

## 2 Wahrnehmung: Abbildung oder Konstruktion?

Wenn man die Annahme des Behaviorismus expliziert, müssen die Außensignale des Reizes zum einen in Sinnesorgane eindringen und eine Kettenreaktion bis zum Output auslösen, um ihre steuernde Funktion zu erfüllen. Zum anderen muss zwischen den Außensignalen und den neuronalen Aktivitäten im Organismus eine Eins-zu-eins-Relation bestehen, damit dasselbe Außensignal immer dieselbe Gehirnaktivität auslöst, die wiederum denselben Output herbeiführt.

Vertritt man eine realistische Ansicht der Wahrnehmung, so leistet sie eine Widerspiegelung der Realität. Sie geschieht abbildend und hinterlässt einen Abdruck der Realität im Gehirn. Es geht dann darum, wie eine Wahrnehmung die Welt *besser* als die andere wiedergibt. Approximation an die Realität bringt im Rahmen der realistischen Sichtweise den Wahrnehmenden der Wahrheit näher. Die Auffassung, dass wir die Realität als solche erfassen können, findet man nicht allein in der Wissenschaftstradition des Realismus. Unsere alltäglichen Erfahrungen verleihen uns den festen Glauben an eine Unvermitteltheit der sinnlichen Wahrnehmung; daran, dass wir im Allgemeinen die Welt so sehen, wie sie ist. Nicht nur bei einer visuellen Wahrnehmung sehen wir *direkt* die Außenwelt. Beim Hören haben wir den Eindruck, dass die Signale der Außenwelt in unsere Sinnesorgane eindringen. Auch bei allen anderen Wahrnehmungen scheint es so - seien es Geruchs-, Geschmacks- oder haptische Wahrnehmungen. Mit Hilfe eines Instruments wie z.B. einer Brille oder eines Hörgeräts kann man die Außenwelt sogar noch besser wahrnehmen.

Wenn wir eine Rose sehen, wird in unserem Gehirn ein Bild der Blume hervorgerufen. Wie kommt dieses zustande? Auf welche Weise erreichen die Signale der Außenwelt über unsere Sinnesorgane das Gehirn? Wie hängen die Signale der Rose mit dem *im Gehirn hervorgerufenen Bild* zusammen? Ein Einblick in den neurophysiologischen Prozess der Wahrnehmung ermöglicht uns die Beantwortung der gestellten Fragen und weist auf die Reichweite der instruktivistischen Theorieannahme hin. Die nachfolgende Erklärung der Wahrnehmung beruht auf den gängigen neurobiologischen Erkenntnissen, wie sie in Birbaumer & Schmidt (2003) und Shepherd (1993) dargestellt sind.

### 2.1 Neurophysiologie des Sehens

Wenn ein Bild durch das Sehen im Gehirn hervorgerufen wird, haben sich drei Faktoren daran beteiligt: Signale der Außenwelt, das Auge als das zuständige Sinnesorgan und das zentrale Nervensystem (ZNS). Beim Sehen ist das Außensignal das Licht, das physikalisch elektromagnetische Wellen darstellt. Die Lichtsignale, die auf der Retina eintreffen, werden dort von Photorezeptoren aufgenommen. Sie leiten eine Reaktion in den Sinneszellen ein, die zur Entstehung einer Erregung führt. Die Erregung wird dann in Bipolarzellen und Ganglienzellen geleitet und in Impulse umgewandelt.

Dieser Prozess ist eine Übersetzungsarbeit, die das Sinnesorgan dazu veranlasst, unserem zentralen Nervensystem eine verständliche Codesprache zu produzieren. Die am Ende des Prozesses entstandene Sprache ist ein Impulsmuster. Das Impulsmuster wird über die Ganglienzellen der Retina ins Gehirn weitergeleitet und aktiviert im Gehirn die mit der Wahrnehmung des Schildes **P** der Abb. 4 in Zusammenhang stehenden Nerven bzw. Nervenverbände. Die Aktivierung ist der letzte Prozess der Wahrnehmung, der die am Auge entstandenen aktuellen Informationen mit der schon vorhandenen zusammenfügt. So wird das Bild des Schildes im Gehirn hervorgerufen. Die drei Prozesse der Übersetzung, der Weiterleitung und der Zusammenfügung sind dann abgeschlossen.

---

Ohne alle Mechanismen und ihre Voraussetzungen der visuellen Wahrnehmung aufzuzeigen, werden hier die elementaren Prinzipien der Signalaufnahme und -verarbeitung eines visuellen Systems am Beispiel des Farbsehens erklärt.



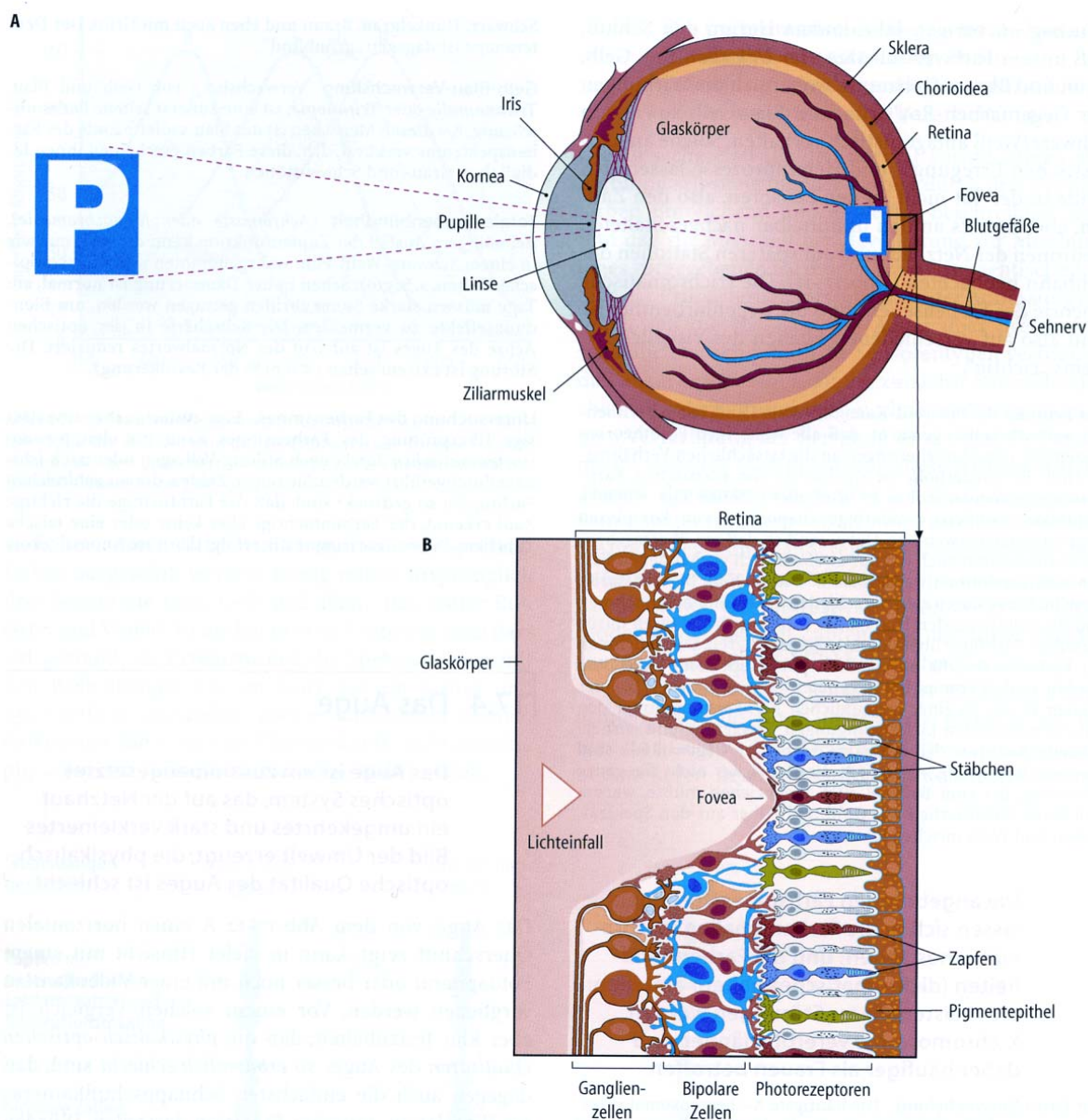


Abb. 4: Der Aufbau des Auges und der Retina  
(aus: Birbaumer & Schmidt 2003, S. 386).

### 2.1.1 Aufbau des Auges

Beim Sehen landen an unseren Augen in kürzester Zeit eine Menge von elektromagnetischen Signalen. Sie leiten dort Mechanismen ein, die die wichtigsten Leistungen der Wahrnehmung ermöglichen, wie die Erkennung von Helligkeit, Farbkontraste, Bewegung, räumliche Tiefe, Beleuchtungsweise sowie Oberflächenstruktur. Zur Einleitung dieser Mechanismen müssen zunächst verschiedene morphologische und physiologische Voraussetzungen erfüllt sein. Abb. 4 zeigt im horizontalen Querschnitt den Aufbau eines Auges. Das Auge ist ein zusammengesetztes optisches System, das aus der Kornea

(Hornhaut), der vorderen Augenkammer und einer Linse besteht. Wenn die Lichtstrahlen die Kornea passieren, werden sie gebrochen. Mit Hilfe der Linse werden sie von der lichtempfindlichen Schicht des Augenhintergrundes (Retina) aufgenommen. Durch die Brechung werden die Signale auf der Netzhaut umgedreht und stark verkleinert aufgenommen, worauf das Parkschild **P** hindeutet. Die Achse des optischen Systems trifft auf der Netzhaut auf eine Stelle, welche eine kleine Eindellung aufweist; diese wird als Zentralgrube beim Augenspiegeln oder auch als gelber Fleck (Fovea centralis) bezeichnet. An diesem Punkt befindet sich die Stelle des schärfsten Sehens im Auge.

Auf der Retina sind zwei Typen von Photorezeptoren zu finden: Stäbchen und Zapfen, wie sie in der Abbildung zu sehen sind. Die Retina ist ein neuronales Netzwerk und setzt sich aus Photorezeptoren, Bipolarzellen und Ganglienzellen zusammen. Die Sensorschicht eines Menschauges hat etwa 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen. Sie sind auf der Netzhaut unterschiedlich verteilt. Die Zapfen sind zuständig für das photopische Sehen bei Tageslicht und ermöglichen farbiges und scharfes Sehen. Die Stäbchen sind für das skotopische Sehen zuständig. Beim skotopischen Sehen erkennt man Helligkeitsunterschiede, aber keine Farben (vgl. Birbaumer & Schmidt 2003 385 ff.).

In der Fovea centralis (gelber Fleck) sind nur farbtüchtige Zapfen zu finden, nicht aber Stäbchen. Dort ist die gesamte Neuronenschicht der Retina zur Seite geschoben, so dass das Licht unmittelbar auf die Zapfen fällt. Die direkte Aufnahme der Lichtsignale in der Fovea centralis macht das schärfste Sehen möglich. Ein weiterer Grund für das scharfe Sehen an dieser Stelle ist die Tatsache, dass die Zapfen dicht beieinander stehen und über besonders zahlreiche Verbindungen zum zentralen Sehsystem verfügen. D.h., jeder Zapfen verfügt über eine direkte „Telefonleitung“ ins Gehirn, während anderenorts im Auge viele Photosensoren eine Sammelleitung benutzen müssen. Wenn wir ein Objekt ansehen, richtet sich das Auge so aus, dass die Lichtsignale aus dem Objekt möglichst auf die Fovea centralis fallen.

Zur Analyse der Arbeitsprinzipien des visuellen Systems ist die Erklärung des Augenaufbaus in folgenden Punkten relevant:

- Die Signale der Außenwelt sind beim Sehen elektromagnetische Wellen.
- Sie werden durch die Linse gebrochen und dringen durch die Neuronenschicht bis auf die Retina durch.
- Zapfenrezeptoren sind für Farbsehen zuständig.
- Scharfes Sehen ist durch Zapfen möglich.

Am visuellen Wahrnehmungsprozess sind viele neurobiologische Verarbeitungsmechanismen beteiligt. Um zu analysieren, ob die deterministische Auffassung der Wahrnehmung und die Abbildtheorie des Ontologischen Realismus vertretbar ist, wird der erste Schritt des Übersetzungsprozesses dargestellt: Reiz-Erregungs-Transduktion.

### 2.1.2 Reiz-Erregungs-Transduktion

Wenn die Außensignale in die Retina eintreffen, setzen sie die *Reiz-Erregungs-Transduktion* in Gang, um die Codesprache des Gehirns, die *Impulse*, zu bilden (vgl. Shepherd 1993, S. 178 ff.; Birbaumer & Schmidt 2003, S. 390). Die Transduktion geschieht in den Photorezeptoren. Das Außenglied der Rezeptorzellen besteht aus einigen hundert Membranscheibchen (Stäbchen) bzw. Membraneinfaltungen (Zapfen). In diesen Membranen sind verschiedene Sehfärbstoffe eingelagert. Das Stäbchen hat eine Art Sehfärbstoff (*Rhodopsin*), der sein Absorptionsmaximum im Grünbereich ( $\lambda_{\max}$  510 nm<sup>4</sup>) hat. In den Zapfen gibt es drei verschiedene Sehfärbstoffe. Sie unterscheiden sich durch ihre

---

<sup>4</sup> nm = Nanometer, 1 nm = 10<sup>-9</sup> m

Sehpigmente, die ihre Absorptionsmaxima bei den Wellenlängen um 430 nm (blauviolett), 530 nm (gelbgrün) bzw. 560 nm (gelb) haben.

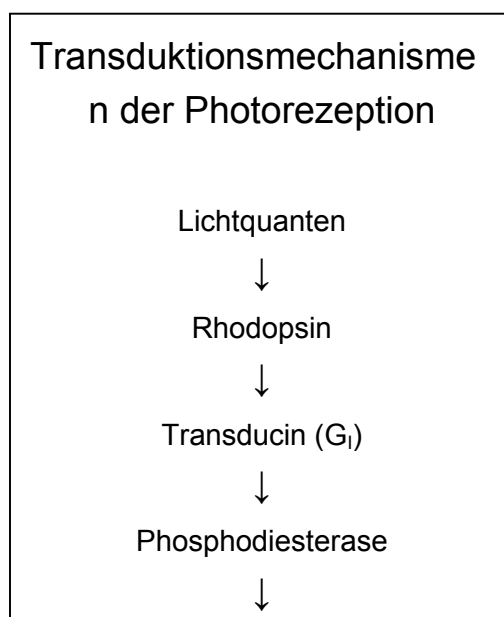


Abb. 5: Transduktion in Photorezeption (aus Shepherd 1993, S. 181)

Wenn die Lichtstrahlen durch die gesamte Neuronenschicht laufen und auf die Photosensoren treffen, wird der Transduktionsprozess eingeleitet, den Abb. 5 schematisch zeigt. Dieser lässt die Sehfärbstoffe zerfallen. Durch die Absorption der Lichtstrahlen erreichen Sehfärbmoleküle in Membranen eine höhere Energiestufe und beginnen stärker zu schwingen. Der Vorgang löst einen komplexen molekularbiologischen Prozess aus, der zu einer Schließung der Na-Kanäle in der Membran der Rezeptoraußenglieder führt. Bei der Belichtung der Photorezeptoren kommt es zu einer Hyperpolarisation des Membranpotentials, während es bei einer Verdunklung zu einer Depolarisation kommt. »Die durch die Reiztransduktion bewirkte Änderung des Membranstroms führt nicht unmittelbar zur Impulsbildung. Zuerst entsteht eine Potentialschwankung, die als Rezeptor- oder Generatorpotential bezeichnet wird und ähnlich wirkt wie ein Synapsenpotential« (Shepherd 1993, S. 182). Die durch die Absorption eines Lichtquants »ausgelöste Konformationsänderung des Moleküls (...) setzt eine Second-Messenger-Kaskade in Gang (...), deren Aktivierung bei den Wirbeltier-Stäbchen nicht das Einschalten, sondern das **Abschalten eines Membranstromes** bewirkt. Im Dunkeln bindet das bei diesen Rezeptoren in relativ hohen Konzentrationen vorliegende cGMP an Kanalproteine, wodurch ein von Na<sup>+</sup> und Ca<sup>2+</sup> getragener sog. Dunkelstrom in die Zelle fließt. Ein Lichtreiz aktiviert über ein G-Protein eine Phosphodiesterase, die durch Hydrolyse von cGMP dessen Konzentration verringert und dadurch das Schließen dieser Kanäle bewirkt« (Shepherd 1993, S. 181).

Aus der Erklärung des ersten Verarbeitungsprozesses der Signale ist folgendes abzuleiten:

- Die Außensignale des Lichtes dringen nicht in das zentrale Nervensystem ein, sondern leiten in den Photorezeptoren einen Transduktionsprozess ein.
- Die Außensignale (= Licht) selbst sind nicht farbig.
- Die Sehfärbstoffe in Zapfen ermöglichen das Farbsehen.

### 2.1.3 Das Farbsehen

Seitdem es Newton gelungen ist, das Sonnenlicht mit Hilfe eines Prismas in Spektralfarben zu zerlegen, wissen wir, dass das Licht eine elektromagnetische Welle ist. Der menschliche Organismus nimmt mit seinen Augen den Bereich zwischen 400 und 700 nm wahr. Bei der Zerlegung durch ein Prisma wird kurzwelliges Licht stärker gebrochen als langwelliges. Ein normal Farbsehtüchtiger kann ca. 7 Millionen verschiedene Farbnuancen oder Farbwerte wahrnehmen und unterscheiden. Diese Farbenvielfalt, die sich durch unterschiedliche Werte bei Farbton, Sättigung und Intensität ergibt, ist auf zwei Mechanismen der Farbmischung zurückzuführen.

Der eine wird durch die trichromatische Theorie des Sehens beschrieben. »Die Tatsache, daß für den normal Farbtüchtigen alle Farbtöne selbstleuchtender Farben durch drei Primärfarben hinreichend und eindeutig beschreibbar sind und daß die Mehrheit der Bevölkerung zur Mischung eines vorgegebenen Farbtones praktisch identische Anteile der Primärfarben mischt, hat zu der Auffassung geführt, daß die Netzhaut des Auges über drei unterschiedlich farbempfindliche Sensorentypen verfügt« (Birbaumer & Schmidt 2003, S. 384). Diese trichromatische Theorie des Farbsehens, die in der Abb. 6 aufgezeigt ist, wurde durch die Entdeckung der drei Zapfentypen bestätigt, die wegen ihrer in Membranen eingelagerten Sehfärbstoffe spektral unterschiedlich empfindlich sind. Blaue Zapfen erreichen ihre Absorptionsmaxima bei einer Wellenlänge von 419 nm, Grüne Zapfen bei 531 nm und die Gelben bei 559 nm. Die unterschiedliche Aktivierung kann auf ein bestimmtes neuronales Farbsystem sowohl erregend als auch hemmend wirken, je nach ihrer Information über Farbe und Helligkeit. »Die Wellenlänge des einfallenden Rezeptors wird also nicht durch die Aktivität eines einzelnen Rezeptors, sondern durch die *relative Aktivität* von mindestens zwei, meist drei Rezeptoren „codiert“. Unser Farbempfinden kommt entsprechend der Young-Helmholtz-Theorie des trichromatischen Farbsehens durch Kombination der Aktivität dieser drei Farbrezeptoren zustande« (Roth 1994, S. 104).

Den anderen Mechanismus des Farbsehens beschreibt die Gegenfarbentheorie, welche die Farbenverrechnungen in den Ganglienzellen erklärt. »Ein intensiver Rotreiz führt häufig zu einem grünen Nachbild (und umgekehrt), gleiches gilt für Blau und Gelb und für Weiß und Schwarz. Aus solchen und weiteren Beobachtungen von Kontrastphänomenen zog im vorigen Jahrhundert Hering den Schluß, daß unsere Farbwelt aus den **vier Urfarben** Rot, Gelb, Grün und Blau aufgebaut ist, wobei sich die Wirkungen der Gegenfarben Rot/Grün und Blau/Gelb sowie von Schwarz/Weiß antagonistisch verhalten. Solche Antagonistischen Erregungs- und Hemmprozesse lassen sich heute in der Tat nicht an den Sensoren, also den Zapfen, aber bereits an den unmittelbar nachgeschalteten Neuronen der Netzhaut und auf späteren Stationen der Sehbahn beobachten« (Birbaumer & Schmidt 2003, S. 384-5).

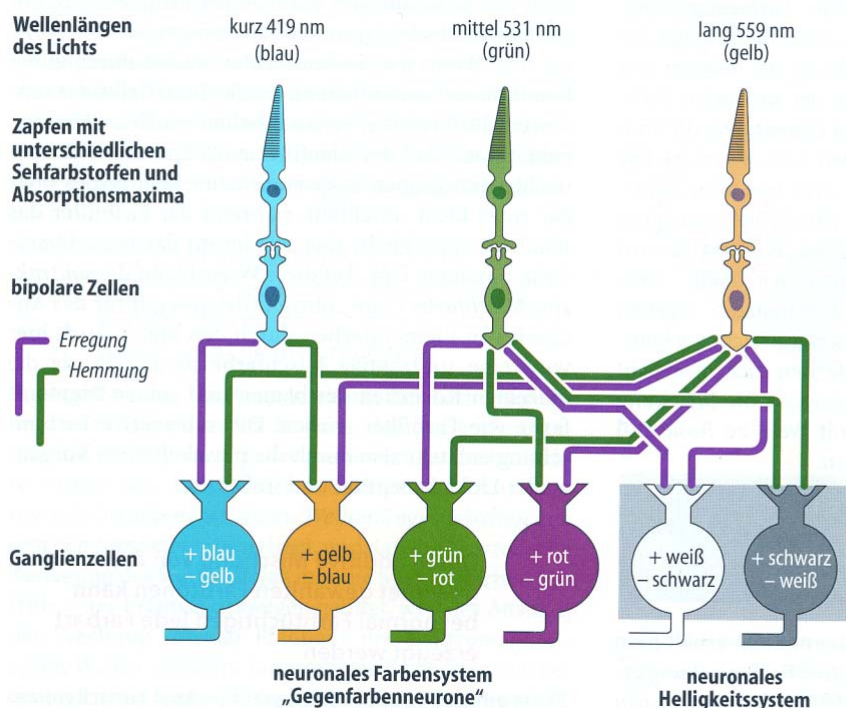


Abb. 6: Modell eines Farbsystems in der Retina und der Verknüpfung der Farbsensoren mit den nachfolgenden Neuronen des Sehsystems (aus: Birbaumer & Schmidt 2003, S. 384).

Die Unhaltbarkeit der deterministischen - sei es eine behavioristische, neodarwinistische oder ontologische - Vorstellung wird aus der neurobiologischen Sicht zum einen damit begründet, »daß zwischen Licht und Farbempfindung zuerst eine Umsetzung der Wellenlängen in neuronale Erregungsmuster und dann im Gehirn eine weitere Umsetzung der neuronalen Erregungsmuster in Farbempfindung vorliegt« (vgl. Roth 1994, S. 105-107). Zum Farbsehen benötigt der Organismus die genannten Mechanismen der visuellen Wahrnehmung und einige morphologische und physiologische Voraussetzungen des visuellen Sinnessystems. Für Helligkeitsehen gehören lichtempfindliche Moleküle (Rhodopsin) und spezialisierte Membranstrukturen (Cilien/Mikrovilli) zu den Voraussetzungen. Sehpigmente und neuronale Auswertungsmechanismen werden beim Farbsehen aktiv. Diese beiden, die Mechanismen und die physiologische Voraussetzungen, bestimmen das Farbsehen. Die Außensignale haben am Auge schon in ihrer Funktion ausgedient, wenn sie dort vom Sehfärbstoff absorbiert werden, um eine Reihe von Mechanismen einzuleiten, vor allen die Änderung des Membranpotentials. Dass kein kausal-deterministischer Zusammenhang zwischen den Außensignalen (Lichtwellenlängen) und unserer Farbempfindung besteht, wird zum anderen damit begründet, dass es »keine festen Zuordnungen zwischen Lichtwellenlängen und Farbempfindungen gibt. Vielmehr können dieselben Farbempfindungen durch unterschiedliche Erregungsmuster auf der Ebene der Farbrezeptoren hervorgerufen werden« (ebd.). D.h., die gleiche Farbempfindung kann durch unterschiedliche Mischung hervorgerufen werden. Keinem Außensignal kann deshalb eine die Wahrnehmung steuernde Funktion zugeschrieben werden. Schließlich ist das Farbsehen eine Leistung des Lebewesens *Mensch*, wie es seine Außenwelt erfasst – nicht alle Säugetiere sehen Farben.



---

Dass auch andere Wahrnehmungen von der Modalität des Sinnesorgans, d.h. von seinem Bau und seiner Funktion abhängig sind, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

## **2.2 Neurophysiologische Prinzipien der Wahrnehmung**

Wie für alle anderen Lebewesen hat Wahrnehmung auch für den Menschen eine ebenso grundlegende Funktion wie Selbsterhaltung und Fortpflanzung. Sie dient zum biologischen Überleben des Individuums und seiner Gattung. Dazu zählen auch Versorgung mit Nahrung, Schutz vor Kälte und Feinden, Erkennen von Artgenossen und Sexualpartnern. Für den Zweck des Überlebens braucht die Wahrnehmung nicht unbedingt genau zu sein. Sie soll eher angemessen sein und dem Zweck des Überlebens dienen.

Die menschliche Wahrnehmung dient nicht nur dem Zweck des Überlebens, sondern auch dem des Wissenserwerbs im weiteren Sinne. Schon seit langem hat man sich mit der Analyse des Zusammenhanges zwischen Wahrnehmung und Wissen beschäftigt. Man weiß erst in den letzten Jahren dank der Erfolge der Gehirnforschung ein wenig mehr darüber, was bei der Wahrnehmung im Gehirn vorgeht. Im Folgenden werden die neurobiologischen Prozesse der Wahrnehmung und die Arbeitsprinzipien des Gehirns dargestellt, um die Eigenschaften der Wahrnehmung und den Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Wissen zu klären.

### **2.2.1 Sinnesmodalität und –selektivität**

Je nach der Sinnesmodalität, d.h. welche Eigenschaft der Sinn hat, gehört eine Wahrnehmung zu einem mechanischen, einem chemischen, einem Temperatursinn, dem Schmerzsinne oder zu einem Lichtsinne. Mechanisch ist z.B. der Tastsinn, welcher durch Druck oder Berührung entsteht. Der Gleichgewichtssinn, wie der Schweresinn und Drehsinn ist auch zu dieser Gruppe zu zählen, ebenfalls gehören der Muskelstellungs-, sowie Gelenksinn und der Gehörsinn dazu. In die Kategorie der chemischen Sinne sind z.B. der Geschmacks- und der Geruchssinn einzuordnen. Die wirksame Energieform oder adäquate Reize an den Sinnesorganen sind dabei sehr verschieden: Druck, Verbiegung, Dehnung, Schalldruck, chemische Moleküle, Wärme (bzw. Kälte) und Licht. Sie sind allesamt Umweltereignisse, die zur Reizung unserer Sinnesrezeptoren führen. Es gibt aber auch andere Umweltereignisse, die zwar in der physikalischen Welt stattfinden, von uns aber nicht wahrgenommen werden, wie z.B. Magnetwellen. Wir haben kein Sinnesorgan zur Verfügung, das diese Reize wahrnehmen kann. Wenn wir einer radioaktiven Strahlung ausgesetzt sind, wissen wir es nicht. Sie liegt über den Wellenlängen, die unser visuelles System erfassen kann. Erst die schmerzhaften Folgen der radioaktiven Strahlung lassen uns wissen, dass wir ihr ausgesetzt waren. Auch hören wir nicht das komplette Spektrum aller möglichen Schalldrücke. Wie beim Sehen (400-750 nm) nehmen wir beim Hören einen begrenzten Bereich von ca. 50 bis 20 000 Hz wahr. Die Begrenztheit der Wahrnehmung gilt auch bei den anderen Sinnesbereichen. Sie sind auf den Bau der Sinnesorgane zurückzuführen – sie sind sozusagen unser „Fenster“ der Wahrnehmung, das nur einen kleinen Ausschnitt der Umweltereignisse durchlässt. Außerdem können die Sinnesorgane mit ihren Rezeptoren Umweltereignisse (z.B. ein Gesicht, ein gesprochener Satz, ein Blumenduft) nicht in ihrer ursprünglichen Komplexität erfassen. Die Sinnesrezeptoren können nur auf bestimmte physikalische und chemische Ereignisse reagieren und sind in ihrer Wahrnehmung gegenüber der Realität demnach reduziert.

Zusammenfassung:

Die Selektion der Umweltereignisse hängt von der Modalität des Sinnesorgans ab, d.h. von seinem Bau und seiner Funktion. Unser Wahrnehmungssystem ist die Rahmenbedingung dafür, was und wie wir wahrnehmen. Wir können daher die Welt nicht so erfassen, wie sie ist. Wir haben dazu – zu der ontologischen Realität - keinen Zugang.

### **2.2.2 Transduktion und Neutralität des neuronalen Codes**

Bei den Wirbeltieren zeigt sich eine klare Arbeitsteilung zwischen den Sinneszellen des Sinnesorgans und den Nervenzellen. Die Sinneszellen sind für entsprechende Umweltreize empfänglich und wandeln deren Einwirkung in elektrische Erregung um. Die Nervenzellen stehen in Kontakt mit diesen Sinneszellen und leisten die Weiterleitung der elektrischen Erregung in Form eines Aktionspotentials. Damit ist letztendlich jedes Zentralnervensystem von der Umwelt „isoliert“ (vgl. Roth 1994, S. 79 ff.). Die Funktion der Sinnesrezeptoren und –organe liegt also darin, die (mehr oder weniger) spezifischen Einwirkungen von physikalischen und chemischen Umweltreizen in Aktionspotentiale umzuwandeln, durch die Nervenzellen erregt oder gehemmt werden können. Die Aktionspotentiale sind nicht mehr von so spezifischer Eigenschaft wie die Umweltereignisse, sondern eine unspezifische Sprache des zentralen Nervensystems, die die Membran- und Aktionspotentiale, die Neurotransmitter und Neuropeptide, als Komponenten haben. Unspezifisch ist es, weil die unterschiedlichen physikalischen und chemischen Umweltreize in den Sinnesorganen in neuroelektrische und neurochemische Signale umgewandelt werden (= periphere Codierung). Es ist dann nicht mehr zu unterscheiden, ob die Einzelsignale ursprünglich aus einem visuellen, auditiven oder haptischen Umweltreiz entstanden sind. Ein im auditorischen System ausgelöstes Aktionspotential ist in seiner Eigenschaft mit einem im visuellen System entstandenen identisch: neuroelektrisch oder neurochemisch. Es handelt sich hierbei um das Prinzip der Neutralität der codierten Sprache. Die verschiedenen Sinnessysteme benutzen also dieselbe Sprache (vgl. Roth 1994, S. 79-81). Das Gehirn leistet die Unterscheidung zwischen dem visuellen und dem auditiven Signal durch das Prinzip des „Verarbeitungsortes“. »Das Gehirn interpretiert dasjenige als Sehen, was den visuellen Cortex erregt, und dasjenige als Hören, was den auditorischen Cortex erregt, und zwar gleichgültig, ob die Erregung tatsächlich vom Auge bzw. vom Ohr kommt« (Roth 1994, S. 97).

Zusammenfassung:

Unser zentrales Nervensystem ist gegenüber Umweltereignissen wie elektromagnetischen Wellen, chemischen Molekülen oder Druckveränderungen unempfindlich. Es ist durch die Sinnessysteme von der Außenwelt isoliert. Die Sprache des Gehirns, die im Sinnesorgan übersetzt (codiert) wird, sind Nervenimpulse, die bestimmte elektrische Signale ausmachen. Die Nervenzellen des zentralen Nervensystems werden durch ein Zusammenwirken der Signale, Neurotransmitter und Neuropeptide in ihrer Aktivität erregt oder gehemmt. Die Erregung und Hemmung ist neurologische Grundlage der Zusammensetzung des Wahrnehmungsinhaltes.

### **2.2.3 Gedächtnisbilder**

Die Codierung im Sinnesorgan ist die erste Stufe des Wahrnehmungsprozesses. Sie besteht auf der Ebene der Sinnesrezeptoren in einer Zerlegung der physikalisch-chemischen Umweltgeschehnisse in *Elementarereignisse*. Diese sind im visuellen System Wellenlänge und Intensität des einfallenden Lichts, im auditorischen System Frequenz und Stärke der Schallwellen. Diese Elementarereignisse sind das einzige, was für die weitere Verarbeitung

zur Verfügung steht. Die Zerlegung des Lichtes in Wellenlänge und Intensität ist ein radikaler Prozess, wodurch »die Komplexität der Umwelt „vernichtet“ wird« (Roth 1994, S. 102).

Nur aus den beiden Elementarereignissen entstehen visuelle Wahrnehmungsinhalte wie der Ort, die Farbe oder der Kontrast des Gesehenen. Die komplexen Gestalten und Szenen, wie wir sie erleben, werden vom Nervensystem erschlossen. Die erlebte Komplexität der Umwelt ist also durch viele Mechanismen und durch viele Kombinationen auf verschiedenen Ebenen der Sinnessysteme konstruiert: Nicht die eigentliche Komplexität der Umwelt wird wahrgenommen.

Wie entsteht dann das gesehene Bild im Kopf?

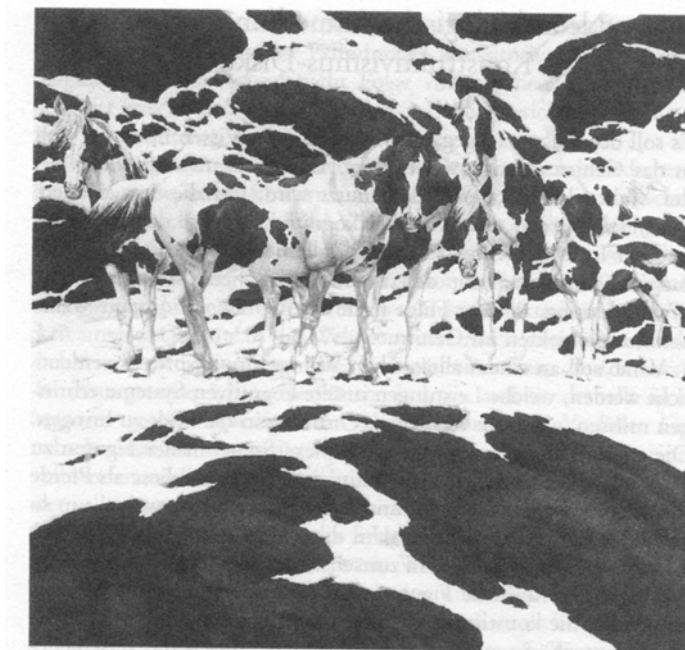


Abb. 7: Welche Figuren sind auf dem Bild erkennbar? (aus Singer 2002, S. 88)

Das Licht leitet an den Photorezeptoren der Augen neuronale Aktivität ein. So entstehen elektrische Signale der Gehirnsprache, die über etwa eine Million Sehnervfasern zum Thalamus und dann zur primären Sehrinde geleitet werden. Die Codierung der Umwelt ereignisse in die Gehirnsprache und die Weiterleitung erfolgt in einem seriellen Prinzip. Ab der primären Sehrinde »dominiert das Prinzip der Parallelverarbeitung. Die Verarbeitungswege verzweigen sich auf zahlreiche, oft parallel angeordnete Areale, die fast alle reziprok miteinander verbunden sind. Auch imponiert die Fülle von Rückkopplungsbahnen. Es existiert kaum eine Vorwärtsverbindung, die nicht von einer quantitativ mächtigeren Rückwärtsverbindung parallelisiert wird. Zudem haben wir inzwischen gelernt, daß in all diesen Arealen ganz unterschiedliche Aspekte der Sehwelt abgearbeitet werden. In Arealen des sogenannten dorsalen Verarbeitungsweges, der vorwiegend Regionen des Parietallappens einschließt, werden hauptsächlich Signale über die Bewegung und die Lokalisation von Objekten im Raum verarbeitet. Hier wird auch die Form von Objekten analysiert, aber nur bezüglich der Parameter, die für die Programmierung von Greifbewegungen relevant sind. Die Areale dagegen, die den ventralen Pfad ausmachen

und im Temporallappen liegen, führen Analysen aus, die für die Objektidentifikation unerlässlich sind« (Singer 2002, S. 65-66).

Unsere Sehzentren müssen von den vielen Konturen und Helligkeitsunterschieden jene herausfinden, die konstitutiv für eine bestimmte Figur sind, diese perzeptuell binden und sie dann gemeinsam interpretieren.

»Die Fähigkeit, Sinneseindrücke festzuhalten und bei wiederholtem Erleben als bekannt wiederzuerkennen, beruht nach allem, was wir wissen, auf der selektiven aktivitätsabhängigen Verstärkung bzw. Abschwächung synaptischer Wechselwirkungen. Bei Wiederauftreten einer bereits gespeicherten Musterkonstellation werden die gebahnten Verbindungen bevorzugt aktiviert, das Muster wird wiedererkannt. Selbst wenn nur Teilaspekte des ursprünglich gelernten Musters reaktiviert werden. Das gleiche gilt, wenn das neue Muster lediglich gewisse Ähnlichkeiten mit bereits gespeicherten Inhalten aufweist. Lernfähige Nervennetze verhalten sich also wie assoziative Speicher. Sie haben die Fähigkeit, von Teilaspekten ausgehend zu generalisieren. Vermutlich erfolgen auch in diesem Fall die Assoziationen durch Synchronisation der zeitlich strukturierten Aktivität von Nervenzellen, die durch Lernen selektiv miteinander verkoppelt wurden« (Singer 2002, S. 140). Mit der Erklärung der Wahrnehmung weist Singer darauf hin, „was wir bewusst sehen, sind ‚Gedächtnisbilder‘“.



Abb. 8: „Thatcher Effekt“ (aus Spitzer 2002, S. 216)

Der „Thatcher Effekt“ (vgl. Abb. 8), der das Gesicht der ehemaligen britischen Premierministerin als Beispiel genommen hat, zeigt, wie viele Informationen die visuelle Wahrnehmung aus dem Gedächtnis holt. Wir begegnen normalerweise keinen auf dem Kopf stehenden Gesichtern. Grobe Veränderungen eines Gesichts werden nicht erkannt, wenn es auf dem Kopf steht. Offensichtlich „korrigiert“ das Gehirn die Gesichtsveränderung und „sieht“ das Gesichtsbild aus dem Prototypen des Gedächtnisses. Die geschleckten Pferde von Abb. 7 werden als solche nicht erkannt, bis das Sehsystem Konturen, die einem bestimmten Pferd gehören, vom Hintergrund segmentiert. Wenn dies einmal gelungen ist, und je mehr sie als Pferde erkannt werden, desto kürzer wird die Zeit, sie als solche wieder zu erkennen. Aus der Alltagserfahrung kennen wir dieses Phänomen: Beim ersten Betreten eines fremden Raumes nimmt man nicht alle Details des Raumes wahr. Nach mehrmaligen Besuchen gelingt es dann jedoch, sogar die kleinste Veränderung, wie z.B. das Umstellen eines Blumentopfes prompt zu erkennen.

### **2.3 Wahrnehmung ist keine Abbildung, sondern eine Konstruktion**

Wenn die Außensignale in unser Sinnessystem einfließen, werden sie auf der Ebene der Sinnesrezeptoren im Prozess der Transduktion in Elementarereignisse zerlegt und in Nervenimpulse umgewandelt. »Wenn wir einen Gegenstand anblicken, dann wird sein

retinales Bild (...) innerhalb des retinalen Netzwerkes in verschiedene Aspekte wie Helligkeit, Wellenlänge, Kontrast, Bewegung usw. aufgetrennt. Diese Informationen werden dann einer weiteren separaten Verarbeitung zugeleitet. Daher wird eine Kombination von Merkmalen in einem „Elementarausschnitt“ eines Gegenstandes (...) stets von einer Vielzahl gleichzeitig aktiver Zellen (...) repräsentiert, und die entsprechenden Erregungen werden dann zu den Arealen V2, V3 usw. weitergeleitet, die sich im wesentlichen noch mit *präkognitiven* Aspekten der visuellen Wahrnehmung wie Größe, Konturen, Bewegungsrichtungen, einfache Gestalten und räumliche Tiefe befassen. Gleichzeitig sind viele Neurone in den assoziativen Cortexarealen aktiv, die sich mit globaleren und kategorialen Aspekten befassen. Dies betrifft die Aspekte der Raumwahrnehmung, mit denen sich der hintere parietale Cortex und dorsale Teile des präfrontalen Cortex befassen, und Aspekte der Gestaltwahrnehmung, die im unteren Temporallappen und unteren präfrontalen Cortex verarbeitet werden.

*Detailwahrnehmung und Erfassen von Bedeutung* (z.B. Kategorisierung, Abstrahieren, Generalisieren, Identifizierung und Interpretation) sind gleichermaßen wichtig; keine Hirnregion kann beides gleichzeitig tun. Es gibt kein Neuron oder Neuronenverband, die ein Objekt wie einen Stuhl in all seinen Details *und* in seinen verschiedenen Bedeutungen repräsentieren können. Die Wahrnehmung eines konkreten Objektes erfordert die *simultane* Aktivität vieler Zellverbände, die jeweils nur sehr begrenzte Aspekte kodieren, seien es Detailaspekte oder Kategorienaspekte (...), und diese Zellverbände sind weit über das Gehirn verstreut. Nirgendwo gibt es ein einziges Zentrum, in welchem all diese Informationen zusammenlaufen« (Roth 1994, S. 232-3)

Das Projizieren des Gesehenen, also die Erzeugung eines Wahrnehmungsinhaltes, kommt zustande, indem die Elementarereignisse in unterschiedlichen Gehirnregionen verarbeitet werden und dann die mit den Elementarereignissen in Zusammenhang stehenden Netzwerke bestehender Informationen (= Vorerfahrung) aktivieren. Durch eine Vielzahl von Mechanismen und Kombination auf den vielen Stufen der Sinnessysteme werden jeweils neue Informationen, neue Bedeutungen erzeugt. Sie verleihen der Wahrnehmung eine neue Komplexität. Der Wahrnehmungsinhalt ist insofern eine im Nervensystem zusammengesetzte Konstruktion. »Dieser Prozeß der Bedeutungserzeugung geschieht in konvergenter, divergenter und paralleler Weise: Bereits bestehende Informationen werden zusammengefügt (Konvergenz); dabei entsteht eine neue Information, die dann auf weitere informationsverarbeitende und –erzeugende Zentren verteilt wird (Divergenz)« (Roth 1994, S. 230).

Das Gedächtnis ist das Bindungssystem für die Einheit der Wahrnehmung, das die getrennt verarbeiteten Elementarereignisse verbindet und sie in einen Zusammenhang mit der Vorerfahrung bringt. »In das Gedächtnis geht das Begreifen der Welt durch Handeln, die erlebte Koinzidenz und Folgerichtigkeit von Ereignissen als „Erfahrung“ ein (einschließlich stammesgeschichtlicher Erfahrung). *Das Gedächtnis ist damit unser wichtigstes „Sinnesorgan“*. Es ist zugleich aber (...) nur ein Glied im Kreisprozeß von Wahrnehmung, Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Erkennen, Handeln und Bewerten« (Roth 1994, S. 242).

Es ist hierbei aber darauf hinzuweisen, dass das Bindungsproblem, d.h. wie die aus den verschiedenen Hirnregionen verarbeiteten Informationen sich zusammenfügen, neurobiologisch noch nicht geklärt ist. Die alte Vorstellung des Konvergenzzentrums, in dem sie - wie früher wie z.B. von Descartes unterstellt - zusammengefügt werden *müssen*, gilt heute allerdings als unbegründet (vgl. Singer 2002, S. 60 ff.; S. 96 ff.).

Wenn man eine Rose rot wahrnimmt, ist sie nicht aufgrund der Elementarereignisse rot, d.h. nicht ihre Wellenlänge ist rot. Es gibt in der Außenwelt keine Farbe. Sie ist lediglich eine Folge der „Zutaten“ unserer Augen und des Gehirns. Dinge in der bewusstseinsunabhängigen Welt haben keine Farben, keine Melodien, keinen Duft und auch

nichts Hartes oder Weiches. Zwar ist die Rose in den meisten menschlichen Wahrnehmungen rot, nicht aber ihrer Natur nach. Im Dunkeln sieht man z.B. ihre Farbe nicht. »Wenn Licht von einem Gegenstand ins Auge reflektiert wird, dann entspricht die Aktivierung dort der Struktur der Netzhaut – und nicht der Beschaffenheit des äußeren Objektes! Und genauso verhält es sich bei allen Sinnen: Die Außenwelt löst in unserem Nervensystem lediglich Veränderungen aus, die durch dessen Struktur bedingt und bestimmt sind. Folglich besitzt die Welt prinzipiell keine Möglichkeit, sich uns in ihrer eigentlichen, „wahren“ Gestalt mitzuteilen. Das Nervensystem ist nicht eine Art Wiedergabemechanismus, sondern ein Netzwerk mit eigener, unabhängiger Arbeitsweise (...). Das Nervensystem ist ein Netzwerk erregbarer Zellen, in dem die neuronalen Aktivitätsmuster in ständig wechselnde Beziehungen zueinander treten. Es macht nichts anderes, als seine eigenen Übergänge von Zustand zu Zustand zu errechnen« (Maturana 2002, S. 62). Die Analyse des Wahrnehmungsprozesses hat die konstruktivistische Auffassung der Wahrnehmung bestätigt, dass die Wahrnehmung von den neurophysiologischen Mechanismen und Voraussetzungen abhängig ist. Das ZNS des Menschen kann Dinge jenseits seiner Fähigkeiten nicht wahrnehmen.

Die Wahrnehmung ist darüber hinaus deshalb eine Konstruktion, weil sie auf unser Vorwissen zurückgreift. »Ebenso sind die Größe und die Gestalt von Dingen nichts, was der Realität zukommt. Eine Gestalt, die uns als vollkommen rund erscheint, ist nicht als rundes (erst recht nicht vollkommen rundes) Gebilde auf der Netzhaut vorhanden oder in der sogenannten primären retinotopen Karte in  $V_1/A_{17}$ . Dort wird nämlich gar nichts abgebildet, sondern dort feuern Nervenzellen. Der vollkommen runde Kreis ist vollkommen rund aufgrund unseres Vorwissens« (Roth 1994, S. 322). Zum Vorwissen gehört nicht nur abrufbares, bewusstes und unbewusstes Erleben, sondern auch genetische Veranlagung, Grundorganisation des Gehirns und prä- und postnatale Entwicklung. Auf die Frage, ob diese Konstrukte der Wahrnehmung nicht doch auf die realen Einwirkungen der Außensignale wie auf Licht einer bestimmten Wellenlänge oder Überlagerungen und Abfolgen von Schalldruckwellen bestimmter Frequenzen zurückzuführen ist, antwortet Roth wie folgt: »Der sinnes- und neurophysiologisch Versierte entgegnet, daß diese Bezüge eben *nicht* eindeutig sind. Wir können ein Rot unter vielen Wellenlängenbedingungen wahrnehmen oder gar als rotes Nachbild eines grünen Reizes. Es ist dann überhaupt nichts da, was der Empfindung von „rot“ eindeutig physikalisch entspräche. Im Falle dessen, was unser Gedächtnis zu den aktuellen Sinnesdaten „hinzutut“, um eine komplette Wahrnehmung herzustellen (...), gibt es noch nicht einmal eine „Einwirkung“ von Sinnesreizen« (Roth 1994, S. 322).

Die Einsicht, dass die Außenwelt nicht abbildend wahrgenommen werden kann und dass unsere Wahrnehmung im Grunde unsere eigene Konstruktion ist, ist offenbar (noch) nicht beliebt und verbreitet. Man findet nämlich nicht selten abbildtheoretische Ausdrücke in Schulbüchern, populärwissenschaftlichen Büchern und sogar in neurobiologischer Fachliteratur. Im Folgenden einige Beispiele davon (die abbildtheoretischen Ausdrücke sind vom Autor *kursiv* hervorgehoben):

- Schulbuch Biologie  
»So gibt es bei beiden eine lichtempfindliche Schicht gegenüber der Linse. In der Videokamera besteht sie aus Fotozellen, im Auge heißt sie Netzhaut. Von ihr führt der Sehnerv zum Gehirn. Er meldet *das auf der Netzhaut entstandene Bild* dem Bewusstsein« (Hoff, P.; Jaenicke, J.; Miram, W. 1998, S. 177).

Die neurophysiologische Analyse der Wahrnehmung zeigt, dass kein Bild auf der Netzhaut entsteht, sondern dass die Signale der Außenwelt (das Licht) am Sinnesorgan eine Reihe von Mechanismen einleiten.

- Populärwissenschaftliches Lernbiologiebuch von Vester  
 »Durch diese, aus dem Gesamtsystem heraus erfolgte, >kybernetische Gestaltung< unseres Denkapparates entsteht *ein inneres Abbild der Welt*, in der sich das Kind später zurechtfinden muß« (Vester 1999, S. 41).  
  
 »Die >Passivität< eines Säuglings täuscht also darüber hinweg, daß sich gerade in den ersten Wochen auch im geistigen Bereich sehr viel tut, nämlich die irreversible Formung eines *durch die Sinneseindrücke hervorgerufenen ersten inneren Abbildes der Umwelt*, die sich zusammen mit den letzten anatomischen Veränderungen in einem von Mensch zu Mensch unterschiedlichen Grundmuster im Gehirn verankert« (Vester 1999, S. 42).  
  
 »So entstand schließlich aus dem limbischen Cortex die heutige Großhirnrinde. Mit ihr war nun nicht nur die genauere Abbildung eines großen Anteils der Gesamtaußenwelt möglich« (Vester 1999, S. 21).
- Neurobiologie Fachliteratur  
 »Das Auge ist ein zusammengesetztes optisches System, das auf der Netzhaut *ein umgekehrtes und stark verkleinertes Bild der Umwelt erzeugt*« (Birbaumer & Schmidt 2003, S. 385).

Auf der aus Birbaumer & Schmidt entnommenen Abbildung in dieser Arbeit (vgl. Abb. 4) ist das Parkschild P auf der Netzhaut des Auges umgedreht und verkleinert gezeichnet. Die Zeichnung ist selbstverständlich eine symbolische Darstellung und soll einem „besseren“ Verständnis dienen. Sie entspricht allerdings nicht dem tatsächlichen Wahrnehmungsprozess. Auf der Netzhaut findet man kein Abbild des P, auch nicht im Gehirn. Ohne eine ausdrückliche Anmerkung verleitet sie aber einen Leser nicht selten zu der falschen Interpretation, auf der Netzhaut finde man ein Abbild des P. Dies ist offensichtlich den Verfassern der oben zitierten Fachliteratur von Birbaumer & Schmidt bewusst. Sie schreiben:

»im strengen Sinn des Wortes sieht das Auge nichts. Auch das Gehirn sieht nichts. Jedenfalls nicht in dem Sinne, daß die Augen Bilder im Gehirn hervorrufen, die von diesem angesehen werden. Ein solcher Vorgang würde eine Art inneren Auges im Gehirn voraussetzen, das dann selbst wiederum von einem weiteren Auge betrachtet werden müßte, und so fort in einer endlosen Reihe von Augen und Bildern. Vielmehr geben die Ganglienzellen der Retina über ihre Axone im Sehnerven in Impulsmustern verschlüsselte Informationen über die auf die Photosensoren treffenden Lichtstrahlen weiter. In diesen Impulsmustern ist, wie bei anderen Sinnesorganen auch (...), ein *Abbild* der vom Auge betrachteten Objekte *repräsentiert*. Das Gehirn entziffert die Impulsmuster und benutzt die in ihnen enthaltene Information zur Wahrnehmung der Objekte in der Umwelt« (Birbaumer 2003, S. 390).

Ein differenzierter Umgang mit den abbildtheoretischen Ausdrücken, die dem Leser zu Missverständnissen verleiten können, ist aus konstruktivistischer Sicht ratsam, weil sonst die abbildtheoretische Fehlinterpretation der Wahrnehmung weiter reproduziert wird. Sie verführt

Schüler und Studenten dazu, das Sehen wie einen Kopiervorgang zu verstehen. Diese könnten dann als Folge die verbreitete, unkritische Vorstellung haben, dass die Außenwelt in unserem Gehirn ihren Abdruck hinterlässt.

Die neurophysiologische Erklärung des Wahrnehmungsprozesses bekräftigt die Skepsis des Konstruktivismus an der Objektivität der Wahrnehmung. Im nächsten Kapitel wird die Objektivität des Wissens, die vom ontologischen Realismus als selbstverständlich angenommen wird, analysiert. Dabei werden die Argumente des Radikalen Konstruktivismus einbezogen, die sich mit den erkenntnistheoretischen Prinzipien des menschlichen Wissens befassen. Die Diskussion wird z.T. wissenschaftstheoretisch geführt, da es dabei u.a. um die Wahrheit des Wissens geht. Die Analyse der Radikalkonstruktivistischen Argumente zeigt, wie ihre Vertreter einen Konstrukteur voraussetzen, der seinen eigenen Wissensaufbau und sein Lernen selbst steuert.