle Cortex ist nicht monolithisch, sondern besteht aus einer großen Anzahl eindeutig voneinander abgrenzbarer Untereinheiten. Das bedeutet für den Sehvorgang, dass Sehen nicht eine Einheit darstellt, sondern modular aufgebaut ist, auch wenn wir subjektiv Sehen als Einheit empfinden. In Wirklichkeit besteht Sehen also aus vielen Teilfunktionen, die Teilaspekte der visuellen Umgebung analysieren. Im Augenblick ist noch nicht klar, aus welchen Teilaspekten Sehen im Einzelnen zusammengesetzt ist, und welche kortikalen Areale jedem dieser Teilaspekte zugeordnet sind. Sicher wissen wir, dass Farbsehen, Bewegungssehen und Tiefsehen, das heißt Abstandsschätzung, von zumindest teilweise unterschiedlichen Cortexarealen vermittelt werden. Ein bestimmter Teil des Cortex, der neben dem primären visuellen Cortex insbesondere Areale eher an der Basis des Gehirns umfasst, analysiert Farben, während Bewegungen insbesondere einen Anteil des Cortex am Übergang zwischen Scheitel- und Schläfenlappen aktivieren.

Einige allgemeine Prinzipien der Hirnfunktion: Ordnung

Ein weiteres Prinzip der Informationsverarbeitung im Cortex ist das der Ordnung. Beim Blick in die visuelle Umwelt wird der rechte Anteil dieser Umwelt im linken Teil des Gehirns abgebildet und der linke Anteil in der rechten Hirnhälfte. Die Gründe dafür sind, zumindest mir, unklar. Eigentlich erscheint es unpraktisch, alle sensorischen und motorischen Signale in die jeweils gegenüberliegende Hirnhälfte zu leiten. Aber auch hierbei handelt es sich um ein allgemeines Prinzip im Tierreich, das auch auf den Menschen Anwendung findet und das möglicherweise auf einer Rotation des Kopfes um 180 Grad während der Entwicklungsgeschichte beruht. Der zentrale Bereich des Gesichtsfeldes, der in der Fovea der Netzhaut abgebildet wird, nimmt eine unverhältnismäßig große Projektion im primären visuellen Cortex ein (Abb. 5). Die Peripherie des Gesichtsfeldes hingegen, die offenbar weniger wichtig ist, beeinflusst nur einen wesentlich kleineren Anteil der kortikalen Oberfläche im primären visuellen Cortex. In Analogie zum oben erwähnten sensorischen und motorischen Homunculus werden also auch in diesem Sinne im kortikalen System die Anteile, die besondere Bedeutung haben, sehr ausführlich abgebildet. Noch klarer als bei dem somatosensorischen Homunculus aus Abbildung 3 ist das Prinzip der Ordnung. Benachbarte Orte der Außenwelt werden auf benachbarten Orten der Netzhaut abgebildet und dann auch an benachbarten Orten des primären visuellen Cortex repräsentiert. Diese Repräsentation ist natürlich stark verzerrt, aber sie bewahrt im Großen und Ganzen die Nachbarschaftsverhältnisse. Daher werden – mit Ausnahme der Bereiche in der Nähe des vertikalen Meridians, der die Repräsentationen der beiden Hirnhälften voneinander trennt – benachbarte Punkte der Außenwelt an benachbarten Bereichen des Cortex repräsentiert. Allerdings steht diese Repräsentation der visuellen Außenwelt gewissermaßen auf dem Kopf: Da bereits das Netzhautbild aus physikalischen Gründen auf dem Kopf steht und die Netzhautprojektion zum Cortex dies nicht kompensiert, steht auch die Repräsentation der Außenwelt im visuellen Cortex auf dem Kopf: Die oberen Anteile des Gesichtsfeldes werden im unteren Teil des primären visuellen Cortex repräsentiert, die unteren Gesichtsfeldanteile im oberen Cortexbereich.

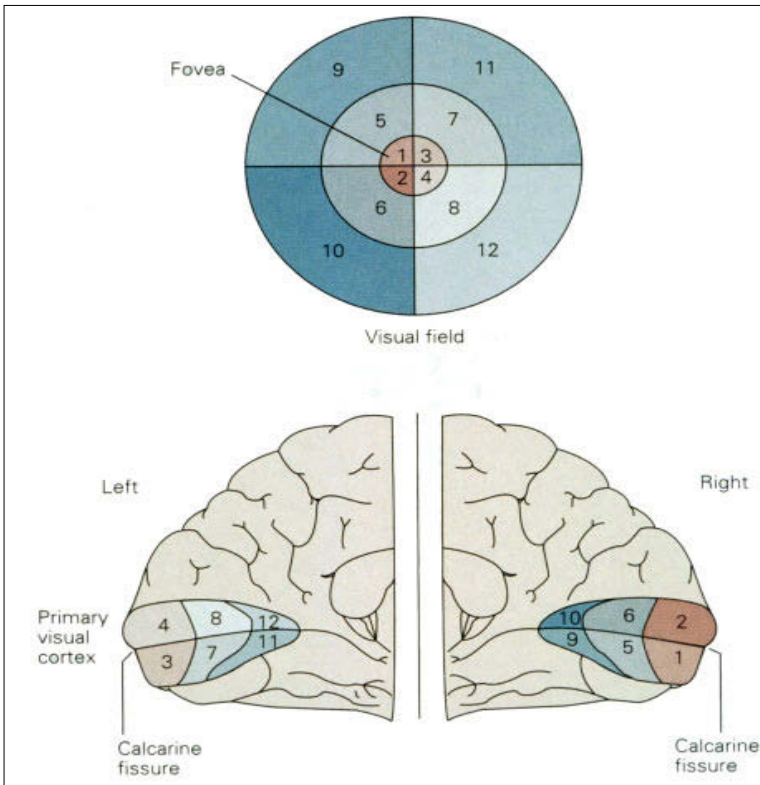


Abb. 5: Die Abbildung der visuellen Außenwelt im primären visuellen Cortex betont das Gesichtsfeldzentrum auf Kosten der Peripherie⁵

Einige allgemeine Prinzipien: Parallelverarbeitung

Ein drittes Prinzip der corticalen Informationsverarbeitung ist das der Parallelverarbeitung. Dieses Prinzip ist eng verbunden mit dem der Spezialisierung. Denn da sich unterschiedliche Anteile des Cortex auf die Verarbeitung unterschiedlicher Aspekte der visuellen Welt spezialisiert haben, folgt daraus, dass unterschiedliche Merkmale eines Bildes gleichzeitig verarbeitet werden können. Auch das Prinzip der topographisch geordneten Projektion, das oben angesprochen wurde, bedeutet, dass für jeden Gesichtsfeldort ein eigener Cortexanteil zur Verfügung steht. Daher können viele Bereiche der Außenwelt gleichzeitig bezüglich jedes Merkmals verarbeitet werden. Durch diese massive simultane Parallel-

5 Kandel/Schwartz/Jessel (wie Anm. 2), S. 532, Abb. 27.9.

verarbeitung verschiedener Orte des Gesichtsfeldes und innerhalb jedes Ortes nochmals für verschiedene Aspekte, wie Farbe, Bewegung und Tiefe wird eine erhebliche Beschleunigung der visuellen Verarbeitung erreicht. Das Gehirn ist im Vergleich zu Computern ein relativ langsames informationsverarbeitendes Gerät. Seine Taktfrequenz beträgt maximal 100 Hertz, eventuell sogar wesentlich weniger bis hinunter zu 10 Hertz, also 10 Prozesse pro Sekunde. Das ist im Vergleich zu einem modernen Computerprozessor mit über einem Gigahertz, also mehr als einer Milliarde Rechenschritte pro Sekunde, sehr langsam. Durch die Parallelverarbeitung wird diese Geschwindigkeitsbegrenzung zumindest teilweise wettgemacht. Dadurch sind Menschen bei der Verarbeitung natürlicher Szenen auch den besten Computern mindestens ebenbürtig, meist jedoch deutlich überlegen.

Andererseits verursacht die Parallelverarbeitung auch gewisse Probleme, denn die Parallelverarbeitung unterschiedlicher Merkmale der gleichen Szene, bzw. des gleichen Objekts in unterschiedlichen Arealen des Cortex bedeutet, dass diese Verarbeitung unterschiedlicher Merkmale zu einem gewissen Teil unabhängig voneinander stattfindet. Daher erhebt sich die Frage, wie die verteilte Verarbeitung der visuellen Information wieder zu einem einheitlichen Bild, d.h. einer einzigen Repräsentation aller Merkmale eines Objektes führen kann. Dieses Problem ist auch als das so genannte Bindungsproblem bekannt und führte zu einer erheblichen Kontroverse innerhalb der an neurobiologischen Fragestellungen interessierten Forscher. Eine Reihe von Experimenten zeigt, dass es sich hierbei tatsächlich um ein Problem handelt. Unter bestimmten Bedingungen funktioniert die Zusammenführung der einzelnen Merkmale nämlich nicht perfekt. Zeigt man Versuchspersonen beispielsweise drei oder vier Buchstaben, etwa ein A, ein C, ein D und ein F in unterschiedlichen Farben, während ihre Aufmerksamkeit durch eine weitere Aufgabe abgelenkt wird, dann werden diese Versuchspersonen dennoch in der Lage sein, die dargebotenen Buchstaben nach Ende der Darbietung korrekt anzugeben. Sie werden auch in der Lage sein, die individuellen Farben der vier Buchstaben korrekt zu benennen. Es kommt aber relativ häufig zu Verwechslungen, d.h. zu falschen Zuordnungen zwischen Buchstaben und Farben. Während also die Angabe eines falschen Buchstabens, der nicht dargeboten wurde, oder einer falschen Farbe, also einer Farbe, die nicht dargeboten wurde, extrem selten ist, werden die Farben den Buchstaben häufiger falsch zugeordnet. Das führt dazu, dass beispielsweise ein rot dargebotenes A als grünes A und ein grün dargebotenes B als rotes B angegeben werden. Das Bindungsproblem sagt genau

dieses Ergebnis voraus. Da Farbe und Form, also Orientierung, in gesonderten und voneinander teilweise getrennten Arealen des Cortex analysiert werden, ist es denkbar, dass sowohl Farbe als auch Form sämtlicher Buchstaben korrekt analysiert werden. Bei einer sehr kurzfristigen Darbietung und einer Ablenkung der Aufmerksamkeit gelingt es dem Cortex aber nicht immer perfekt, die Form und die Farbe einander zuzuordnen und es kommt zu den oben beschriebenen Verwechslungen.

Die Lösung des Bindungsproblems im Cortex ist zurzeit offen. Es existieren verschiedene Vorschläge, u.a. der einer zeitlichen Koppelung, die dazu führen sollte, dass jeweils die neuronalen Repräsentationen aller Attribute eines Objektes, wie seine Form, Farbe und sein Abstand gleichzeitig kurz aktiv sind, direkt gefolgt von einer ebenfalls kurzzeitigen Aktivierung aller Repräsentationen eines anderen Objektes. Eine alternative Vorstellung, die ich persönlich plausibler finde, besteht darin, das Verbinden der unterschiedlichen Merkmale über ihren Ort zu erzielen. Denn während in den „höheren“ kortikalen Arealen Zellen auf Merkmale innerhalb eines relativ großen Bereiches des Gesichtsfeldes antworten und insofern nicht wissen, wo genau sich ein rotes Merkmal im Gesichtsfeld befindet, ist der primäre visuelle Cortex, wie wir oben sahen, streng topographisch geordnet. Durch Rückgriff auf diese topographische Repräsentation im primären visuellen Cortex könnten also „höhere“ Areale im Prinzip genaue Positionsinformationen erhalten. Mit anderen Worten: durch Rückkoppelung (*Feedback*) und laterale Verschaltung zwischen parallelverarbeitenden Cortexarealen könnte das Bindungsproblem gelöst werden.

Allgemeine Prinzipien der Hirnfunktion: Laterale und Vertikale Interaktion

Laterale Interaktion, d.h. Interaktion zwischen verschiedenen Nervenzellen auf der gleichen Stufe der Informationsverarbeitung sowie Rückkoppelung, d.h. Einwirkung von „höheren“ Verarbeitungsstufen auf vorangehende Stufen stellen zwei weitere, sehr wichtige Prinzipien der Informationsverarbeitung im Cortex dar. Während die Bedeutung der lateralen Interaktion schon vor etwa einem halben Jahrhundert erkannt wurde, wurde die Bedeutung der Rückkoppelung lange unterschätzt. Vor zwei Dekaden wurde die Signal- und Informationsverarbeitung auf den ersten kortikalen Stufen der visuellen Analyse noch weitgehend als rein hierarchisch angesehen. In einem rein hierarchisch organisierten System läuft die Information stets nur in einer Richtung, weitgehend ohne Rück-

koppelung. Man stellte sich also vor, dass die Erregung der kortikalen Areale rein durch den Reiz determiniert und in einer Aufeinanderfolge relativ fixierter Operationen analysiert würde. Heute wissen wir, dass Rückkoppelung im Cortex eine sehr große Rolle spielt. In vielen Teilen des Gehirns ist die Anzahl der so genannten rekurrenten Fasern, die von „höheren“ zu vorangehenden Analyseebenen zurücklaufen, zumindest ebenso groß, wie die Anzahl der Fasern, die von den „niedrigen“ Analyseebenen nach oben projizieren. Dadurch kann das System sich flexibel an sehr unterschiedliche Aufgaben anpassen, und zwar schon auf den ersten Analyseebenen. Andererseits macht die Flexibilität und Plastizität der Verarbeitung bereits auf diesen „frühen“ kortikalen Analyseebenen die Untersuchung und Entschlüsselung der Funktion dieser Ebenen weit- aus schwieriger, als früher angenommen. Denn wenn die Aktivität einer Ebene nicht rein durch den Reiz, sondern auch durch interne Aktivität des Gehirns bestimmt wird, dann wird die Voraussage der Aktivität eines Cortexareals für den Fall der Darbietung eines bestimmten Reizes sehr viel schwieriger, als wenn diese Cortexebene rein durch den äußeren Reiz aktiviert würde.

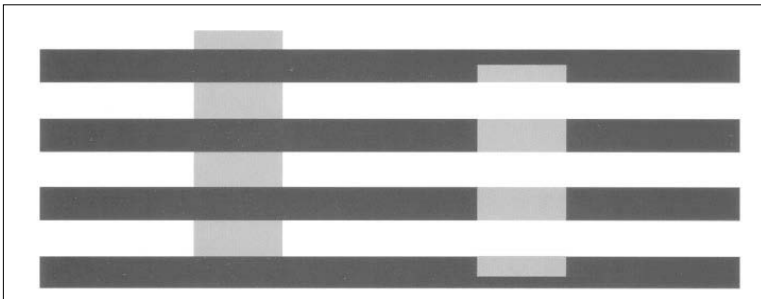


Abb. 6: Der Mechanismus der lateralen Interaktion führt beispielsweise zum Simultankontrast

Laterale Interaktionen, also die Wechselwirkungen zwischen benachbarten Zellen auf der gleichen Verarbeitungsebene, bestehen aus zwei Komponenten. Die erste, meist kurzreichweitige Interaktion ist die der gegenseitigen Unterstützung und Aktivierung. Die meiner Ansicht nach wichtigere und weitreichendere Interaktion ist die der lateralen Hemmung oder Inhibition. Dieser neuronale Mechanismus führt zu einer Reihe wohl bekannter Wahrnehmungstäuschungen, wie dem in Abb. 6 dargestellten Simultankontrast. Man kann sich leicht davon überzeugen, dass die zentralen Bereiche in der linken und rechten Hälfte der Abbildung die

gleiche Intensität aufweisen. Aufgrund der unterschiedlichen Umgebungen führt in einem Fall die Übertreibung des Kontrastes durch laterale Inhibition zu einer Aufhellung des zentralen Bereiches, während sie im anderen Fall zu einer subjektiven Verminderung der wahrgenommenen Intensität führt.

Wahrnehmung als Informationsreduktion und partielle Synthese

Die Wahrnehmungstäuschung des Simultankontrastes ist nur ein Beispiel aus einer großen Anzahl von Täuschungen, die zeigen, dass unser Gehirn die Außenwelt nicht so abbildet, wie sie ist. Vielmehr interpretieren wir die Signale, die von den Sinnesorganen geliefert werden und synthetisieren im Kopf eine Abbildung der Außenwelt. Dabei verändern wir das Bild, das von den Objekten auf der Netzhaut abgebildet wird und modifizieren es so, dass es für das Gehirn besser handhabbar wird, beispielsweise durch Reduktion der Informationsmenge und durch Verschärfung und Verstärkung der Kontraste mittels lateraler Interaktion. Die Repräsentation der Außenwelt im Gehirn weicht also manchmal erheblich von der physikalisch erfassbaren Realität ab.

Meiner Ansicht nach sind die kortikalen Bilder, die wir uns von den Objekten der Außenwelt machen, insbesondere gekennzeichnet durch zwei Prinzipien: Nämlich dem der Reduktion von Informationen und dem der Konstruktion, also der Synthese von Repräsentationen. Reduktion ist deswegen erforderlich, weil die Sinnesorgane ständig so viele Signale anliefern, dass die Verarbeitungskapazität des Gehirnes durch die Rohdaten überfordert wäre. Das Gehirn muss also zunächst die Informationen komprimieren. Im visuellen Bereich kann man sich das vielleicht so vorstellen wie den Übergang von einer *bit-map* zu einem komprimierten Datenformat wie *jpg*. Es ist oft überraschend, wie stark Bildinformationen komprimiert werden können, ohne dass die subjektive Bildqualität leidet. Das Gehirn muss also Wichtiges von Unwichtigem trennen und sich bei der weiteren Analyse auf die Signale beschränken, die für die augenblickliche Situation wichtig sind.

Zusätzlich sind die Informationen, die von den Sinnesorganen geliefert werden, oft zweideutig. Dann muss auf der Grundlage allgemeiner Prinzipien und Vorannahmen über die Außenwelt eine Konstruktion und Synthese der augenblicklichen Situation erfolgen. Der Mensch interpretiert also das, was ihm die Sinnesorgane anliefern, um daraus eine möglichst konsistente Repräsentation der Außenwelt zu synthetisieren. Wir

bilden die Außenwelt nicht nur ab, sondern konstruieren uns eine eigene Wirklichkeit, unsere eigene cortikale kleine Welt.

Ein wichtiger erster Prozess dieser Datenreduktion ist die primäre Begrenzung auf Formen und Konturen, unter Vernachlässigung von relativ gleichmäßigen Flächen. Es werden also aus dem von der Netzhaut angelieferten Bild zunächst die Konturen extrahiert, die meist den Außengrenzen von Objekten entsprechen (leider manchmal auch weniger wichtigen Schatten). Dadurch wird das Bild der Außenwelt in erster Näherung auf eine Art von „Cartoon“ reduziert. Möglicherweise sprechen wir auch deshalb so gut auf Cartoons an, weil sie auf einer zweiten oder dritten Verarbeitungsstufe in unserem Gehirn der Repräsentation wirklicher Objekte schon recht nahe kommen.

Die einzelnen, lokalen Konturen dieses „Cartoons“ müssen nun miteinander in Beziehung gesetzt werden. Lokale Konturen müssen verknüpft werden, um voneinander abgrenzbare, geschlossene Konturlinien zu erzeugen, die ihrerseits Oberflächen und schlussendlich Objekte repräsentieren. Dieser Prozess der Kombination von Konturelementen zu Formen ist keinesfalls trivial, wovon wir uns leicht überzeugen können, wenn wir beispielsweise in einen Garten voller Äste und Blätter schauen. Eine Reihe recht einfacher Prinzipien unterstützen dieses Phänomen der Schaffung geschlossener Konturbereiche. Bereits auf der zweiten oder dritten Ebene der Informationsverarbeitung im visuellen Cortex werden aus unvollständigen Konturumrissen durch Interpolationen Formen ergänzt. Ein gutes Beispiel hierfür liefert Abb. 7A. Das für jedermann gut sichtbare Dreieck, dessen Intensität sich für Viele auch deutlich vom Hintergrund abhebt, ist physikalisch keinesfalls vollständig definiert. Die Linien, die das Dreieck definieren, brechen nach kurzem Verlauf ab. Man sieht hier also ein Dreieck, das gar nicht real existiert, das aber aufgrund von Vorwissen über die Außenwelt konstruiert wird. Aufgrund seiner Vorerfahrung ist für das Gehirn die einfachste und wahrscheinlichste Interpretation, dass die unterbrochenen Linien eigentlich weiterlaufen, aber durch ein davor liegendes Objekt verdeckt werden.

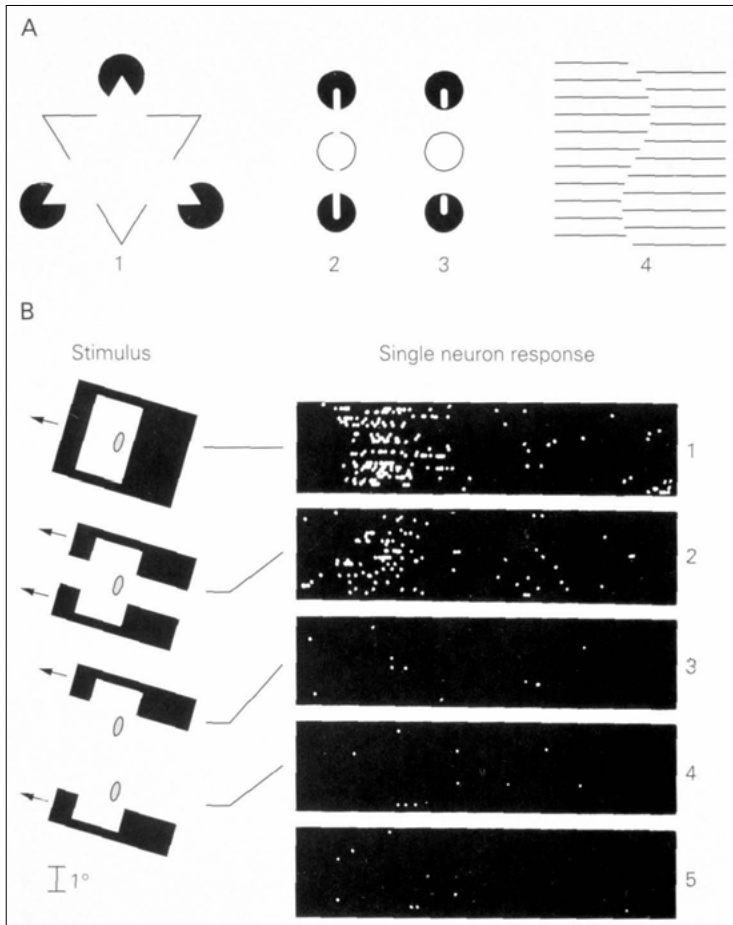


Abb. 7A und B: Synthese von „kognitiven Konturen“ und durch solche Reize evozierte neuronale Aktivität⁶

Das aufregende an dieser Interpretation, die oft als „kognitive Kontur“ bezeichnet wird, ist, dass sie anscheinend quasi „mechanisch“ auf einer frühen kortikalen Ebene, dem sekundären visuellen Cortex, erzielt wird. Auf dieser Ebene des visuellen Cortex findet man bei Einzelzellableitungen im Affengehirn Neurone mit rezeptiven Feldern, die, ähnlich wie im primären visuellen Cortex, das gesamte Gesichtsfeld in topographisch geordneter Weise abbilden. Das rezeptive Feld eines jeden Neurons ist definiert als jener Bereich des Gesichtsfeldes, entsprechend also jenem

6 Kandel/Schwartz/Jessel (wie Anm. 2), S. 564, Abb. 28.16.

Bereich der Netzhaut, durch dessen Stimulation die Aktivität der Nervenzelle erhöht werden kann. Darbietung von Reizen außerhalb des rezeptiven Feldes soll die Aktivität des Neurons nicht erhöhen. Bewegt man eine Kante, also eine Kontur der für dieses Neuron optimalen Orientierung in der geeigneten Richtung durch das rezeptive Feld des Neurons, dann steigt die Entladungsfrequenz und somit die Aktivität dieses Neurons an (Abb. 7B). Jeder der Punkte in Abb. 7B1-7B5 symbolisiert einen so genannten „spike“, d.h. eine Entladung dieses Neurons. Die Zeitachse verläuft von links nach rechts, daher symbolisiert jede Zeile eine Bewegung des Reizes von rechts nach links. Die untereinander liegenden Zeilen geben die Ergebnisse von 20 Wiederholungen dieses Versuches wieder. Es ist offensichtlich, dass die Zelle ihre Aktivität erhöht, sobald die Kontur eine bestimmte Position erreicht hat. Wird der Reiz jetzt dergestalt modifiziert, dass ein Teil der Kontur entfernt wird, so dass das rezeptive Feld der Zelle eigentlich nicht mehr stimuliert wird, erhöht sich die Aktivität des Neurons trotzdem. Hier besteht also ein offensichtlicher Widerspruch: Eigentlich werden Neurone nur durch eine Reizdarbietung innerhalb ihres rezeptiven Feldes aktiviert, andererseits findet sich in Abb. 7B1 eine Aktivierung durch einen Reiz, der außerhalb des rezeptiven Feldes dargeboten wird. In Abb. 7B2-7B5 sind die Ergebnisse eines Kontrollexperimentes dargestellt. Wird nur der obere Teil oder nur der untere Teil des in Abb. 7B2 verwendeten Reizes dargeboten, dann folgt daraus keine nennenswerte Aktivierung des Neurons (Abb. 7B3-7B4). Insofern wurde das rezeptive Feld korrekt identifiziert, denn ein Reiz außerhalb des rezeptiven Feldes führt in der Tat nicht zu einer Aktivierung der Zelle (Abb. 7B5). Nur dann, wenn zwei Reize in einer Weise gezeigt werden, welche die „kognitive“ Interpretation nahe legt, dass sich auch im rezeptiven Feld des Neurons eine Kontur befindet, steigt die Aktivität des betreffenden Neurons.

Dieses Ergebnis zeigt, dass die Ergänzung fehlender „kognitiver“ Konturen bereits sehr früh im Verlaufe der visuellen Informationsverarbeitung stattfindet. Insofern finde ich persönlich den Begriff der „illusorischen Kontur“ besser als den der „kognitiven Kontur“. Durch diesen relativ einfachen Mechanismus der Kontur-Interpolation gelingt es dem Gehirn, teilweise verdeckte Konturen in einer quasi automatischen Weise zu ergänzen und auf diese Weise geschlossene Konturen als Grundlage der darauffolgenden Form- und Objekterkennung zu schaffen. Die Betonung liegt wiederum auf „schaffen“, denn auch hier werden die Signale aus der Außenwelt nicht einfach analysiert, sondern aufbereitet, um eine Repräsentation der Außenwelt zu synthetisieren. Dabei ergänzt das Ge-

hirn Fehlendes (und häufig fehlt irgendetwas in visuellen Szenen, weil es zum Teil verdeckt ist durch davor liegende Objekte) nach bestem Wissen und Gewissen.

Wahrnehmungstäuschungen als fehlgeschlagene Konstruktionen

Die Konstruktion der Repräsentation der Außenwelt und insgesamt der subjektiven Wirklichkeit ruht demnach auf zwei Grundprinzipien. Einerseits wird diese Repräsentation der Außenwelt natürlich durch die Signale bedingt, die das Gehirn von den Sinnesorganen erhält. Zum anderen wird die Repräsentation aber auch Ausdruck der Erwartungshaltungen sein, mit denen das Gehirn diesen Sinnessignalen begegnet. Es wirken demnach so genannte „bottom-up“-Signale aus den Sinnesorganen und „top-down“-Informationen von höheren Ebenen der Signalverarbeitung zusammen. Zum Bereich der Erwartungshaltungen lässt sich neben den im Laufe des Lebens erworbenen Erfahrungen auch ein Teil des von der Gattung als Ganzem erworbenen Wissens über die Welt zählen und sicherlich die „Bedingungen der Möglichkeit von Wahrnehmung“, also die Kategorien wie Raum und Zeit, in denen wir all unsere Erfahrung organisieren. Diese Erfahrungswerte besagen beispielsweise, dass Licht normalerweise von oben kommt und Schatten nach unten wirft und hilft uns so, in Abb. 8 eine dreidimensionale Struktur zu erkennen, obwohl das gedruckte Bild selbstverständlich nur zweidimensional, also flach sein kann. Je nach Verlauf und Anordnung der Schatten scheint es sich bei den kreisförmigen Reizen der Abb. 8 entweder um kleine Hügel oder kleine Mulden zu handeln.

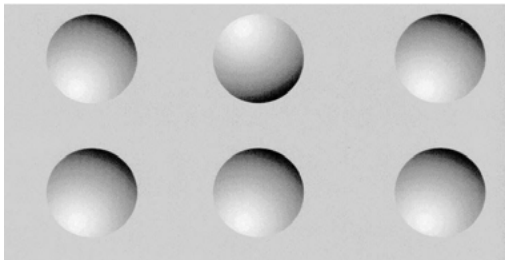
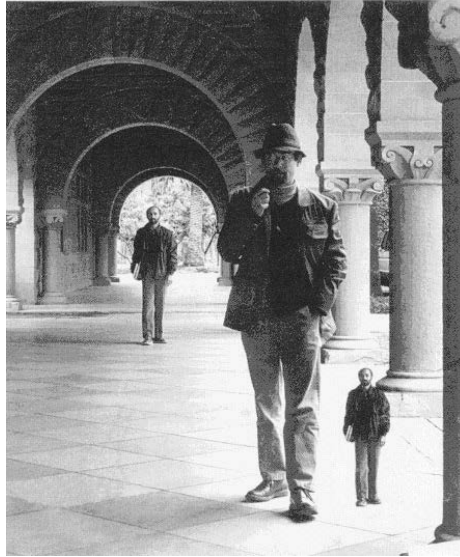


Abb. 8: Angedeutete Schatten erzeugen die Illusion von Tiefe: Das flache Blatt scheint „Mulden“ oder „Hügel“ aufzuweisen.⁷

⁷ Seckel, A.: The Art of Optical Illusions, London 2000, S. 25, Abb. 16.



*Abb. 9: Eine Größentäuschung, die auf Perspektive beruht*⁸

„Top-down“-Signale erlauben uns auch eine perspektivische Interpretation der Netzhautbilder. Dieses Wissen hilft bei der Erzielung der Größenkonstanz. Objekte erzeugen mit zunehmendem Abstand vom Beobachter immer kleinere Bilder auf der Netzhaut. Aufgrund des Wissens über Perspektive erwarten wir diese Verminderung des Netzhautbildes und sind insofern in der Lage, sie wahrnehmungsmäßig zu kompensieren und zu verhindern, dass Objekte zu schrumpfen scheinen, wenn wir uns von ihnen entfernen. Das Wissen um Perspektive ermöglicht die Größenkonstanz, es erscheint nicht ungewöhnlich, dass der Herr links oben in Abb. 9 eine geringere Höhe aufweist, als der Herr im Vordergrund des Bildes. Kopiert man dagegen das Bild des Herrn links oben nach rechts unten in einen Bereich des Bildes, der aufgrund der perspektivischen Interpretation näher am Beobachter liegt, dann erscheint die Abbildung des Herrn als wesentlich zu klein. Diese „top-down“-Beeinflussung der wahrgenommenen Größe vollzieht sich automatisch und ist nicht dem Willen unterworfen. Wir können uns also nicht gegen diese perspektivische Deutung wehren. Das zweidimensionale Bild wird dreidimensional interpretiert und führt zu einem intrinsischen Widerspruch und zu einer Wahrnehmungstäuschung.

⁸ Seckel (wie Anm. 7), S. 45, Abb. 36.

Ganz allgemein beruhen viele Wahrnehmungstäuschungen genau darauf, dass die üblichen Interpretationsmechanismen in spezifischen Situationen versagen und es zu offensichtlichen Diskrepanzen zwischen der subjektiven Wahrnehmung und der physikalischen Außenwelt kommt. Wahrnehmungstäuschungen sind also vielfach Fehlschläge der kortikalen Konstruktion oder Synthese der Repräsentation von „Welt“. Daneben gibt es natürlich eine Reihe anderer Ursachen für Wahrnehmungstäuschungen, aber viele lassen sich in der Tat als Diskrepanzen zwischen der subjektiv konstruierten Repräsentation einer bestimmten Szene einerseits und dem physikalischen Wissen über die Struktur der Welt andererseits interpretieren. Häufig lässt sich jeder Bereich des Bildes getrennt problemlos interpretieren, die einzelnen Bereiche können jedoch nicht in ein gemeinsames Ganzes integriert werden.

Die Abb. 10a illustriert diese Hypothese. Auf den ersten Blick scheint es sich um eine Treppe zu handeln. Je nach Vertrautheit mit dieser Art von Täuschungen wird dem Beobachter aber sehr schnell klar, dass die dreidimensionale Interpretation dieses zweidimensionalen Bildes fehlschlägt. Es ist nicht möglich, sich ein dreidimensionales Objekt vorzustellen, das ein solches zweidimensionales Bild erzeugen würde. In Wirklichkeit existieren durchaus Objekte, die derartige zweidimensionale Bilder erzeugen. Das Gebilde erscheint nur deshalb unmöglich, weil bestimmte Voraussetzungen und Vorannahmen gewissermaßen automatisch in unsere Interpretation eingebaut sind. Der Betrachter nimmt unmittelbar an, der Grundriss des Gebildes sei rechtwinklig, entspräche also einem Quadrat oder zumindest einem Rechteck. Bei genauerer Betrachtung der Abbildung wird man bemerken, dass zwar alle Stufen etwa die gleiche Größe haben, dass aber die Anzahl der Stufen pro Seite unterschiedlich hoch ist. Diese Beobachtung ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass es sich in Wirklichkeit nicht um ein Gebilde mit einem rechtwinkligen Grundriss handelt. Sobald man die Annahme der Rechtwinkligkeit aufgibt, ist es durchaus möglich, ein Objekt zu bauen, dass aus einem bestimmten Blickwinkel die in Abbildung 10a dargestellte zweidimensionale Projektion erzeugt.

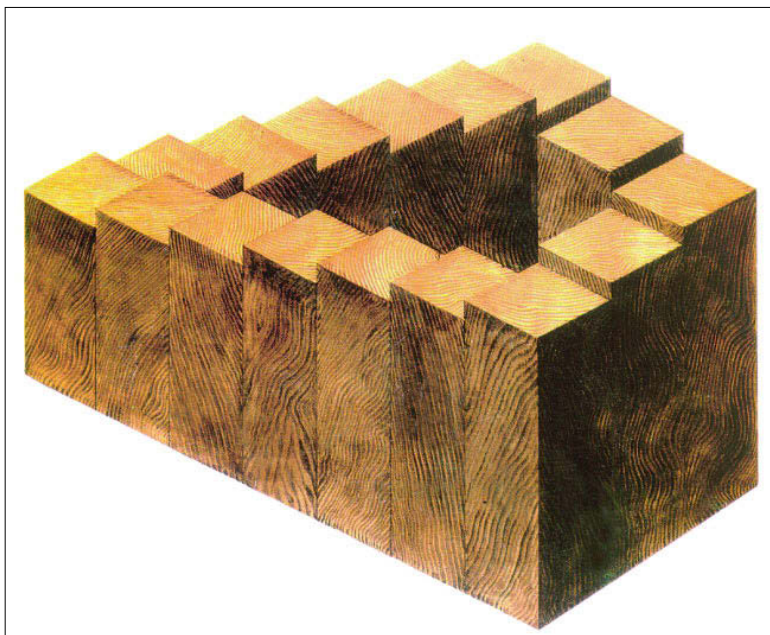


Abb. 10a: Eine „unmögliche“ Treppe nach L. S. und R. Penrose 1958⁹

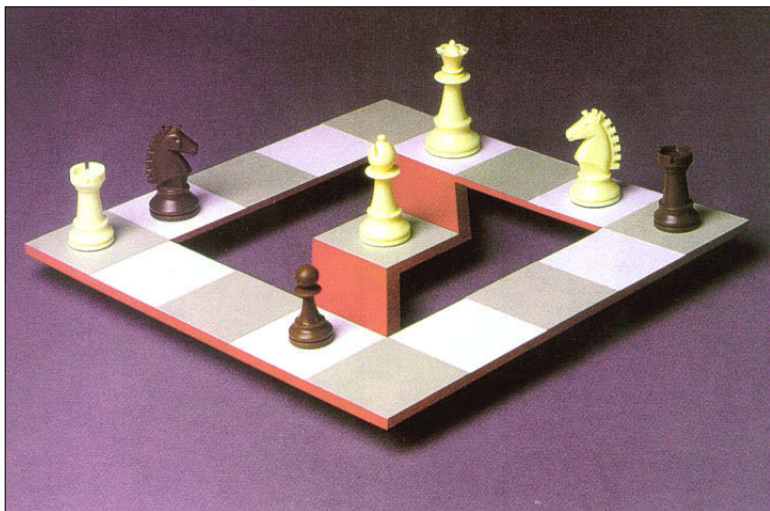


Abb. 10b: Ein „unmögliches“ Basis-Schachbrett¹⁰

⁹ Seckel (wie Anm. 7), S. 21, Abb. 12.

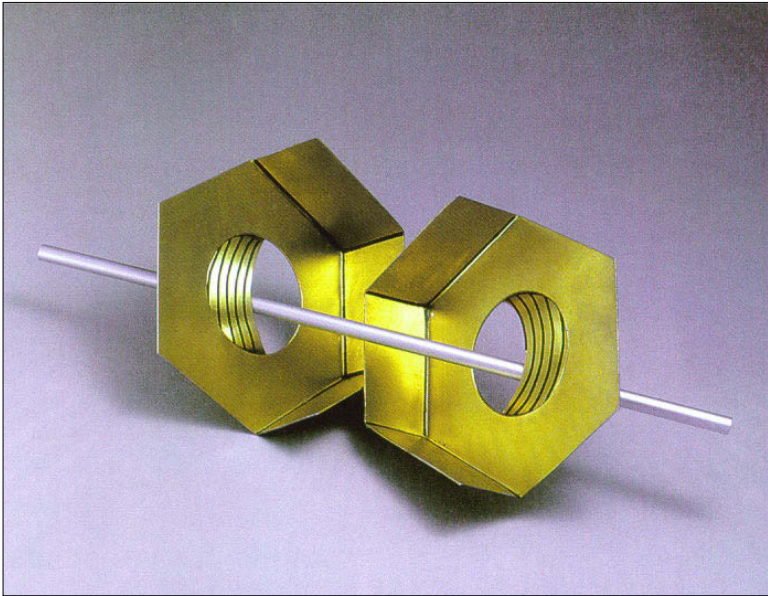


Abb. 10c: Eine „unmögliche“ Trilogie¹¹

Die Überraschung ist vermutlich größer bei Betrachtung von Abb. 10b, da diese Wahrnehmungstäuschung weniger bekannt ist. Im ersten Augenblick erschreckt auch diese Abbildung nicht. Dann aber fällt eine Diskrepanz auf zwischen der flachen Anordnung der Elemente im äußeren Quadrat einerseits, und der Stufe zwischen dem oberen und unteren Teil der Abbildung andererseits. Der Betrachter hat das Gefühl, dass ein solches Objekt nicht möglich ist. Wieder wird die Illusion dadurch aufgelöst, dass normalerweise perfekt funktionierende Mechanismen der Interpretation und Synthese von Repräsentationen dreidimensionaler Objekte aus zweidimensionalen Bildern fehlschlagen. Insbesondere angesichts der rechtwinkligen Welt, in der wir den größten Teil unseres Lebens verbringen, erwarten wir rechte Winkel in vielen Abbildungen der Außenwelt. Daher interpretieren wir die Zickzacklinien, welche die obere und die untere Reihe der Quadrate verbinden, als Begrenzungen einer Stufe, die in der Realität mehreren rechten Winkeln entsprechen. Das Gehirn erwartet aufgrund seiner Vorerfahrungen, dass in der Realität eine Stufe existiert, die aus dem gegebenen Betrachtungswinkel die

10 Seckel (wie Anm. 7), S. 50, Abb. 39.

11 Seckel (wie Anm. 7), S. 18, Abb. 9.

zweidimensionale Repräsentation einer Zickzacklinie erzeugt. Sobald sich der Beobachter von dieser fehlerhaften Interpretation freimacht und die gezackte Linie nicht mehr als Hinweis auf eine Stufe interpretiert, ist das vorliegende Objekt nicht mehr „unmöglich“. Doch die unwillkürlichen Annahmen in unserem visuellen System sind so stark, dass es den meisten Beobachtern sehr schwer fällt, sich von der Interpretation „Stufe“ freizumachen. (Es hilft etwas, sich klar zu machen, dass eine wirkliche Stufe weiter links enden müsste.) Nur durch einen Bruch, vergleichbar vielleicht einem Medienumbruch, machen wir uns von unserer erlernten und eingeübten Interpretation frei und erst dann können wir diese Abbildung realitätsangemessener wahrnehmen.

Noch offensichtlicher ist das Fehlschlagen der dreidimensionalen Synthese von Objekten aufgrund von unzutreffenden Vorannahmen in Abb. 10c. Der visuelle Cortex geht aufgrund langjähriger Erfahrungen davon aus, dass lange dünne Objekte, die auf einer zweidimensionalen Abbildung geradlinig verlaufen, auch in der dritten Ebene nicht gebogen, sondern gerade sind. Diese Interpretation der metallisch aussehenden Stange in Abbildung 10c stimmt aber nicht mit der perspektivischen Interpretation der relativen Lage der beiden Schrauben überein. Wieder schlägt die Synthese eines dreidimensionalen Abbildes auf der Basis der zweidimensionalen Darstellung fehl. Der Beobachter muss sich von der Annahme freimachen, dass die in der Papierebene gerade eingezeichnete Linie auch in der dritten Dimension, senkrecht zur Papierebene, gerade verläuft. Sobald man annimmt, dass sich die Stange in verschiedenen Abschnitten des Bildes in unterschiedlichen Distanzen zum Beobachter befindet, löst sich der scheinbare Widerspruch auf, der im Bild inhärent zu sein scheint. Selbstverständlich kann man ein solches Objekt in der Realität bauen. Die Täuschung wird nur aus einem bestimmten, kleinen Blickwinkel möglich sein; sobald sich der Beobachter nach oben oder unten bewegt, wird die Biegung der Stange in der dritten Dimension erkennbar werden.

Die letzte Demonstration dieser fehlgeschlagenen dreidimensionalen Rekonstruktion findet sich in Abb. 11. Das dreidimensionale Gebilde, das der Betrachter hier in der Hand hält, kann nur dann physikalisch existieren, wenn die senkrechten Verbindungsstäbe nicht etwa, wie man zunächst annehmen möchte, parallel zur Papierebene verlaufen. Sie müssen eindeutig in der dritten Dimension gebogen sein. Sobald sich der Betrachter dies klar macht, wird das zuvor unmögliche Objekt möglich.



Abb. 11: Ein „unmöglicher“ Würfel samt verzweigtem Betrachter¹²

Zusammenfassend können wir festhalten, dass das menschliche Gehirn auf der Basis der Signale, die es von den Sinnesorganen über die Außenwelt erhält, eine relativ gut funktionierende Repräsentation der Außenwelt synthetisiert. Sowohl die persönliche Geschichte als auch die Geschichte der jeweiligen Gattung sorgt dafür, dass grobe Fehlwahrnehmungen der Außenwelt ausgemerzt werden; sei es dadurch, dass das Individuum lernt oder dadurch, dass es an der Fortpflanzung gehindert wird. Trotz dieser erstaunlichen Übereinstimmung zwischen Außenwelt und kortikaler Repräsentation ist die Repräsentation der Außenwelt nicht perfekt. Angesichts der Unterbestimmtheit der Signale aus den Sinnesorganen und angesichts der Notwendigkeit, die Menge der Signale zu komprimieren, ist es nicht überraschend, dass die Synthese der Repräsentation nicht immer perfekt ist und hin und wieder von der physikalischen Realität abweicht. Wahrnehmungstäuschungen sind ein gutes Anschauungsmaterial dafür, dass die Wahrnehmung der Außenwelt keine

¹² Seckel (wie Anm. 7), S. 14, Abb. 5.

reine Analyse darstellt, sondern teilweise Synthese auf der Basis nicht vollständig ausreichender und gleichzeitig nicht komplett analysierbarer Sinnessignale ist. Täuschungen, die allen Menschen gemeinsam sind, bezeichnen wir als Sinnestäuschungen; solche, die privater Natur sind, d.h. von anderen Mitgliedern der Spezies nicht geteilt werden, nennen wir Halluzinationen.

Stufen der visuellen Wahrnehmung und ihre Störungen

Wir sahen eingangs, dass das Gehirn kein Computer ist, sondern auf einer Reihe von Funktionsprinzipien aufbaut, wie Parallelverarbeitung, laterale Interaktion und vertikale Integration (Rückkoppelung), die sich in Computern in der Regel nicht finden. Das Gehirn synthetisiert, auf der Grundlage von Sinnesinformationen und von Vorwissen, eine Repräsentation der Außenwelt, die recht gut mit dieser übereinstimmt, aber keinesfalls perfekt ist, wie uns die Wahrnehmungstäuschungen zeigen. Es bestehen Hinweise darauf, dass die Art der Synthese zwischen unterschiedlichen Individuen variiert, und es finden sich signifikante Unterschiede bereits auf der Ebene der Photorezeptorenverteilung. Konturen sind, wie oben ausgeführt, besonders interessant für das visuelle System. Diese Konturen können beispielsweise durch Unterschiede in der Beleuchtungsintensität, der Farbe, des Abstandes, der Bewegung oder der Textur (von Oberflächen) definiert werden. Diese unterschiedlich definierten Konturen werden von teilweise unterschiedlichen Anteilen des Cortex detektiert, und zwar auf einer *lokalen* Basis. Neurone im (primären) visuellen Cortex sprechen also auf Kontraste in ihrem jeweiligen rezeptiven Feld an und detektieren auf diese Art und Weise lokale Kantenelemente. Diese lokalen Kanten müssen zu Formen kombiniert werden, die einzelne Objekte definieren. Die Gestaltpsychologen beschäftigten sich stark mit den Mechanismen oder Gesetzen, die der Kombination einzelner Konturelemente zu geschlossenen Formen und Gestalten zugrunde liegen und konnten einige allgemeine Mechanismen und Regeln für diesen Prozess der Kombination von Elementarreizen zu Gestalten angeben, beispielsweise das „Gesetz der guten Form“ oder das des „gemeinsamen Schicksals“ bewegter Elementar-Konturen. Eine zweite Stufe nach der der reinen Konturdetektion besteht also in der Kombination lokaler Konturelemente zu Formen und Oberflächen.

Ein weiteres, teilweise getrenntes System scheint dafür zu sorgen, dass die Innenbereiche dieser Formen in der jeweils korrekten Farbe

wahrgenommen werden. Diese ersten Stufen der visuellen Informationsverarbeitung können mehr oder weniger selektiv gestört werden, z. B. durch cortikale Tumoren oder Infarkte sowie durch Vergiftungen, z.B. Kohlenmonoxydvergiftungen. Nach Zerstörung bestimmter cortikaler Bereiche kann ein Patient beispielsweise keine Farben mehr unterscheiden. Die Welt erscheint aufgrund des Defektes nur noch in Grautönen, ähnlich einem Schwarzweißfilm. Während also Läsionen der Netzhaut sowie des Sehnerven und der Sehbahn dazu führen, dass der Patient in einem bestimmten Bereich des Gesichtsfeldes überhaupt nichts mehr wahrnimmt, dort also blind ist, führen diese cortikalen Läsionen teilweise zu selektiveren Funktionsverlusten. Nicht nur die Fähigkeit, Farben zu unterscheiden kann selektiv ausfallen, sondern auch die Fähigkeit, Entfernungen richtig einzuschätzen oder auch die Bewegungen wahrzunehmen. Ausfälle auf dieser frühen Ebene der Informationsverarbeitung, die zum Ausfall einer Teilleistung führen, möchte ich als Indiskriminationen (*indiscriminations*) bezeichnen.¹³ Diese Störungen führen auch dazu, dass eine rein durch Bewegung, Tiefe oder eventuell Farbe definierte Kontur vom Patienten nicht mehr detektiert werden kann.

Auf der nächsten Verarbeitungsebene werden die einzelnen lokalen Konturen zusammengefasst zu Formen, wie oben beschrieben. Auch diese Verarbeitungsstufe kann mehr oder weniger selektiv gestört werden. Man spricht vom Krankheitsbild der apperzeptiven Agnosie. Patienten, die unter einer apperzeptiven Agnosie leiden, verhalten sich unter Umständen so, als seien sie blind, obwohl sie noch sehen. Ihre Netzhaut ist intakt und sie sind in der Lage, lokale Konturen zu erkennen. Aber da sie nicht mehr in der Lage sind, diese Konturen miteinander zu gruppieren, können sie keine Formen und insofern auch keine Objekte mehr wahrnehmen. Das führt dazu, dass die Patienten nicht mehr in der Lage sind, selbst einfachste Bilder abzuzeichnen. Beispielsweise wird die Kopie eines „Strichmännchens“ nicht viel Ähnlichkeit mit dem Vorbild haben. Daher sind die Patienten schwerst gestört, und es wäre interessant zu untersuchen, ob sie dennoch in der Lage sind, ästhetische Urteile abzugeben. Denn es ist bekannt, dass aufgrund der Parallelverarbeitung im visuellen System Patienten sich teilweise in ihrer Umgebung zurechtfinden können, obwohl sie keine Formen mehr erkennen. Insofern wären ästhetische Urteile solcher Patienten zwar überraschend aber letztlich nicht völlig auszuschließen.

13 Fahle, M.: „Failures of visual analysis: scotoma, agnosia, and neglect“, in: Fahle, M./Greenlee, M. (Hrsg.): *The neuropsychology of vision*, Oxford 2003, S. 179-258.

Ist die Stufe der Kombination lokaler Konturen zu Formen intakt, besteht die Aufgabe darin, die so gebildeten Formen und Oberflächen mit den Repräsentationen zuvor erkannter und abgespeicherter Objekte in Verbindung zu bringen. Nur dadurch ist es möglich, „Sinn“ aus dem jeweils auf der Netzhaut abgebildeten Bild zu machen. Denn es reicht nicht aus, eine Oberfläche an einem bestimmten Bereich des Gesichtsfeldes zu erkennen, sondern für die Generierung von Handlungen müssen Menschen wissen, um welche Art von Objekten es sich in ihrer Umgebung handelt. Diese Stufe der Verbindung aktuell vorliegender Repräsentationen von Objekten der Außenwelt mit im Gedächtnis gespeicherten Repräsentationen von Objekten kann ebenfalls relativ selektiv gestört sein. Diese Störung wird als assoziative Agnosie bezeichnet. Die betroffenen Patienten sind im Gegensatz zu den apperzeptiven Agnostikern durchaus in der Lage, mäßig komplexe Strichzeichnungen zu kopieren. Sie erkennen also zumindest einfache Formen und können sie kopieren. Sie sind aber nicht in der Lage, die Zeichnungen zu erkennen in dem Sinne, dass sie die Bezeichnung oder die Verwendung des soeben abgezeichneten Gegenstandes angeben könnten. Diese Patienten erkennen also Oberflächen, es fehlt aber die Verbindung zu Gedächtnisinhalten und somit zum Wissen über Objekte. Dies kann zum einen darauf beruhen, dass diese Gedächtnisinhalte verloren gegangen sind (dann kann der Gegenstand auch beim Betasten nicht erkannt werden). Wesentlich häufiger aber fehlt „lediglich“ die Verbindung zu den abgespeicherten Gedächtnisinhalten. Dann ist der Patient durchaus dazu fähig, ein Objekt durch Betasten zu erkennen – nicht aber bei visueller Darbietung, obwohl der Gegenstand abgezeichnet werden kann. Man könnte sich durchaus vorstellen, dass Patienten mit dieser Art von Störungen in der Lage sind, ästhetische Urteile abzugeben.

Eine weitere Untergruppe von Patienten kann nicht nur Punkte bei der Gesichtsfeldprüfung erkennen, sondern auch Konturen detektieren, sie zu Formen zusammensetzen und diesen Formen Objekte aus dem Gedächtnis zuordnen, erkennt sie also. Diese Patienten sind auch in der Lage, den Gebrauch des Objektes pantomimisch zu beschreiben oder auf das Bild eines Objektes der gleichen Kategorie zu zeigen, sie können das Objekt aber nicht benennen. Es ist ein auch im Alltagsleben so genannter Normalpersonen nicht unerhörtes Phänomen, dass die Bezeichnung eines Objektes sozusagen „auf der Zunge liegt“, das Wort aber kurzfristig nicht gefunden wird. Die beiden letztgenannten Gruppen von Patienten zeigen, dass offensichtlich eine gewisse Trennung zwischen der Repräsentation von Informationen über Objekte und den Bezeichnungen dieser Objekte

besteht. Es kann dabei isoliert lediglich der Zugang von der Objekterkennung zum zugehörigen Wort gestört sein (so dass der Patient das Objekt beispielsweise nach Betasten richtig benennen kann, das Wort selbst also noch vorhanden ist), was man als „Anomie“ bezeichnet. Es kann aber auch bereits die Information über die Eigenschaften des Objektes verloren gegangen sein, bzw. der Zugriff auf diese Informationen vom visuellen Eingang her, wie oben geschildert. In diesem Falle spricht man von einer Agnosie. Sowohl agnostische als auch und insbesondere anomische Patienten sollten in der Lage sein, weitgehend normale ästhetische Urteile abzugeben.

Mit der Identifikation eines Objektes ist in der Regel der eigentliche Sehvorgang abgeschlossen. Die weitere Verarbeitung bezieht sich dann auf die Benennung und auf emotionale und ästhetische Bereiche – die Identifikation eines Objektes ist zumindest partiell unabhängig von seiner Benennung und Bewertung. Hiermit ist der Überblick über die Verarbeitungsebenen des visuellen Systems abgeschlossen. Das in diesem Abschnitt Gesagte soll helfen, die Funktion und insbesondere die Funktionsstörungen bzw. Begrenzungen der visuellen Wahrnehmung besser zu verstehen.

Gehirnaktivität und Wahrnehmung

In den vorhergehenden Abschnitten wurden zwei Beispiele dafür angeführt, dass die übliche, präzise Repräsentation der Außenwelt im Gehirn fehlschlagen kann. Wenn Teile des visuellen Systems ausfallen, dann kann, wie oben beschrieben, die Analyse der von der Netzhaut stammenden Signale auf unterschiedlichen Stufen enden und eine adäquate Repräsentation der visuellen Außenwelt bleibt aus. Auch Wahrnehmungstäuschungen stellen Fehlschläge der adäquaten Repräsentation der Außenwelt dar, beispielsweise beruhend auf einer inadäquaten Synthese des Wahrnehmungseindrucks auf der Basis der Sinnesinformationen. Die im Rahmen von Wahrnehmungstäuschungen auftretenden Fehlrepräsentationen sind jedoch allen, oder fast allen, Menschen gemeinsam. Dies gilt nicht für alle Patienten.

Beispielsweise werden Patienten mit einer Farbsinnschwäche wie der „Rot-Grün-Blindheit“ bestimmte Szene und Bilder deutlich anders wahrnehmen als ihre farbtüchtigen Mitmenschen. Noch stärker ist die Abweichung der Wahrnehmung zwischen Normalpersonen und solchen Patienten, die unter Halluzinationen leiden. Halluzinationen sind sozusagen private Sinnestäuschungen, die von den Mitmenschen nicht geteilt

werden. Diese Halluzinationen können sehr lebhaft sein und vom Patienten nur schwer oder gar nicht von der Wirklichkeit unterschieden werden. Schizophrene Patienten beispielsweise leiden unter Halluzinationen, die sie nicht als solche identifizieren können. Diese Patienten akzeptieren die Halluzinationen, zumindest teilweise, als Teil der Wirklichkeit. Ihr Gehirn produziert also Repräsentationen von Objekten der Außenwelt, die nicht existieren oder zumindest nicht in dieser Form zum angegebenen Zeitpunkt vorhanden sind. Die Patienten haben auch nicht die Möglichkeit, zwischen einer Halluzination und der Wirklichkeit zu unterscheiden; d.h., zwischen einer Synthese der Repräsentation, die auf validen Sinnessignalen beruht und einer Synthese, die einer Grundlage in den Signalen der Sinnesorgane entbehrt.

Andere Patienten, beispielsweise nach Defekten auf der Ebene der Netzhaut, insbesondere in deren Zentrum (Makulopathie), leiden unter Halluzinationen, die z.T. sehr stark ausgeprägt sein können, die sie aber jedenfalls als Halluzinationen einordnen können. Diese Patienten berichten dann beispielsweise, sie sähen Zwerge oder Menschen herumlaufen, von denen sie wissen, dass sie nicht real vorhanden sind. Diese Symptome sind weniger selten, als man vermuten könnte, da diese Patienten häufig nicht über ihre Symptome sprechen, aus Angst, für verrückt gehalten zu werden. Ich persönlich bin der Ansicht, dass diese Symptome dadurch bedingt sind, dass der visuelle Cortex nach Ausfall des zentralen Sehens nicht mehr ausreichend mit Signalen von den Sinnesorganen versorgt wird. Ähnlich wie bei der sensorischen Deprivation, bei der Probanden ohne visuelle und akustische Stimulation in einem körperwarmen Wassertank liegen und nach einiger Zeit zu halluzinieren beginnen, bewirkt auch die sensorische Deprivation durch den Ausfall der Sinnesrezeptoren solche erstaunlich strukturierten Halluzinationen – vermutlich dadurch, dass sich der mit Eingangssignalen unterversorgte Cortex seine Wahrnehmungen vollständig selbst generiert.

Auch aufgrund anderer Experimente ist bekannt, dass die elektrische Aktivität des Cortex, und das gilt auch für den primären visuellen Cortex, zu jedem Zeitpunkt nur zu einem relativ geringen Teil durch den jeweils dargebotenen Reiz bedingt wird. Ein wesentlicher Anteil der Aktivitätsmuster beruht dagegen auf so genannter intrinsischer Aktivität, d.h., auf den Eingangssignalen anderer Cortexareale und auf der unmittelbar vorangehenden Aktivität im (visuellen) Cortex selbst. Diese Aktivität wird durch die Signale aus den Sinnesorganen lediglich moduliert, um die jeweiligen Repräsentationen der Außenwelt zu erzeugen. Die Hirnaktivität ist also zu jedem Zeitpunkt selbst in den so genannten sen-

sorischen Arealen durch die dargebotenen Reize und gleichzeitig in erheblichem Ausmaß gewissermaßen durch die Erwartungshaltung des Cortex bedingt, also durch den Zustand des Cortex zum Zeitpunkt der Reizdarbietung. All diese Phänomene und Ergebnisse unterstreichen die zentrale Aussage, dass Wahrnehmung zu einem großen Teil Synthese ist und insofern Schönheit im Auge, oder besser im Hirne des Betrachters begründet liegt, denn ästhetische Urteile werden vermutlich in der Regel erst nach Abschluss des Prozesses der Objekterkennung abgegeben werden.

Wahrnehmung als elektrische Aktivitätsmuster des Gehirns

Die moderne Hirnforschung geht davon aus, dass Wahrnehmungen durch die elektrische Aktivität in Neuronenverbänden entstehen. Diese Annahme beruht darauf, dass bestimmte Nervenzellen im Gehirn ihre Aktivität erhöhen, sobald die für sie adäquaten Reize präsentiert werden. Doch ist diese Annahme wirklich gerechtfertigt? Beruhen die Wahrnehmungen tatsächlich auf der (elektrischen) Aktivität von Neuronenverbänden? Man könnte argumentieren, dass die elektrische Aktivität lediglich ein Epi-Phänomen der Wahrnehmung darstellt, nicht aber ihre Grundlage. Der begrenzte Nachweis der Kausalität kann in diesem Falle durch eine Reihe von Experimenten erbracht werden.

Beispielsweise ist es möglich, den Cortex des Menschen mit Hilfe sehr kurz dauernder lokaler Magnetfelder zu erregen. Erregung des motorischen Cortex führt dann typischerweise zur Bewegung von Muskelgruppen, beispielsweise des Armes, Beines oder Gesichtes. Erregung des visuellen Cortex führt dagegen typischerweise zur Wahrnehmung von umschriebenen Lichtblitzen oder Phosphenen. Wilder Penfield¹⁴ hat während Hirnoperationen bei Patienten umschriebene Teile des Cortex elektrisch stimuliert und konnte auf diese Art und Weise Wahrnehmungen und Erinnerungen induzieren. Im letzten Jahrzehnt hat man darüber hinaus Experimente, insbesondere bei Rhesusaffen, durchgeführt, bei denen der Einfluss von elektrischer Stimulation des Cortex auf die Wahrnehmung sehr viel besser quantifiziert werden konnte, als das beim Menschen möglich ist. Beispielsweise wurde ein Affe darauf trainiert, zwischen der Bewegung einer Punktwolke nach rechts und einer Bewegung

14 Penfield, W.: „Some observations on the cerebra cortex of man“, in: *Proceedings of the Royal Society of London*, 134 (1947), S. 329-350.

nach links zu unterscheiden. Dies ist eine leichte Aufgabe, wenn alle Punkte in die gleiche Richtung wandern. Bewegt sich jedoch nur ein kleiner Teil der Punkte in die Vorzugsrichtung, wird der Affe häufig nicht in der Lage sein, die richtige Antwort zu geben und er ist gezwungen zu raten. Das führt dazu, dass für Korrelation „Null“ der Affe ebenso oft auf die linke wie auf die rechte Taste drückt. Auch bei geringen Bewegungen nach rechts wird in der Regel signifikant häufiger die rechte Taste gedrückt, jedoch häufig auch fälschlicherweise die linke Taste. Mit zunehmender Korrelation wird die Anzahl der Fehler abnehmen. Bill Newsome und Mitarbeiter suchten sich nun im Cortex dieses Affen einen Bereich, in dem die Neurone stark auf eine Bewegung des Reizes nach rechts antworteten. Dann injizierten sie einen schwachen Strom in diesen Bereich des Affencortex, während die gleichen Reize wie zuvor dargeboten wurden. Durch die Strominjektion veränderte sich die durchschnittliche Reaktion des Affen signifikant. Bei unkorrelierten Reizen wurde jetzt überdurchschnittlich häufig die rechte Taste gedrückt, bei leicht nach links bewegten Reizen hielten sich die Knopfdrücke rechts und links in etwa die Waage (vgl. Abb. 12). Dieses Ergebnis zeigt, dass durch eine relativ grobe Maßnahme wie die Injektion eines Stromes in einen Bereich mit mehreren hundert Nervenzellen die Wahrnehmung des Affen gezielt verändert werden kann. Das Tier nimmt eine Punktwolke, die unbewegt dargeboten wurde, als nach rechts bewegt wahr. Daher kann man mit hoher Sicherheit schlussfolgern, dass in der Tat die elektrische Aktivität des Cortex die *Grundlage* der Wahrnehmung darstellt, und nicht etwa ein Epi-Phänomen, denn wie sollte die Induktion eines Epi-Phänomens die genuine Wahrnehmung verändern können? Die elektrische Stimulation kleiner Cortexbereiche kann also, zumindest bei Affen, gezielt die Wahrnehmung visueller Reize verändern und auch die Reaktion auf diese Reize. Die Untersuchungen von Penfield und auch die mit transkranieller Magnetstimulation deuten darauf hin, dass die Verhältnisse beim Menschen nicht wesentlich anders sind.

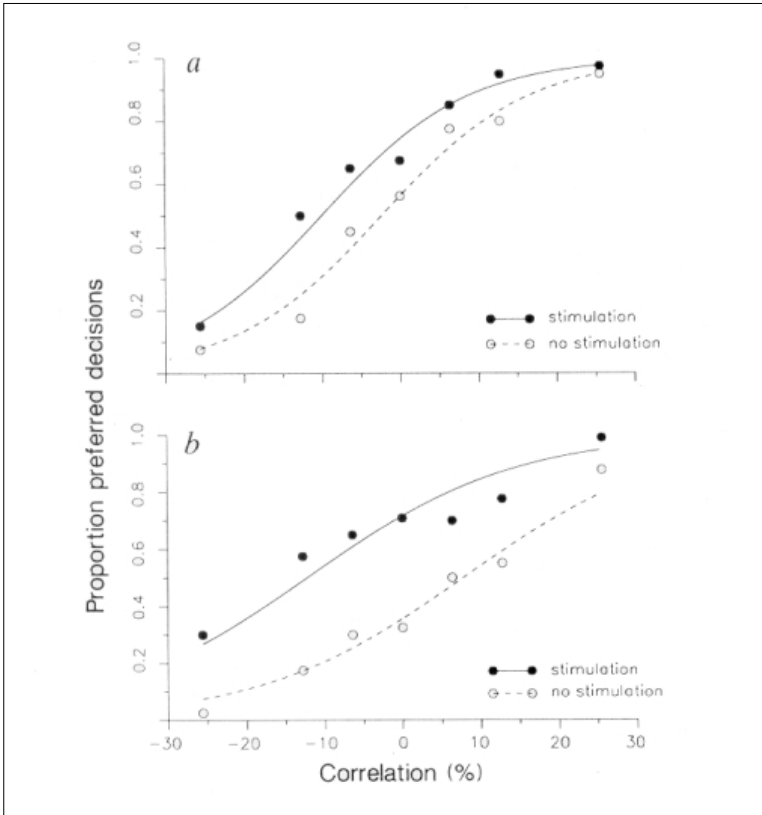


Abb. 12: Strominjektion in den Affencortex bewirkt eine Veränderung der wahrgenommenen Bewegungsrichtung¹⁵

Wahrnehmung und Aufmerksamkeit

Die Repräsentation der Außenwelt beruht also auf elektrischer Aktivität von Neuronenverbänden. Verschiedene Teile des Cortex sind spezialisiert auf die Lösung unterschiedlicher Aufgaben und sind jeweils (topographisch) geordnet, d.h. benachbarte Abschnitte der Außenwelt bzw. ähnliche Reize sind in benachbarten Teilen des Cortex repräsentiert. Der Cortex verarbeitet die Sinnesreize weitgehend parallel: Die Reize werden

15 Salzmann, D. C./Murasugi, C. M./Britten, K. H./Newsome, W. T.: „Microstimulation in visual area MT: effects on direction discrimination performance“, in: *Journal of Neuroscience*, 12, 6 (1992), S. 2331-2355, hier S. 2336, Abb. 4.

auf verschiedene Cortexareale verteilt, die über laterale und vertikale Integration miteinander wechselwirken. So existieren innerhalb des Cortex Spezialisierungen nicht nur für Sehen und Hören, sondern innerhalb des Sehcor tex nochmals vielfältige Unterspezialisierungen, beispielsweise für Farbsehen, Bewegungssehen oder die Wahrnehmung von Tiefe. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Wahrnehmung keine bloße Analyse darstellt, sondern stets auch Synthese ist und dass die wahrgenommenen Bilder auf neuronalen Aktivitätsmustern beruhen, so dass den Objekten der Außenwelt in unserem Gehirn unterschiedliche Muster neuronaler Aktivität gegenüberstehen, die im Prinzip nichts, aber auch gar nichts, mit den Objekten der Außenwelt als solche zu tun haben. Diese beiden Bereiche – Welt und Repräsentation – sind sozusagen ontologisch getrennte Entitäten.

Es erhebt sich aber die Frage nach der Entsprechung von Repräsentationen und Objekten. Denn die Repräsentationen der Außenwelt scheinen ja relativ gut zu funktionieren, sonst würden unsere Interaktionen mit der Außenwelt häufiger fehlschlagen. Offenbar hat die Evolution dafür gesorgt, dass nicht adäquate Repräsentationen der Außenwelt ein rasches Ende finden. Aber das bedeutet keinesfalls, dass die Repräsentationen stets tatsächlich ein getreues Abbild der Außenwelt darstellen und dass wir uns auf die Abbildung der Außenwelt in unserem Kopfe verlassen können. Zusätzlich zu den bereits vorgestellten Wahrnehmungstäuschungen, die relativ unabhängig von der Zuwendung der Aufmerksamkeit sind, existieren eine Reihe von Phänomenen, bei denen wesentliche Inhalte der Außenwelt von der bewussten Wahrnehmung ausgeschlossen oder zumindest nicht bewusst repräsentiert werden, dass die Aufmerksamkeit ihnen nicht zugewandt wird. Ein bekanntes Beispiel besteht darin, einer Gruppe von Beobachtern die Aufgabe zu stellen, die Anzahl der Ballabgaben in einer Gruppe von Spielern zu beobachten und zu zählen. Die Ballabgaben folgen relativ rasch hintereinander. Versuchspersonen, die sich gut auf diese Aufgabe konzentrieren, bemerken in der Regel nicht, wenn sich ein als Gorilla verkleideter Mensch unter die Spieler mischt und sich kurz den Beobachtern zuwendet, auf die Brust schlägt und dann wieder aus dem Gesichtsfeld verschwindet. Wird die gleiche Szene noch einmal dargeboten, ohne dass die Beobachter eine spezifische Aufgabe haben, dann nehmen die Beobachter den Menschenaffen unmittelbar wahr und können nicht glauben, ihn bei der ersten Darbietung übersehen zu haben.

Nachbilder sind ein weiterer Hinweis darauf, dass die Repräsentation der Außenwelt nicht notwendigerweise übereinstimmt mit dieser

Außenwelt. Schaut man eine Weile lang auf einen stationären visuellen Reiz, und danach auf eine homogene Fläche, dann bemerkt man ein Nachbild, in der Regel in der Gegenfarbe des zuvor betrachteten Reizes. Betrachtet man beispielsweise das Negativ eines Portraits, bei dem man in der Regel die Person nicht identifizieren kann, dann kehren sich die Kontraste im Nachbild um, und man erkennt die Person problemlos. Früher ging man davon aus, Nachbilder seien primär eine Folge der Ermüdung von Neuronenpopulationen. In den letzten Jahren stellte sich aber zunehmend heraus, dass viele der Nachbilder nicht rein durch eine Ermüdung der spezifisch gereizten Neuronenpopulationen erklärbar sind. Einige Nachbilder lassen sich nämlich deutlich länger konservieren, wenn nach der Adaptation nicht sofort ein Test folgt, sondern die Augen geschlossen bleiben, was nicht mit der Erklärung der Ermüdung und nachfolgenden Erholung von Neuronenpopulationen erklärbar ist. Rekalibrierung als Ergebnis sensorischer Erfahrung scheint demnach eine Rolle bei der Entstehung der Nachbilder zu spielen. Diese Rekalibrierung läuft relativ schnell ab und benötigt einige Zeit, um rückgängig gemacht zu werden. Nach längerer Betrachtung eines Wasserfalles wird ein unbewegtes Objekt nicht mehr als stationär, sondern als nach oben bewegt wahrgenommen. Diese Illusion beruht vermutlich darauf, dass der „Nullpunkt“ des Systems für Bewegungswahrnehmung geändert wurde: Die stationäre Bewegungsrichtung, also null Bewegungsgeschwindigkeit, wird als Bewegung in die Gegenrichtung interpretiert, weil der Nullpunkt für Bewegungswahrnehmung in Richtung des Wasserfalls verschoben wurde.

Eine ähnliche Illusion lässt sich durch Abb. 13 generieren. Schaut man zunächst für längere Zeit, etwa 30 Sekunden, auf das linke Rechteck dieser Abbildung und danach auf das mittlere, dann wird die wahrgenommene Orientierung der oberhalb und unterhalb des Rechtecks angeordneten Streifen sich nicht mehr entsprechen, sondern die Streifen werden in verschiedene Richtungen geneigt erscheinen. Ebenso kann die Anzahl der Linien dieser beiden Gittermuster sich scheinbar ändern, wenn man für längere Zeit das rechte Rechteck fixierte. Nach Wechsel des Blickes auf das mittlere Rechteck scheint die Anzahl der Streifen in dem Bereich, der zuvor wenige Streifen sah, anzusteigen, während er in dem Bereich, der zuvor viele Streifen sah, abzunehmen scheint.

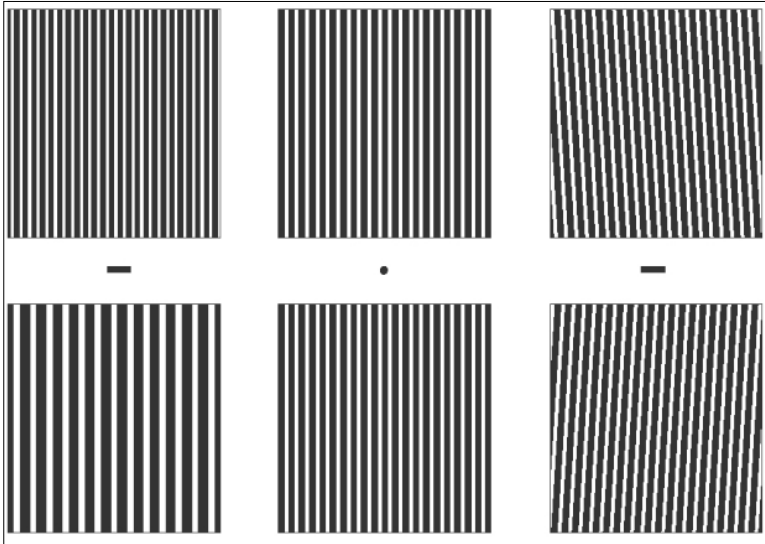


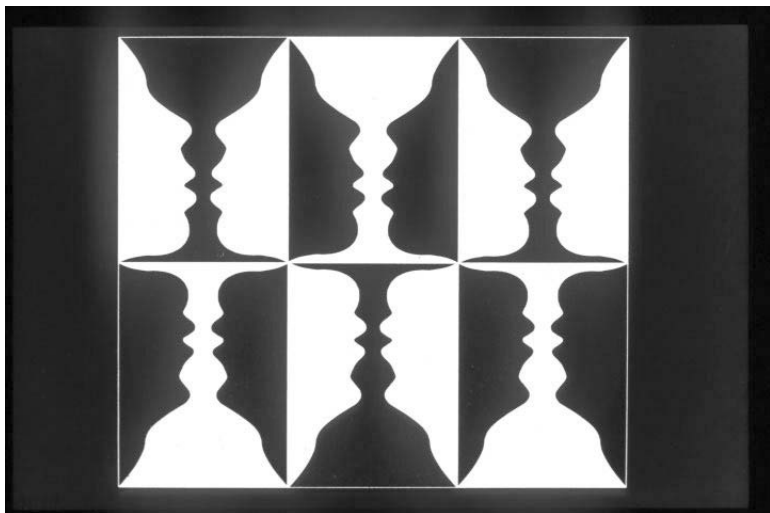
Abb. 13: Änderung der wahrgenommenen Orientierung als Nacheffekt: Nach Adaptation durch Blick auf das linke Rechteck für etwa 30 Sekunden und anschließende Fixation des mittleren Punktes scheint sich die Neigung der über und unter dem mittleren Punkt dargestellten Linienmuster zu unterscheiden. Entsprechendes gilt nach Adaptation auf dem rechten Rechteck für die wahrgenommene Gitterbreite des Musters ober- und unterhalb des mittleren Punktes.¹⁶

Die Mehrdeutigkeit der Sinnesinformationen

Mehrfach wurde angesprochen, dass Wahrnehmung nicht bloße Analyse, sondern auch Synthese von Repräsentationen der Außenwelt darstellt. Warum ist überhaupt eine solche Synthese erforderlich – könnte nicht eine funktionierende, adäquate und korrekte Repräsentation der Außenwelt aus den Signalen der Sinnesorgane extrahiert werden? Die beiden zweidimensionalen (flachen) Bilder unserer beiden Netzhäute beinhalten nicht alle erforderlichen Informationen, um eine dreidimensionale Welt sicher zu rekonstruieren. Es muss also nicht vorhandene Information synthetisiert werden. Das geschieht auf der Basis von Vorwissen. Solche Verwendung von Vorinformationen ist auch in Abb. 14 offensichtlich. Der Mensch hat sich daran gewöhnt zu wissen, dass eine Linie stets die

¹⁶ Karnath, H. O./Thier, P.: *Neuropsychologie*, Berlin 2003, S. 64, Abb. 4.28a-c.

Begrenzung eines Objektes darstellt. Es widerspricht diesem Vorwissen anzunehmen, dass die gleiche Linie zwei Objekte begrenzen könnte. Daher nehmen wir entweder die Vase oder aber das Gesicht wahr, jedoch nicht beides gleichzeitig. Eine Synthese aus These und Antithese ist in diesem Fall nicht möglich; diese Aufgabe überfordert das menschliche Gehirn.



*Abb. 14: Vase oder Gesichter – es können in der Regel nicht beide Interpretationen zugleich wahrgenommen werden.*¹⁷

Unbewusste Wahrnehmung

Im Laufe der Jahrzehnte hat man sich an den Gedanken gewöhnt, dass Vieles im Gehirn passiert, von dem der jeweilige Besitzer nichts weiß. Atmung, Regelung des Blutdrucks und dergleichen mehr werden vom Hirnstamm verlässlich gesteuert, ohne dass das bewusste Ich sich hiermit auseinandersetzen muss. Seit Freud wissen wir, dass auch unsere Motivationen uns, zumindest teilweise, verborgen bleiben. Mittlerweile stellt sich zusätzlich heraus, dass Menschen nicht einmal immer wissen, welche Reize von ihrem visuellen Cortex wahrgenommen werden. Selbst im visuellen Cortex vollziehen sich Operationen bei der Wahrnehmung visueller Reize, von denen der Besitzer des Cortex nichts erfährt.

¹⁷ Rubin, E.: *Visuell wahrgenommene Figuren*, Kopenhagen, Berlin, London 1921.

Ein beunruhigendes Beispiel ist in Abb. 15 dargestellt. Zunächst wird ein Pfeil für kurze Zeit dargeboten, der entweder nach links oder nach rechts zeigt. Nach einer variablen Pause wird ein zweiter, größerer Pfeil dargeboten, der den ersten Pfeil umschließt. Dieser zweite Pfeil zeigt entweder in die gleiche Richtung wie der erste, oder aber in die Gegenrichtung. Wird der zweite Pfeil unmittelbar nach dem ersten dargeboten, dann beträgt die Reaktionszeit etwa 350 ms. Die Versuchsperson drückt also auf den rechten Knopf, wenn der zweite Pfeil nach rechts zeigt und auf den linken Knopf, wenn dieser Pfeil nach links zeigt. Vergeht eine zunehmend längere Pause zwischen den Darbietungen des ersten und des zweiten Pfeiles, dann nehmen die Reaktionszeiten der Versuchspersonen kontinuierlich zu, falls die Richtungen der beiden Pfeile sich nicht entsprechen. Wenn also der erste Pfeil nach rechts, der zweite Pfeil nach links zeigt, dann nimmt die Reaktionszeit mit zunehmendem Intervall zwischen den beiden Reizdarbietungen zu. Dies ist insbesondere deshalb überraschend, als die Versuchspersonen nicht in der Lage sind, zwischen den Richtungen zu unterscheiden, in die der erste Pfeil zeigte. Das bewusste Ich der Versuchspersonen ist also nicht in der Lage, die Richtung des ersten Pfeiles anzugeben, aber dennoch kann dieser Pfeil die Reaktionszeit der Versuchspersonen massiv verlängern. Im Gegenzug wird die Reaktionszeit bei Übereinstimmung der Richtungen beider Pfeile mit zunehmendem Intervall zwischen den beiden Reizen beschleunigt. Offensichtlich bereitet der Cortex nach der Darbietung des ersten Pfeiles eine Reaktion vor, die im Falle einer übereinstimmenden Richtung die Reaktion beschleunigt, im anderen Falle aber aufgrund einer Art von Umprogrammierung die Reaktion verlangsamt. Dieses Phänomen an sich wäre nicht überraschend, überraschend ist die Tatsache, dass die Information über die Richtung des ersten Pfeiles dem bewussten Ich nicht zur Verfügung steht.

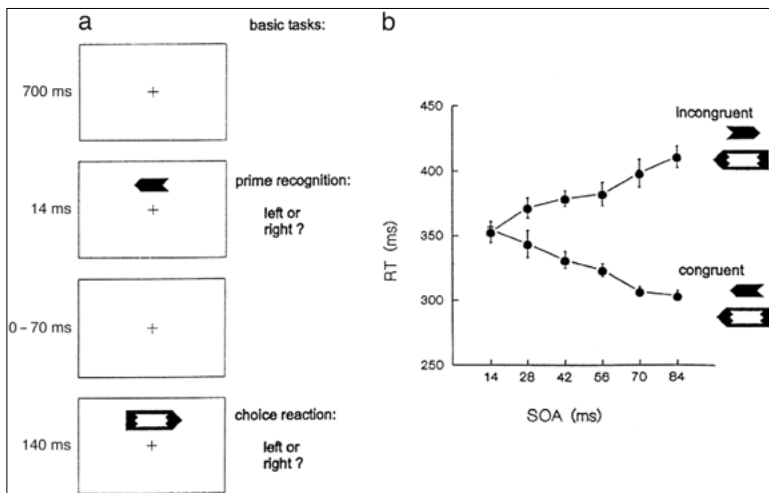


Abb. 15: 'Unbewusste Wahrnehmung'. Obwohl die Richtung des ersten Pfeiles nicht erkannt wird, beeinflusst sie die Reaktionszeit auf die Darbietung des zweiten Pfeiles.¹⁸

Dieses Experiment zeigt, dass es in der Tat unbewusste Wahrnehmung gibt. Wir nehmen nicht alles wahr, was wir sehen, und was unser Handeln beeinflusst. Ein besonders eindrückliches Beispiel ist Yoram Bonneh's Täuschung (Motion-Induced Blindness), die unter <http://www.weizmann.ac.il/home/masagi/MIB/mib-basic.html> beobachtet werden kann. Abb. 16 zeigt eine stationäre Version dieses bewegten Reizes. Er umfasst eine Wolke aus kleinen blauen Punkten, die sich bewegen und dabei den Eindruck einer Kugel erzeugen. Zusätzlich werden 3 größere, helle gelbe Punkte dargeboten. Während der Betrachtung des Reizes wird die Aufmerksamkeit des Beobachters automatisch auf die Kugel gezogen, die durch die blauen Punkte definiert ist. Nach kurzer Beobachtungszeit verschwinden für die meisten Beobachter einer oder mehrere der gelben Punkte für kurze Zeit. Das Phänomen ist insbesondere deshalb frappierend, weil die gelben Punkte einen höheren Kontrast aufweisen als die blauen Punkte, aber dennoch zeitweise unterdrückt werden. Auch dieses Phänomen demonstriert, dass die cortikale Repräsentation der Wirklichkeit von der tatsächlichen Wirklichkeit deutlich abweichen kann. Es ergeben sich hieraus auch Komplikationen für die Rechtswis-

18 Vorberg, D. et al.: „Different time courses for visual perception and action priming“, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (2003), S. 6275-6280, Abb. 1.

senschaft, insbesondere für die generelle Glaubwürdigkeit der Aussagen von so genannten Augenzeugen. Doch hiermit sei es genug der Fehlschläge der Konstruktion von Wirklichkeit in unserem Gehirn.

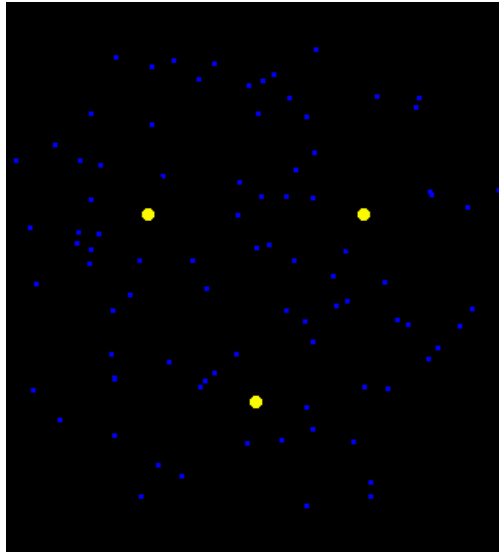


Abb. 16: *Bonneh's Illusion (Motion-Induced Blindness)*.

Kriterien der Konstruktion von Wahrnehmung

Ähnlich wie bei der Beschreibung der Verarbeitungskriterien im Cortex, die oben angegeben wurden (wie Spezialisierung, Parallelverarbeitung, laterale und vertikale Integration), können auch Kriterien für die Konstruktionsprinzipien der Wahrnehmung angegeben werden. Es seien hier drei Kriterien vorgestellt: Vertrautheit, Ordnung und Ästhetik. Ästhetik könnte demnach eine wesentliche Rolle bei der Erzeugung kortikaler Repräsentation von Wirklichkeit spielen. Dabei soll im folgenden Ästhetik verkürzt als „Schönheit“ verstanden werden einschließlich aller Spezifikationen von „Erregung“ bis zur „Neuheit“. Leist¹⁹ deutet auf eine Beziehung zwischen der Biologie einerseits und der Geisteswissenschaft (deren Domäne die Ästhetik ist) andererseits hin, indem er schreibt, dass Schönheit der implizierte symbolische Ausdruck geistiger und physikalischer Gesundheit sei („implicit symbolic expression of mental and physi-

19 Leist, A.: „What Makes Bodies Beautiful“, in: *Journal of Medicine and Philosophy*, 28, 2 (2003), S. 187-219.

cal health“). Im Laufe der Tagung wurde ja bereits darauf hingewiesen, dass physische Schönheit als Ausdruck von Gesundheit aufgefasst werden kann. Es scheint unmittelbar einleuchtend, dass sich auch die geistige Gesundheit bis zu einem gewissen Grade in den Zügen und der Mimik eines Menschen widerspiegeln kann und insofern physische Schönheit in bestimmten Grenzen auch Hinweise auf die mentale Gesundheit geben kann. Doch dieser Aussage wird auch hin und wieder widersprochen.

Bei der Beurteilung physischer Schönheit spielt die Farbe der Zähne allerdings praktisch keine Rolle, wie amerikanische Zahnärzte nachweisen konnten. Dort spielt das Aufhellen der Zähne eine wesentlich größere Rolle als in Europa, scheint aber bei der Beurteilung der Attraktivität von Menschen keinen nennenswerten Vorteil zu erbringen.²⁰ Dagegen weist Symmetrie eine hohe Korrelation mit Schönheitsaussagen auf. In Abb. 17 werden regelmäßig die Reize, die symmetrisch sind, als attraktiver eingeschätzt als diejenigen, die asymmetrisch sind.

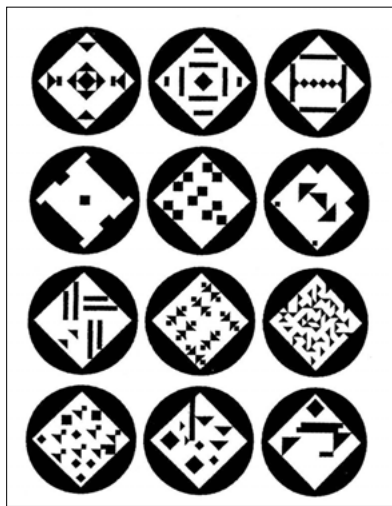


Abb. 17: Symmetrische Reize (oberer Teil der Abbildung) werden in der Regel als ‚ästhetischer‘ beurteilt als asymmetrische Reize (unterer Teil der Abbildung)²¹.

20 Groszofsky, A. et al.: „Tooth Color: Effects on judgments of attractiveness and age“ in: *Perceptual and Motor Skills*, 96 (2003), S. 43-48.

21 Jacobsen, T./Höfel, L.: „Aesthetic judgments of novel graphic patterns: Analysis of individual judgments“, in: *Perceptual and Motor Skills*, 95 (2002), S. 755-766, hier S. 759, Abb. 1.

Wir hatten uns im Rahmen der Tagung darauf geeinigt, dass ein Gesicht (mehr oder weniger) das „ehrliche Signal“ sowohl der genotypischen als auch der phänotypischen Qualität des Besitzers dieses Gesichtes sei.²² Setzt man eine positive ästhetische Einschätzung mit Attraktion, also Anziehungskraft des entsprechenden Objektes gleich, dann ist die Aussage richtig, dass eine generelle Attraktion für prototypische Exemplare besteht („a general attraction to prototypical exemplars“). Es ist seit einigen Jahren bekannt, dass Menschen generell dazu neigen, durchschnittliche Gesichter, d.h. solche, die durch eine Mittelwertbildung über viele Beispiele gewonnen wurden, als schön oder zumindest als relativ attraktiv zu empfinden. Wie neuere Ergebnisse beweisen, gilt das gleiche für Hunde, Vögel und sogar Armbanduhren.²³ Auch hier werden diejenigen Darstellungen als besonders anziehend eingestuft, die durch Mittelwertbildung über viele individuelle Objekte entstehen. Die Interpretation ist keinesfalls trivial. Im Falle von Gesichtern könnte argumentiert werden, dass jede Abweichung von der Norm als Hinweis auf eine genotypische oder phänotypische Abweichung, d.h. auf einen genetischen Defekt oder auf eine Krankheit, aufgefasst werden kann. Solche Abweichungen sind bei der Partnerwahl sehr wichtig, da das Genom eines Individuums darum bemüht ist, möglichst gesunde und attraktive Nachkommen als Träger des Genoms zu erzeugen (um eine provokative Formulierung zu wählen). Dieses Problem der Auswahl des best geeigneten Geschlechtspartners stellt sich natürlich nicht, wenn Menschen Vögel oder Hunde beurteilen, und schon gar nicht bei Armbanduhren. Das bedeutet, dass die Präferenz der durch Mittelwertbildung erzeugten Individuen oder Objekte nicht rein auf Kriterien der Partnerwahl beruhen kann. Die Lösung dieses Problems wird weitere Forschungsanstrengungen erfordern.

Doch zurück zu den Gesichtern. Wie werden Gesichter im Cortex des Menschen repräsentiert? Es ist seit langem klar, dass ein umschriebener Bereich des Cortex existieren muss, der insbesondere auf die Analyse von Gesichtern spezialisiert ist. Denn eine ganze Reihe von Patienten sind nach Infarkten des Cortex nicht mehr in der Lage, Gesichter zu unterscheiden und können daher ihre Mitmenschen visuell nicht unterscheiden, solange sie nicht besondere Auffälligkeiten wie einen Bart,

22 Senior, C.: „Beauty in the Brain of the Beholder“, in: *Neuron*, 38 (2003), S. 525-528.

23 Halberstadt, J./Rhodes, G.: „The attractiveness of nonface averages: Implications for an evolutionary explanation of the attractiveness of average faces“, in: *Psychological Science*, 11, 4 (2000), S. 285-289.

eine ausgefallene Brille oder eine besondere Haartracht aufweisen. Das entsprechende Krankheitsbild, Prosopagnosie, lässt die übrigen visuellen Wahrnehmungsleistungen weitgehend unbeeinträchtigt. Dieser Befund zeigt, dass Gesichter für den Menschen als sozial lebendes Wesen sehr wichtig sind. Einzelne Mitglieder der Gruppe werden primär aufgrund ihres Gesichtes voneinander unterschieden, Gemütszustände und Launen werden erkannt und Geschlechtspartner ausgewählt.

Bei der Untersuchung der entsprechenden Hirnareale des Rhesusaffen fanden sich viele Nervenzellen, die spezifisch auf Gesichter reagierten, d.h. ihre Entladungsfrequenz bei Darbietung von Gesichtern erhöhten. Abb. 18 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung eines solchen Neurons. Das Neuron erhöht seine Entladungsrate insbesondere dann sehr stark, wenn das Bild eines anderen Affen dargeboten wird. Erstaunlicherweise reagiert die Zelle auf eine Art von Cartoon eines Gesichtes fast ebenso stark, wie in Abb. 18b gezeigt wird. Obwohl also eine extreme Verarmung der visuellen Information beim Übergang von 18a nach 18b stattgefunden hat, reagiert die Zelle fast ebenso stark auf diesen Cartoon eines Gesichtes wie auf ein echtes Gesicht. Ähnlich ergeht es auch dem menschlichen Betrachter und wir finden hier wieder das Phänomen, dass Menschen auf Cartoons/Zeichnungen sehr stark ansprechen. Neu ist, dass offenbar das gleiche für den Cortex des Rhesusaffen gilt. Fehlt dagegen im Reiz zusätzlich der Mund, reagiert die Zelle kaum noch. Wird nur der Mund dargeboten, dann bleibt die Zelle ebenfalls inaktiv. Auch ein Fehlen der Außenkontur des Gesichtes führt zum Ausbleiben der Reaktion; das gleiche gilt für die reine Darbietung der Außenkontur. Die zusätzliche Darbietung eines Rechteckes außerhalb des Gesichtes stört nicht. Dagegen führt die Umkehrung des Kontrastes von Augen und Mund dazu, dass diese Figur von dem Neuron nicht mehr als Gesicht akzeptiert wird und die Zelle nicht länger reagiert. Das ist vermutlich der Grund dafür, dass schon immer bei Halloween und heute in manchen Monsterfilmen durch Aufhellen der Augen ein starker Verfremdungseffekt erzeugt werden kann. Im Falle des Neurons im Affencortex stören massive Änderungen des Reizes, insbesondere der Übergang von einem echten Gesicht zu einer Strichzeichnung, das Antwortverhalten kaum, aber der relativ kleine Schritt durch Kontrastumkehr von Auge und Mund zerstört die Antwort vollständig.

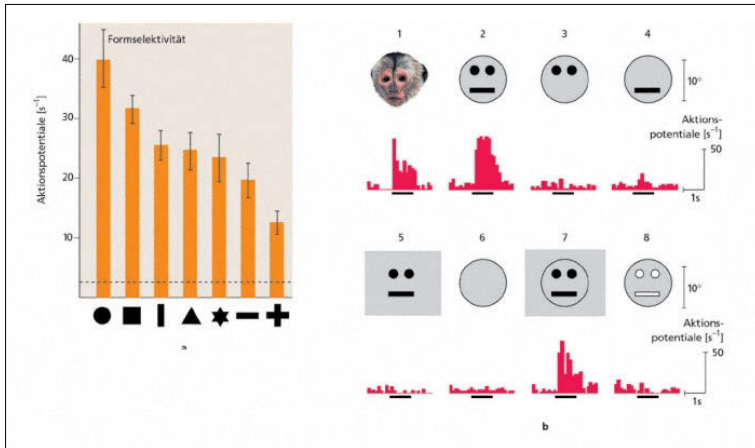


Abb. 18: Beispiel einer Nervenzelle im Cortex eines Affen, die ihre Entladungsfrequenz stark erhöht, wenn das Foto eines Affenkopfes präsentiert wird. Die Zelle reagiert ebenso gut auf den ‚Cartoon‘ eines Gesichtes, nicht aber auf einen Cartoon, bei dem zusätzlich eine Kontrastumkehr von Auge und Mund stattgefunden hat.²⁴

Eine weitere Möglichkeit, Gesichter zu verfremden, besteht darin, sie auf dem Kopf stehend darzustellen. Die Abb. 19 erscheint relativ unauffällig. Wenn Sie nun aber die Seite um 180° drehen, werden Sie sehen, dass hier nicht etwa Margaret Thatcher einfach nur auf dem Kopf stehend abgebildet wurde. Man sieht, dass es bei einem auf dem Kopf stehenden Gesicht nicht weiter stört, wenn Mund und Augen nicht zum Ganzen passen.²⁵ Dagegen wirkt es bei einem Gesicht, das aufrecht, also in der gewohnten Ausrichtung, dargeboten wird, massiv entstehend, wenn isoliert die Augen und der Mund um 180° gedreht dargeboten werden.

24 Kandel/Schwartz/Jessel (wie Anm. 2), S. 565-566, Abb. 28.17 u. 28.18.

25 Thompson, P.: „Margaret Thatcher: a new illusion“, in: *Perception*, 9, 4 (1980), S. 483-484.



*Abb. 19: Maggie Thatcher steht auf dem Kopf. Fällt Ihnen etwas auf? Drehen Sie die Seite doch so, dass Frau Thatcher nicht mehr auf dem Kopf steht!*²⁶

Symmetrie ist eine Eigenschaft von Objekten, die eher zu einem positiven ästhetischen Urteil führt. Das gilt beispielsweise für Gesichter, denn durch die Mittelwertbildung über viele Gesichter, wie sie oben beschrieben wurde, werden u.a. die Asymmetrien beseitigt, die in jedem Gesicht mehr oder weniger stark ausgeprägt vorhanden sind. Auch unter geometrischen Mustern, wie sie in Abb. 17 dargestellt sind, werden in der Regel die symmetrischen Reize, die sich im oberen Teil der Abbildung befinden, als attraktiver beurteilt, als die asymmetrischen Reize, die im unteren Teil wiedergegeben sind. Die ausgewogene Verteilung von Objekten in einem Zen-Garten wird in der Regel ebenfalls als ästhetisch empfunden und es ist vor einigen Jahren auch gelungen, einen Algorithmus zu finden, der die als „schön und harmonisch“ empfundene Anordnung der Gegenstände in diesem Zen-Garten beschreibt. Auch die mehrfache Wiederholung eines Objektes oder Themas kann u.U. als schön empfunden werden, oder aber auch als beunruhigend oder als langweilig, je nach Betrachter. Diese Wiederholung könnte im positiven Fall zu einer Art von Resonanz oder harmonischer Schwingung der elektrischen Erregung im Gehirn führen, aber das ist Spekulation.

26 Thompson (wie Anm. 24), S. 483, Abb. 1.

Spekulative Folgerungen und Ausblick

Was zeichnet also ästhetische Objekte aus? Man könnte die Aussage wagen, dass sie in der Regel anziehend wirken, also attraktiv sind, dass sie eher angenehme Gefühle erzeugen und dass diese eine bestimmte Mindest-Stärke aufweisen müssen. Das gilt m.E. auch für Kunstobjekte der letzten Dekaden, die sicher nicht immer im engeren Sinne als „schön“ bezeichnet werden können. Dennoch üben sie eine gewisse Faszination aus, die möglicherweise damit zusammenhängt, dass Emotionen induziert werden – auch wenn diese vielleicht zunächst eher nicht lustvoller Natur sind. Könnte es sein, dass es dem modernen Menschen ausreicht, überhaupt Emotionen zu empfinden, die durch ein Kunstwerk erzeugt werden, um diesem Kunstwerk eine ästhetische Qualität abgewinnen zu können? Sicherlich werden Objekte, die (im weiteren Sinne) als ästhetisch bezeichnet werden, insgesamt höher bewertet als andere Objekte. Und sicherlich signalisieren ästhetische Objekte in der Regel „Qualität“, was immer darunter im Einzelnen zu verstehen sei. Bei Lebewesen ist das ästhetische Urteil häufig mit Eigenschaften wie Gesundheit, Stärke und Modellhaftigkeit assoziiert. Ästhetische Objekte sind, wie im Rahmen der Tagung betont wurde, oft teuer, denn sie kosten Ressourcen, Vitalität und/oder Zeit. Und irgendwie sind ästhetische Objekte lustbetont. Sie erzeugen im Beobachter ein Gefühl, das er oder sie im Endeffekt positiv beurteilt und nach Möglichkeit zu wiederholen trachtet. Ästhetische Objekte könnten daher in der Lage sein, das dem Menschen intrinsische Belohnungs- und Erregungssystem zu aktivieren. Menschen besitzen dieses System, zu dem im Gehirn beispielsweise das limbische System und die Amygdala in beiden Hirnhälften gehören. Dieses System könnte an der Vermittlung des ästhetischen Urteils bzw. der damit verbundenen subjektiven Empfindungen beteiligt sein.

Ich könnte mir auch vorstellen, dass ästhetische Urteile teilweise davon abhängen, inwieweit dargebotener Reiz und Erwartungshaltung zusammenpassen, inwieweit also „bottom-up“ und „top-down“-Signale übereinstimmen (schließlich besteht das Wesen vieler Witze darin, dass diese beiden Signalquellen nicht übereinstimmen). Offensichtlich existieren also in der Außenwelt bestimmte Reize, die in der Lage sind, ein dem Menschen inhärentes Bewertungssystem zu aktivieren, das seinerseits mit subjektiv empfundenen positiven Gefühlen bzw. „Lust“ im weiteren Sinne gekoppelt ist. Diese Auslöser sind teilweise sicherlich phylogenetisch erworben, also in unserem Genom niedergelegt, teilweise aber auch durch die persönliche Geschichte in der jeweiligen Gesellschaft bedingt.

Natur (genauer: Genom) und Umwelt sind hier aufs engste miteinander verbunden, wenn es um ästhetische Urteile geht. Ich würde annehmen, dass der Einfluss der phylogenetisch codierten Auslöser stärker ausgeprägt ist bei ästhetischen Urteilen, die sich auf den Körper von möglichen Sexualpartnern beziehen, so wie überhaupt auf den Erhalt des eigenen Genoms, also beispielsweise das Ansprechen auf Babys. Auch die Beurteilung von Nahrung – „das Auge isst mit“ – beinhaltet eine ästhetische Komponente, die sicherlich teilweise genetisch codiert ist. Das unmittelbare Verstehen von Emotionen aufgrund der Mimik von Mitmenschen könnte ebenfalls zu einem großen Teil genetisch codiert werden, da viele Komponenten der Mimik relativ unverändert bei allen Kulturen und Rassen zu finden sind. Als sozial lebendes Wesen ist der Mensch, wie oben bereits ausgeführt, wesentlich darauf angewiesen, sich den anderen Mitgliedern der Gemeinschaft gegenüber situationsgerecht zu verhalten und dazu ist es wichtig, die jeweilige Gestimmtheit der Anderen möglichst rasch und genau zu erkennen (und die eigene kundzutun). Ich würde soweit gehen zu behaupten, dass auch Begriffe wie Sympathie und Antipathie mit ästhetischen Urteilen zusammenhängen, zumindest entfernt. Jedenfalls können ästhetische Urteile emotionale Reaktionen hervorrufen und daher kann die Darstellung bzw. das Schenken positiv ästhetisch besetzter Objekte (Blumen, Schmuck) die Stimmungslage positiv beeinflussen. Man könnte in diesem Sinne sagen, dass Ästhetik auch etwas mit Stimmungs-, Manipulation‘ zu tun hat und mit dem Erreichen ähnlicher Gestimmtheiten bei unterschiedlichen Mitgliedern einer Gruppe.

Auch das Habitat, also das Umfeld, in dem der Mensch lebt, ist für ihn wichtig. Insofern könnten auch in dieser Hinsicht Präferenzen durch das Genom eingebaut sein, die sich als ästhetische Urteile manifestieren. All diesen teilweise durch das Genom codierten „Langzeitadaptationen“ stehen die Kurzzeitadaptationen gegenüber. Denn die Welt verändert sich schnell und ein Lebewesen wie der Mensch, das über eine relativ lange Lebensspanne verfügt, muss sich dieser Welt während der persönlichen Lebensgeschichte anpassen, da die Generationenfolge für eine zufällige Modifikation des Genoms und anschließende Selektion viel zu lang ist. Die Instinktenthundenheit, die einhergeht mit der enormen Vergrößerung des Großhirns beim Menschen erlaubt es der Gattung Homo Sapiens, eine unglaubliche Menge an Informationen über die Welt individuell zu speichern und auf diese Weise die im Genom kodifizierte Information über die Welt zu ergänzen und rasch anzupassen. Insofern sind fast alle menschlichen Handlungen sowohl durch das Genom als auch durch die

physikalische und soziale Umwelt beeinflusst. Lernen spielt also eine große Rolle. Ich habe mich in den letzten Jahren stark mit perzeptuellem Lernen beschäftigt, d.h. ich habe versucht, die Mechanismen, die beim Training von visuellen Wahrnehmungsaufgaben auftreten, besser zu verstehen. Dabei stellte sich heraus, dass perzeptuelles Lernen die Verarbeitung visueller Signale bereits auf einer sehr frühen Stufe verändern kann. In Abb. 20 sehen Sie die Ergebnisse von 12 Versuchspersonen, die angeben sollten, ob der obere von zwei Strichen relativ zum unteren nach rechts oder nach links versetzt war. Entsprechend lautete die Aufgabe bei horizontal orientierten Strichen zu entscheiden, ob der rechte nach oben oder nach unten versetzt war. Die Prozentzahl richtiger Antworten für eine relativ geringe Versetzung zwischen den beiden Linien verbesserte sich innerhalb von 20 Minuten Trainings von etwa 75 auf fast 90 %. Drehte man die Reize dann um 90°, mussten die Versuchspersonen vollständig neu lernen, d.h. der Lernerfolg konnte nicht auf die neue Reizorientierung generalisiert werden. Daraus kann man schließen, dass diesem perzeptuellen Lernen keine im engeren Sinne kognitive Verbesserung der visuellen Informationsverarbeitung zugrunde liegt, da man bei einer kognitiven Leistung einen Transfer des Erlernten auf eine neue Orientierung erwarten müsste. Dieser Folgerung entspricht, dass der Lernerfolg auch nicht zwischen den beiden Augen transferiert wird. Wird also die Aufgabe gelernt, während ein Auge mit einer Augenklappe abgedeckt ist, dann muss die Versuchsperson die gleiche Aufgabe erneut erlernen, sobald die Augenklappe auf das zuvor geöffnete Auge transferiert wird.

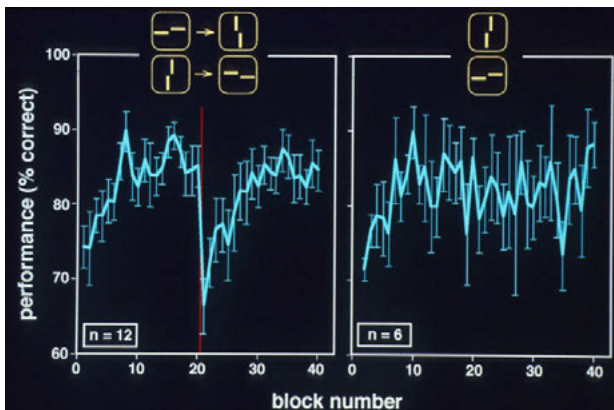


Abb. 20: Anstieg der Prozentzahl richtiger Antworten durch kurz dauerndes Training einer Strich-Unterscheidungsaufgabe durch perzeptuelles Lernen und Abfall der Leistung nach Drehung des

*Testreizes. Linke Seite: Nach Drehung des Reizes um 90° fällt die Leistung der Versuchspersonen stark ab. Rechte Seite: kein Abfall der Leistung für konstante Reizorientierung.*²⁷

Diese Ergebnisse zeigen, dass sich die Analyse der Außenwelt durch die Auseinandersetzung mit dieser Außenwelt und durch Lernen bereits auf sehr frühen kortikalen Verarbeitungsebenen verändert. Durch das Lernen wird das System, welches die Außenwelt analysiert, selbst verändert; die Welt wird nicht nur anders interpretiert, sie wird auch teilweise anders synthetisiert. Auf diese Art und Weise können die Reize, die durch die Sinnesorgane aufgenommen werden, im zentralen Nervensystem modifiziert werden und es kann eine Umdeutung stattfinden. Durch die persönliche Lebensgeschichte kann die Bedeutung so genannter angeborener Auslöser verändert werden, ästhetische Bewertungen können modifiziert werden und Reize, für die vom Genom keine Aktivierung des Belohnungssystems vorgesehen worden war, können mit diesem System assoziiert werden. D.h. die Kultur, die Medien, die Umwelt sind in der Lage, innerhalb gewisser Grenzen ästhetische Urteile zu modifizieren und, zumindest für die junge Generation, neu zu prägen. Die geprägten, also frühkindlich erlernten Auslöser sind sicherlich die stabilsten, wodurch es zu tiefgreifenden Unterschieden zwischen den Urteilen und Empfindungen unterschiedlicher Generationen kommen kann und damit der Weg frei gemacht wird für die Akzeptanz von Medienumbrüchen.

Eine weitere, deutlich unterschiedliche Klasse ästhetischer Reize könnte, wie oben angedeutet, auf Faktoren wie Komplexität, Spannung und Überraschung beruhen. Der Mensch als „bestia cupidissima rerum novarum“ kann Lust beim Erleben neuer, komplexer und unerwarteter Reize erleben und aufgrund dieser Lustempfindung den auslösenden Objekten ästhetische Qualitäten zuschreiben. Wenn man die beiden Prinzipien des Lernens einerseits und der Spannung und Überraschung andererseits miteinander kombiniert, dann lässt sich auch die Antiästhetik in einer Biologie der Ästhetik unterbringen, da durch Lernen neue, eigentlich nicht ästhetische Objekte im konventionellen Sinne an das „Lustsystem“ angekoppelt werden können. Diese Assoziation kann überdies durch Prädikate wie teuer und wertvoll unterstützt werden. Eine dritte Ursache für positive ästhetische Urteile im Bereich der visuellen Wahrnehmung könnte durch eine Art von Resonanz bestimmter Bereiche un-

27 Poggio, T./Fahle, M./Edelman, Shimon: „Fast perceptual learning in visual hyperacuity“, in *Science*, 256 (1992), S. 1018-1021, hier S. 1020, Abb. 4.

seres Cortex bedingt sein. Prinzipien wie Symmetrie und Ordnung, Proportionen und goldener Schnitt, gute Gestalt und ähnliches könnten zu Resonanzen der elektrischen Hirnaktivität führen.

In Fortführung dieser Spekulation könnte man fragen, ob vielleicht in dieser Hinsicht auch Beziehungen zur Musik existieren, also zu Begriffen wie Harmonie. Es ist mittlerweile bekannt, dass aufgrund der lateralen Interaktionen, die oben angesprochen wurden, benachbarte Areale und Bereiche des Cortex miteinander interagieren. Unter bestimmten Umständen treten so genannte Erregungswellen auf, die sich langsam über die Oberfläche des Großhirns ausbreiten. Es wäre denkbar, dass eine geeignete zeitliche und räumliche Anordnung von Reizen dazu führt, dass solche Erregungswellen ausgelöst werden, die durch die Außenreize weiter verstärkt werden – sei es durch Musik oder durch bestimmte Reizeigenschaften visueller Muster wie (die oben genannten) Symmetrie, Ordnung, Proportionen, goldener Schnitt und gute Gestalt. Bei diesen Überlegungen handelt es sich natürlich um wildeste Spekulationen, die jedoch prinzipiell der naturwissenschaftlichen Analyse, beispielsweise mit Hilfe der funktionellen Kernspintomographie, zugänglich sind. Und insofern sollte ein Naturwissenschaftler an dieser Stelle schließen, mit der Hoffnung, in Zukunft zu diesen Fragen neurobiologische Aspekte beitragen zu können.

Zusammenfassung

Alle Informationen, auf denen die Repräsentation der visuellen Außenwelt in unserem Gehirn beruht, müssen zunächst im Auge aufgenommen werden. Die riesige Menge von Signalen, die vom Auge an das Gehirn weitergeleitet wird, muss zunächst durch Elimination von Redundanzen reduziert werden. Das Bild der Außenwelt wird auf eine Art von „Cartoon“-Zeichnung reduziert und diese wird parallel und gleichzeitig in einer ganzen Reihe von spezialisierten Cortexarealen verarbeitet, meist simultan für verschiedene Bereiche des Gesichtsfeldes. Auf diese Weise wird im Cortex durch die Zusammenarbeit von Signalen aus den Sinnesorganen („bottom-up“) und von Vorwissen und Erwartungshaltungen („top-down“) eine Repräsentation der Außenwelt erstellt, die sowohl Analyse als auch Synthese darstellt. Diese cortikale Repräsentation der Außenwelt ist individuell unterschiedlich, da sich sowohl die Signale aus den Sinnesorganen bei unterschiedlichen Individuen unterscheiden können als auch die Vorinformationen und Erwartungshaltungen, so dass gleiche Reize bei unterschiedlichen Individuen zu merklich verschiede-

nen Erregungszuständen und mithin unterschiedlichen Repräsentationen führen können. Nur durch die Verwendung einer gemeinsamen Sprache, die den unterschiedlichen Erregungsmustern individueller Gehirne die gleichen Worte zuordnet, werden diese Differenzen weitgehend kaschiert. Wahrnehmungstäuschungen stellen überzeugende Beispiele für das Fehlschlagen dieser Rekonstruktion und Repräsentation der Außenwelt in unserem Gehirn dar: Bei diesen Reizen schlägt die korrekte Rekonstruktion des dargebotenen Objektes im Gehirn fehl. Unter den „top-down“-Einflüssen, also den Erwartungshaltungen und Konstruktionsprinzipien, auf denen die Synthese der Repräsentation beruht, könnte auch die Ästhetik im weiteren Sinne einen Platz einnehmen.

