

## Einleitung

Angenommen Sie befinden sich am Bahnhof, um mit dem Zug zu verreisen, und wissen nicht, von welchem Gleis dieser abfahren wird. Sie gehen zum Schalter der Auskunft und sprechen mit einer jungen Angestellten. Plötzlich hören Sie ein lautes Geräusch hinter sich und drehen sich für den Bruchteil einer Sekunde um, um zu erfahren, was vor sich geht. Währenddessen wird die Angestellte, mit der Sie gerade sprachen, von ihrer Kollegin abgelöst. Nachdem Sie festgestellt haben, was hinter ihrem Rücken geschah, wenden Sie sich wieder der Angestellten zu, ohne jedoch zu bemerken, dass Sie jetzt mit einer anderen jungen Frau sprechen. Unvorstellbar? Ihnen würde diese Veränderung auffallen? In den 1990er Jahren wurden Experimente dieser Art beispielsweise von Simons und Levin (Simons & Levin, 1998; Levin & Simons, 1997) durchgeführt. Etwa zwei Drittel der Probanden bemerkten überraschenderweise nicht, wenn der Hauptdarsteller eines Filmes durch eine andere Person ersetzt wurde (Levin & Simons, 1997). In der Literatur wird dieses Phänomen als Change-Blindness bezeichnet.

Wenn wir unsere Augen öffnen, erleben wir eine detailreiche, bildhafte Welt, eine Welt mit scharfem Fokus und hoher Auflösung vom Zentrum bis zur Peripherie unseres Blickfeldes. Dieser Eindruck ist so zwingend, dass wir dazu tendieren, diese Eigenschaften nicht nur der externalen Welt, sondern auch der internalen Repräsentation zuzusprechen. Neuere Untersuchungen zum visuellen Gedächtnis konnten jedoch überraschenderweise zeigen, dass diese subjektive Erfahrung von der Welt keineswegs auf die internale Repräsentation übertragen werden kann. Wir haben keine kohärente und detaillierte Repräsentation der kohärenten und detaillierten Welt um uns herum.

Welche visuellen Informationen unserer Umwelt werden internal repräsentiert? Wie werden sie aus der Vielzahl der möglichen Informationen ausgewählt und wie werden sie uns bewusst? Wie sieht die neuronale Verarbeitung von Informationen aus, die bewusst werden, und was geschieht mit Informationen, die nicht bewusst werden?

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den neuronalen Grundlagen der visuellen Verarbeitung im Fokus zwischen Aufmerksamkeit und Bewusstsein. Es soll gezeigt werden, dass durch Aufmerksamkeit diejenigen Informationen aus der Vielzahl der einströmenden Informationen ausgewählt werden, die bewusst berichtet werden

können. Zur Untersuchung der neuronalen Grundlagen wurde das Elektroenzephalogramm (EEG) eingesetzt, mit dessen Hilfe die kortikalen Aktivierungen sowohl für bewusst gewordene als auch nicht bewusst gewordene Reize aufgezeichnet und analysiert wurden.

## Kapitel 1: Die Erforschung des neuronalen Korrelates des Bewusstseins

*"Das Bewusste im Menschen  
Dient dem Unbewussten  
Es ist sich dessen aber nicht bewusst  
Obschon es aus unserer Sicht  
Doch das Bewusste ist."*

*(Christa Schyboll)*

### **1.1 Was ist Bewusstsein?**

Dem Phänomen des Bewusstseins (engl. *consciousness*) kann man sich von verschiedenen Perspektiven nähern. Ein möglicher Zugang ist der Erlebnisaspekt. „Danach ist Bewusstsein zum einen die Gesamtheit der Erlebnisse, d.h. der erlebten psychischen Zustände und Aktivitäten (Vorstellungen, Gefühle usw.); zum Bewusstsein gehört zusätzlich zu diesen *bewussten* Zuständen oder Aktivitäten auch noch die Tatsache ihres Bewusst-Seins, die besondere Art des unmittelbaren Gewahrseins dieser Erlebnisse, die man auch als innere Erfahrung bezeichnen kann“ (Dorsch Psychologisches Lexikon, 2003, S. 137). In diesem Sinne setzt Bewusstsein weder Sprache oder abstrakte Begriffe noch das Wissen, dass man ein Ich, eine Person ist, voraus. Einen zweiten Zugang ermöglicht die kognitive Psychologie, die die „[...] Funktionen des Bewusstseins, seine Rolle im Prozess der menschlichen Informationsverarbeitung [betont]“ (Dorsch Psychologisches Lexikon, 2003, S. 137). Das Gedächtnis, die fokussierte Aufmerksamkeit und die kontrollierten (nicht automatischen) Prozesse der Informationsverarbeitung sind mit dem Bewusstsein verknüpft. Ein großer Teil der Informationsverarbeitung ist jedoch nicht von Bewusstsein begleitet. Einen dritten Zugang zum Bewusstsein bieten die Neurowissenschaften. Dieser Ansatz wird teilweise mit dem kognitionswissenschaftlichen kombiniert. Innerhalb dieses Ansatzes wird untersucht, welche Teilstrukturen des Gehirns aktiv sein müssen, damit mit dem Bewusstsein verbundene psychische Vorgänge (bewusste Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Sprache, Entscheiden und Problemlösen) ablaufen können.

Der Begriff Bewusstsein verweist auf unterschiedliche psychische Phänomene: Grade der Wachheit (Vigilanz, Schlaf, Koma etc.), Erlebnisqualität der Sinnesempfin-

dungen interner oder externer Reize, Gewährsein der eigenen Person (Selbst-Bewusstsein), Kontrollierbarkeit von Gedanken und Handlungen, eine moralische oder politische Einstellung („richtiges“ oder „falsches“ Bewusstsein) (Kiefer, 2002).

Historisch betrachtet setzte sich die Psychologie im 19. Jahrhundert intensiv mit der Erforschung des Bewusstseins auseinander, beispielsweise Wilhelm Wundt oder William James. Zur Jahrhundertwende war aber das Hauptthema „die Seele“ und Bewusstsein ein Nebenprodukt der Untersuchung (James, 1890/1950). Mit dem Einfluss des behaviouristischen Forschungsparadigmas in den 1930er bis 1950er Jahren galt die Untersuchung nicht direkt beobachtbarer mentaler Vorgänge generell als unwissenschaftlich. Seit Mitte der 1990er Jahre ist das Interesse an der Erforschung des Bewusstseins wieder stark gewachsen, sowohl in der Philosophie als auch der Psychologie und den Neurowissenschaften.

Eine Vielzahl von Differenzierungen zwischen verschiedenen Bewusstseinsformen sind seitdem entstanden. An dieser Stelle seien nur einige erwähnt. Bosinelli (1995) unterscheidet beispielsweise zwischen drei Arten von Bewusstsein: a) Bewusstsein als phänomenale Erfahrung von Objekten (engl. *awareness*), b) Bewusstsein, dass man Bewusstsein hat (engl. *meta-awareness*) und c) Bewusstsein über sich selbst (engl. *self-awareness*). Damasio (1998) trennt zwischen Kernbewusstsein (engl. *core consciousness*) auf der einen Seite und ausgedehntem Bewusstsein (engl. *extended consciousness*) auf der anderen Seite. Das Kernbewusstsein bezieht sich auf einen transienten Prozess, der ständig in Bezug zu Objekten, mit denen ein Organismus interagiert, generiert und durch den ein flüchtiges Gefühl des Wissens automatisch erzeugt wird. Für diesen Prozess ist weder Sprache noch Arbeitsgedächtnis notwendig, sondern nur das Kurzzeitgedächtnis. Das ausgedehnte Bewusstsein ist ein komplexer Prozess, der vom graduellen Aufbau eines autobiographischen Selbst abhängt, einem Set an konzeptuellen Gedächtnisinhalten, die sich sowohl auf die Vergangenheit als auch auf die antizipierte Zukunft eines Individuums beziehen und das Langzeitgedächtnis benötigen.

Der Begriff des Bewusstseins ist also sehr heterogen. Eine erschöpfende theoretische Analyse des Bewusstseinsbegriffs in allen Details darzustellen, ist an dieser Stelle nicht möglich. Kiefer (2002) schlägt daher vor, auf unterschiedliche Aspekte des Bewusstseinsbegriffs einzugehen, um die verschiedenen Formen des Bewusstseins zu systematisieren (vgl. Tabelle 1.1). Neben dem Bewusstsein als Wachheits- bzw. Erregungszustand kann Bewusstsein als Eigenschaft mentaler

Repräsentationen betrachtet werden. Dieses lässt sich nach Block (1996) weiter in phänomenales Bewusstsein (engl. *phenomenal consciousness*), Zugriffsbewusstsein (engl. *access consciousness*), Monitoring-Bewusstsein (engl. *monitoring consciousness*) und Selbst-Bewusstsein (engl. *self-consciousness*) unterteilen. Auf die einzelnen Bewusstseinsaspekte soll kurz näher eingegangen werden.

**Tabelle 1.1:** Aspekte des Bewusstseinsbegriffs (aus: Kiefer, 2002)

Bezug	Art des Bewusstseins	Beschreibung
Globaler Systemzustand	Wachheitszustände	unterschiedliche Wachheitszustände in Abhängigkeit des Erregungsniveaus (Koma, Schlaf, Traum, entspannter Wachzustand, Vigilanz)
Eigenschaften von Repräsentationen	phänomenales Bewusstsein	Erlebniseigenschaften von Repräsentationen
	Zugriffsbewusstsein	Repräsentationen sind Gegenstand übergeordneter koordinierter Prozesse, bilden Grundlage von Entscheidungen und Handlungen
	Monitoring-Bewusstsein	Wissen über interne Zustände
	Selbst-Bewusstsein	Wissen über die eigene Person. Vorliegen eines stabilen mentalen „Ichs“

*Bewusstsein als Wachheits- bzw. Erregungszustand.* Diese Unterscheidung lässt eine Unterteilung in Abhängigkeit von der Wachheit bzw. vom globalen Erregungsniveau (engl. *arousal*) zu. Nach steigendem Erregungsniveau können Zustände ohne Bewusstsein, wie Koma und Tiefschlaf, Zustände mit verringerter Wachheit, wie Traum, Zustände entspannter Wachheit oder höchster Vigilanz voneinander abgegrenzt werden.

*Phänomenales Bewusstsein.* Phänomenales Bewusstsein wird als das individuelle Erleben von Sinneswahrnehmungen oder Gedanken – mentaler Repräsentationen – wie „die Röte des Rots“ oder das Fühlen „des Stechens des Schmerzes“ definiert. In der Philosophie werden diese Erlebniseigenschaften als Qualia bezeichnet. Das phänomenale Bewusstsein ist an die Erste-Person-Perspektive gebunden und damit nicht vollständig aus einer Außen- oder Dritten-Person-Perspektive fassbar, was die wissenschaftliche Untersuchung schwierig macht.

*Zugriffsbewusstsein.* Zugriffsbewusstsein liegt dann vor, wenn eine Repräsentation Gegenstand übergeordneter, koordinierter und kontrollierter Verarbeitungsprozesse werden kann. Sie bilden die Grundlage von Entscheidungen, Urteilen oder Handlungen (z.B. verbaler Äußerungen oder motorischer Reaktionen) einer Person. Das Zugriffsbewusstsein lässt sich auch aus einer Dritten-Person-Perspektive beschreiben. Daher ist seine wissenschaftliche Erforschung möglich.

*Monitoring-Bewusstsein.* Monitoring-Bewusstsein ist das Wissen über die eigenen Wahrnehmungen oder Gedanken. Es betrifft also den reflexiven Charakter des Bewusstseins.

*Selbst-Bewusstsein.* Selbstbewusstsein bezieht sich auf die Gedanken über sich selbst und ist am besten mit dem psychologischen Konstrukt des Selbstkonzepts, dem Wissen von und der Einstellung gegenüber der eigenen Person, vereinbar. Bestandteil des Selbst-Bewusstseins ist die Repräsentation eines situationsunabhängigen, stabilen, mentalen „Ichs“.

Der Begriff des Bewusstseins ist also sowohl komplex als auch heterogen: Er kann zum einen sehr weit gefasst werden und sowohl einzelne Erfahrungen als auch das Bewusstsein über sich selbst umfassen oder zum anderen relativ eng, auf einzelne Erfahrungen begrenzt definiert werden. Zur kognitionswissenschaftlichen Untersuchung des Bewusstseins ist die am weitesten verbreitete operationale Definition von Bewusstsein, dass eine bewusste Erfahrung auf irgendeine Art und Weise berichtet werden kann (Baars, 1998). Der offensichtlichste Index für Bewusstsein beinhaltet daher, dass Menschen ihre Erfahrungen in einer nachweisbaren Art unter Bedingungen mit maximaler Genauigkeit beschreiben können (Baars, 1998). Auch diese Arbeit beruht auf dieser Operationalisierung von Bewusstsein, d.h. der Unterscheidung zwischen berichtbaren (bewussten) Reizen und nicht berichtbaren (unbewussten oder vorbewussten) Reizen und ist damit dem Aspekt des Zugriffsbewusstseins zuzuordnen.

## **1.2 Die Untersuchung des neuronalen Korrelats des Bewusstseins**

Ausgehend von den zuvor beschriebenen Aspekten des Bewusstseins können unterschiedliche neuronale Korrelate untersucht werden. Neurowissenschaftlich grundlegend ist dabei die Annahme, dass es eine neuronale Aktivität gibt, die eine bewusste Erfahrung erzeugt, und eine neuronale Aktivität, die dies nicht tut ("neural correlate of consciousness", NCC, Crick & Koch, 1998a). Ein neuronales Korrelat

des Bewusstseins ist demnach ein spezifisches Muster an Gehirnaktivität, das mit bestimmten bewussten Erfahrungen korreliert. Dabei ist jedoch weiter unklar, wie ein physikalischer Prozess, d.h. die neuronale Aktivität, zu einem subjektiven Phänomen wie Bewusstheit führen kann.

*Bewusstsein als Wachheits- bzw. Erregungszustand.* Für diesen Aspekt des Bewusstseins gibt es Belege, dass die neuronale Aktivität in einem Netzwerk von subkortikalen Hirnstrukturen, das die *Formatio reticularis* und den Thalamus umfasst, große Populationen von kortikalen Neuronen beeinflusst und so das globale Aktivierungsniveau des Gehirns bestimmt (Paré & Llinás, 1995). Die Aktivität in diesen subkortikalen Arealen korreliert mit verschiedenen Wachheitszuständen, und eine Blockade dieser Aktivität durch pharmakologische Substanzen führt zu Bewusstlosigkeit.

*Bewusstsein als mentale Repräsentation.* Das Bewusstsein als mentale Repräsentation setzt voraus, dass das kognitive System ein globales Erregungsniveau aufweist, das mit einem wachen Zustand einhergeht. Neurowissenschaftlich schwer zu untersuchen ist das phänomenale Bewusstsein, da es nur einen Zugang aus der Ersten-Person-Perspektive bietet. Ein großer Teil der Diskussion zum Thema Bewusstsein bezieht sich auf die Frage, ob überhaupt, und wenn ja, wie, die Entstehung des phänomenalen Bewusstseins erklärt werden kann. Zuweilen wird auch argumentiert, dass aus prinzipiellen Gründen weder psychologische noch neurobiologische Mechanismen angegeben werden können, die zwingend die Entstehung des phänomenalen Bewusstseins erklären können (Kiefer, 2002). Einen recht guten Ansatzpunkt für die wissenschaftliche Erforschung bietet das Zugriffsbewusstsein, da es aus der Dritten-Person-Perspektive untersucht werden kann. So ist es möglich, die neuronale Aktivität, die für bewusste, berichtbare Reize auftritt, mit der neuronalen Aktivität zu vergleichen, die bei nicht bewussten, nicht berichtbaren Reizen zu beobachten ist.

Da das visuelle System zu den am besten untersuchten sensorischen Systemen gehört und eine Vielzahl an Daten sowohl von neuroanatomischen und physiologischen Untersuchungen an Primaten als auch von experimentellen elektrophysiologischen und funktionell bildgebenden Studien am Menschen vorliegen, bietet sich dieses zur Untersuchung des Zugriffsbewusstseins an. Vor einer Beschreibung der bisher vorliegenden Ergebnisse soll kurz auf den Aufbau des visuellen Systems eingegangen werden.

### 1.3 Exkurs: Das visuelle System

Die Verarbeitung visueller Reize, die in Form von unterschiedlichen Wellenlängen des Lichtes das Auge erreichen, beginnt in der Retina. Der Aufbau der Retina (Abb. 1.1) ist durch moderne intrazelluläre Aufzeichnungen gut erforscht: zum einen gibt es einen exzitatorischen Drei-Neuronen-Pfad, der aus Photorezeptoren (1) (Stäbchen und Zapfen (L-, M- und S-Zapfen mit unterschiedlicher Sensitivität für bestimmte Wellenlängen), die das Licht des visuellen Reizes in neuronale Aktivität umwandeln und aus bipolaren Interneuronen (2), die die Signale der Photorezeptoren zu den Ganglienzellen (3), den Output-Neuronen der Retina, weiterleiten. Zum anderen gibt es zwei inhibitorische Arten von Interneuronen, die Horizontalzellen (4), die den Transfer an der Synapse zwischen dem Photorezeptor (1) und der Bipolarzelle (2) modifizieren und die Amakrinzellen (5), die an der Synapse zwischen den Bipolar- (2) und Ganglionzellen (3) wirken.

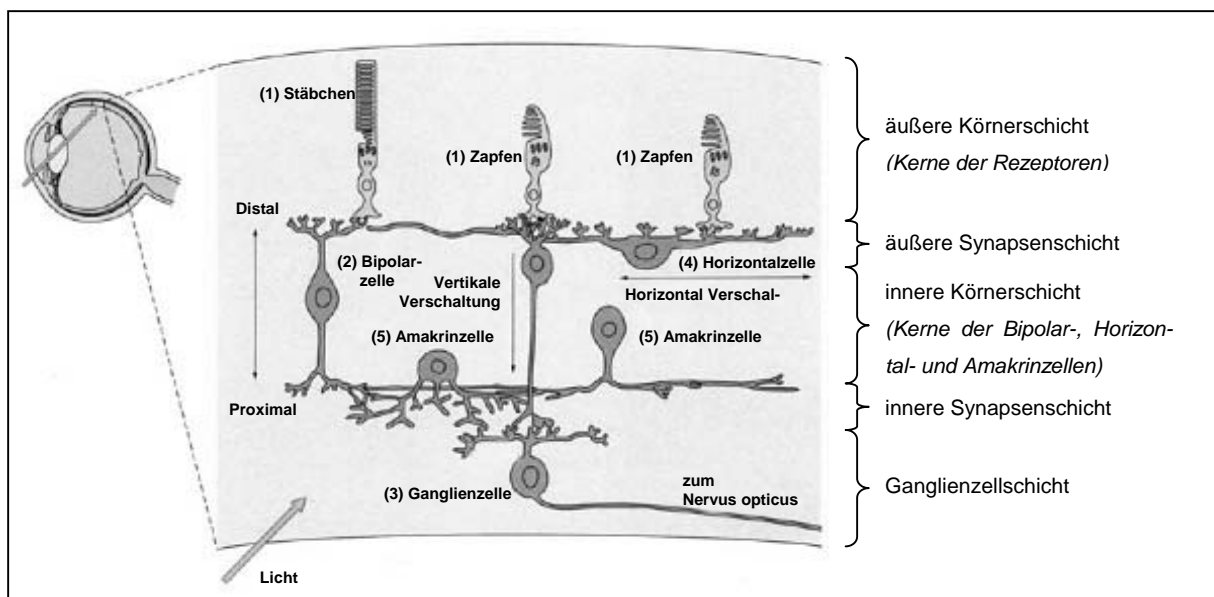


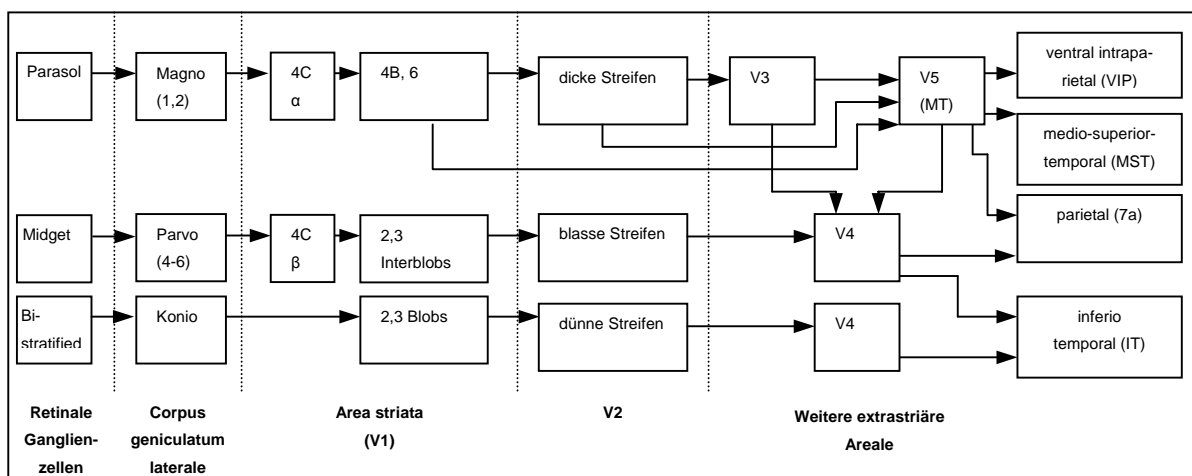
Abbildung 1.1: Aufbau der Retina (nach Tessier-Lavigne, 1996)

Für das weitere Verständnis sind insbesondere die retinalen Ganglienzellen von Bedeutung. Der Input einer Ganglienzelle stammt immer von denselben Photorezeptoren in einem festgelegten Retinabereich, dem sogenannten *rezeptiven Feld* dieser Zelle. Grob kann zwischen drei unterschiedlichen Typen von Ganglienzellen unterschieden werden: zum einen die Schirmzellen (engl. *parasol cells*), die additiv Informationen aus den L- und M-Zapfen erhalten und so die Luminanzinformationen kodieren (L+M), zum zweiten die Zwergzellen (engl. *midget cells*), die subtraktiv Informationen aus den L- und M-Zapfen erhalten und dadurch Rot-grün-Informationen kodieren.



ren (L-M) und zum dritten Zweischicht-Zellen (engl. *bistratified cells*), die eine Kombination aus S-, L- und M-Zapfen erhalten und Blau-gelb-Informationen kodieren (S-(L-M)). Die unterschiedlichen Ganglienzellen projizieren auf unterschiedliche Schichten im Corpus geniculatum laterale (CGL) im Thalamus und ziehen zum primären visuellen Cortex (V1, Areal 17, Area striata, Streifencortex). Diese drei Kanäle sind funktional unabhängig und übertragen die Informationen über anatomisch getrennte retinogenico-kortikale Pfade: Luminanzinformationen im magnozellulären Pfad, Rot-grün-Informationen im parvozellulären Pfad und Blau-gelb-Informationen im koniozellulären Pfad. Die Bahnen enden in unterschiedlichen Schichten von V1: die magnozelluläre Bahn in Schicht 4C $\alpha$  mit einer weiteren Verschaltung in die Schichten 4B und 6, die parvozelluläre Bahn in Schicht 4C $\beta$  mit einer weiteren Verschaltung in die Interblob-Region der Schichten 2 und 3, und die koniozelluläre Bahn endet in den Blob-Regionen der Schichten 2 und 3 (Abb. 1.2).

Auf kortikaler Ebene werden zwei kortiko-kortikale Pfade vom primären Sehzentrum (V1) zu höheren visuellen Arealen unterschieden: ein Pfad vom primären visuellen Cortex zu okzipito-temporalen Arealen (ventraler Pfad) und ein zweiter Pfad vom primären visuellen Cortex zu parietalen Arealen (dorsaler Pfad). Das Parvo-System stellt den Haupteingang zur ventralen Projektion dar. Daher bildet dieser Pfad in Areal V4 und im inferotemporalen Cortex (IT) die Grundlage der Farbwahrnehmung (V4) einerseits und die Grundlage für das Form- und Gestaltsehens (IT) andererseits (Ungerleider & Mishkin, 1982). Der dorsale Pfad umfasst im weiteren die Areale V3, V5 (medio-temporales Areal, MT), das ventrale intraparietale Areal (VIP), das medio-superiore temporale Areal (MST), und das posteriore parietale Areal (PP oder 7a).



**Abbildung 1.2:** Die drei wichtigsten visuellen Bahnen: magnozellulär (oben), parvozellulär (Mitte) und koniozellulär (unten).