

DIPLOMARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Ist das optische Gestaltphänomen komprimierte visuelle
Information? -
Diskussion des Bindingproblems mit Bezügen zum
visuellen ästhetischen Empfinden“

verfasst von

Mag. Stefan Zabransky

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat)

Wien, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 298

Studienrichtung lt. Studienblatt: Diplomstudium Psychologie

Betreut von: Univ.-Prof. Dipl.-Psych. Dr. Helmut Leder

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	4
1.1	Wissenschaftsparadigmen	5
1.1.1	Ist der Informationsweiterleitungsprozess ein Schnittpunkt zwischen Phänomenologie und Physiologie?.....	8
2.	Methode	10
2.1	Das Bindingproblem.....	13
2.1.1	Kodierung von Merkmalen eines Objekts	15
2.1.2	Elektroenzephalografie (EEG).....	17
2.1.3	Binding-by-synchrony-Hypothese	20
2.2	Ist perzeptuelle Gruppierung die Kombination räumlicher und zeitlicher Wiederholung?.....	22
2.2.1	Wird räumliche und zeitliche Wiederholung unwillkürlich „bedeutender“ erlebt?	24
2.2.2	Räumliche Wiederholung.....	26
2.2.3	Zeitliche Wiederholung	28
2.3	Geht der Bindingprozess der expliziten Wahrnehmung voraus?	32
2.3.1	Eine semantische Objektrepräsentation wird voraktiviert	32
2.3.2	Voraktivierung des semantischen Inhalts beeinflusst die perzeptuelle Organisation	35
2.4	Stehen sensorische Information miteinander um die explizite Wahrnehmung in Konkurrenz?	37
2.4.1	Spatial-frequency theory.....	38
2.4.2	Perzeptuelles Crowding.....	39
2.4.3	Informationsverlust.....	40
2.4.4	Interferenz-Modell	40
2.5	Ist perzeptuelle Organisation durch Reduktion räumlicher und zeitlicher Redundanz auf ein homöostatisches Energiegefälle zurückzuführen?	47
2.5.1	Entspricht die Zusammenfassung räumlicher und zeitlicher Wiederholung einer expliziten Wahrnehmung von Gesetzmäßigkeiten?	50
3.	Resultate	51
3.1	Hypothesen	52
3.1.1	Hypothese 1 –Abgleich mit zeitlicher Wiederholung sagt explizite Wahrnehmung und induzierte Gammafrequenz voraus.....	52
3.1.2	Hypothese 2 – Kombinierbarkeit räumlicher und zeitlicher Wiederholung sagt Präferenz für mittlere Komplexität voraus.....	53
3.1.3	Hypothese 3 – Fähigkeitsparameter deduktiver Gestaltwahrnehmung sagt Präferenz für Komplexität voraus	54
3.1.4	Hypothese 4 - Kombination von räumlicher & zeitlicher Wiederholung sagt Fluency voraus...	55
4.	Diskussion	56
5.	Literatur	59
6.	Anhang.....	65

Ist das optische Gestaltphänomen komprimierte visuelle Information?

Diskussion des Bindingproblems in Bezug auf ästhetisches Empfinden

Nothing in Biology makes sense except in the light of Evolution

- Theodosius Dobzhansky

Diese Arbeit soll in die klassische wissenschaftliche Form gegliedert werden: Einleitung, Methode, Resultate, Diskussion. In der Einleitung wird dargelegt, wie die Idee zu dieser Arbeit entstand und welches Ziel sie verfolgt. Der Methodenteil dieser theoretischen Arbeit behandelt einen Literaturvergleich. Darin wird auch ein theoretisches Modell vorgestellt, welches die gesammelte Literatur zusammenführen soll. Bei den anschließenden Resultaten handelt es sich um theoretische Ableitungen aus dem Modell und dem Literaturvergleich, mit dem Ziel Hypothesen zu formulieren. In der Diskussion werden Implikationen der theoretischen Resultate diskutiert und die Arbeit reflektiert.

1 EINLEITUNG

Ziel dieser Arbeit ist, eine physiologische Entsprechung des phänomenologischen Erlebens in Form allgemeiner Gesetzmäßigkeiten zu finden. Eine Schwierigkeit bei der facettenreichen Beschreibung des Menschen liegt darin mit einer passiven, mechanisch-kausalen Wirkungskette des naturwissenschaftlichen Grundverständnisses das aktive, sinnsuchende, informationsverarbeitende Ich-Erleben des geisteswissenschaftlichen Grundverständnisses zu erklären. In einer Gegenüberstellung werde ich versuchen, die Paradigmen und Schnittpunkte phänomenologischer Erlebensmessungen und physiologischer Messungen zu verdeutlichen. Die Grundidee diese Gegenüberstellung zu strukturieren liegt darin, Physiologie unter dem

Aspekt der **Energie** und Erleben unter dem Aspekt der **Information** zusammenzufassen, welche bei dem Informationsweiterleitungsprozess aufeinandertreffen. Der Informationsweiterleitungsprozess soll in einem Interferenz-Modell beschrieben werden.

1.1 WISSENSCHAFTSPARADIGMEN

Diese Arbeit ist theoretisch-explorativ und es wird versucht neue Erkenntnisse zu generieren, indem verschiedene Konzepte und Modelle aus Psychologie, Philosophie, Neurowissenschaft und Biologie miteinander in Beziehung gesetzt werden. Dieser Ansatz ist meiner persönlichen Bildungsgeschichte geschuldet, in der ich den Menschen aus zwei unterschiedlichen Perspektiven kennenlernen durfte: aus biologischer und psychologischer Sicht. Dabei konnte ich immer wieder Widersprüche im impliziten Grundverständnis der wissenschaftlichen Erkenntnis ausmachen, die diesen beiden Wissenschaften innewohnen. Die Psychologie, als „die Wissenschaft der Seele“, beschreibt das Erleben eines einheitlich fühlenden, denkenden und handelnden, konsistenten Wesens. Die Biologie, als „die Wissenschaft der Lebewesen“, befasst sich mit allgemeinen Gesetzmäßigkeiten des Lebendigen im Grundverständnis der Naturwissenschaft, die durch Reproduzierbarkeit der Ergebnisse aufeinander aufbauende, chemisch-physikalische Gesetzmäßigkeiten beschreibt. Durch beide Ansätze lässt sich der Mensch beschreiben, dennoch finden sich nur selten Überschneidungspunkte. Im Folgenden werde ich versuchen die Unterschiede dieser beiden Ansätze einander gegenüberzustellen. Der Ausdruck *Phänomenologie* soll dabei die „unmittelbar gegebenen Erscheinungen unseres Erlebens“ beschreiben, während die *Physiologie* die Reaktion des Nervensystems charakterisiert.

Es gilt als gesicherte Lehrmeinung, dass menschliches Verhalten das Produkt der Gehirnaktivität ist und das Gehirn das Produkt zweier sich gegenseitig beeinflussender Faktoren: Veranlagung und Umwelt (vergleiche Bear, Connors, & Paradiso, 2007). Um die Phänomenologie zu beschreiben, bedient man sich oft der Analogie eines Computers, auf dessen „biologischer Hardware“ eine „phänomenologische Software“ läuft. Diese Analogie ist jedoch nur teilweise zutreffend, da diese „Software“ genauso neurologischen Ursprungs ist, wie die zugrundeliegenden Strukturen. Auf der anderen Seite scheint eine physikalisch-chemische Beschreibung der biologischen Prozesse zum momentanen Zeitpunkt nicht

ausreichend zu sein, komplexes Erleben und Verhalten zu erklären. Dies wird deutlich, wenn bildgebende Verfahren verwendet werden, um die Aktivierung bestimmter Neuronen(gruppen) mit der phänomenologischen Erfahrung zu korrelieren: Obwohl statistische Zusammenhänge gefunden werden, lässt die Aktivierung eines Neuronenverbandes keine Rückschlüsse auf die Qualität einer Erfahrung zu. In der Philosophie wird diese subjektive Färbung der Wahrnehmung als *Qualia* bezeichnet. Erwin Schrödinger (1958) meint dazu:

The sensation of color cannot be accounted for by the physicist's objective picture of light-waves. Could the physiologist account for it, if he had fuller knowledge than he has of the processes in the retina and the nervous processes set up by them in the optical nerve bundles and in the brain? I do not think so. (S.90)

Es wird dabei angezweifelt, dass das Wissen um den physiologischen Prozess eine objektive Beschreibung des *Qualia*-Phänomens – das ja als *Unobjektivierbarkeit* definiert ist – zulässt. Insbesondere wird dabei die Erklärung der phänomenologisch holistischen Erfahrung durch Kausalitätsbeziehungen einzelner Faktoren angezweifelt. Gerne wird hier das Argument der *Emergenz* herangezogen, welches einer Gestalt etwas Anderes/mehr als die Summe ihrer Teile, zuschreibt (z.B. Metzger, 1975; Bruce, Green, & Georgeson, 2003).

Phänomenologische Messungen beruhen auf Introspektion, der Selbstbeschreibung des gegenwärtigen Erlebens, wie des Gemütszustandes oder der Gedanken und Wahrnehmungen der befragten Person. Physiologische Messungen beruhen auf dem naturwissenschaftlichen Reduktionismus, wie der Beschreibung der physiologischen Reaktion des Nervensystems auf einen Reiz durch einfache Einzelfaktoren. Beiden Messmethoden liegt Gehirnaktivität zu Grunde. Jedes Erleben muss folglich eine physiologische Entsprechung im Gehirn aufweisen. Im Folgenden wird darauf eingegangen, wo diese Entsprechung zu finden sein könnte.

Die bis heute andauernde tiefreichende Spaltung des naturwissenschaftlichen Reduktionismus und der introspektiven Beschreibung gipfelt darin, dass einem holistisch erlebten Ich eine Ansammlung von Neuronen gegenüber steht. Dies wird noch dadurch vertieft, dass es sich bei Neuronen letztendlich um schlichte biologische Leiter handelt, die sensorische Informationen – als Aktionspotentiale kodiert – weiterleiten und einfachen chemo-physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgen. Es wurde bis jetzt jedoch kein „intelligentes Empfängerneuron“, kein phänomenologisch holistisch erlebtes Ich, keine Steuerzentrale entdeckt, in der alle

Informationen zusammenlaufen und nach Relevanz geordnet werden. Bildgebende Verfahren legen nahe, dass sich die physiologische Entsprechung der phänomenologischen Erfahrung in der topographischen Kartierung des Gehirns manifestieren. Einzelne Gehirnregionen sind dabei mit bestimmten Aufgaben betraut, die auch in einer phänomenologischen Entsprechung aufweisen. Umgekehrt kann auf unterschiedliche Formen des Erlebens geschlossen werden, wenn verschiedene neuronale Netzwerke aktiviert werden. Dadurch kann, über die Beobachtung der Aktivierung unterschiedlicher Netzwerke, beispielsweise die Feststellung gemacht werden, dass ähnliche phänomenologische Wahrnehmungsinhalte unterschiedliche topographische Ursprünge ausweisen. Beispielsweise haben verschiedene Gedächtnisformen (deklaratives, episodisches, usw.) verschiedene topographische Entsprechungen (vergleiche z. B. Bear et al., 2007). Die zeitliche Aktivierung neuronaler Netzwerke kann auch durch EEG-Messungen veranschaulicht werden. Eine wiederholte Feldspannungsmessung während einer zeitgleichen Stimuluspräsentation wird Ereignis-korreliertes-Potential (EKP) genannt und veranschaulicht den Zeitkurs von Gehirnaktivität. Sowohl bildgebende Verfahren als auch EEG-Spannungsmessungen eröffnen dadurch die Möglichkeit, kognitive Prozesse mit physiologischen Informationen in Beziehung zu setzen.

Die wohl faszinierendste Erkenntnis dieser Messungen ist meiner Meinung nach, nicht die Auffindung strukturanaloger Entsprechungen unserer phänomenologischen Erfahrung wie somatosensorische und somatomotorische Gebiete (vergleiche z. B. Bear et al., 2007), sondern die Unauffindbarkeit von Strukturen, die phänomenologisch als selbstverständlich erlebt werden. Als Beispiel dafür wurde bereits das phänomenologisch holistisch erlebte Ich genannt, für welches bis heute kein strukturelles Äquivalent gefunden wurde. Während physiologische Evidenzen für bestimmtes Erleben statistisch in immer höherer Auflösung ermittelt werden können, liegt – meiner Meinung nach – bis heute ein Grundproblem in der topographischen Denkweise vor: Es wird ein Homunkulus des einheitlichen, konsistent fühlenden, denkenden und handelnden phänomenologisch erlebenden Wesens in der Landkarte des Gehirns gesucht. Bis jetzt wurde jedoch, bis auf somatosensorische und somatomotorische Gebiete (vergleiche z. B. Bear et al., 2007), kein „topographischer Homunkulus“ gefunden. Dieser Sachverhalt wird auch von philosophischen Disziplinen kritisiert (z. B. Keil, 2003). Auch aus biologischer Sicht würde selbst das Auffinden eines „intelligenten Empfängerneurons“ kaum zu dessen kausaler Erklärung beitragen. Die Erklärung, dass eine einzelne Zelle zur komplexen Informationsverarbeitung befähigt ist, würde das Problem, komplexe Informationsverarbeitung zu erklären, nur auf die Ebene der

einzelnen Zelle heben. Dennoch muss jedes Erleben eine physiologische Entsprechung im Gehirn aufweisen. Die Suche dieser Entsprechung in der biologischen Zellstruktur führt, meiner Meinung nach, jedoch zu einem unlösbaren Leib-Seele-Dualismus, der darin gründet, dass die Funktionsweise biologischer Prozesse analog der Funktionsweise phänomenologischer Prozesse missverstanden wird.

Zusammenfassend wurde kein „intelligentes Empfängerneuron“, keine Steuerzentrale, in der alle Informationen zusammenlaufen, entdeckt. Vielmehr finden sich spezialisierte Areale, deren jeweiliger Input verbunden wird. Erst durch die Verbindung vieler Neuronen zu einem Netzwerk entstehen komplexe Kognitionen. Demnach liegt eine Selbstorganisation einfacher Zellen zu Zellverbänden vor, deren simple Mechanismen hocheffizient komplexe Informationen verarbeiten können und als zusammenhängend erlebt werden. Bis jetzt wurde kein zufriedenstellender Mechanismus gefunden, der diese Aufgabe bewerkstelligen könnte. Studien lieferten Hinweise darauf, dass möglicherweise die zeitliche Korrelation als Bindungsfaktor zwischen aufgabenspezifischen Arealen fungieren könnte (siehe review z.B. Singer & Gray, 1995). Bis heute ist jedoch nicht bekannt, welcher Mechanismus die Information integrativer Neuronenverbände zusammenführt. Das ist auch als **Bindingproblem** bekannt. Im Folgenden werde ich das Grundverständnis der Funktionsweise biologischer Prozesse und phänomenologischer Prozesse gegenüberstellen und versuchen, Missinterpretationen aufzudecken und einen neuen Schnittpunkt herauszuarbeiten, welcher in dieser Arbeit behandelt werden soll.

1.1.1 Ist der Informationsweiterleitungsprozess ein Schnittpunkt zwischen Phänomenologie und Physiologie?

Die empirische Psychologie untersucht mit naturwissenschaftlichen Methoden die Welt des menschlichen Erlebens und der Informationsverarbeitung. Der empirischen Psychologie liegt das naturwissenschaftliche Paradigma des methodologischen Behaviorismus zu Grunde, der allgemeine Gesetzmäßigkeiten durch Beobachtbarkeit, Operationalisierung und Testbarkeit beschreibt. Neben der Falsifizierbarkeit einer Hypothese wird dabei auch die Verifikation von Existenzhypothesen durch experimentelle Prüfung akzeptiert (Margraf & Schneider, 2009). Es werden folglich allgemeine Gesetzmäßigkeiten im individuellen Erleben gesucht. Das Grundverständnis der Psychologie entstammt jedoch der Geisteswissenschaft in der Tradition der Introspektion, in welcher man sich als aktive, sinnsuchende, informationsverarbeitende

Einheit erlebt. Das geisteswissenschaftliche Grundverständnis steht nach Wilhelm Dilthey (1894) auf Basis einer philosophischen Lehre vom Sinn und Verstehen von Lebensäußerungen. Dies wird als Hermeneutik beschrieben und ist eine Theorie über die Interpretation von Texten, Kunstwerken sowie textanalogen Gegenständen und über deren Verständnis und Sinn. In dem hermeneutischen Zirkel wird das Zustandekommen von Verständnis zirkulär beschrieben. Das Ganze muss aus seinen Teilen und die Teile müssen aus dem Ganzen verstanden werden (z. B. Mantzavinos, 2008). Sinn und Verstehen beschreiben dabei das inhaltliche Begreifen eines Sachverhalts und dessen Bedeutung. Entscheidend erscheint mir dabei nicht in welcher Form Information verarbeitet und in Beziehung gesetzt wird sondern, dass es sich bei dem zentralen Aspekt des geisteswissenschaftlichen Grundverständnisses um das Verarbeiten und Integrieren von **Information** handelt. Die Funktionsweise phänomenologischer Prozesse soll in dieser Arbeit daher durch den Aspekt der Information charakterisiert werden.

Biologische Prozesse werden durch chemisch-physikalische Wirkungsketten eines Energie- oder Wahrscheinlichkeitsgefälles von einem instabilen in einen stabileren Zustand beschrieben. Das naturwissenschaftliche Grundverständnis ist dabei passiv, mechanisch-kausal. Biologische Prozesse sind fast ausschließlich graduell, zyklisch organisiert und folgen einem Energiegefälle. Jede einzelne Einheit ist dabei durch einfache Mechanismen organisiert, deren Akkumulierung wiederum zyklisch organisiert ist und einem Energiegefälle folgt. Diese graduelle Organisation einfacher Mechanismen durch ein passives Energiegefälle steht in Diskrepanz zur Phänomenologie, die als distinkt, holistisch und aktiv wahrgenommen wird. Wichtig im naturwissenschaftlichen Grundverständnis erscheint mir dabei vor allem der Aspekt der **Energie** beziehungsweise deren Gefälle, welches physiologische Prozesse antreibt. Das Gehirn benötigt im Vergleich zu anderen Organen viel Energie. Die meiste Energie des Gehirns entfällt auf die Kommunikation durch Aktionspotentiale und die dafür notwendige Aufrechterhaltung des Ruhemembranpotentials (Attwell & Laughli, 2001). Die Aufrechterhaltung der Homöostase des Gehirns ist von einer geregelten Energiebilanz abhängig und ist lebensnotwendig. Zusammenfassend bestimmt das Gefälle von Energie biologische Prozesse. Die Funktionsweise physiologischer Prozesse soll in dieser Arbeit daher durch den Aspekt der **Energie** charakterisiert werden.

In folgender Arbeit soll die Schnittstelle zwischen Messung des Erlebens und Messungen der Physiologie am Überschneidungspunkt zwischen Information und Energie(gefälle) gesucht werden. Der Überschneidungspunkt zwischen phänomenologischen und physiologischen

Prozessen würde in der Informationsweiterleitung liegen, da der Informationsweiterleitungsprozess an den Energieverbrauch gekoppelt ist und die Homöostase des Gehirns von einer geregelten Energiebilanz abhängig ist. Aus diesen Überlegungen würde folgen: *Das Gehirn muss energieeffizient Information weiterleiten und verarbeiten, um die Homöostase aufrecht zu halten.* Exakt diese Formulierung soll den Denkfehler verdeutlichen, der auftritt, wenn die kausale Funktionsweise biologischer Prozesse analog der kausalen Funktionsweise phänomenologischer Prozesse interpretiert wird. Nach biologischem Verständnis ist eine Personifizierung des Gehirns als aktiver Agent, der die Homöostase aufrecht hält, nicht notwendig, sondern darauf zurückzuführen, dass wir biologische Prozesse analog sozialer Prozesse (miss)interpretieren. In unserem Sozialsystem sowie in unserem introspektiven Verständnis existiert etwas, weil „jemand“ etwas verursacht. Wie später argumentiert wird, erhält sich die Homöostase durch zyklisch organisierte Prozesse selbst aufrecht. Diese zyklischen Prozesse sollen als „homöostatischer Ausgleich“ zusammengefasst werden und beschreiben dabei nichts anderes als ein Energiegefälle. Als Quintessenz dieser Arbeit wird argumentiert, dass die Stärke dieses Energiegefälles informationsabhängig ist und phänomenologisch wahrgenommen wird. Im Folgenden wird Inhalt und Methode des Vorgehens kurz vorgestellt und ein Überblick gegeben.

2 METHODE

Die Methode dieser Arbeit besteht zum einen aus einer Zusammenfassung von Literatur. Zum anderen beinhaltet die Methode ein eigenes Modell sowie Ideen, diese Literatur miteinander in Beziehung zu setzen und zusammenzufassen. In einer breitgefächerten Suche wurden dabei wissenschaftliche Publikationen gesucht, die dazu beitragen sollen, eine physiologische Entsprechung des phänomenologischen Erlebens zu finden, welche auch dazu beitragen könnten, das Bindingproblem zu lösen. Die breite Fächerung der recherchierten Literatur ist der starken Abstraktheit der Argumentation geschuldet und soll eine möglichst breite Generalisierbarkeit der Gemeinsamkeiten gewährleisten. Gemeinsamkeiten einzelner Theorien werden daher auch nur im allerweitesten Sinne verstanden.

Im ersten Kapitel werde ich das Bindingproblem in Bezug auf verschiedene physiologische Theorien beschreiben. Weiters werde ich versuchen Determinanten auszumachen, die den Bindingprozess beeinflussen. Dabei werde ich die Binding-by-Synchrony-Hypothese vorstellen, welche die Lösung des Bindingproblems in der zeitlichen Synchronisation von Aktionspotentialen vermutet. Während es sich bei der Binding-by-Synchrony-Hypothese nur um eine vage Idee ohne konkretes Modell handelt, soll gezeigt werden, dass insbesondere hochfrequente Oszillationen mit dem Bindingprozess in Beziehung stehen. Besonderes Augenmerk soll dabei darauf gerichtet werden, wie die gemeinsame Integration von Information phänomenologisch erlebt wird. Es soll versucht werden, die gemeinsame Integration von Information über unwillkürlich auftretende, perzeptuelle Gruppierung zu beschreiben, welcher intuitiv eine „Bedeutung“ zugesprochen wird, ohne diese näher beschreiben zu können. In den vier folgenden Kapiteln werde ich vier Argumente anführen, die zur Lösung des Bindingproblems beitragen sollen.

Erstens soll argumentiert werden, dass perzeptuelle Gruppierung durch die Kombination räumlicher und zeitlicher Wiederholung erklärt werden könnte. Ich werde versuchen, perzeptuelle Gruppierung über das diffuse Empfinden von „Bedeutung“ durch verschiedene wissenschaftliche Theorien näher zu charakterisieren. Ziel dabei ist es Charakteristika auszumachen, durch welche eine Elementkonfiguration unwillkürlich das Kriterium der „Bedeutung“ – im weitesten Sinne – erfüllt. In der Tradition des naturwissenschaftlichen Reduktionismus werde ich diese Charakteristika in räumliche und zeitliche Wiederholung zusammenfassen. Es soll gezeigt werden, dass diese beiden Charakteristika zur unwillkürlich auftretenden, perzeptuellen Gruppierung beitragen, welche wiederum als „bedeutend“ – im weitesten Sinne – erlebt wird.

Zweitens soll argumentiert werden, dass der Bindingprozess der expliziten Wahrnehmung vorausgeht. Es soll an Hand der gesammelten Literatur demonstriert werden, dass explizite Wahrnehmung ein Produkt räumlicher und zeitlicher Wiederholung ist. Es soll gezeigt werden, dass die semantische Bedeutung von Gestalten implizit voraktiviert und kombiniert werden kann und die perzeptuelle Organisation beeinflusst. Auch die Beobachtung, dass visuelle Informationen im Weiterleitungsprozess verloren gehen, soll als Argument dienen, dass der Bindingprozess der expliziten Wahrnehmung vorausgeht.

Drittens soll argumentiert werden, dass visuelle Information in Konkurrenz um die explizite Wahrnehmung steht. Diese Konkurrenz wird im folgenden Modell als *Interferenz der Weiterleitungswahrscheinlichkeit* von Information vorgestellt. Der Bindingprozess/ Gestaltbildungsprozess beruht in diesem Modell auf der Interferenz von Weiterleitungswahrscheinlichkeiten und bildet ein Signal-to-Noise-Ratio. Das explizit wahrgenommene Signal besteht dabei aus einer überzufälligen Weiterleitungswahrscheinlichkeit, welche aus (proportional) räumlich und zeitlich wiederholter Information in Form eines ganzzahligen Vielfachen der Refraktärperiode, gebildet wird. Wenn die Information auf die Refraktärperiode einer konkurrierenden Information trifft, entsteht das Signalrauschen aus einer verringerten Weiterleitungswahrscheinlichkeit. Die explizite Wahrnehmung einer Gestalt wäre dabei das Auftreten von zeitlicher und räumlicher Regularität, welche durch Synchronisation zu einer Einheit zusammengefasst wird. Die räumliche und zeitliche Synchronisation würde dabei durch Kontrastwahrnehmung sowie durch Einschränkungen des peripheren Sehens limitiert werden.

Viertens soll argumentiert werden, dass die Zusammenfassung räumlich und zeitlich wiederholter Information die Energiebilanz verbessert und auf das homöostatische Energiegefälle zurückzuführen ist. Es soll demonstriert werden, dass durch das progressive Zusammenfassen von Redundanz quantitativ mehr Information mit weniger Informationsträgern weitergeleitet werden könnte. Dies würde einem simplen, zyklisch organisierten System die theoretische Möglichkeit eröffnen, durch quantitative Reduktion von Informationsträgern, komplexe Information zu strukturieren. Die Stärke des Energiegefälles wäre dabei informationsabhängig und würde ein theoretisches Optimum anstreben. Ein Nebenprodukt des beschriebenen Mechanismus wäre die Wahrnehmung von Gesetzmäßigkeiten.

Das Resultat des theoretischen Modells besteht aus einer Vorhersage und daraus abgeleiteten Hypothesen. Es wird vorhergesagt, dass die Stärke des homöostatischen Energiegefälles informationsabhängig ist und phänomenologisch wahrgenommen wird. Um die Valenz dieser Wahrnehmung vorherzusagen, wird das Energiegefälle vor dem evolutionären Hintergrund diskutiert.

In der Diskussion werde ich die Arbeit reflektieren. Augenmerk soll dabei auf mögliche Widersprüche des Modells und auf einen möglichen Bias der Literaturrecherche gerichtet werden. Diskutiert werden die physiologischen Voraussetzungen, die Ungerichtetheit der Literaturrecherche und die Unspezifität des Modells und der damit einhergehende eingeschränkte, prognostische Wert der Aussage.

2.1 DAS BINDINGPROBLEM

Das Bindingproblem hat für verschiedene wissenschaftliche Disziplinen unterschiedliche Bedeutung. In der Neurowissenschaft beschreibt es die grundlegende Frage, wie Gehirnaktivität organisiert ist. In Bezug auf die visuelle Wahrnehmung findet sich ein strukturstabiler, retinotop organisierter, visueller Cortex (Strasburger, Rentschler, & Jüttner, 2011), der in Verbindung mit assoziierten Netzwerken auf die Kodierung von Kanten (Pinel, 2007) und einfachen Formen (Tanaka, 1993) spezialisiert ist. Formsensitive Zellverbände des Inferotemporallappens (IT-Zellen) sind dabei kolumnal organisiert und nach ihrer formähnlichen Sensitivität gruppiert (Tanaka, 1993). Diese IT-Zellen reagieren stärker auf Form- als auf metrische Veränderungen (Vogels, Biederman, Bar, & Lorincz, 2001). Auch in der V4 Region finden sich Zellen, die selektiv auf Konturen komplexer Formen ansprechen (Pasupathy & Connor, 2001; Pasupathy & Connor, 2002) und möglicherweise den Output komplexer V1-Zellen verbinden (Cadieu, Kouh, Riesenhuber, & Poggio, 2004). Die rechte Hemisphäre ist dominant in der Wahrnehmung von globalen Aspekten und die linke Hemisphäre ist dominant in der Wahrnehmung von lokalen Aspekten (Hellige, 1996). Ventral verläuft jene Informationsverarbeitungsbahn, die überwiegend mit inhaltlichen Aspekten der Wahrnehmung betraut ist („Was-Bahn“), während dorsal jene Informationsverarbeitungsbahn verläuft, die überwiegend mit lokalisierenden Aspekten der Wahrnehmung betraut ist („Wo-Bahn“) (Ungerleider & Haxby, 1994). Dabei ist die Frage zu erklären, wie diese einzelnen Informationen in Beziehung gesetzt werden. Wie entsteht aus einzelnen Sinnesinformationen eine einheitliche Wahrnehmung? Das Bindingproblem in der visuellen Wahrnehmung beschreibt einerseits, wie Farbe, Form und Bewegung als Merkmale eines Objekts verbunden werden, und andererseits, wie diese von anderen Objekten als distinkt segmentiert wahrgenommen werden. Des Weiteren eröffnet das Bindingproblem nicht nur die Frage, wie Merkmale eines Objekts zusammengeführt werden, sondern beschreibt auch die Interaktion

von bottom-up- und top-down-Prozessen. Aktionspotentiale, respektive möglicherweise deren Frequenzen, dienen den integrativen Strukturen als Informationsträger.

Aktionspotential

Bei einem Aktionspotential handelt es sich um eine Spannungsabweichung des Membranpotentials einer biologischen Neuronenzelle, das am Axonhügel entsteht. Die Amplitude eines Aktionspotentials ist dabei immer gleich. Es entsteht durch eine Permeabilitätsänderung der Membran, wobei vorwiegend Na^+ -Ionen und K^+ -Ionen für die Spannungsänderung verantwortlich sind. Indem Transmitter präsynaptischer Zellen spannungsabhängige Na^+ -Kanäle öffnen, erhöht sich die positive Ladung im Zellinneren bis zu einem Schwellenwert, der die Zellen vollständig depolarisiert. Neben depolarisierenden Transmittern (exzitatorische postsynaptische Potentiale (EPSP)) werden auch polarisierende Transmitter (inhibitorische postsynaptische Potentiale (IPSP)) in die postsynaptische Membran übertragen. Noch während der Depolarisationsphase werden die spannungsabhängigen Na^+ -Kanäle geschlossen und spannungsabhängige K^+ -Kanäle öffnen sich und K^+ -Ionen strömen in den Extrazellularraum, wodurch sich die Spannung wieder umkehrt. In dieser Refraktärperiode kann kein neues Aktionspotential entstehen. Aufrechterhalten wird das Ruhemembranpotential dabei von der Natrium-Kalium-Pumpe, unter Aufwendung von Energie. Als metabolischer Energieträger dient Adenosintriphosphat (ATP), welches unter Freisetzung von Energie hydrolisiert wird.

Von besonderem Interesse für das vorgestellte Interferenz-Modell ist dabei der Verbrauch *metabolischer Energie* und die *absolute Refraktärzeit*, in welcher kein weiteres Aktionspotential entstehen kann, sowie die postsynaptischen Potentiale (EPSP & IPSP), welche am Axonhügel summiert werden. Während es sich bei dem Aktionspotential um ein *digitales* Signal (Alles-oder-Nichts) handelt, entsprechen die postsynaptischen Potentiale einer *analogen* Informationsübertragung (graduelle Summation).

2.1.1 Kodierung von Merkmalen eines Objekts

2.1.1.1 Kodierung von Farbe, Form und Bewegung als Merkmale eines Objekts im visuellen Cortex

Zeki (1992) unterscheidet funktionale Spezialisierungen des visuellen Cortex, welche verschiedene Merkmale kodieren. Die Retina liefert dabei visuelle Informationen zur V1-Region (strukturell analog zum primären visuellen Cortex). Läsionen dieser Region führen zu kortikaler Blindheit. V1 und V2 dürften mit frühen Verarbeitungsstufen von Form und Farbe betraut sein, V3 und V3a mit Form, V4 mit Farbe und V5 mit Bewegung. Auch dieses Modell steht vor dem Bindingproblem, wie die einzelnen Informationen zusammengefügt werden. Von Eysenck und Kean (2005) wird die in Zekis (1992) vereinfachte Kategorisierung kritisiert, da die beschriebenen Gehirnregionen nicht annähernd so spezialisiert und limitiert sind, wie dessen Modell vorhersagt. Beispielsweise wird vernachlässigt, dass V1 und V2 Regionen bereits mit komplexen Aufgaben betraut sind.

Lennie (1998) schlägt ein hierarchisches Modell vor, in dem alle Informationen - mit Ausnahme der Bewegungsverarbeitung - zu jeder Zeit der Informationskaskade miteinander in Beziehung stehen. Das Hauptargument stützt sich dabei auf die relative Größe und die starke Interkonnektivität der einzelnen Regionen. Dies legt einerseits nahe, dass der größte Anteil der visuellen Verarbeitung in der V1, V2 sowie V4 Region stattfindet und andererseits würde die hohe Interkonnektivität dieser Areale eine später stattfindende Verknüpfung der Einzelinformationen unwahrscheinlich machen. Des Weiteren ist eine Tendenz zur Verringerung der Größe der spezialisierten Areale mit Dauer der Informationskaskade beobachtbar. Lennies (1998) hierarchisches Modell macht das Bindingproblem zumindest wahrscheinlicher lösbar als Zekis (1992) Ansatz, verteilte Spezialisierungen im Nachhinein zu strukturieren. Die relative Größe einzelner Regionen eröffnen jedoch ein neues Problem (Lennie, 1998):

Perhaps the most troublesome objection to the picture I have developed is that an enormous amount of cortex is used to achieve remarkably little. Nearly 60% of known visual cortex lies in the areas I have discussed, yet all that has been achieved is to articulate surfaces and their positions. (S. 992)

2.1.1.2 Gedächtnis

Donald Hebb (z. B. in Bear et al., 2009) postulierte, dass die interne Repräsentation eines Objekts aus einem Verband von Cortexzellen besteht. Durch Aktivierung eines solchen Neuronenverbandes komme es zu einer Konsolidierung zwischen den Neuronen, die durch äußere Reize reaktiviert werden können. Daraus formulierte er die Idee, dass die Neuronen, die an der Wahrnehmung beteiligt seien, damit auch Träger von Gedächtnisspuren sind. Der Mechanismus, der die Kommunikation zwischen Neuronen kurz- und langfristig erleichtert bzw. erschwert, ist als *neuronale Plastizität* bekannt und basiert auf der neuronalen Aktivität zwischen synaptischen Membranen. Inzwischen wurden viele prä- und postsynaptische Mechanismen entdeckt, die in verschiedenen Zeitperioden auftreten. Zucker und Regehr (2002) wörtlich:

Many chemical synapses show a multi-component increase in synaptic efficacy or a growth in the amplitude of individual postsynaptic potentials (PSPs) or postsynaptic currents (PSCs) on repetitive activation. This enhancement of transmission comes in several flavors, with quite distinct lifetime. (S.356)

Man kann zwischen einer kurzfristigen (*Short-term-potential*) und einer langfristigen (*Long-term-potential*) Steigerung postsynaptischer Depolarisationsstärke unterscheiden. Beispiele für eine kurzfristige Steigerung postsynaptischer Depolarisationsstärke der postsynaptischen Membran ist *Facilitation*, welche in einem Zeitraum von 100 ms auftritt (Zucker & Regehr, 2002), *Augmentation*, welche in einem Zeitraum von fünf bis zehn Sekunden auftritt (Zucker & Regehr, 2002) und auf eine Potenzierung der Transmittervesikelexocytose zurückzuführen ist (Charles & Wesseling, 1999) und *Post-tetanic potentiation*, welche für 30 Sekunden bis einige Minuten anhält (Zucker & Regehr, 2002).

Long-term-potential ist eine dauerhafte Steigerung der postsynaptischen Depolarisationsstärke. Die postsynaptische Zelle muss dabei bereits kurz zuvor depolarisiert worden sein, wodurch der glutamatabhängige Ca^{2+} -Einstrom in die *N-Methyl-D-Aspartat Glutamatrezeptoren* maximiert wird und eine dauerhafte postsynaptische Depolarisationsverstärkung durch eine intrazelluläre Signalkaskade verursacht wird. Die beiden Ereignisse (kurz zuvor depolarisiertes Neuron und Glutamatfreisetzung) müssen zusammen auftreten, damit eine Long-term-potential stattfinden kann. Eine hohe Frequenz präsynaptischer Aktionspotentiale führt wahrscheinlicher zu einer dauerhaften

Depolarisationsverstärkung (Lüscher & Malenka, 2012). Gegenätzlicherweise wird die *Long-time-depression* durch eine niederfrequente, wiederholte präsynaptische Aktivierung ohne Aktivierung der postsynaptischen Zelle verursacht (Lüscher & Malenka, 2012).

Dendritische Dornfortsätze beinhalten die meisten exzitatorischen Synapsen und ändern sich auch durch neuronale Stimulation (Hering & Sheng, 2001; Kasai, Matsuzaki, Noguchi, Yasumatsu, & Nakahara, 2003).

Zusammenfassend steigt durch die Häufigkeit der gemeinsamen Kommunikation von Neuronen die Wahrscheinlichkeit einer Erhöhung der postsynaptischen EPSP-Amplitude. In diesem Mechanismus der häufigkeitsbedingten, wie auch frequenzbedingten Steigerung der Aktionspotentialwahrscheinlichkeit der *synaptischen Plastizität*, wird das fundamentale Prinzip von Lernen und Gedächtnis vermutet (z.B. Spitzer, 1996; Bear et al., 2009).

Obwohl diese Zellspezialisierungen und zellulären Mechanismen erklären, wie Merkmale eines Objektes physiologisch kodiert werden können, ist bis heute nicht geklärt, durch welchen Mechanismus diese einzelnen spezialisierten Areale zusammenwirken, um ein Objekt - in Form einer Merkmalskombination - als Einheit zu identifizieren. Auch dieses Modell steht folglich vor dem Bindingproblem, wie die einzelnen Informationen zusammengefügt werden. Die Aktivierung eines Neuronenverbands, der ein Objekt repräsentiert, lässt sich auch zeitlich durch EEG Messungen demonstrieren.

2.1.2 Elektroenzephalografie (EEG)

Obwohl es sich bei Aktionspotentialen um Spannungsänderungen der Zellmembran handelt, können diese nicht direkt durch ein Elektroenzephalogramm abgebildet werden. Stattdessen können diese indirekt über *kortikale Feldpotentiale* erfasst werden. Bei diesen handelt es sich um aufaddierte Ladungsträgerschiebungen im Extrazellarraum, die durch das Einwirken postsynaptischer Signale entstehen. Dies eröffnet die Möglichkeit, kognitive Prozesse mit physiologischen Informationen in Beziehung zu setzen. Bei einem ereigniskorrelierten Potential (EKP) handelt es sich um eine wiederholt gemittelte Feldspannungsmessung während eines Ereignisses, das Auskunft über das Ausmaß superpositionierter, postsynaptischer Potentiale gibt. Die wiederholte Mittelung dient der Vergrößerung des Signal-to-noise-Ratios, da der überwiegende Teil einer ereigniskorrelierten Feldspannungsmessung als Noise interpretiert wird.

2.1.2.1 Ereigniskorrelierte Potentiale

Obwohl es als gesicherte Lehrmeinung gilt, dass EKPs die Informationskaskade repräsentieren, die mit Aufmerksamkeit und Gedächtnis assoziiert ist, ist bis heute nicht geklärt, wie diese entstehen. Allgemein ist zu beobachten, dass mit zunehmender Latenzzeit des EKPs der Anteil interner Prozesse zunimmt, während Bottom-up-Prozesse vorwiegend in der Anfangsphase zu finden sind. Mit zunehmender Dauer findet auch ein Abgleich mit bereits gespeicherten Mustern statt (Bierbaum & Schmidt, 2006).

Bei der Wahrnehmung einer Figur können zwei Prozesse im primären visuellen Cortex (V1) unterschieden werden. Während es sich bei der frühen (<100 ms) neuronalen Aktivität nach einer Stimuluspräsentation um einen Feedforward-Prozess handelt, der mit der Formeigenschaft (z.B. Orientierung) assoziiert ist, ist die zweite Stufe (>100 ms) mit höheren visuellen Prozessen, wie der visuellen Gruppierung und Segmentierung, betraut (Lamme & Roelfsema, 2000). Während der erste Peak (<100 ms) robust auftritt, variiert der Peak mit der längeren Latenzzeit (>100 ms) abhängig davon, ob ein Vordergrund (Figur) identifiziert wurde. Dies ist als *Figure-Ground-Modulation* bekannt.

Ein Hinweis, wie die Aktivierung eines Neuronenverbands über EKPs erfasst werden könnte, bietet beispielsweise eine Studie von Saavedra, Iglesias und Olivares (2010). In dieser lösten bekannte Gesichter von Hollywoodstars, im Gegensatz zu unbekannten Gesichtern, eine stärkere N250 Amplitude aus. Auch perzeptuell den Stimuluszielen ähnliche Nicht-Ziele im *Oddball-Paradigma* (Suchaufgabe bekannter Stimulusziele) produzierten höhere P300-Amplituden als unähnliche Nicht-Ziele (Azizian, Freitas, Watson, & Squires, 2006). Je ähnlicher die Nicht-Ziele den gesuchten Stimuluszielen sind, desto höher ist die P300-Amplitude. Dieser Befund legt nahe, dass der Abgleich interner Repräsentationen mit externen Reizen graduell erfolgt und könnte auch als Hinweis verstanden werden, dass reizabhängige Merkmalskombinationen ein internes Äquivalent in Form integrativer Strukturkombinationen bilden. Eine Kombination distinkter Merkmale eines Objekts entspricht dabei einer Kombination integrativer Strukturen.

2.1.2.2 Kontextuelle Modulation

In einem Modell von Kok (2001) spiegelt die P300 Welle ebenfalls den Abgleich der internen mit der externen Repräsentation wider. In diesem hängt die P300 Amplitude von der Frequenz

des Stimulus, in Bezug auf den Kontext und die Komplexität der Aufgabe ab. Bei reizabhängiger und aufgabenabhängiger hoher Aufmerksamkeit sowie bewältigbarer Schwierigkeit zeigt sich eine höhere P300 Amplitude (Kok, 2001). Der interne Abgleich mit externen Stimuli als EKP muss daher als **Event** in einer zeitlichen und kontextbeeinflussten Dynamik verstanden werden.

Die kontextuelle Dynamik zeigt sich auch in der Amplitude des EKPs. Wörter, die eine höhere Amplitude des EKP während der Wortkodierung aufweisen, werden besser erinnert als Wörter mit niedriger Amplitude (z.B. Paller, Kutas, & Mayes, 1987; Kayser, Fong, Tenke, & Bruder, 2003). Dabei zeigten sich kontextuelle Unterschiede: Die Amplitude innerhalb der ersten 250 ms bei kontextkongruenten Wörtern (z.B. Vogelart: Meise) und 450 ms bei kontextinkongruenten Wörtern (z.B. Waffenart: Schaf) entscheidet dabei, ob ein Wort später erinnert wird (Neville, Kutas, Chesney, & Schmidt, 1986). Auch eine vom-Kontext-distinkte Darstellungsart produziert eine höhere P300 Amplitude und wird besser erinnert (Karis, Fabiani, & Donchin, 1984, zitiert nach Polich, 2010).

2.1.2.3 Genetische Modulation

Es zeigte sich, dass spektrale EEG-Charakteristiken für biologisch verwandte Familienmitglieder ähnlicher sind (van Beijsterveldt & Boomsma, 1994; Eischen, Luckritz, & Polich, 1995). Van Beijsterveldt und Boomsma (1994) kommen zu dem Schluss, dass die meisten EEG-Parameter genetisch determiniert sind. Ihre Resultate zum EKP weisen eine mittlere bis hohe Heritabilität auf. Die P300 Welle ist ähnlicher für monozygotische als für dyzygotische Zwillinge (Katsanis, Iacono, McGue, & Carlson, 1997). Anokhin *et al.* (2001) Resultate weisen darauf hin, dass insbesondere langsame EEG Rhythmen, die zur P300 beitragen, eine hohe Heritabilität aufweisen, wobei jedoch methodisch kaum zwischen dem Einfluss genetischer Faktoren und anderen geteilten Faktoren (z.B. Schädeldicke, sportliche Betätigung, Kopfgröße, usw.) unterschieden werden kann. Dies liegt auch in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von van Beijsterveldt, Molenaar, de Geus und Boomsma (1998), in denen die Hälfte der Varianz der P300 in Stimulusziel und Nicht-Ziel Bedingungen auf familiär geteilte Faktoren zurückzuführen war. Es konnte nicht gänzlich geklärt werden, ob die geteilten Faktoren durch die genetische Disposition oder eine ähnliche Umweltinteraktion determiniert wurden.

Zusammenfassend ist das EKP durch verschiedene Faktoren beeinflusst, welche die Untersuchung der Verknüpfung der Einzelinformationen durch das EKP erschwert. Im Folgenden wird die Binding-by-synchrony-Hypothese vorgestellt, welche in der zeitlichen Synchronisation der Aktionspotentiale eine Konsolidierung der Neuronenverbände vermutet. Insbesondere soll dabei versucht werden, das Erleben des Bindingprozesses herauszuarbeiten.

2.1.3 Binding-by-synchrony-Hypothese

Die *Binding-by-synchrony-Hypothese* (von der Malsburg, 1981; Engel & Singer, 2001) geht davon aus, dass Informationen durch zeitliche Synchronisation der Aktionspotentiale in Beziehung gesetzt werden. Engel und Singer (2001) argumentieren, dass temporales Binding insbesondere im frequenzhohen Gammabereich mit bewusster Verarbeitung in Verbindung steht und auch am Arousal, an der perzeptuellen Integration, Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis beteiligt sein könnte. Während viele Messdaten zur oszillatorischen Musterbildung vorliegen, existieren bis heute keine Modelle, durch welchen Mechanismus Aktionspotentiale synchronisiert werden.

Es zeigte sich, dass die oszillatorische Musterbildung von Aktionspotentialen und die Synchronisation sensitiv auf Wahrnehmungssegmentierung reagieren. Bereits auf basalem Niveau zeigen Zellen mit überlappenden rezeptiven Feldern, aber unterschiedlicher Präferenz für die räumliche Orientierung, eher synchronisierte Aktivität bei einer einzelnen beweglichen Kante, als wenn sie von zwei unterschiedlichen Kantenorientierungen aktiviert werden (Kreiter & Singer, 1996). Korticale Neuronen des visuellen Cortexes von Katzen zeigten stimuluspezifische synchrone Oszillationen, wenn ihre Präferenz für Orientierung und Richtung eines Stimulus zueinander passten (Gray & Singer, 1989). Die synchronisierte oszillatorische Antwort funktioneller Kolumnen im visuellen Cortex von Katzen ist abhängig von deren räumlicher Trennung, deren Präferenz für räumliche Kantenorientierung sowie kohärente und kontinuierliche Bewegung des Stimulus (Gray, König, Engel, & Singer, 1989). Es konnte an stationären und beweglichen Lichtstimuli gezeigt werden, dass die Stimulation retinaler Ganglienzellen, mit visueller Winkelabweichung bis zu 26° , zur Synchronisation im Frequenzbereich von 61 Hz bis 114 Hz führt. Synchronisation war dabei von Größe und Kontinuität des Stimulus abhängig. Da die Oszillationen anfangs nicht synchronisiert waren,

vermuteten die Autoren eine horizontale Interaktion der Retina (Neuenschwander, Engel, König, Singer, & Varela, 1996).

Die Abhängigkeit der Synchronisationswahrscheinlichkeit von Kohärenz, Kontinuität und Größe eines Stimulus spricht dafür, dass Synchronisation vom Gestaltkriterium abhängt, welches das visuelle System zur Szenensegmentierung und Wahrnehmungsgruppierung anwendet. Insbesondere die rhythmische Synchronisation neuronaler Entladungen des hochfrequenten Gammabandbereichs ($>25\text{Hz}$) wird häufig damit in Verbindung gebracht, visuelle Merkmale in eine kohärente Objektrepräsentation zu integrieren (z.B. Tallon-Baudry & Bertrand, 1999). Müller, Gruber und Keil (2001) konnten beispielsweise zeigen, dass die aufmerksamkeitsabhängige Veränderung eines Stimulus zu einer „guten Gestalt“ (= bedeutungsvolle Orientierung eines rotierten Stimulus) und die damit assoziierte Umstrukturierung der zu Grunde liegenden perzeptuellen Organisation, eine erhöhte Gammabandpower voraussagen konnte. Auch das Erkennen eines 2-Bit Gesichts (Mooney-Gesicht) geht mit einer Vergrößerung der Gammaband-Amplitude (60-100 Hz) einher (Grützner, Uhlhaas, Genc, Kohler, Singer, & Wibral, 2010).

Singer (1993) argumentiert, dass temporale Synchronisation die Basis für die kortikale Repräsentation von Objekten und Ereignissen aus der externen Welt darstellen könnte. Tallon-Baudry und Bertrand (1999) gehen in der „internalen Repräsentationshypothese“ von einer aktivierbaren internen Repräsentation aus, die sowohl Bottom-up als auch Top-down Prozesse modulieren kann, sowie auf verschiedene Sinnessysteme generalisierbar ist. Die internen Repräsentationen stehen mit dem hochfrequenten Gammabandbereich in Verbindung (siehe Übersicht z. B. Tallon-Baudry & Bertrand, 1999). Bei Menschen konnte gezeigt werden, dass eine induzierte Gammafrequenzerhöhung von der Kohärenz eines Reizes abhängig ist, wobei sich kein statistischer Unterschied zwischen einer echten und einer illusorischen Kohärenz in der induzierten Gammafrequenzerhöhung zeigte. Diese induzierte Gammafrequenzerhöhung zeigte sich nur bei kohärenten Stimuli und wird durch eine interne Repräsentation erklärt (Tallon-Baudry, Bertrand, Delpuech, & Pernier, 1996; Review siehe Tallon-Baudry & Bertrand, 1999). Auch das Auffinden eines kohärenten Ziels (Hund) in einem Punkteschwarm (Kondition 2 – Zielstimulus) produzierte eine stärker induzierte Gammafrequenz-Antwort als ein vergleichbares Erkennen (Kondition 1- Zielstimulus) eines inkohärenten Ziels (Verwirbelung). Die Autoren erklären die stärkere Antwort auf Kohärenz als eine interne Repräsentation, die durch Top-down-Prozesse aktiviert wird. Für eine Aktivierung einer internen Repräsentation spricht auch, dass in der zweiten Kondition die

kohärente Gestalt (Hund nach rechts), durch die Ähnlichkeit zum Target (Hund nach links) einen stärkeren Anstieg induzierter Gammafrequenz verzeichnete als dieselbe Gestalt in Kondition 1 (Tallon-Baudry, Bertrand, Delpuech, & Pernier, 1997).

Ebenso konnte an Mooney-Gesichtern gezeigt werden, dass Gammaband-Synchronisation/Desynchronisation nicht nur der Mechanismus für die lokale Integration visueller Merkmale sein könnte, sondern auch als Mechanismus für großflächige Integration von Information dienen könnte (Rodriguez, George, Lachaux, Martinerie, Renault, & Varela, 1999). Methodisch gibt es jedoch Unterschiede, Synchronisation direkt und indirekt zu messen und zu berechnen, wodurch auch die Befunde von Rodriguez *et al.* (1999) durch Trujillo, Peterson, Kaszniak und Allen (2005) relativiert werden. Die Autoren empfehlen auch andere Frequenzbänder zu berücksichtigen (Trujillo *et al.*, 2005).

Zusammenfassend werden der hohe Gammafrequenzbereich mit der Umstrukturierung der zu Grunde liegenden perzeptuellen Organisation und das Kriterium der introspektiv beschreibbaren „guten, bedeutungsvollen Gestalt“ mit dem Bindingprozess in Zusammenhang gebracht.

Daher stellt sich die Frage, wodurch eine Gestalt perzeptuell organisiert und „bedeutungsvoll“ erachtet wird? Im nächsten Kapitel werde ich versuchen, den Bindingprozess auf der phänomenologischen Ebene in Form von perzeptueller Organisation und deren Bewertung zu beschreiben. Untersuchungsgegenstand ist die Introspektion, um die Charakteristika visueller Informationen zu beschreiben, denen „Bedeutung“ – im weitesten Sinne – zugesprochen wird. Das intuitive Clustern visueller Informationen in Form einer perzeptuellen Gruppierung soll im Folgenden als das „Gestaltphänomen“ sowie „erlebte Bedeutung“ zusammengefasst werden.

2.2 IST PERZEPTUELLE GRUPPIERUNG DIE KOMBINATION RÄUMLICHER UND ZEITLICHER WIEDERHOLUNG?

Die Wahrnehmungspsychologie hat eine lange Tradition, perzeptuelle Organisation der visuellen Wahrnehmung durch das Gestaltphänomen zu beschreiben. Das explizit wahrnehmbare Hervortreten visueller Merkmale zu einer verbundenen Einheit aus dem

Hintergrund charakterisiert dieses Gestaltphänomen. Spontan wird einer Gestalt dabei eine „Bedeutung“ zugesprochen, ohne diese meist näher spezifizieren zu können. Die Fähigkeit, Urteile über einen Stimulus zu fällen oder zwischen Stimuluskategorien zu unterscheiden, ohne die Basis dieses Urteils verbal beschreiben zu können, wird allgemein als Intuition beschrieben. Intuitive Urteile erfolgen spontan und ohne bewusstes Schlussfolgern. Die perzeptuelle Organisation, durch die Gruppierung von visuellen Merkmalen in Form des Hervortretens einer Gestalt aus dem Hintergrund, folgt *Gestaltgesetzen*: Nähe, Ähnlichkeit, gemeinsames Schicksal, gute Kontinuität, Geschlossenheit, horizontale und vertikale Orientierung, Symmetrie sowie Prägnanz in Form von Simplizität und Stabilität wurden bereits in Bezug auf Merkmalsgruppierung beschrieben (Bruce *et al.*, 2003). Wie an den teils unkonkreten Gestaltgesetzen gezeigt werden kann, übt Intuition durch perzeptuelle Organisation bereits an der Basis der visuellen Wahrnehmung großen Einfluss aus und stellt somit ein Fundament der visuellen Wahrnehmung dar. Marr (1982, zitiert nach Roney & Trick, 2003) beschreibt den angeborenen Bias, nahegelegene Konturen zu clustern, als *adaptiv*, da diese die Wirklichkeit widerspiegeln. Nicht künstlich kreierte Objekte sind eben durch jene Attribute gekennzeichnet, die sich auch in den Gestaltgesetzen wiederfinden, wodurch die Gestaltgesetze die Objekterkennung im Alltag erleichtern. Analog erklären auch Roney und Trick (2003) die Unterschätzung des Zufalls durch zufällig aneinander angrenzende Ereignisse durch das Gestaltphänomen. Cluster einer Münzwurfreihenfolge (z. B. mehrmals hintereinander Kopf) werden als „bedeutungsvolle“ Einheiten wahrgenommen.

Ambivalente Bilder zeigen, dass dieselben sensorischen Informationen unterschiedlich interpretiert werden können. Dieselbe Kanteninformation kann dabei durch Fokussierung der Aufmerksamkeit Teil verschiedener Gestalten werden. Weiters ist es interessant festzuhalten, dass unser visuelles Wahrnehmungssystem jeweils nur die Fokussierung **einer** Gestalt zulässt. Kann derselbe Stimulus unterschiedlich wahrgenommen werden, folgt daraus, dass eine unterschiedliche perzeptuelle Organisation von Kanteninformationen zu unterschiedlichen internen Repräsentationen führt. Unterschiedliche Gestaltbildung wäre, nach der Binding-by-Synchrony-Hypothese, das Produkt unterschiedlicher Synchronisationen (z.B. Engel, Fries, & Singer, 2001). Diese Überlegungen fußen jedoch nicht auf einem konkreten Modell, sondern lediglich auf der Annahme, dass verschiedene integrative Strukturen bei unterschiedlicher perzeptueller Organisation verschieden zusammenwirken. Während es dieses Bindingproblem noch zu lösen gilt, wird auch angenommen, dass sowohl Bottom-up als auch top-down

Prozesse eine Rolle für das Binding spielen. Wiederum mangelt es jedoch an einem Erklärungs-Modell.

Zusammenfassend handelt es sich bei einer Gestalt möglicherweise um synchronisierte oszillatorische Aktivität, welche sensorische Informationen miteinander verbindet. Festzuhalten ist weiters, dass perzeptuelle Organisation spontan und intuitiv erfolgt, jedoch auch durch fokussierte Aufmerksamkeit gelenkt werden kann. Bis auf Nähe, Ähnlichkeit, horizontale und vertikale Orientierung und Symmetrie sind die Gestaltgesetze sehr unkonkret und abstrakt. Mit dem Ziel, die Gestaltdeterminanten weiter zu konkretisieren, werden im Folgenden jene Charakteristika perzeptueller Organisation beschrieben, welche intuitiv als ansprechender empfunden werden. Es soll versucht werden, das unwillkürliche Erleben von „Bedeutung“ durch die Merkmale eines Stimulus zu charakterisieren. Die Gruppierung zufällig aneinander angrenzender Ereignisse (Roney & Trick, 2003) wird dabei als Hinweis interpretiert, dass die zeitliche Wiederholung bei der Gruppierung eine Rolle spielen könnte. Auch die Gestaltgesetze der Symmetrie und Ähnlichkeit zeichnen sich durch Wiederholung aus. Ziel des nächsten Kapitels wird es sein Evidenzen zu sammeln, dass es sich bei dem unwillkürlichen Erleben von „Bedeutung“ um räumliche und/oder zeitliche Wiederholung von Stimulusmerkmalen handelt. Die Schwierigkeit, die phänomenologische Manifestation des Bindingprozesses zu konkretisieren, liegt offensichtlich darin, dass viele Prozesse automatisch und implizit stattfinden.

2.2.1 Wird räumliche und zeitliche Wiederholung unwillkürlich „bedeutender“ erlebt?

Um jenen Prozess zu untersuchen, der dem phänomenologischen Erleben von „Bedeutung“ zu Grunde liegt, bietet sich besonders die psychologische Kunstforschung an. Visuelle Kunst ist als psychologischer Untersuchungsgegenstand intuitiv-spontaner Urteile besonders attraktiv, da die freie Gestaltungsmöglichkeit in einem begrenzten Rahmen dem Menschen erlaubt, ein ideales Maß an subjektiver Stimulation zu finden, das auch von anderen geteilt werden kann und durch den begrenzten Rahmen auch der empirischen Untersuchung zugänglich ist. Wird ästhetisches Empfinden von mehreren Personen geteilt, muss dies auf visuelle Merkmale des Kunstwerkes zurückzuführen sein. Folglich sollten sich insbesondere jene Aspekte visueller

Merkmale in der visuellen Kunst manifestieren, welche vor allem für die hedonistische/positive/interessante/anregende Kunsterfahrung relevant sind. Die objektivistische Sicht von Schönheit geht im Gegensatz zur subjektivistischen Sicht davon aus, dass bestimmte Merkmale zum ästhetischen Empfinden beitragen (Übersicht z. B. Reber, Schwarz, & Winkielman, 2004). Leder *et al.* (2004) fassen die objektiven Einflussfaktoren auf das subjektiv gefärbte ästhetische Empfinden visueller Kunst in fünf Verarbeitungsstufen zusammen. Die Objektivierbarkeit subjektiver Erfahrung spricht für eine zu Grunde liegende Gemeinsamkeit der Kunsterfahrung.

Es ist anzunehmen, dass für die Wahrnehmung visueller Kunst die gleichen intuitiven, perzeptuellen Organisationsgesetze gelten wie auch für Gestalten. Ästhetisches Empfinden beschreibt jedoch nicht bloß die (Wieder)erkennung von Gestalten, sondern besonders die intuitiv ansprechende Passung/Bedeutung der (Gestalt)elemente zueinander. Ästhetisches Empfinden ist daher besonders durch jene phänomenologisch „gute, sinnvolle, bedeutungsvolle Passung“ charakterisiert, die intuitiv einfach nachvollziehbar erscheint, während die Grundlage dieser Evaluation nicht einfach generell zu beantworten ist. Es ließe sich spekulieren, dass diese Unfähigkeit den Grund dafür nennen zu können, warum sich etwas richtig anfühlt, der Kunst unter anderem ihren besonderen Ausdruck verleiht.

Die Reproduzierbarkeit statistischer Effekte unterstützt die objektivistische Sicht von Schönheit und spricht für eine zu Grunde liegende Gemeinsamkeit der subjektiven Kunsterfahrung. Trotz des geisteswissenschaftlichen Ansatzes, Phänomene nur durch ihre zeitliche und räumliche unobjektivierbare Einzigartigkeit *verstehen* zu können, finden sich Stimulusmerkmale, die eine naturwissenschaftliche Generalisierbarkeit vermuten lassen, Erleben auch *erklären* zu können. Im Folgenden sollen daher die perzeptuellen Charakteristika der Stimulusmerkmale diskutiert werden, die in den beiden ersten Verarbeitungsstufen des Leder-Modells der Kunstevaluation (Leder *et al.*, 2004) zu finden sind und automatisch, schnell, spontan-intuitiv ablaufen. Bei der ersten der beiden automatischen Verarbeitungsstufen handelt es sich um die *Perzeptuelle Analyse*, in welcher mittlere Komplexität, Kontrast, Symmetrie, Ordnung und Gruppierung gegenüber deren Abwesenheit bevorzugt wird. Bei der zweiten Verarbeitungsstufe handelt es sich um die *Implizite Gedächtnisintegration*, in welcher Vertrautheit, Prototypie und Peak-shifts bevorzugt werden.

Auch empfundene Verarbeitungsflüssigkeit (*fluency*) beschreibt die automatische, schnelle und spontan-intuitive Leichtigkeit, mit der ein Stimulus identifiziert werden kann, und wurde bereits mit ästhetischem Empfinden in Zusammenhang gebracht (Reber *et al.*, 2004). Fluency umfasst dabei sowohl perzeptuelle Flüssigkeit, wie die Leichtigkeit einen Stimulus zu identifizieren, als auch konzeptuelle Flüssigkeit, die die Leichtigkeit beschreibt, die Bedeutung und das semantische Wissen mit einem Stimulus in Beziehungen zu setzen. Perzeptuelle Flüssigkeit konnte für Informationsmenge, Symmetrie, Figur-Hintergrund-Kontrast, „gute Figur“ und empfundene Klarheit gezeigt werden. Konzeptuelle Flüssigkeit wurde für Stimuluswiederholung, implizites Lernen und Prototypie gezeigt (Reber *et al.*, 2004). Diese erlebte Verarbeitungsleichtigkeit von Informationen stellt möglicherweise die Grundlage für Intuition dar (Topolinski & Strack, 2009). Uneindeutig zu beantworten ist die Frage, warum Fluency positiv erlebt werden sollte. Vage Ideen beschreiben allgemein die „positive Lage der Dinge“, „erfolgreiche Wiedererkennung eines Stimulus, fehlerfreie Verarbeitung, Verfügbarkeit von passendem Wissen um einen Stimulus“, „Vertrautheit und damit Harmlosigkeit“ (Reber *et al.*, 2004). Im Folgenden werden verschiedene Theorien der automatischen, perzeptuellen Verarbeitungsstufe in einem Vergleich gegenübergestellt, um jene Stimulusmerkmale zu beschreiben, die besonders einfach zu verarbeiten sind. Ziel dieser Gegenüberstellung ist es, die Stimulusmerkmale in der Tradition des naturwissenschaftlichen Reduktionismus weiter zusammenzufassen.

2.2.2 Räumliche Wiederholung

Leder *et al.* (2004) gehen von einer Präferenz für mittlere Komplexität aus, wobei die Befunde nicht eindeutig sind. Eine Schwierigkeit, Komplexität zu untersuchen besteht darin, dass Probanden bei der Beurteilung subjektiver Komplexität übereinstimmen, diese jedoch häufig von der objektiven Komplexität abweicht. Chipman (1977) unterschied einen ersten Faktor, der mit der quantitativen Anzahl an Elementen assoziiert ist und eine „Schwelle wahrgenommener Komplexität“ kreiert sowie einen zweiten Faktor, der diesen Eindruck wieder reduziert, wenn die Elemente sich „psychologisch relevant“ organisieren ließen. Horizontale, vertikale, diagonale und beidseitige Symmetrie, gleichbleibende Elementkonfiguration, die rotiert wird, wiederholte Elemente und symmetrische Gegengleichheit trugen zu psychologisch relevanter Organisation bei. Ichikawa (1985) fand zwei parallele Prozesse der Verarbeitung von Komplexität: Einen schnellen Prozess, der die

quantitativen Aspekte eines Stimulismusters verarbeitet und einen langsamen Prozess, der mit der Erkennung von „Struktur“ betraut ist. Bei der „Struktur“ handelt es sich beispielsweise um Symmetrie und Wiederholung. Verarbeitungsfähigkeit von Komplexität auf Grund Chipmans (1977) „psychologischer Relevanz“ oder Ichikawas (1985) „Struktur“ würde auch konzeptuell in Übereinstimmung mit Fluency (Reber *et al.*, 2004) stehen, welche die Leichtigkeit einen Stimulus zu identifizieren beschreibt. Die Komplexität abstrakter Kunst wurde von Roberts-Nadal (2007) als multidimensionales Konzept beschrieben. In einer Faktorenanalyse der Komplexität abstrakter Kunst ließen sich drei Hauptfaktoren extrahieren: Anzahl und Vielfalt der *Elemente*, *Gruppierung* und *Organisation* in eine kohärente Szene sowie *Asymmetrie*. Elemente erklärte dabei 48,33% (Männern) / 47,01% (Frauen) der Varianz. Organisation erklärte 31,69% (Männern) / 31,27% (Frauen) der Varianz. Asymmetrie erklärte 14,43% (Männer) / 14,54% (Frauen) der Varianz. Unorganisierbarkeit in eine kohärente Szene und Asymmetrie sind demnach zwei starke Prädiktoren für empfundene Komplexität abstrakter Kunst. Möglicherweise ließen sich hierbei Parallelen zwischen Organisierbarkeit und Chipmans (1977) „psychologischer Relevanz“, Ichikawas (1985) „Struktur“ sowie Fluency (Reber *et al.*, 2004) ziehen. Parallelen zeigen sich auch darin, dass Organisierbarkeit von Elementen und deren subjektive Komplexitätsreduktion in Zusammenhang mit Symmetrie und Wiederholung (Chipmans, 1977; Ichikawa, 1985) steht. Symmetrie und Wiederholung sind dabei durch Redundanz gekennzeichnet, die sich durch die dargestellte Informationsmenge veranschaulichen lässt und auch mit empfundener Fluency korreliert (Reber *et al.*, 2004).

Ebenso das Kriterium der „guten Figur“ wird fluenter erlebt (Reber *et al.*, 2004). Garner (1974) fand, dass das Kriterium der „guten Figur“ von der Menge an Information in Form von Redundanz eines Stimulus abhing. Die Menge an Information eines Stimulus extrahierte er dabei, indem er die Zahl verschiedener Formen maß, die durch symmetrische Reflektion und Rotation eines Stimulus entstanden. Je mehr Redundanz ein Stimulus hatte, desto besser wurden die Figuren beurteilt. Leder *et al.* (2004) gehen in ihrem Modell von einer Präferenz für Gruppierung, Ordnung und Symmetrie aus. Diese Stimuluscharakteristika zeichnen sich ebenso durch Wiederholung und Redundanz aus. Beispielsweise ist die linke Seite gleichseitiger Symmetrie auf die rechte Seite plus die Information der Spiegelungsebene reduzierbar und dadurch redundant. Auch bei der Attraktivität von Gesichtern spielt Symmetrie eine Rolle (z. B. Rhodes, Proffitt, Grady, & Sumich, 1998).

Berlyne (1963) zeigte, dass weniger irreguläre Muster, welche sich in Eigenschaften wie geordnete räumliche Anordnung, kohärente Gruppierung von Elementen, Wiederholung und

Redundanz von irregulären Mustern unterscheiden, anfängliches Arousal verringern und die Erholung von diesem beschleunigen. Irregulärere Muster wurden interessanter, weniger irreguläre Muster wurden gefälliger beurteilt. Auch korrelierte Komplexität und Irregularität mit der Dauer der EEG-Desynchronisation (Berlyne & McDonnell, 1965, zitiert nach Chipman, 1977).

Neben der Symmetrie gibt es nur ein zweites Teilungsverhältnis, dem immer wieder eine Verbindung zur Schönheit nachgesagt wird: der goldene Schnitt. Dieser beschreibt das Teilungsverhältnis einer Strecke, bei dem das Verhältnis des Ganzen zu seinem größeren Teil, dem Verhältnis des größeren zum kleineren Teil entspricht. Auch der goldene Schnitt könnte unter dem Aspekt der Redundanz als fraktale Wiederholung seiner Proportionalität zusammengefasst werden.

Die angeführten Arbeiten und Überlegungen weisen darauf hin, dass die bessere Bewertung der Stimulusmerkmale Symmetrie, Gruppierung, Ordnung, Wiederholung, rotierte Wiederholung, Gegengleichheit, Redundanz, Informationsmenge und Wiederholung der Proportionalität auf den Faktor der proportionalen **räumlichen Wiederholung** zusammengefasst werden könnte, welche sich durch Redundanz auszeichnet.

Zusammenfassend wird Redundanz einfacher sowie subjektiv positiver erlebt und könnte durch die *perzeptuelle Analyse* des Leder-Modells der Kunstevaluation bereits beschrieben worden sein (Leder et al., 2004).

2.2.3 Zeitliche Wiederholung

Auch das subjektive Empfinden von Klarheit und Figur-Hintergrund-Kontrast wird mit Fluency in Zusammenhang gebracht (Reber *et al.*, 2004) und charakterisiert die Deutlichkeit, mit der visuelle Merkmale aus dem Hintergrund hervortreten. Zumindest konzeptuell würde die subjektive Verdeutlichung eines Stimulus durch Erhöhung des Kontrasts sowie Verdeutlichung eines Stimulus durch Peak-Shifts in Übereinstimmung mit dem Leder-Modell der Kunstevaluation (Leder *et al.*, 2004) liegen. Leder *et al.* (2004) gehen in ihrem Modell von einer Präferenz für Vertrautheit und Prototypie aus. Dies liegt auch in Übereinstimmung mit Fluency, die mit Stimuluswiederholung, implizitem Lernen und Prototypie in Verbindung gebracht wurde (Reber *et al.*, 2004). Forster, Leder und Ansorge (2013) fanden einen Fluency-Effekt durch Stimuluswiederholung, ohne dessen explizite Wahrnehmung. Auch bei der Attraktivität von Gesichtern spielt Prototypie eine Rolle. Auch die Durchschnittlichkeit

von Gesichtern korreliert positiv mit Attraktivität und negativ mit Distinktheit (Rohdes & Tremewan, 1996). Die positive Evaluation durch Stimuluswiederholung wird in der Psychologie durch den mere-exposure-effect beschrieben (Zajonc, 1968). Neben der räumlichen Wiederholung spielt demnach auch eine **zeitliche Wiederholung** für die positive Evaluation eine Rolle und könnte durch die *implizite Gedächtnisintegration* des Leder-Modells der Kunstevaluation bereits beschrieben worden sein (Leder et al., 2004). In Bezug auf die perzeptuelle Gruppierung dürfte zeitliche Wiederholung durch die Wiedererkennbarkeit eine wichtige Rolle spielen. Die Erklärung der Wiedererkennbarkeit steht vor dem Bindingproblem, wie die okkludierenden Konturen einer Silhouette, die Marr (1982, zitiert nach Bruce et al., 2003, S. 279) als „unendlich mehrdeutig“ beschreibt, vom Gehirn zu einem sinnvollen Muster zusammengeführt werden. Im Folgenden soll versucht werden, die perzeptuelle Organisation durch zeitliche Wiederholung näher zu charakterisieren.

2.2.3.1 Objekte werden durch zeitliche Wiederholung von Kanteninformation wiedererkannt

Nach Biedermans (1987) *Geon-Theorie* existieren *nicht-zufällige Regularitäten*, die auf Formeigenschaften einfacher geometrischer Figuren zurückzuführen sind, wodurch deren Identifikation erleichtert wird. Die Geon-Theorie soll erklären, wie Objekte aus verschiedenen Blickwinkeln durch einfache geometrische Figuren erkannt werden können. Bei diesen nicht-zufälligen Regularitäten handelt es sich um distinkte, spezifische Merkmale. Den Kantenkonfigurationen kommt dabei eine größere Bedeutung zu als den Oberflächen (Biederman & Ju, 1988). Dieser Effekt kann auch über komplementäre Bilder geprint werden (Biederman & Cooper, 1991) und ist invariant gegenüber Größen-, Orts- und leichten Blickwinkelveränderungen, solange nicht-zufällige Komponenten erhalten bleiben (Bruce, Green, & Georgeson, 2003). Unterstützung findet die Geon-Theorie durch die bereits beschriebenen formsensitiven Zellverbände (Tanaka, 1993; Pasupathy & Connor, 2001; Pasupathy & Connor, 2002; Cadieu et al., 2004).

Jedoch steht auch die Geon-Theorie vor dem Bindingproblem, wie geometrische Grundbausteine hierarchisch in eine räumliche Beziehung gesetzt werden. Es gilt hierbei das Problem zu lösen, wie eine hierarchisch organisierte Informationskaskade durchlaufen wird, deren Ergebnis den Anfang bestimmt. Ein Lösungsversuch wurde von Hummel und Biederman (1992) durch die Idee der *Fast Enabling Links (FEL)* präsentiert, die integrative

Strukturen noch vor der Outputgenerierung verbinden sollen. Die FEL existieren bis jetzt jedoch nur in der Theorie.

2.2.3.2 Gesichter werden durch zeitliche Wiederholung von metrischen Komponenten wiedererkannt

Biederman, Subramaniam, Bar, Kalocasi und Fiser (1999) argumentieren, dass Objekte eher durch Geons klassifiziert werden, während bei Gesichtern die Metrik eine größere Rolle spielt. Obwohl sich komplementäre Abbilder von Gesichtern im direkten Vergleich sehr ähnlich sehen, verhalten sich diese in einem Primingexperiment wie unbekannte Gesichter (Biederman & Kalogsai, 1997). Auch die Ergebnisse von Leder und Bruce (1998; 2000) legen nahe, dass metrische Komponenten bei Gesichtern eine größere Rolle spielen als die Form. Der Grund liegt wahrscheinlich in der geringeren Formvariabilität von Gesichtern. In Bezug auf Gesichter (z. B. Leder & Bruce, 1998; Leder & Bruce, 2000) ist demnach die Geon-Theory nicht haltbar. Die Beobachtung, dass - im Vergleich zum unbearbeiteten Gesicht - eine Übertreibung individueller Abweichungen von einem Durchschnittsgesicht zu einer erleichterten Erkennung führt, während eine gleichgroße Angleichung an ein Durchschnittsgesicht zu einem erschwerten Erkennen führt (Lee, Byatt, & Rhodes, 2000), spricht für eine Wiedererkennung von Gesichtern über individuell distinkte, nicht-zufällige metrische Merkmalskombinationen. Parallelen lassen sich hierbei auch zur Kunstevaluation erstellen, in welcher Shift-peaks – die Übertreibung von Merkmalen – positiver beurteilt werden (Leder *et al.*, 2004).

2.2.3.3 Findet perzeptuelle Gruppierung durch impliziten Abgleich mit Ähnlichkeit statt?

Der Abgleich mit gespeicherten Mustern manifestiert sich auch im EKP. Die mittlere bis hohe Heritabilität von EEG-Befunden (z. B. van Beijsterveldt & Boomsma, 1994; Eischen *et al.*, 1995) legt nahe, dass der Abgleich mit gespeicherten Mustern zu einem gewissen Grad genetisch determiniert ist. Die Hälfte der Varianz der P300 des EKPs ist auf familiär geteilte Faktoren zurückzuführen (Beijsterveldt *et al.*, 1998; Anokhin *et al.*, 2001). Gegen eine hohe genetische Determinierung der Reaktivierung distinkter Neuronenverbände durch distinkte Merkmale spricht die Arbeit von Tamamiya und Hiraki (2013), die durch eine EKP-Studie

zeigten, dass Gesichtsausdrücke individuell unterschiedlich in einer frühen Verarbeitungsstufe (>200ms) wiedererkannt werden. Gegen eine hohe Heritabilität der Reaktivierung spricht auch die kulturabhängige Identifizierung von Gesichtern. Südostasiatische Beobachter identifizieren andere Personen durch die Fokussierung auf die Nase, während westliche Beobachter das Gesicht in einem größeren Radius scannen (Blais, Jack, Scheepers, Fiset, & Caldara, 2008). Des Weiteren weist der Effekt, dass Gesichter der eigenen geografisch geprägten Gesichtsmorphologie leichter erkannt werden (Meissner & Brigham, 2001), darauf hin, dass die Merkmale, die zur Wiedererkennung von Gesichtern verwendet werden, durch *zeitliche Wiederholung von Ähnlichkeit* erlernt werden könnten. Dies könnte einem Erlernen von Prototypie entsprechen. Die Wahrnehmung von Prototypie entspricht einem Abgleich mit Häufigkeit und Ähnlichkeit von Stimulusmerkmalen. Möglicherweise wird genetische Disposition gegenüber der Umweltinteraktion in der Heritabilitätsschätzung überschätzt.

Zusammengefasst weisen die angeführten Befunde darauf hin, dass die Wiedererkennung von Objekten und Gesichtern über nicht-zufällige Merkmale stattfindet. Ohne darauf eingehen zu wollen, ob Objekte und Gesichter über bestimmte Merkmale und/oder Relationen dieser Merkmale zueinander wahrgenommen werden, scheint mir an dieser Stelle der Arbeit entscheidend, dass die Wiederholung nicht-zufälliger Komponenten die perzeptuelle Organisation unterstützt und diese möglicherweise durch Ähnlichkeit erlernt wird. Der Abgleich mit der Ähnlichkeit sich zeitlich wiederholender distinkter Merkmale könnte dadurch eine zentrale Rolle in der perzeptuellen Gruppierung spielen. Gesichtsähnliche Objekte bewirken in einer frühen Verarbeitungsstufe (165 ms) eine Aktivierung des *ventralen fusiformen Cortex*, im Gegensatz zu nicht-gesichtsähnlichen Objekten (Hadjikhani, Kveraga, Naik, & Ahlfors, 2009). Dazu passt auch eine Studie von Windhager *et al.* (2012). Diese konnten an Hand von Autofronten zeigen, dass auch kulturübergreifend (Äthiopien & Österreich) Gesichter in Objekte interpretiert werden. Darüber hinaus wurden von beiden Kulturen die Forminformationen der Autofronten herangezogen, um den Objekten Gesichtsscharakteristika wie Dominanz, Maskulinität oder Kindlichkeit zu attribuieren.

Die Lehre der Bedeutung wird *Semantik* genannt und beschäftigt sich mit der Beziehung zwischen Zeichen und deren Bedeutung. Diese Studie von Windhager *et al.* (2012) könnte demonstrieren, dass auch eine implizite Verknüpfung des semantischen Inhalts von Gestalten durch räumliche Überlagerung sich zeitlich wiederholender Merkmale, möglich ist. Im Folgenden soll demonstriert werden, dass ein Zeichen/Objekt/Gestalt nicht explizit erkannt

werden muss, um dessen Bedeutung zu extrahieren beziehungsweise zu kombinieren. Es soll gezeigt werden, dass der implizite Abgleich mit Ähnlichkeit dabei implizit eine *semantische Objektrepräsentation* aktiviert. Findet der Abgleich vor der expliziten Wahrnehmung statt, könnte dies als Hinweis verstanden werden, dass der Bindingprozess der expliziten Wahrnehmung vorausgeht und möglicherweise der implizite Abgleich mit Prototypie eine Rolle spielt.

2.3 GEHT DER BINDINGPROZESS DER EXPLIZITEN WAHRNEHMUNG VORAUSS?

Der nächste Absatz soll zeigen, dass die implizite Wahrnehmung in Form von Intuition möglicherweise auf Prototypie, Vertrautheit und Stimuluswiederholung beruht, welche Ausdruck zeitlicher Wiederholung sind. Prototypie, Vertrautheit und Stimuluswiederholung wurden außerdem mit ästhetischem Empfinden (Leder *et al.*, 2004) und Fluency (Reber *et al.*, 2004) in Verbindung gebracht. Ziel ist es zu demonstrieren, dass der expliziten Wiedererkennung eine implizite Wiedererkennung vorausgeht, die sich als diffuses „Kohärenzempfinden; Gestalttheitsempfinden“ manifestiert und auf intuitiv miteinander verbundenen Merkmalen beruht. Eine Verbindung kann dabei auch zu physiologischen Messungen hergestellt werden, bei welchen die induzierte Gammafrequenzerhöhung auch von der Kohärenz eines Reizes abhängig ist (Tallon-Baudry *et al.*, 1997). Es zeigte sich kein statistischer Unterschied zwischen einer echten und einer illusorischen explizit wahrgenommenen Kohärenz in der induzierten Gammafrequenzerhöhung (Tallon-Baudry *et al.*, 1996; Tallon-Baudry & Bertrand, 1999).

2.3.1 Eine semantische Objektrepräsentation wird voraktiviert

Im *Remote Associates Test* (RAT; Mednick, 1962) werden Worttriaden präsentiert, die mit einer vierten gemeinsamen Assoziation verbunden werden sollen. Beispielsweise werden „Salz“, „tief“ und „Schaum“ durch „Meer“ kohärent verbunden, während „Traum“, „Ball“

und „Buch“ keine gemeinsame Assoziation teilen und dadurch inkohärent sind. Dabei zeigte sich, dass Probanden Kohärenz von Inkohärenz diskriminieren können, ohne explizit die vierte Assoziation abzurufen (Bolte, Goschke, & Kuhl, 2003; Bowers, Regehrs, Balthazard, & Parker, 1990). Der Effekt konnte sogar unter Zeitdruck bis hin zu 1,5 Sekunden nachgewiesen werden (Bolte & Goschke, 2005). Bowden, Jung-Beeman, Fleck und Kounios (2005) gehen davon aus, dass sich der anfängliche Problemlöseprozess des Worttriadentests auf die starke Aktivierung einer problemlösungsirrelevanten und nicht auf die schwache Aktivierung der problemlösungsrelevanten Information konzentriert. Wird die relevante Information durch Fokuswechsel integriert, erfolgt die Lösungseinsicht. Als Stimulusmaterial wurden Worttriaden analog des Remote Associates Test (Mednick, 1962) (french, car, shoe; Lösung: horn) verwendet. Dabei zeigte sich ein plötzlicher Anstieg im Gammabandbereich, wenn die Einsicht ins Bewusstsein tritt. Der Anstieg der Gammafrequenz ist dabei schon 0,5 Sekunden vor der expliziten Wahrnehmung zu verzeichnen (Bowden et al., 2005). Außerdem zeigte sich ein Frequenzanstieg im Alphabandbereich 1,5 Sekunden vor der Einsicht. Die Autoren interpretierten den Alphaband-Power-Anstieg als Verringerung der neuronalen Aktivität, welche auf den Fokuswechsel zurückgeht (Bowden *et al.*, 2005).

Bolte und Goschke (2008) konnten in drei Experimenten zeigen, dass intuitive Beurteilung von Objektfragmenten zur „Kohärenz einer Gestalt; Gestalttheit“ auf der Aktivierung semantischer Objektrepräsentationen beruhten, sogar wenn diese Objektrepräsentationen nur implizit aktiviert wurden. Sie demonstrierten, dass richtig angeordnete Objektfragmente signifikant häufiger als kohärente Gestalt wahrgenommen wurden, ohne dass das Objekt explizit erkannt wurde. Des weiteren konnten die Objektnamen schneller durch die vorausgehende, implizite Wahrnehmung der Objektfragmente erkannt werden. Dies führte zu der Annahme, dass die implizite Wahrnehmung kohärenter Objektfragmente eine korrespondierende semantische Objektrepräsentation aktivieren kann. Es konnte dabei ausgeschlossen werden, dass die Aktivierung dieser internen Objektrepräsentation auf der Anzahl intakter Geons beruhte.

Zusammenfassend steht Kohärenzempfinden von Wörtern sowie Kohärenzempfinden von Objektfragmenten mit einer impliziten Repräsentation in Verbindung. Das verbindende vierte Wort (Bolte *et al.*, 2003; Bowers *et al.*, 1990) und das Objekt (Bolte & Goschke, 2008) mussten nicht explizit wahrgenommen werden, um die Wörter/Fragmente als kohärent zu erleben. Parallelen zwischen den verschiedenen Messungen von Kohärenzempfinden finden

sich auch in der Gammafrequenz. Sowohl die Problemlösungseinsicht durch Kohärenz bei Worttraden (Bowden et al., 2005), als auch eine explizit wahrgenommene illusorische Kohärenz bei Objektfragmenten (Ecken ohne verbindende Linien) (Tallon-Baudry et al., 1996; Tallon-Baudry & Bertrand, 1999), wurden mit erhöhter Gammafrequenz in Verbindung gebracht. Auch das Auffinden eines kohärenten Ziels in einem Punkteschwarm produzierte eine stärker induzierte Gammafrequenz-Antwort als eine vergleichbare Suche nach einem inkohärenten Ziel (Tallon-Baudry, Bertrand, Delpuech, & Pernier, 1997). In Bezug auf Gesichter in Objekten ist weiters festzuhalten, dass eine räumliche Überlagerung sich zeitlich wiederholender Muster auch erlaubt, deren semantischen Inhalt zu verknüpfen (Windhager et al., 2012) und die Interpretation von Gesichtern in Objekten bereits in einer frühen Verarbeitungsstufe (165 ms) stattfindet (Hadjikhani et al., 2009).

Auch in Übereinstimmung mit einer aktivierbaren Objektrepräsentation liegt die anfangs beschriebene Figure-Ground-Modulation (Lamme & Roelfsema, 2000), die nur dann auftritt, wenn die Figur gesehen/erkannt wurde. Die Nicht-gesehen-Bedingung entspricht dabei der Aktivität unter Narkose und nicht einer Aktivität bei geschlossenen Augen (Supèr, Spekreijse, & Lamme, 2001). Supèr et al. (2001) erklären die kontextuelle Modulation durch eine interne Repräsentation, die den Unterschied zwischen „Gesehen“ und „Nicht-Gesehen“ ausmacht und zwischen rein sensorischem Input und Entscheidungsprozessen auftritt. In einer weiteren Studie mit vergleichbaren Stimuli war die Figur-Hintergrund-Wahrnehmung durch einen Wechsel von breit synchronisierter Aktivität hin zu schmal synchronisierter Aktivität gekennzeichnet. Die Stärke dieser Transition sagt die erfolgreiche Erkennung der Figur voraus. Die Autoren vermuten eine Prä-Stimulus-Synchronisation niedriger Frequenzen, die antizipatorisches Feedback von höheren visuellen Arealen enthalten, lokale Synchronisation unterdrücken und durch Desynchronisation mit neuen Informationen verschwinden (Van der Togt, Kalitzin, Spekreijse, Lamme, & Supèr, 2006).

Die beschriebenen Arbeiten lassen vermuten, dass der expliziten Wahrnehmung eines Objekts eine implizite „(Vor)aktivierung“ vorausgeht. Die „(Vor)aktivierung“ in Form antizipatorischen Feedbacks von höheren visuellen Arealen liegt auch in Übereinstimmung mit den Ergebnissen einer fMRI-Studie (*Functional magnetic resonance imaging*) von Volz und Cramon (2006). Dabei reflektierte die Aktivierung des medianen Orbifrontalcortex (OFC) die intuitiv erlebte Kohärenz, in dem von Bolte und Goschke (2008) verwendeten *Waterloo Gestalt Closure Task* (Bowers et al., 1990). Der mediane OFC dürfte eine wesentliche Rolle

bei der Limitierung der Objektrepräsentation spielen (Bar *et al.*, 2006). Bar *et al.* (2006) beschreiben die Voraktivierung des OFC als “top-down facilitation of object recognition”, da sie in einer fMRI-Studie zeigen konnten, dass der OFC 50 ms vor der *fusiformen Region* aktiviert war, die für Objekterkennung eine wichtige Rolle spielt. Der Effekt der Top-down facilitation tritt stärker bei niedrigen räumlichen Frequenzen auf. Volz und Cramon (2006) kritisierten die Beschreibung von Bar *et al.* (2006), diese Voraktivierung als Top-down-Prozess zu bezeichnen, da sie auf dem impliziten Wissen des Beobachters beruht und nicht aus dem expliziten Wissen extrahiert wird. Sie beschreiben die Voraktivierung als *gist information*. Parallelen dieser zyklischen Organisation könnten auch zum anfangs beschriebenen hermeneutischen Zirkel gezogen werden, in welchem das Zustandekommen von Verständnis zirkulär erklärt wird: Das Ganze muss aus seinen Teilen und die Teile müssen aus dem Ganzen verstanden werden (z. B. Mantzavinos, 2008). Eine implizite Limitierung der Objektrepräsentationen durch Top-down-Prozesse könnte möglicherweise auch als implizite Aktivierung von Prototypie verstanden werden und eine zentrale Rolle in der perzeptuellen Gruppierung spielen. Im Folgenden soll gezeigt werden, dass die Voraktivierung eines semantischen Inhalts die perzeptuelle Organisation beeinflusst.

2.3.2 Voraktivierung des semantischen Inhalts beeinflusst die perzeptuelle Organisation

Engel, Fries und Singer (2001) argumentieren, dass Top-down-modulierte interareale Synchronisation die kontextabhängige Antizipation koordinieren könnte. Eine fortlaufende, niederfrequente, neuronale Aktivität beeinflusst Synchronisationsprozesse und wird als „generelle Erwartungshaltung“ interpretiert. Analog ambivalenter Bilder, bei welchen Engel *et al.* (2001) Top-down-Einflüsse auf die Aktionspotentialsynchronisation vermuten, wirkt sich Vorkategorisierung auch phänomenologisch auf die perzeptuelle Organisation aus. In einem Experiment von Schyns und Oliva (1999) zeigte sich, dass vorausgehende Kategorisierung die Wahrnehmung von Gesichtern über deren räumliche Skalierung beeinflusst. Dies liegt auch in Übereinstimmung mit den Befunden von Bar *et al.* (2006), Volz und Cramon (2006) sowie Bolte und Goschke (2008), die von einer Voraktivierbarkeit der Objektrepräsentationen ausgehen. Das Bindingproblem beschreibt damit auch die Schnittstelle zwischen Top-down und Bottom-up Prozessen.

In dem Experiment von Schyns und Oliva (1999) wurden gegengeschlechtliche Hybridgesichter angefertigt, indem grobe/niedrige räumliche Frequenzen des einen Geschlechts mit feinen/hohen räumlichen Frequenzen des opponierenden Geschlechts kombiniert wurden. In drei Experimenten konnte gezeigt werden, dass eine vorausgehende Kategorisierungsaufgabe (Gesichtsausdruck, Art des Ausdrucks, Geschlecht und Gesichtsidentifikation) die Wahrnehmung der Skalierung räumlicher Frequenzen in einer schnellen Erkennungsaufgabe beeinflussen kann. Der Effekt einer Aufgabe (Grobskalierungs-Bias bei Gesichtsidentifikation) ist dabei auch auf andere Aufgaben (Geschlechtsidentifikation und Art des Ausdrucks) übertragbar. Die Manipulierbarkeit der perzeptuellen Organisation liefert einen Hinweis, dass der Bindingprozess der expliziten Wahrnehmung vorausgeht.

Gosselin und Schyns (2003) versuchten eine interne Repräsentation zu veranschaulichen, indem sie Probanden den Buchstaben „S“ sowie ein „Lächeln“ in einem weißen Rauschen mit neutraler Orientierung räumlicher Frequenzen suchen ließen. Der Top-down-Bias überzeugte Probanden in einigen Fällen glaubhaft, den gesuchten Reiz erkannt zu haben. Die Probandenstichprobe war dabei jedoch zu klein, um die Ergebnisse generalisieren zu können. Parallelen können auch zur Kunstevaluation gezogen werden, in welcher sowohl Bottom-up-Prozesse als auch Top-down-Prozesse eine Rolle spielen. Cupchik, Vartanian, Crawley und Mikulis (2009) konnten in einer fMRI-Studie zeigen, dass für die Kunstevaluation sowohl Top-down-Prozesse als auch Bottom-up-Prozesse für die Konstruktion des Bildes eine Rolle spielen. Der Top-down-Prozess war dabei durch die Aktivierung des linken, lateralen Präfrontalcortex repräsentiert, während der Bottom-up-Prozess durch Aktivierung des linken, superioren Parietallappens gezeigt werden konnte.

Zusammenfassend zeigen diese Studien, dass eine „(Vor)aktivierung“ die explizite Wahrnehmung über die perzeptuelle Gruppierung beeinflussen kann. Diese „(Vor)aktivierung“ könnte bereits als „antizipatorisches Feedback“ (Van der Togt et al., 2006), „interne Repräsentation“ (Tallon-Baudry & Bertrand, 1999; Supér et al., 2001), „gist information“ (Volz und Cramon, 2006), „top-down-facilitation“ (Bar et al., 2006), „Erwartungshaltung“ (Engel et al., 2001), „kortikale Repräsentation“ (Singer, 1993), die durch Hebb prognostizierten „konsolidierten Neuronen, die durch äußere Reize reaktiviert werden können“ (z. B. Bear et al., 2009) oder „semantische Objektrepräsentation“ (Bolte & Goshke, 2008) beschrieben worden sein und beruht wahrscheinlich auf sich zeitlich wiederholenden, distinkten Merkmalen (z. B. Biederman, 1987; Leder & Bruce 1998; Leder

& Bruce 2000, Lee et al., 2000), möglicherweise auch auf der Ähnlichkeit von sich zeitlich wiederholenden, distinkten Merkmalen (Hadjikhani *et al.*, 2009; Windhager *et al.*, 2012). Beruht die „(Vor)aktivierung“ auf einem Abgleich mit Häufigkeit und Ähnlichkeit von Stimulusmerkmalen, könnte dies einer perzeptuellen Organisation durch Prototypie entsprechen. Der Einfluss eines impliziten, antizipatorischen Feedbacks auf die perzeptuelle Gruppierung soll als Argument dienen, dass der Bindingprozess der expliziten Wahrnehmung vorausgeht. Existieren mehrere Möglichkeiten der perzeptuellen Gruppierung, ergibt sich die Vermutung, dass visuelle Informationen um die explizite Wahrnehmung miteinander in Konkurrenz stehen.

2.4 STEHEN SENSORISCHE INFORMATION MITEINANDER UM DIE EXPLIZITE WAHRNEHMUNG IN KONKURRENZ?

Visuelle sensorische Informationen werden von der Retina zum primären visuellen Cortex geleitet, der retinotop (Strasburger, Rentschler, & Jüttner, 2011) und kolumnal organisiert ist (Pinel, 2007). Durch unterschiedliche rezeptive Felder (Tanaka, 1993; Pasupathy & Connor, 2001; Pasupathy & Connor, 2002; Cadieu *et al.*, 2004) und verschiedene neuronale Bahnen (Pinel, 2007) wird die Information *aufgetrennt* und *unterschiedlich* integriert. Die rechte Hemisphäre ist dominant in der Wahrnehmung von niederfrequenten, räumlichen, globalen Beziehungen und die linke Hemisphäre ist dominant in der Wahrnehmung von hochfrequenten, kategorialen, lokalen Aspekten (Hellige, 1996). Auch die ventrale „Was-Bahn“ und die dorsale „Wo-Bahn“ (Ungerleider & Haxby, 1994) sprechen für eine zeitgleiche Differenzierung derselben Information durch die Integration unterschiedlicher Aspekte. Im Folgenden soll argumentiert werden, dass die unterschiedlichen Verarbeitungspfade durch den Bindingprozess vor der expliziten Wahrnehmung miteinander verbunden werden und auch in Konkurrenz um die explizite Wahrnehmung stehen, wenn diese sich nicht zu einer einheitlichen Wahrnehmung verbinden lassen. Um diese mögliche Konkurrenz genauer einzugrenzen, soll versucht werden den Weg visueller Information zwischen Netzhaut und expliziter Wahrnehmung nachzuvollziehen.

2.4.1 Spatial-frequency theory

Damit ein Merkmal distinkt werden kann, muss es sich von anderen Merkmalen unterscheiden. Im einfachsten Fall entspricht dies einer räumlichen Differenzierung eines Punktes zu einer Linie. Nach der *spatial-frequency theory* (De Valois & De Valois, 1988) operiert der visuelle Cortex wahrscheinlicher auf räumlichen Frequenzen als auf Balken und Kanten, wie zuerst von Hubel und Wiesel vorgeschlagen (1959). Dafür spricht die Beobachtung, dass rezeptive Felder sensibler auf Sinuswellenwinkelveränderungen als auf Kantenwinkelveränderungen reagieren (De Valois & De Valois, 1988). Der erste Vorteil einer frequenzkodierten Kanteninformation besteht darin, dass jeder Stimulus als Lichtintensitätsunterschied (Wechsel zwischen helleren und dunkleren Linien) eines *Sinuswellengitters* repräsentiert werden kann.

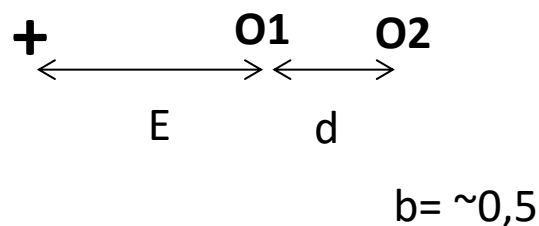
Der zweite Vorteil besteht darin, dass jede noch so komplexe Wellenfunktion in einfache Sinuswellen zerlegt werden kann. Die Lichtintensitätsunterschiede des Sinuswellengitters entsprechen einer aktionspotentialkodierten, komplexen Wellenfunktion, die zum visuellen Cortex weitergeleitet wird. Die *spatial-frequency theory* (De Valois & De Valois, 1988) geht davon aus, dass der visuelle Cortex eine *Fourier Transformation* durch rezeptive Felder durchführt. Eine Fourier Transformation entspricht einer Zerlegung einer komplexen Welle in ihre Sinuswellen.

Die physiologische Umsetzung der Fourier Transformation gestaltet sich jedoch schwierig, da das theoretische Spektrum einer Sinuswelle unbegrenzt ist, während das Auge limitiert ist, Kontraste wahrzunehmen. Optimal erkannt wird im zentralen Sehen eine Rasterung von etwa 9 Linienpaaren pro Grad Sehwinkel (Bruce et al., 2003). Eine Multiplikation einer Gauß'schen Verteilung mit einer Sinuswelle ist eine Gabor-Funktion. Die limitierte normalverteilte Kontrastempfindlichkeit des Auges multipliziert mit einer Sinuswelle lässt demnach eine Gabor-Funktion erwarten. Physiologische Unterstützung erfährt die Theorie durch simple Zellen im visuellen Cortex, die analog der Gabor-Funktion Output generieren (Bruce et al., 2003). Die Kontrastempfindlichkeit stellt somit einen visuellen Wahrnehmungsengpass dar. Neben Kontrastempfindlichkeit wurde auch ein zweiter visueller Wahrnehmungsengpass des peripheren Sehens beschrieben.

2.4.2 Perzeptuelles Crowding

Es zeigt sich, dass im peripheren Sehen der Abstand eines Objekts zu anderen Objekten entscheidet, ob diese als distinkt wahrgenommen werden. Dies ist als perzeptuelles crowding bekannt (Strasburger, Rentschler, & Jüttner, 2011; Whitney & Levi, 2011). Unterschreiten Objekte im peripheren Sehen eine kritische Distanz zueinander, können diese nicht mehr unabhängig voneinander wahrgenommen werden. Anzumerken ist hierbei, dass die Identifikation der Kantenorientierung und nicht die Detektion einer Kanteninformation durch perzeptuelles crowding erschwert wird. Die kritische Distanz ist dabei als Bouma's Daumenregel beschrieben worden:

Bouma's Daumenregel:



(Strasburger *et al.*, 2011; Whitney & Levi, 2011)

Befinden sich zwei Objekte (*O1* & *O2*) außerhalb des Fokusbereichs des Auges (+), wird dies nur dann als unabhängig voneinander wahrgenommen, wenn die Distanz zwischen ihnen (*d*) mindestens $\sim 0,5$ mal (*b*) der Abweichung vom Fokusbereich (*E*) entspricht ($d = b \cdot E$) (Strasburger *et al.*, 2011; Whitney & Levi, 2011). Durch die proportionale Abhängigkeit der Beziehung ist die kritische Distanz allein von der Fokusabweichung und nicht von der Größe der Objekte abhängig. Das periphere Sehen ist für das Erkennen in kurzer Präsentationszeit wichtiger als das zentrale Sehen (Strasburger *et al.*, 2011). Neben der Kontrastempfindlichkeit stellt das perzeptuelle crowding somit einen wesentlichen Engpass der visuellen Wahrnehmung dar. Ein weiterer Wahrnehmungsengpass ist der Informationsverlust.

2.4.3 Informationsverlust

He und MacLeod (2001) konnten zeigen, dass ein *Tilt-Nacheffekt* - bei dem man vorübergehend unempfindlich gegen visuelle Muster wird, die vorbelichteten Muster ähneln - auch dann auftritt, wenn diese nicht explizit gesehen werden. Die Autoren vermuten, dass die Informationen nur explizit wahrgenommen werden, wenn sie auch bis in andere Gehirnregionen weitergeleitet werden. Dies liegt in Übereinstimmung mit Befunden von Crick und Koch (1995), die davon ausgehen, dass Primaten Informationen in der V1-Region nicht explizit wahrnehmen. Die V1-Region ist strukturanalog mit dem primären visuellen Cortex. Dies soll als Argument dienen, dass der Bindingprozess/Gestaltbildungsprozess der expliziten Wahrnehmung vorausgeht und auch Informationen bis zur expliziten Wahrnehmung verloren gehen.

Im Folgenden wird ein Modell vorgestellt, in welchem der Bindingprozess der expliziten Wahrnehmung vorausgeht und auf der Kombination räumlicher Frequenzen beruht. Kombiniert wird dabei proportionale räumliche und zeitliche Wiederholung. Die Kombinationsmöglichkeiten räumlicher Frequenzen sollten durch die Kontrastwahrnehmung des Auges und durch den Wahrnehmungsengpass des peripheren Sehens begrenzt werden, sowie mit einem expliziten Informationsverlust einhergehen. Wahrscheinlicher explizit wahrgenommen wird dabei visuelle Information, welche sich durch proportionale räumliche und zeitliche Wiederholung zu einer Gestalt perzeptuell organisieren lässt. Visuelle Information beziehungsweise unterschiedliche Aspekte visueller Information, hätten demnach **unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten**, explizit wahrgenommen zu werden. Die Konkurrenz der Wahrnehmungswahrscheinlichkeit visueller Informationen wird im folgenden Modell als *Interferenz* der Weiterleitungswahrscheinlichkeit beschrieben.

2.4.4 Interferenz-Modell

Das Modell geht davon aus, dass der Bindingprozess auf der Interferenz von sensorischer Information basiert. Information wird dabei durch Weiterleitungswahrscheinlichkeiten (WLW) beschrieben, die als Aktionspotentiale kodiert weitergeleitet werden und den physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Welleninterferenz folgen sollten. Eine vergrößerte

Weiterleitungswahrscheinlichkeit führt dabei zur expliziten Wahrnehmung und ist auf die Kombination von Information durch proportionale räumliche und zeitliche Wiederholung zurückzuführen. Eine verringerte Weiterleitungswahrscheinlichkeit führt dabei zum Informationsverlust in der expliziten Wahrnehmung. Dies würde einer Informationsintegration durch Synchronisation entsprechen. Die Informationsintegration würde dabei sowohl hierarchisch als auch spezialisiert erfolgen. Komplexe visuelle Information wird in deren einzelne sinuswellenförmige WLW-Frequenzen durch integrative Strukturen aufgetrennt und im Laufe der Signalausbreitung zusammengesetzt.

2.4.4.1. *Räumliche Wiederholungen werden wahrscheinlicher weitergeleitet– Signal*

Nach der spatial-frequency theory (De Valois & De Valois, 1988) werden räumliche Frequenzen von rezeptiven Feldern in Einzelsinuswellen – genauer zur kontrastabhängigen Gabor-Funktion einer Einzelsinuswelle (Bruce et al., 2003) – zerlegt. Diese sollten sich in Form von EPSPs und Aktionspotentialen über das angeschlossene Netzwerk von Neuronen ausbreiten. Eine Einzelsinuswelle (A) sollte dabei wahrscheinlicher weitergeleitet werden, wenn eine zweite Einzelsinuswelle (B) zeitgleich eine postsynaptische Membran depolarisiert. Auf die Frequenz übertragen findet eine Vergrößerung der Weiterleitungswahrscheinlichkeit statt, wenn die beiden Frequenzen (A & B) zeitlich in Phase liegen. In Bezug auf die Auslösung eines Aktionspotentials entspricht dies einer konstruktiven Interferenz ($2a = 2\pi * m$) der WLW (siehe Abb. 18). Auf Grund des digitalen Charakters eines Aktionspotentials liegen WLW-Frequenzen nur als ganzzahliges Vielfaches ihrer absoluten Refraktärperiode in Phase. Ein ganzzahliges Vielfaches (m) entspricht einer Phasenverschiebung von 0° und 360° . Die bogenförmige Phasenverschiebung (2π) der Welleninterferenz wird daher durch den konstanten Term der Refraktärperiode (rp) ersetzt. Konstruktive Interferenz ($2a$) kann demnach nur als gleiches oder ein ganzzahliges Vielfaches (m) der absoluten Refraktärperiode (rp) entstehen und würde dadurch die Signalübertragungswahrscheinlichkeit in der postsynaptischen Membran verdoppeln ($2a = m * rp$), indem diese doppelt so stark depolarisiert wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Aktionspotential ausgelöst wird, verdoppelt sich demnach nur als gleiches oder ganzzahliges Vielfaches der Refraktärperiode zweier WLW-Frequenzen. Konstruktive Interferenz zweier WLW-Frequenzen entspricht daher einer überzufälligen Weiterleitungswahrscheinlichkeit. Information wird

wahrscheinlicher weitergeleitet, wenn ihr distinktes Timing der WLWen gleich oder ganzzahlig vielfach der Refraktärperiode ist ($B = A * m$) (siehe Abb. 17)

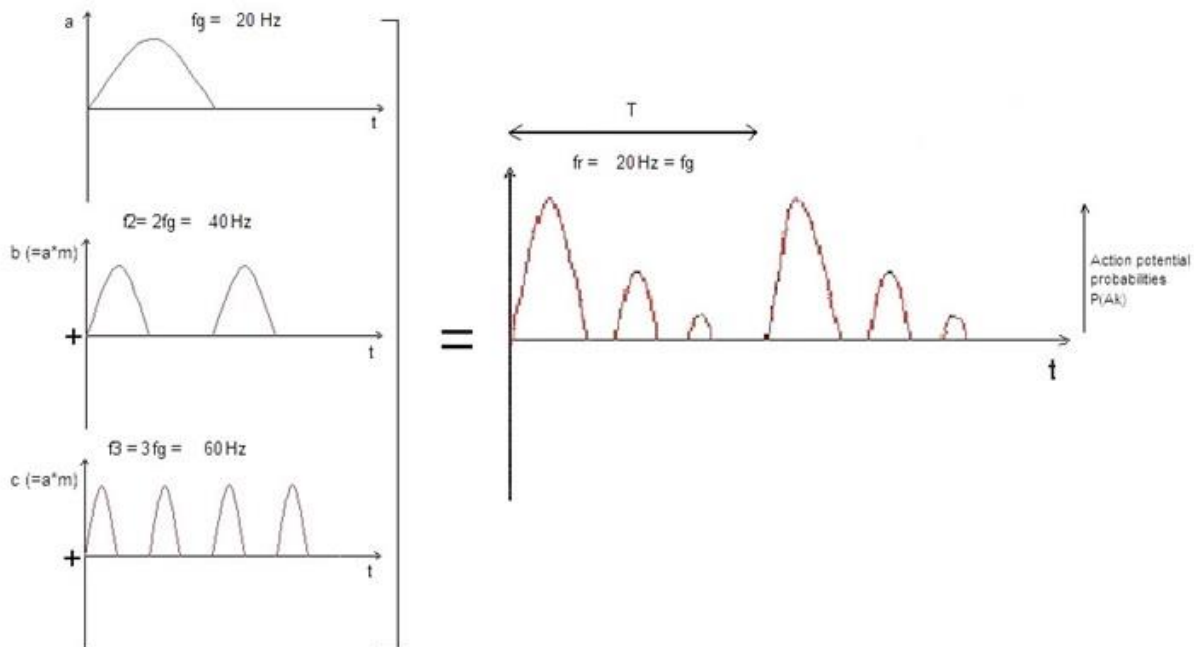


Abbildung 17. Zusammensetzung dreier sinusförmiger Frequenzen (a,b,c) durch konstruktive Interferenz (=größere Aktionspotentialwahrscheinlichkeitsamplitude) und deren akkumulierten Aktionspotentialwahrscheinlichkeiten als ganzzahliges Vielfaches der absoluten Refraktärperiode über die Zeit.

Die Interpretation der Literaturrecherche weist darauf hin, dass räumliche Wiederholung von Bedeutung für die perzeptuelle Organisation ist und fluenter erlebt wird als keine Wiederholung. Da jedes Erleben eine physiologische Entsprechung im Gehirn aufweisen muss, sagt das vorgestellte Modell eine physiologische Entsprechung räumlich wiederholter Information vorher. Bei der physiologischen Entsprechung der Wiederholung räumlicher Frequenzen sollte es sich um die phasengleiche Refraktärperiode handeln. Ein Beispiel für Wiederholung räumlicher Frequenzen mit gleicher Refraktärperiode wäre zweiseitige Symmetrie. Die einander gegenüberliegenden räumlichen Frequenzen würden wahrscheinlicher gemeinsam weitergeleitet werden, da sie durch die gleiche Frequenz gleichzeitig integriert zeitlich in Phase liegen würden. Dies liegt theoretisch auch in Übereinstimmung mit Neuenschwander et al. (1996), die eine Synchronisation retinaler Ganglienzellen bei visueller Winkelabweichung von bis zu 26° beobachten konnten. Die

Oszillationen waren anfangs nicht synchronisiert und von Größe und Kontinuität des Stimulus abhängig. Das ganzzahlige Vielfache der Refraktärperiode würde einer proportionalen Wiederholung räumlicher Frequenzen entsprechen. Beispiele für proportionale Wiederholung räumlicher Frequenzen wäre jede Form proportionaler Ordnung. Da der Bindingprozess der expliziten Wahrnehmung nach diesem Modell vorausgeht, sollte die explizite Wahrnehmung von Ordnung erst **durch** die proportionale Wiederholung räumlicher Frequenzen entstehen. Ordnung sollte demnach eine höhere Wahrscheinlichkeit aufweisen, explizit wahrgenommen zu werden, als zufällige Variabilität.

2.4.4.2 Zeitliche Wiederholungen werden wahrscheinlicher weitergeleitet– Signal

Das vorgestellte Modell sagt eine physiologische Entsprechung zeitlich wiederholter Information vorher. Eine interferenzverstärkte Weiterleitungswahrscheinlichkeit könnte als Raum-Zeit-Koordinate von kongruenten neuronalen Entladungen beschrieben werden. Die überzufällige Weiterleitungswahrscheinlichkeit enthält je nach Blickwinkel *nur* die Beziehung verschiedener integrativer neuronaler Strukturen beziehungsweise *nur* die Relation integrierter Information zueinander und ist in der zeitlich kongruenten Weiterleitungswahrscheinlichkeit von Aktionspotentialen kodiert. Je weiter sich das Signal ausbreitet, desto mehr integrative neuronale Strukturen wären an dem Signal beteiligt. Dies würde auch in Übereinstimmung mit Befunden zum EKP liegen, dessen Anteil interner Prozesse mit Dauer der Latenzzeit zunimmt, während Bottom-up-Prozesse vorwiegend in der Anfangsphase zu finden sind. Außerdem findet mit zunehmender Dauer ein Abgleich mit bereits gespeicherten Mustern statt (Bierbaum & Schmidt, 2006). Der zunehmende Abgleich mit gespeicherten Mustern liegt auch in Übereinstimmung mit der synaptischen Plastizität, nach der Neuronen auch Träger von Gedächtnisspuren sind (z. B. Bear et al., 2009). Synaptische Plastizität, in Form von *Short-term-potentiation* (Zucker & Regehr, 2002) und *Long-term-potentiation* (Lüscher & Malenka, 2012), würde die Weiterleitungswahrscheinlichkeit dadurch beeinflussen, dass die postsynaptische Membran überdurchschnittlich stark depolarisiert wird, wenn räumliche Frequenzen bereits zusammen aufgetreten sind. Die stärkere postsynaptische Depolarisation könnte dabei physiologisch einer zeitlichen Wiederholung räumlicher Frequenzen entsprechen. Dieser Mechanismus könnte bereits durch das *verteilte Gedächtnis* (vergleiche z.B. Bear et al., 2009) beschrieben worden sein, welches keinen bestimmten Ort des Gedächtnisses im Gehirn vermutet. Beruht

die Signalweiterleitung unter anderem auf dem Abgleich mit Häufigkeit und Ähnlichkeit räumlicher Frequenzen, könnte dies einer perzeptuellen Organisation durch Prototypie entsprechen.

2.4.4.3 Unregelmäßigkeit werden weniger wahrscheinlich weitergeleitet – Noise

Abhängig von der beteiligten Anzahl kongruenter WLWen erhöht sich die Signalübertragungswahrscheinlichkeit in der postsynaptischen Membran. Je mehr integrative Strukturen an dem Signal beteiligt sind beziehungsweise je häufiger sich räumliche Frequenzen räumlich und/oder zeitlich wiederholen, desto größer wäre die gemeinsame WLW. Trifft eine WLW auf die absolute Refraktärperiode einer unsynchronisierten WLW in der postsynaptischen Membran, verringert sich deren Weiterleitungswahrscheinlichkeit (siehe Abb. 18).

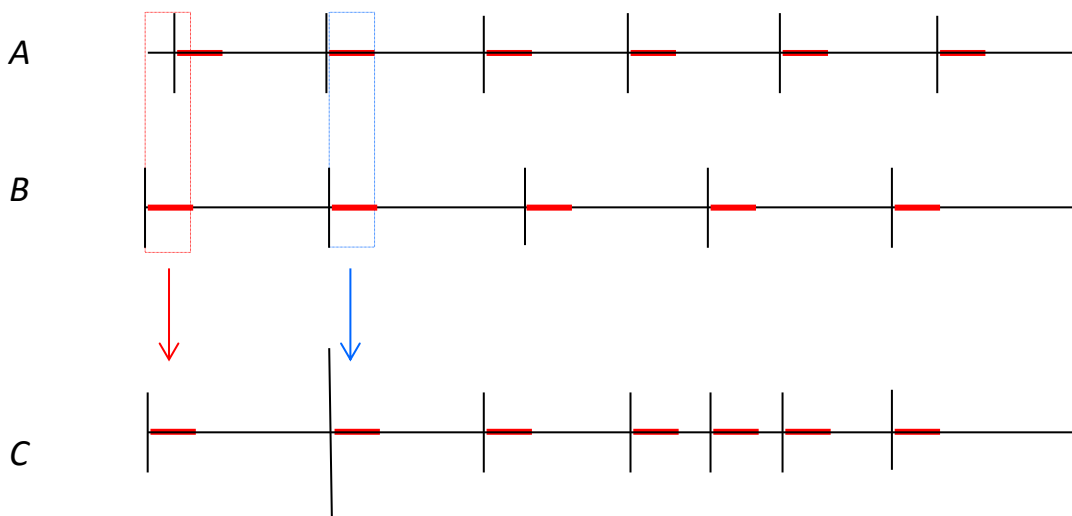


Abbildung 18. Beispiel für destruktive (rotes Kästchen) und konstruktive Interferenz (blaues Kästchen) der WLW zweier integrativer Strukturen (A & B), durch Überlappung ihrer Refraktärzeiten (rote Linie) in der postsynaptischen Membran. Das weitergeleitete Signal enthält die Beziehung der beiden integrativen Strukturen (A & B) in der überzufälligen Weiterleitungswahrscheinlichkeit (C unter blauem Kästchen).

Die Verringerung der Weiterleitungswahrscheinlichkeit von Information durch Kollision mit der Refraktärperiode einer konkurrierenden Information, entspricht einer destruktiven

Interferenz und steht in Übereinstimmung mit Befunden von He und MacLeod (2001) sowie Crick und Koch (1995), die davon ausgehen, dass Informationen erst durch Weiterleitung aus der V1-Region explizit wahrgenommen werden. Destruktive Interferenz wäre dabei ein wichtiger Bestandteil der Signalbildung, indem Informationen dadurch erst strukturiert werden. Dies liegt auch mit Lennies (1998) Arbeit zum visuellen Cortex in Übereinstimmung, welche nahelegt, dass der größte Anteil der visuellen Verarbeitung in der V1, V2 sowie V4 Region stattfindet. Diese verbrauchen einen großen Anteil kortikaler Ressourcen, um eine vergleichsweise geringe Menge an Information (Position & Oberfläche) zu kodieren. Übertragen auf das Interferenz-Modell benötigt die Selektion eines Signals Zeit und Weg (genauer Häufigkeit destruktiver Interferenzen), um gebildet zu werden.

Die Überlegung, dass destruktive Interferenz einen notwendigen Bestandteil der Signalausbreitung darstellen könnte, liegt auch in Übereinstimmung mit den Funden von Peng, Hu, Zhang und Hu (2012). Diese zeigten, dass Alpha-Band Desynchronisationen vor der P300-Welle des EKPs entstehen und auch den gleichen Entstehungsort aufweisen. Der Fund wurde dahingehend interpretiert, dass die Desynchronisation möglicherweise an der Entstehung der P300 beteiligt ist. Außerdem hat eine außergewöhnlich ähnliche Verteilung der Alpha-Band Desynchronisationen und der P300 unter der „target“-Bedingung zu der Annahme geführt, dass beide Prozesse von denselben kognitiven Aktivitäten – Aufmerksamkeit und Gedächtnis – abhängen, mit denen die beiden Prozesse einzeln bereits in Verbindung gebracht wurden (Peng, Hu, Zhang, & Hu, 2012). Dies liegt auch in Übereinstimmung mit Ereignis-evozierten Desynchronisationen, die mit dem Ereignis zeitlich in Verbindung stehen (*time-locked*), aber nicht synchronisiert (*phase-locked*) sind. Diese werden meist nur als Signalrauschen (Noise) interpretiert. Ereignis-evozierte Desynchronisationen finden sich vorwiegend im niederfrequenten Alpha - (8-12 Hz) und Betabandbereich (13-35 Hz) (Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999). Unter der Annahme einer Frequenzheterogenität sollte die Wahrscheinlichkeit, auf eine konstant bleibende Refraktärperiode einer anderen WLW-Frequenz in der postsynaptischen Membran zu treffen, mit Höhe der Frequenz zunehmen. Die Information hochfrequenter Oszillationen ginge demnach wahrscheinlicher durch destruktive Interferenz verloren. Diese Überlegung passt zu der Beobachtung von Pfurtscheller und Lopes da Silva (1999, S. 1843): “In general, the frequency of brain oscillations is negatively correlated with their amplitude”. Eine einfache Daumenregel, um die Anzahl der beteiligten integrativen Strukturen an einem Signal zu schätzen, liegt daher in der Frequenz. Dies stimmt auch mit der Literatur überein, in der

insbesondere der hochfrequente Gammabandbereich mit Binding und höheren kognitiven Prozessen in Zusammenhang gebracht wird (z.B. Tallon-Baudry & Bertrand, 1999; Engel & Singer, 2001). Die hohe Frequenzspezifität der EEDs im niederfrequenten Alpha- und Betabandbereich und deren Interpretation als Signalrauschen (Pfurtscheller & Lopes da Silva, 1999) würde nach dem Interferenzmodell auf parallele Synchronisationen mit geringer Anzahl beteiligter integrativer Strukturen hindeuten, die wahrscheinlichkeitsbedingt zufällig während des Bindingprozesses entstehen und durch destruktive Interferenz wieder verloren gehen.

Mit fortlaufender Dauer des Prozesses würde dadurch eine Beziehung integrativer Strukturen beziehungsweise eine Beziehung integrierter Information selektiert werden, die aus konstruktiver Interferenz ein Signal und aus destruktiver Interferenz Hintergrundrauschen (Noise) bildet. Dies liegt auch in Übereinstimmung mit EKP-Messungen, die wiederholt gemessen und gemittelt werden müssen, um das Signal-to-noise-Ratio zu verbessern, da der überwiegende Teil einer ereigniskorrelierten Feldspannungsmessung als Noise interpretiert wird. Parallelen zur Beobachtung des EKPs, welches die Informationskaskade repräsentiert, die mit Aufmerksamkeit und Gedächtnis assoziiert ist, und dem Interferenz-Modell finden sich dahingehend, dass die explizite Wahrnehmung mit Aufmerksamkeit und zeitliche Wiederholung mit dem Gedächtnis in Verbindung stehen.

2.4.4.4 Inhibition beeinflusst Signalausbreitungsrichtung

Meinem Wissen nach unterscheiden sich inhibitorische postsynaptische Potentiale nicht in ihrer Polarisationsstärke und sollten daher keinen Einfluss auf den Bindingprozess haben. Sie könnten allerdings dazu dienen, durch feedforward Inhibition das allgemeine Erregungslevel zu verringern, und durch die feedback Inhibition die Ausbreitungsrichtung zu beeinflussen. Die feedback Inhibition ist dabei stärker als die feedforward Inhibition (Tepper, Wilson, & Koos, 2008). Die stärkere feedback Inhibition würde zusammen mit der Refraktärperiode einen Signalarücklauf verhindern bzw. die Signalausbreitungsrichtung beeinflussen. Theoretisch ist aber auch eine modulierende Wirkung der IPSPs auf den Bindingprozess durch differenzierte Polarisation der postsynaptischen Membran nicht auszuschließen.

Zusammenfassend würde das Interferenzmodell ein Signal vorhersagen, welches sich wahrscheinlicher aus proportionalen, räumlich und zeitlich wiederholenden, sinusförmigen räumlichen Frequenzen zusammensetzt. Außerdem würde das Interferenzmodell ein

Signalrauschen (Noise) vorhersagen, welches aus explizit weniger wahrscheinlich wahrnehmbarer Information besteht. Räumliche Wiederholung beziehungsweise auch proportionale räumliche Wiederholung entspricht dabei einer überzufälligen Weiterleitungswahrscheinlichkeit durch ein ganzzahliges Vielfaches der Refraktärperiode sinusförmiger räumlicher Frequenzen. Zeitliche Wiederholung hat eine Entsprechung im synaptischen Spalt in Form einer überzufälligen Weiterleitungswahrscheinlichkeit, indem die postsynaptische Membran stärker durch Vorausslösungen einzelner, sinusförmiger, räumlicher Frequenzen depolarisiert wird. Dies liegt auch in Übereinstimmung mit Modellen zum verteilten Gedächtnis in Form von synaptischer Plastizität (z. B. Spitzer, 1996; Bear et al., 2009). Im Folgenden werde ich versuchen zu demonstrieren, dass Information und Energie eine Entsprechung im synaptischen Spalt aufweisen. Die Schnittstelle zwischen Energie und Information liegt dabei in der energieeffizienten Weiterleitung von Information. Es soll argumentiert werden, dass die Zusammenfassung räumlich und zeitlich wiederholter Information die Energiebilanz verbessert und auf das Energiegefälle der Homöostase zurückzuführen ist.

2.5 IST PERZEPTUELLE ORGANISATION DURCH REDUKTION RÄUMLICHER UND ZEITLICHER REDUNDANZ AUF EIN HOMÖOSTATISCHES ENERGIEGEFÄLLE ZURÜCKZUFÜHREN?

Das Gehirn benötigt im Vergleich zu anderen Organen viel Energie. Das Ausmaß dieses metabolischen Energieengpasses wird an der Kinderentwicklung deutlich, bei der eine negative Korrelation zwischen Körperwachstum und Energiekonsum des Gehirns gefunden wurde (Kuzawaa *et al.*, 2013). Dabei liegt der Energiekonsum des Gehirns bei Vierjährigen bei bis zu 43% des Gesamttagesenergieverbrauchs. Erwachsene Gehirne benötigen mit bis zu 20% der Gesamttagesenergie ebenso einen großen Anteil. Der größte Energieverbrauch des Gehirns entfällt auf die Kommunikation durch Aktionspotentiale und die dafür notwendige Aufrechterhaltung des Ruhemembranpotentials (Attwell & Laughli, 2001). Diese metabolische Energie der Kommunikation durch Aktionspotentiale entspricht dem Energieverbrauch bei der Hydrolyse von Adenosintriphosphat (ATP) zu Adenosindiphosphat

(ADP), zur Herstellung des Ruhemembranpotentials durch die Natrium-Kalium-Pumpe. Anschließend wird das ATP unter Aufwendung von Energie wieder hergestellt, um erneut die Natrium-Kalium-Pumpe anzutreiben. Es wird geschätzt, dass die Natrium-Kalium-Pumpe etwa 70% der ATP-Menge verbraucht, die das Gehirn benötigt (z. B. Bear *et al.*, 2009). Ein Drittel des ATPs wird für den Zellhaushalt verwendet (Du *et al.*, 2007). Bei Ratten konnte gezeigt werden, dass Glycogen - der größte Energiespeicher des Gehirns - im Wachzustand abgebaut wird. Nach 12 Stunden Schlafentzug fiel der Glycogenspeicher um ca. 40%. Nach einer Erholungsphase von 15 Stunden drehte sich der Effekt um und der Glycogenspeicher war um 27% vergrößert (Kong *et al.*, 2002). Die Autoren vermuten in der Verringerung des Energiespeichers und der damit einhergehenden Verringerung der ATP-Produktion die Ursache für ein einsetzendes Schlafbedürfnis. Sie bezeichnen die Vergrößerung des bioenergetischen Stresses durch die Homöostaseimbalance als *homeostatic drive* (Kong *et al.*, 2002). Die Homöostase des Gehirns wird durch die Blut-Hirn-Schranke aufrechterhalten und ist lebensnotwendig. Eine Studie bei Ratten zeigte, dass die Verwertung von Glucose – einem wichtigen Energieträger – hoch mit der Menge korreliert, mit der Glutamat in Glutamin von Gliazellen metabolisiert wird. Glucoseabbau korreliert damit direkt mit dem wichtigsten und häufigsten exzitatorischen Neurotransmitter Glutamat (Sibson *et al.*, 1998). Die limitierten Energieressourcen des Gehirns – in Form eines bioenergetischen Stresses durch die Homöostaseimbalance – sollte eine Informationsweiterleitungseffizienz notwendig machen. Im synaptischen Spalt hat metabolische Energie eine physiologische Entsprechung in Form der Natrium-Kalium-Pumpe, welche die Signalweiterleitung durch Aktionspotentiale erst ermöglicht. Information hätte eine Entsprechung in Form der beschriebenen Weiterleitungswahrscheinlichkeit. Das Hauptmerkmal räumlicher und zeitlicher Wiederholung ist Redundanz, welche durch den beschriebenen Mechanismus des Interferenz-Modells progressiv verringert werden könnte.

Um den Zusammenhang zwischen Redundanz von Information und Energie verdeutlichen zu können, stelle ich in einem Gedankenexperiment die Reduktion der energieaufwändigen Informationsträger dem Informationsverlust gegenüber. Dahinter steht die Überlegung, dass sich Unregelmäßigkeit, im Vergleich zur redundanten Regelmäßigkeit, direkt proportional zur Reduktion der Informationsträger verhält. Dies soll an der Analogie eines Buches verdeutlicht werden: Ein Buch voller zufälliger Wörter kann, im Gegensatz zu einem Buch mit der gleichen Anzahl an Wörtern und sich regelmäßig wiederholenden Sätzen, nicht verlustfrei auf eine geringere Anzahl an Wörtern zusammengefasst werden. Analog führt die

Reduktion zufälliger und damit unabhängiger räumlicher Frequenz, durch destruktive Interferenz, zum nicht rekonstruierbaren Informationsverlust. Die Regelmäßigkeit räumlicher und zeitlicher Wiederholung zeichnet sich hingegen durch Redundanz aus und lässt sich auf eine geringere Menge an Informationsträger ohne Informationsverlust reduzieren.

Informationsweiterleitungseffizienz würde dem optimalen Verhältnis zwischen Informationsverlust und Aktionspotentialreduktion entsprechen. Visualisiert (siehe Abb. 19) würde die höchste Informationsweiterleitungseffizienz jenem Verhältnis entsprechen, an dem die Steigung der Unregelmäßigkeit mit der Steigung (erste Ableitung von $f_R(x)$) der Regelmäßigkeit ident ist ($f'_R(x) \parallel f'_U(x)$). Das theoretische Optimum des Energie-zu-Information-Verhältnisses liegt bei 100% Energiereduktion und 0% Informationsverlust. Informationsweiterleitungseffizienz hätte damit ein Optimum, welches dem niedrigsten Informationsverlust bei höchstem Energiegewinn entsprechen würde und durch das homöostatische Energiegefälle angestrebt werden sollte.

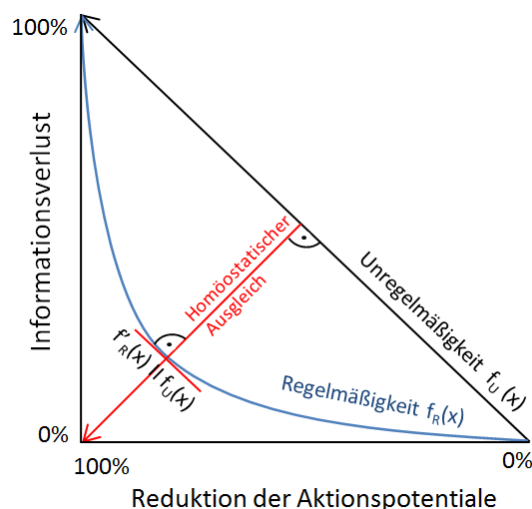


Abbildung 19. Schematische Darstellung der Komprimierbarkeit redundanter Regelmäßigkeit im Vergleich zur Unregelmäßigkeit. Das quantitative Optimum würde vom homöostatischen Ausgleich angestrebt werden ($f'_R(x) \parallel f'_U(x)$).

Das Zusammenfassen von Redundanz würde es ermöglichen, quantitativ mehr Information mit weniger Informationsträgern weiterzuleiten. Je mehr Information bei möglichst geringem Informationsverlust in weniger Aktionspotentialen kodiert wird, desto höher ist die

Informationsweiterleitungseffizienz. Dieser simple Mechanismus hätte potentiell die Möglichkeit, selbstorganisiert auch komplexe Information zu strukturieren.

Aus biologischer Sicht evolvierte das Gehirn ausschließlich als Anpassungsinstrument an die Umwelt. Im Vergleich zu beweglichen Organismen benötigen unbewegliche Organismen, wie Pflanzen und Pilze, keine aktive Integration von Umweltinformationen. Beispielsweise verliert eine frei schwimmende Larve der Gattung *Tunicata* wegen der ausbleibenden aktiven Umweltinteraktion ihr Neuralrohr, sobald sie sesshaft wird (Campell, 2006). Der beschriebene Mechanismus des Interferenz-Modells wäre nur haltbar, wenn er sich als evolutionär vorteilhaft herausstellt, indem er den Organismus an seine Umwelt anpasst. Ein evolutionär vorteilhaftes Nebenprodukt der beschriebenen Informationsweiterleitungseffizienz wäre die Wahrnehmung von Gesetzmäßigkeiten in der Umwelt.

2.5.1 Entspricht die Zusammenfassung räumlicher und zeitlicher Wiederholung einer expliziten Wahrnehmung von Gesetzmäßigkeiten?

Viele Autoren vermuteten bereits, dass das Erkennen statistischer Regelmäßigkeiten in der Umwelt für viele Bereiche der kognitiven Wissenschaften von Bedeutung ist (siehe review z. B. Barlow, 2001). Dem Gehirn wird die Fähigkeit nachgesagt, Muster in einer Menge von Daten in Form von Regelmäßigkeiten, Wiederholungen, Ähnlichkeiten oder Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Physikalisch betrachtet handelt es sich bei der uns umgebenden Umwelt um die strukturierte Anordnung von Molekülen. Diese Struktur ist ein Produkt der Molekülinteraktion und lässt sich als Wahrscheinlichkeitsgefälle von einem instabilen zu einem stabileren Zustand beschreiben. Allgemein haben Moleküle die Tendenz, sich nach einem Wahrscheinlichkeitsgefälle des stabileren Zustandes zufällig im Raum zu verteilen, indem sie ihre Anordnungsfreiheit vergrößern. Diese Vergrößerung der Anordnungsfreiheit wird als *Entropie* beschrieben. Entropie nimmt im Universum immer zu und wird vereinfacht oft als „Unordnung“ zusammengefasst (Mortimer & Müller, 2010). Eine evolutionär vorteilhafte Anpassung würde nun darin liegen, wiederkehrende Umweltgegebenheiten von der zufälligen Variabilität getrennt wahrzunehmen. Durch das homöostatische Energiegefälle würde zusammengefasste räumliche und zeitliche Redundanz automatisch Umweltregularitäten in der konstruktiven Interferenz und zufällige Variabilität in der destruktiven Interferenz kodieren. Wird explizite Wahrnehmung durch den

Interferenzprozess von Weiterleitungswahrscheinlichkeit gebildet, hätte damit jede Form der Regelmäßigkeit eine höhere Wahrscheinlichkeit, explizit wahrgenommen zu werden, als zufällige Variabilität. Da die Entropie im Universum insgesamt immer zunimmt (Mortimer & Müller, 2010), sind wiederkehrende Umweltregularitäten weniger wahrscheinlich als zufällige Variabilität. Dies liegt theoretisch auch in Übereinstimmung mit Biedermans (1987) Geon-Theorie, nach der nicht-zufällige Regularitäten existieren, durch welche Objekte wiedererkannt werden.

3 RESULTATE

Die Resultate des theoretischen Modells bestehen aus einer Vorhersage und daraus abgeleiteten Hypothesen. Es wird vorhergesagt, dass die Stärke homöostatischen Energiegefälles informationsabhängig ist und phänomenologisch wahrgenommen wird. Je mehr Information mit um so weniger Aktionspotentialen weitergeleitet wird, desto höher die Informationsweiterleitungseffizienz. Information sollte am Ausmaß der erreichten Informationsweiterleitungseffizienz evaluiert werden, welche ein theoretisches Optimum bei 100% Energiereduktion und 0% Informationsverlust aufweisen sollte. Da das Erkennen von Gesetzmäßigkeiten in der Umwelt evolutionär vorteilhaft ist, ist anzunehmen, dass sich im Laufe der Evolution Mechanismen entwickelt haben, dies zu verstärken. Ein positives Erleben der Informationsweiterleitungseffizienz ist daher sehr wahrscheinlich.

Weiters wird vorhergesagt, dass jede Form der Regelmäßigkeit eine höhere Wahrscheinlichkeit hat, explizit wahrgenommen zu werden als zufällige Variabilität. Die Interpretation der Literaturrecherche legt nahe, dass die stimulusabhängige Leichtigkeit, mit der räumliche und zeitliche Redundanz zusammengefasst werden kann, als fluent (Reber et al., 2004) erlebt wird. Die stimulusabhängige Leichtigkeit sollte wiederum von Kontrastempfindlichkeit, dem peripheren Sehen und der Kombinierbarkeit räumlicher Frequenz abhängen.

3.1 HYPOTHESEN

3.1.1 Hypothese 1 –Abgleich mit zeitlicher Wiederholung sagt explizite Wahrnehmung und induzierte Gammafrequenz voraus

Das verbindende Wort von Worttriaden (Bolte et al., 2003; Bowers et al., 1990) sowie das Objekt durch dessen Fragmente (Bolte & Goschke, 2008) kann ohne explizite Wahrnehmung erkannt werden. Sowohl die explizit wahrgenommene Problemlösungseinsicht durch Kohärenz bei Worttriaden (Bowden et al., 2005) als auch die explizit wahrgenommene illusorische Kohärenz bei Objektfragmenten (Tallon-Baudry et al., 1996; Tallon-Baudry & Bertrand, 1999), wurden mit erhöhter Gammafrequenz in Verbindung gebracht. Die implizite Wahrnehmung von Objektfragmenten geht auf eine „(Vor)aktivierung“, in Form einer gist information (Volz und Cramon, 2006), top-down-facilitation (Bar et al., 2006) oder semantischen Objektrepräsentation (Bolte & Goschke, 2008) zurück und beruht wahrscheinlich auf sich zeitlich wiederholenden distinkten Merkmalen/Merkmalkombinationen (z. B. Biederman, 1987; Leder & Bruce 1998; Leder & Bruce 2000, Lee et al., 2000). Wie durch die Interpretation von Gesichtern in Autofronten (Windhager et al., 2012) argumentiert werden kann, beruht der implizite Abgleich möglicherweise auf der Ähnlichkeit von distinkten Merkmalen. Dafür spricht auch, dass Abgleich von Gesichtern in Objekten bereits in einer frühen Verarbeitungsstufe (165 ms) stattfindet (Hadjikhani et al., 2009).

Es wird vorhergesagt, dass der Bindingprozess in einer frühen Verarbeitungsstufe der impliziten Wahrnehmung stattfindet und auf dem Abgleich mit Ähnlichkeit von Stimulusmerkmalen beruht. Dieser Abgleich entspricht einer erhöhten Weiterleitungswahrscheinlichkeit durch zeitliche Wiederholung räumlicher Frequenzen und wird durch deren gemeinsame Weiterleitung explizit wahrgenommen. Die gemeinsame Weiterleitung manifestiert sich messbar als explizite Wahrnehmung und als erhöhte Gammafrequenz.

3.1.2 Hypothese 2 – Kombinierbarkeit räumlicher und zeitlicher Wiederholung sagt Präferenz für mittlere Komplexität voraus

Nach dem Interferenz-Modell handelt es sich bei der Leichtigkeit, mit der räumliche und zeitliche Wiederholung eines visuellen Stimulus implizit kombiniert wird, um erlebte Fluency (Reber et al., 2004). Dies liegt auch in Übereinstimmung mit den ersten beiden Verarbeitungsstufen des Leder-Modells der Kunstevaluation (Leder *et al.*, 2004), die automatisch und schnell ablaufen. Auch die Komplexitätsreduktion visueller Stimuli durch „psychologische Relevanz“ (Chipmans, 1977), „Struktur“ (Ichikawas, 1985) oder den extrahierten Faktor „Gruppierung und Organisation“ (Roberts-Nadal, 2007) in Form visueller Regelmäßigkeit könnten dazu beitragen einen Stimulus leichter wahrzunehmen. Analog zu Garner (1974), der eine positive Bewertung visueller Redundanz fand, sollte die Bewertung von der Komprimierbarkeit der Informationsmenge abhängen. Die Komprimierbarkeit setzt damit ein Minimum an Redundanz voraus. Die Komprimierbarkeit räumlicher und zeitlicher Redundanz würde durch die Kontrastempfindlichkeit und das perzeptuelle crowding des Auges limitiert.

Perzeptuelles crowding

Die Verbindung visueller Information zu einer Gestalt geht nach diesem Modell der expliziten Wahrnehmung voraus. Es ist anzunehmen, dass perzeptuelles crowding die Kombinierbarkeit von Gestalten, durch ein quantitatives Maximum gleichzeitig wahrnehmbarer visueller Informationen, verringert. Visuelle Informationen, die sich nicht zu einer Gestalt verbinden lassen würden, könnten nur durch eine Fokusveränderung explizit wahrgenommen werden. Erst durch eine Verlagerung der visuellen Aufmerksamkeit können zwei „konkurrierende Gestalten“ nacheinander wahrgenommen werden. Das periphere Sehen ist für das Erkennen in kurzer Präsentationszeit wichtiger als das zentrale Sehen (Strasburger *et al.*, 2011).

Kontrastempfindlichkeit

Kontrast (Leder *et al.*, 2004), Klarheit und Figur-Hintergrund-Kontrast (Reber et al., 2004) werden positiver beurteilt. Optimal erkannt wird eine Rasterung von etwa 9 Linienpaaren pro Grad Sehwinkel. Mit zunehmender Exzentrizität nimmt die optimal erkennbare Linienpaardichte ab (Bruce et al., 2003). Die Komprimierbarkeit visueller Information würde räumliche und zeitliche Wiederholung voraussetzen und würde durch ein Maximum räumlicher Überlagerung von Gestalten eingeschränkt. Die höchste statistische Wahrscheinlichkeit der Komprimierbarkeit räumlicher und zeitlicher Redundanz läge damit

beim optimal wahrnehmbaren Kontrastverhältnis. Das höchste wahrnehmbare Kontrastverhältnis des zentralen Sehens liegt bei 9 Linienpaaren/Sehwinkel (Bruce et al., 2003) und die höchste Sensitivität bei niedrigen räumlichen Frequenzen bei 4,7° und bei hohen räumlichen Frequenzen bei 2,6° Sehwinkelabweichung des peripheren Sehens (Strasburger et al., 2011).

Es wird vorhergesagt, dass die Präferenz für mittlere Komplexität der Kunstevaluation (Leder et al., 2004) durch die Komprimierbarkeit räumlicher und zeitlicher Redundanz räumlicher Frequenzen erklärt werden kann. Begrenzt wird die Komprimierbarkeit dabei nach unten durch ein Mindestmaß an komprimierbarer Redundanz und nach oben durch die Überlagerung räumlicher Frequenzen, wodurch diese nicht mehr gemeinsam beziehungsweise getrennt voneinander wahrgenommen werden können und gegenseitig deren Komprimierbarkeit inhibieren. Testbar wäre diese Hypothese durch eine Kombination aus Bewertungsstudie, Eye-tracking-Studie und einem Algorithmus, der in beschriebener Form Daten an Hand von Regelmäßigkeit komprimiert.

3.1.3 Hypothese 3 – Fähigkeitsparameter deduktiver Gestaltwahrnehmung sagt Präferenz für Komplexität voraus

Die zusammengetragene Literatur sagt eine implizite Top-down-Aktivierung vorher, die auf der zeitlichen Wiederholung räumlicher Frequenzen beruhen sollte. Stimulusmerkmale wie Stimuluswiederholung, implizites Lernen, Prototypie oder Durchschnittlichkeit würden dazu beitragen, visuelle Information auf eine geringere Anzahl an Informationsträger zusammenzufassen. Die Ableitung von einem Prototyp auf einen Einzelfall entspricht einer *Deduktion*. Es wird eine „deduktive Gestaltwahrnehmung“ vorhergesagt, die auf einer voraktivierbaren Objektrepräsentation beruht.

Variiert die individuelle Fähigkeit der „deduktiven Gestaltwahrnehmung“, wird ein positiver Zusammenhang dieses Fähigkeitsparameters mit Präferenz für Wahrnehmungsschwierigkeit/Komplexität in der visuellen Kunst vorhergesagt. Der Fähigkeitsparameter „Deduzierungsfähigkeit“ könnte mittels *Gestalt Completion Test* (Eliot & Czarnolewski, 1999), *Hidden Figures Test* (Ekstrom, et.al., 1976), *Snowy Picture Test* (Ekstrom, et.al., 1976) und *Embedded Figures Test* (Witkin & Goodenough, 1981)

operationalisiert werden. Wird die allgemeine Intelligenz konstant gehalten, sollten die Fähigkeitsparameter mit der Präferenz für Komplexität und Ambiguität eines Stimulus positiv korrelieren.

3.1.4 Hypothese 4 - Kombination von räumlicher und zeitlicher Wiederholung sagt Fluency voraus

Nach dem Interferenz-Modell sollte räumliche und/oder zeitliche Wiederholung wahrscheinlicher explizit wiedererkannt werden und fluenter erlebt werden als deren Abwesenheit. Es wird vorhergesagt, dass der Effekt räumlicher und zeitlicher Wiederholung und deren Verarbeitungsleichtigkeit kombinierbar sind. Symmetrische Stimuli werden fluenter wahrgenommen als asymmetrische Stimuli (Reber *et al.*, 2004). Die zeitliche Wiederholung in symmetrischen Stimuli sollte fluenter wahrgenommen werden als symmetrische Stimuli alleine. Gesichter in abstrakten symmetrischen Stimuli sollten fluenter beurteilt werden, als symmetrische Stimuli alleine. Unterstützung findet diese Vorhersage durch eine Studie von Takahshi und Watanabe (2014). Diese fanden, dass gesichtsähnliche Objekte als schöner beurteilt wurden als gesichtsunähnliche Objekte.

4 DISKUSSION

Ein progressives Zusammenfassen räumlicher und zeitlicher Redundanz könnte auch potentiell komplexe Informationsverarbeitung bewerkstelligen. Die Wahrnehmung von Prototypie könnte einer genaueren Schätzung vorherrschender Umweltregularitäten entsprechen. Dies gründet dabei auf der Überlegung, dass der Anteil zufälliger Variabilität im Signal durch zeitliche Wiederholung immer weiter reduziert wird und sich dadurch das Information-zu-Energie-Verhältnis verbessert. Die Wahrnehmungsfähigkeit von Prototypie setzt voraus, dass ein Abgleich mit gespeicherten Mustern stattfindet und deren Gemeinsamkeit extrahiert werden kann. Die beschriebene „(Vor)aktivierung“ (Kapitel 2.3.1), die Beeinflussung der perzeptuellen Organisation durch diese „(Vor)aktivierung“ (Kapitel 2.3.2), sowie die wahrscheinlichere Weiterleitung zeitlich wiederholter räumlicher Frequenzen (Kapitel 2.4.4.2) spricht für eine explizite Wahrnehmung von Gemeinsamkeit. Eine auf Gemeinsamkeit ausgerichtete visuelle Wahrnehmung würde erlauben, den Mittelwert von Umweltregularitäten immer genauer zu schätzen und als Durchschnittlichkeit wahrzunehmen. Dafür spricht, dass aus der Variabilität von Gesichtern deren Durchschnitt in Form von Attraktivität geschätzt werden kann. Die Durchschnittlichkeit von Gesichtern korreliert positiv mit Attraktivität und negativ mit Distinktheit (Rohdes & Tremewan, 1996). Dieser beschriebene Mechanismus der Wiedererkennung setzt physiologische Konstanz voraus. Das Interferenzmodell steht und fällt somit mit der Annahme, dass physiologische Prozesse, wie die Refraktärperiode, die Depolarisationsschwelle und die Leitungsgeschwindigkeit, konstant bleiben. Während sich diese physiologischen Größen zwischen Neuronen unterscheiden könnten, müssen diese zumindest in der einzelnen Zelle konstant bleiben, um eine Erhöhung der Weiterleitungswahrscheinlichkeit in Summe reproduzieren zu können. Das Modell setzt demnach in Summe eine hohe physiologische Konstanz voraus. Dafür spricht, dass sich Nervenzellen im Vergleich zu anderen Körperzellen kaum erneuern.

An dieser Arbeit muss kritisiert werden, dass die Literaturrecherche breit angelegt und ungerichtet durchgeführt wurde. Dadurch ist nicht auszuschließen, dass nur bestätigende wissenschaftliche Publikationen in die Arbeit aufgenommen wurden. Beispielsweise ist die Binding-by-synchrony-theory nicht unumstritten. Goldfarb und Treisman (2013) weisen

darauf hin, dass ein Problem der Binding-by-synchrony-theory darin liegt, dass viele Objekte manche ihrer Merkmale teilen, während andere nicht geteilt werden, was eine Verbindung der Merkmale durch bloße Synchronisation erschweren würde. Diesem Einwand ist die von Bar *et al.* (2006) beschriebene Limitierung der Objektrepräsentation durch Top-down-Prozesse entgegenzuhalten, durch welche Objekte grob vorsegmentiert würden.

Besonders angezweifelt werden muss weiters eine Vergleichbarkeit der angeführten Studien. Das Problem besteht darin, dass sich die einzelnen Themenfelder sich einer unterschiedlichen Terminologie bedienen, wodurch auch ein Vergleich der Ergebnisse erschwert wird. Hinzu kommt die oft vage Beschreibung eines erlebten Stimulus als beispielsweise „stabil“, „prägnant“, „kohärent“ oder „fluent“. Der vorgenommene Vergleich dieser Beschreibungen fußt auf keiner Validitätsstudie und wurde lediglich durch die Kriterien der „Gestalt“, „perzeptuellen Gruppierung“ und „erlebten Bedeutung“ zusammengefasst. Die Unspezifität dieser Zusammenfassung schränkt damit auch den prognostischen Wert der Vorhersage ein, welche die Testung dieses Modells erschwert. Auch wurde unterstellt, dass sich visuelle Kunst insbesondere durch den Aspekt der „erlebten Bedeutung“ auszeichnet und ebenso durch Gestaltgesetze gruppiert wird. Auch wenn dies plausibel erscheinen mag, ist diese Aussage nicht gesichert.

Danksagung

Ich möchte mich bei Univ. Prof. Dr. Helmut Leder für seine außerordentlich geduldige Betreuung und hilfreichen Ideen bedanken. Ich danke auch bei Frau Dr. Martina Jakesch für die Zusendung dreier Artikel. Außerdem möchte ich mich bei Herrn Sebastian Antreich, Msc, Herrn Dipl. Ing. Michael Studeny und meiner Schwester Nina Zabransky für die konstruktive Kritik und Unterstützung bedanken. Ein ganz großer Dank gebührt meinem Vater DDr. Dieter Zabransky für die vielen Tage anregender Diskussion, insbesondere in Zeiten, in denen diese Arbeit absolut aussichtslos erschien.

5 LITERATUR

- Anokhin, A. P., van Baal, G. C. M., van Beijsterveldt, C. E. M., de Geus, E. J. C., Grant, J., & Boomsma, D. I. (2001). Genetic Correlation Between the P300 Event-Related Brain Potential and the EEG Power Spectrum. *Behavior Genetics*, 31 (6), 545-554.
- Attwell, D., & Laughli, S. B. (2001). An Energy Budget for Signaling in the Grey Matter of the Brain. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 21, 1133–1145.
- Azizian, A., Freitas, A. L., Watson, T. D., & Squires, N. K (2006). Electrophysiological correlates of categorization: P300 amplitude as index of target similarity. *Biological Psychology*, 71, 278–288.
- Bar, M., Kassam, K. S., Ghuman, A. S., Boshyan, J., Schmid, A. M., & Dale, A. M. (2006). Top-down facilitation of visual recognition. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 103, 449–454.
- Barlow, H. (2001) The Exploitation of Regularities in the Environment by the Brain. *Behavioral and Brain Science*, 24 (3), 1-23.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2009). Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie. Heidelberg: Springer Verlag.
- van Beijsterveldt, C. E. M., & Boomsma, D. I. (1994). Genetics of the human electroencephalogram (EEG) and event-related brain potentials (ERPs): a review. *Human Genetics*, 94, 319-330.
- van Beijsterveldt, C. E., Molenaar, P. C., de Geus, E. J., & Boomsma, D. I. (1998). Individual differences in P300 amplitude: A genetic study in adolescent twins. *Biol. Psychol.*, 47, 97–120.
- Berlyne, D. E. (1963). Complexity and incongruity variables as determinants of exploratory choice and evaluative ratings. *Canadian Journal of Psychology*, 17, 274-290.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, 94 (2), 115-47.
- Biederman, I., & Cooper, E. E. (1991). Priming contour-deleted images: evidence for intermediate representations in visual object recognition. *Cogn Psychol.*, 23 (3), 393-419.
- Biederman, I., & Ju, G. (1988). Surface versus edge-based determinants of visual recognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B*, 352, 1203-1219.
- Biederman, I., & Kalocsai, P. (1997). Neurocomputational bases of object and face recognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society London: Biological Sciences*, 352, 1203-1219.
- Biederman, I., Subramaniam, S., Bar, M., Kalocsai, P., & Fiser, J. (1999). Subordinate-Level object classification reexamined. *Psychological Research*, 62, 131 – 153.
- Bierbaum, N., & Schmidt, R. F. (2006). *Biologische Psychologie*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Blais, C., Jack, R. E., Scheepers, C., Fiset, D., & Caldara, R. (2008). Culture shapes how we look at faces. *PLoS One*, 3 (8), e3022.
- Bolte, A., & Goschke, T. (2005). On the speed of intuition: Intuitive judgments of semantic coherence under different response deadline. *Memory & Cognition*, 33 (7), 1248-1255.
- Bolte, A., & Goschke, T. (2008) Intuition in the context of object perception: Intuitive gestalt judgments rest on the unconscious activation of semantic representations. *Cognition*, 108, 608–616.

- Bolte, A., Goschke, T., & Kuhl, J. (2003). Emotion and intuition: Effects of positive and negative mood on implicit judgments of semantic coherence. *Psychological Science*, 14 (5), 416-421.
- Bowden, E. M., Jung-Beeman, M., Fleck, J., & Kounios, J. (2005). New approaches to demystifying Insight. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (7), 322- 328.
- Bowers, K. S., Regehr, G., Balthazard, C., & Parker, K. (1990). Intuition in the context of discovery. *Cognitive Psychology*, 22, 72–110.
- Bruce, V., Green, P., & Georgeson (2003). *Visual perception: physiology, psychology and ecology*. New York: Psychology Press.
- Cadieu, C., Kouh, M., Riesenhuber, M., & Poggio, T. (2004). Shape Representation in V4: Investigating Position-Specific Tuning for Boundary Conformation with the Standard Model of Object Recognition. *AI Memo*, 241, 1-11.
- Campell, R. (2006). *Biologie*. München: Pearson Verlag.
- Charles, F. S., & Wesseling, J. F. (1999). Augmentation Is a Potentiation of the Exocytotic Process, *Neuron*, 22, 139–146.
- Chipman, S. F. (1977). Complexity and structure in visual patterns. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106, 269-301.
- Crick, F. & Koch, C. (1995). Are we aware of neural activity in primary visual cortex? *Nature*, 375, 121-123.
- Cupchik, G. C., Vartanian, O., Crawley, A., & Mikulis, D. J. (2009). Viewing artworks: contributions of cognitive control and perceptual facilitation to aesthetic experience. *Brain Cognition*, 70 (1), 84-91.
- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1988). *Spatial vision*. New York: Oxford University Press.
- Dilthey, W. 1894. *Ideen über eine beschreibende und zergliedernde Psychologie*. Berliner Akademie: Sber
- Du, F., Zhu, X. H., Zhang, Y., Friedman, M., Zhang, N., Ugurbil, K., & Chen, W. (2007). Tightly coupled brain activity and cerebral ATP metabolic rate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (17), 6409–6414.
- Eischen, S. E., Luckritz, J. Y., & Polich, J. (1995). Spectral analysis of EEG from families. *Biological Psychology*, 41, 61–68.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor- referenced cognitive tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Eliot, J., & Czarnolewski, M. (1999) A composite gestalt completion test. *Perceptual and Motor Skills*, 89, 294-300.
- Engel, A. K., Fries, P., & Singer, W. (2001). Dynamic predictions: oscillations and synchrony in top-down processing. *Nat Rev Neurosci.*, 2 (10), 704-16.
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2005). *Cognitive Psychology*. Sussex: Psychology Press Ltd.
- Forster, M., Leder, H., & Ansorge, U. (2013). It felt fluent, and I liked it: Subjective feeling of fluency rather than objective fluency determines liking. *Emotion* 13(2), 280-289.
- Garner, W. R. (1974). *The processing of information structure*. Potomac: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Goldfarb, L., & Treisman, A. (2013). Counting multidimensional objects: implications for the neural-synchrony theory. *Psychological Science*, 24 (3), 266–271.

- Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2003). Superstitious perception reveal properties of internal representations. *Psychological Science*, 14 (5), 505 – 509.
- Gray, C. M., & Singer, W. (1989). Stimulus-specific neuronal oscillations in orientation columns of cat visual cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 86, 1698-1702.
- Gray, C. M., König, P., Engel, A. K., & Singer, W. (1989). Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature*, 338, 334-337.
- Grützner, C., Uhlhaas, P. J., Genc, E., Kohler, A., Singer, W., & Wibral, M. (2010). Neuroelectromagnetic correlates of perceptual closure processes. *The Journal of Neuroscience*, 30, 8342–8352.
- Hadjikhani, N., Kveraga, K., Naik, P., & Ahlfors, S. P. (2009). Early (M170) activation of face-specific cortex by face-like objects. *Neuroreport*, 20 (4), 403–407.
- He, S., & MacLeod, D. I. A. (2001). Orientation-selective adaptation and tilt after-effect from invisible patterns. *Nature*, 411 (6836), 473-476.
- Hellige, J. B. (1996). Hemispheric asymmetry for visual information processing. *Acta Neurobiol Exp.*, 56(1), 485-97.
- Hering, H., & Sheng, M. (2001). Dendritic spines: Structure, dynamics and regulation. *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 880-888.
- Hubel, D. H., & Wiesel T. N. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, 148, 574-591.
- Hummel, J. E., & Biederman, I. (1992). Dynamic binding in a neural network for shape recognition. *Psychology Review*, 99, 480-517.
- Ichikawa, S. (1985). Quantitative and structural factors in the judgment of pattern complexity. *Perception & Psychophysics*, 38, 101-109.
- Kasai, H., Matsuzaki, M., Noguchi, J., Yasumatsu, N., & Nakahara, H. (2003). Structure-stability-function relationships of dendritic spines. *Trends in Neuroscience*, 26 (7), 360-368.
- Katsanis, J. G., Iacono, W. G., McGue, M. K., & Carlson, S. R. (1997). P300 event-related potential heritability in monozygotic and dizygotic twins. *Psychophysiology*, 34, 47–58.
- Kayser, J., Fong, R., Tenke, C. E., & Bruder, G. E. (2003). Event-related brain potentials during auditory and visual word recognition memory tasks. *Cognitive Brain Research*, 16, 11–25.
- Keil, G. (2003) Über den Homunkulus-Fehlschluss. *Zeitschrift für philosophische Forschung*, 57, 1-14.
- Kong, J. Shepel, P.N., Holden, C. P., Mackiewicz, M. Pack, A. I., & Geiger, J. D. (2002). Brain Glycogen Decreases with Increased Periods of Wakefulness: Implications for Homeostatic Drive to Sleep. *The Journal of Neuroscience*, 22(13), 5581–5587.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38, 557–577.
- Kreiter, A. K., & Singer, W. (1996). Stimulus-dependent synchronization of neuronal responses in the visual cortex of the awake macaque monkey. *J. Neurosci.*, 16, 2381–2396.
- Kuzawaa, C. W., Chuganic, H. T., Grossmanf, L. I., Lipoviche, L., Muzikd, O., Hofg, P. R., Wildmanf, D. E., Sherwoodj, C. C., Leonarda, W. R., & Langek N. (2013). Metabolic costs and evolutionary implications of human brain Development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111 (36), 13010–13015.

- Lamme, V. A. F., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends Neurosci*, 23, 571-579.
- Leder, H., Belke, B. Oeberst, A., & Augustin, D. (2004). A model of aesthetic appreciation and aesthetic Judgments. *British Journal of Psychology*, 95, 489–508.
- Leder, H., & Bruce, V. (1998). Local and relational aspects of face distinctiveness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 51A (3), 449–473.
- Leder, H., & Bruce, V. (2000). When inverted faces are recognized: The role of configural information in face recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 53A(2), 513–536.
- Lee, K., Byatt, G., & Rhodes, G. (2000). Caricature effects, distinctiveness and identification: Testing the face-space framework. *Psychological Science*, 11 (5), 379-385.
- Lennie, P. (1998). Single units and visual cortical organization. *Perception*, 27, 889 - 935.
- Lüscher C., & Malenka, R. C. (2012). NMDA Receptor-Dependent Long-Term Potentiation and Long-Term Depression (LTP/LTD). *Cold Spring Harb Perspect Biol.*, 4 (6), 1-15.
- von der Malsburg, C. (1981). The correlation theory of brain function. *MPI Biophysical Chemistry, Internal Report*, 81-82.
- Mantzavinos, C. (2008). Was für ein Problem ist der hermeneutische Zirkel? *Analyse & Kritik*, 30, 601–612.
- Margraf, J., & Schneider, S. (2009). *Lehrbuch der Verhaltenstherapie*. Heidelberg: Springer.
- Mednick, S. A. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review*, 69, 220-232.
- Meissner, C. A., & Brigham, J. C. (2001). Thirty years of investigating the own-race bias in face memory for faces: A meta-analytic review. *Psychology, Public Policy, and Law*, 7, 1–35.
- Metzger, W. (1975). Was ist Gestalttheorie? In K. Guss (Hrsg.), *Gestalttheorie und Erziehung* (S. 1-17). Darmstadt: Steinkopff.
- Mortimer, C. E., & Müller, U. (2010). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie* (9. Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Müller, M. M., Gruber, T., & Keil, A. (2001). Modulation of induced gamma band activity in the human EEG by attention and visual information processing. *Int. J. Psychophysiol.*, 38, 283–299.
- Roberts-Nadal, M. (2007). Complexity and aesthetic preference for diverse visual stimuli (Unveröffentlichte Doktorarbeit). Universität de les Illes Balears, Spanien.
- Neuenschwander, S., Engel, A. K., König, P., Singer, W., & Varela, F. J. (1996). Synchronization of neuronal responses in the optic tectum of awake pigeons. *Vis. Neurosci.*, 13, 575–584.
- Neville, H. J., Kutas, M., Chesney, G., & Schmidt, A. L. (1986). Event-related brain potentials during initial encoding and recognition memory of congruous and incongruous words. *J. Memory Lang.*, 25, 75-92.
- Paller, K. A., Kutas, M., & Mayes, A. R. (1987). Neural correlates of encoding in incidental learning paradigm. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 67, 360- 371.
- Pasupathy, A., & Connor, C. E. (2001). Shape representation in area V4: Position-specific tuning for boundary conformation. *Journal of Neurophysiology*, 86, 2505-2519.
- Pasupathy, A., & Connor, C. E. (2002). Population coding of shape in area V4. *Nature Neuroscience*, 5, 1332 – 1338.

- Peng, W., Hu, L., Zhang, Z., & Hu, Y. (2012). Causality in the Association between P300 and Alpha Event-Related Desynchronization. *PLoS ONE*, 7 (4), 1-11.
- Pfurtscheller, G., & Lopes da Silva, F. H. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1842-1857.
- Pinel, J. P. J (2007). *Biopsychologie*. München: Pearson.
- Polich, J. (2010). Neuropsychology of P300. In S. J. Luck & E.S. Kappenman, *Handbook of event-related potential Components* (S. 1-67), Oxford: Oxford University Press.
- Reber, R., Schwarz, N., & Winkielman, P. (2004). Processing Fluency and Aesthetic Pleasure: Is Beauty in the Perceiver's Processing Experience? *Personality and Social Psychology Review*, 8.(4), 364–382.
- Rhodes, G., Proffitt, F., Grady, J. M., & Sumich, A. (1998). Facial symmetry and the perception of beauty. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5 (4), 659-669.
- Rhodes, G., & Tremewan (1996). Averageness, Exaggeration, and Facial Attractiveness. *Psychological Science*, 7, 2, 105-110.
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, J. P., Martinerie, J., Renault, B., & Varela, F. J. (1999). Perceptions shadow: Long-distance synchronization of human brain activity. *Nature*, 397, 430–433.
- Roney, C. J. R., & Trick, L. M. (2003). Grouping and Gambling: A Gestalt Approach to Understanding the Gambler's Fallacy. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 57(2), 69-75.
- Saavedra, C., Iglesias, J., & Olivares, E.I. (2010). Event-related potentials elicited by the explicit and implicit processing of familiarity in faces. *Clin EEG Neurosci.*, 41 (1), 24-31.
- Schrödinger, E. (1958). *Mind and Matter*. Cambridge: University Press.
- Schyns, P. G., & Oliva, A. (1999) . Dr. Angry and Mr. Smile: when categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition*, 69, 243–265.
- Sibson, N. R., Dhankar, A., Mason, G. F., Rothman, D. L., Behar, K. L., & Shulman, R. G. (1998). Stoichiometric coupling of brain glucose metabolism and glutamatergic neuronal activity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 316–321.
- Singer, W. (1993). Synchroization of cortical activity and its putative role in information processing and learning. *Annu. Rev. Physiol.*, 55, 349-374.
- Singer, W., & Gray, C. M. (1995). Visual Feature Integration and the Temporal Correlation Hypothesis. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 555-586.
- Spitzer, M. (1996). *Geist im Netz*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Strasburger, H., Rentschler, I., & Jüttner, M. (2011). Peripheral vision and pattern recognition: A review. *Journal of Vision*, 11 (5), 1–82
- Supèr, H., Spekreijse, H., & Lamme, V.A.F. (2001) Two distinct modes of sensory processing observed in the monkey primary visual cortex (V1). *Nat. Neurosci.*, 4, 304-310.
- Takahshi, K., & Watanabe, K. (2014). Face is beautiful: Aesthetic evaluation of pareidolian faces. *2014 6th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, 108–111.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O. Delpuech, C., & Pernier, J. (1996) Stimulus specificity of phase-locked and non-phase-locked 40 Hz visual responses in human *J. Neurosci.* 16, 4240–4249.

- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Delpuech, C., & Pernier, J. (1997). Oscillatory gamma-band (30-70 Hz) activity induced by a visual search task in humans. *Journal of Neuroscience*, 17 (2), 722-34.
- Tallon-Baudry, C., & Bertrand, O. (1999). Oscillatory gamma activity in humans and its role in object representation. *Trends Cogn Sci.*, 3 (4), 151-162.
- Tamamiya, Y., & Hiraki, K. (2013). Individual Differences in the Recognition of Facial Expressions: An Event-Related Potentials Study. *PLOS ONE*, 8 (2), 1-7.
- Tanaka, K. (1993). Neural mechanisms of object recognition. *Science*, 262, 685-688.
- Tepper, J. M., Wilson, C. J., & Koos, T. (2008). Feedforward and feedback inhibition in neostriatal GABAergic spiny neurons. *Brain research reviews*, 58, 272-281.
- Topolinski, S., & Strack, F. (2009). The architecture of intuition: Fluency and affect determine intuitive judgments of semantic and visual coherence, and of grammaticality in artificial grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 138 (1), 39-63.
- Trujillo, L. T., Peterson, M. A., Kaszniak, A. W., & Allen, J. J. B. (2005). EEG phase synchrony differences across visual perception conditions may depend on recording and analysis methods. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 116, 172-189.
- Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1994). 'What' and 'where' in the human brain. *Curr Opin Neurobiol.*, 4(2), 157-165.
- Van der Togt, C., Kalitzin, S., Spekreijse, H., Lamme, V. A. F., & Supèr, H. (2006). Synchrony dynamics in monkey V1 predicts success in visual detection. *Cerebral Cortex*, 16, 136-148.
- Vogels, R., Biederman, I., Bar, M., & Lorincz, A. (2001). Inferior temporal neurons show greater sensitivity to nonaccidental than metric differences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 444-453.
- Volz, K. G., & von Cramon, D. Y. (2006). What neuroscience can tell about intuitive processes in the context of perceptual discovery. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18 (12), 2077-2087.
- Witkin, H. A., & Goodenough, D. R. (1981). *Cognitive styles: Essence and origins*. New York: International Universities.
- Windhager, S., Bookstein, F. L., Grammer, K., Oberzaucher, E., Said, H., Slice, D. E., Thorstensen, T., & Schaefer, K. (2012). "Cars have their own faces": cross-cultural ratings of car shapes in biological (stereotypical) terms. *Evolution and Human Behavior*, 33, 109-120.
- Whitney, D., & Levi, D. M. (2011). Visual Crowding: a fundamental limit on conscious perception and object recognition. *Trends Cognitive Science*, 15 (4), 160-168.
- Zajonc, R. B. (1968). Attitudinal effects of mere exposure. *Journal of Personality and Social Psychology*, 9, 1-27.
- Zeki, S. (1992). The visual image in mind and brain. *Scientific American*, 267, 43-50.
- Zucker, R. S., & Regehr, W. G. (2002). Short-term synaptic plasticity. *Annu. Rev. Physiol.*, 64, 355-405.
- „Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte auffindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.“

Abstract

Despite the high variability of the subjective experiences, statistical effects assessing visual features (Leder, Belke, Oeberst, & Augustin, 2004; Reber, Black, & Winkielman, 2004) suggest at least one shared positive feature-dependent state of stimulation.

With regard to the theory of evolution, the only purpose of the brain is the adaptation of the organism to its environment. Due to the depletable energy resources a reduction of the brain's energy consumption would be adaptiv. Accordingly, the assessment of visual information should include their contribution to the improvement of the brain's energy balance. This criterion could be met by the compressibility of visual information and would furthermore enable the perception of regularities in the environment.

The presented work argues that synchronisation based on interference of forwarding probability of information could provide an explanation how visual perception is structured by simple cells. By summarizing redundancy and reducing random variability of visual features, more information is transmitted using less energy.

To bridge the gap between physiological and introspectiv measurements, hypotheses are developed to test a dependency of positive experienced stimulation of visual features on the process of information-maximization by energy-minimization.

Zusammenfassung

Statistische Gemeinsamkeiten der Bewertung visueller Merkmale (Leder, Belke, Oebers, & Augustin, 2004; Reber, Schwarz, & Winkielman, 2004) deuten, trotz hoher Variabilität des subjektiven Erlebens, auf zumindest einen geteilten positiv erlebten Stimulationszustand hin. In Bezug auf die Evolutionstheorie liegt der einzige Zweck des Gehirns in der Anpassung des Organismus an die Umwelt. Auf Grund der limitierten Energieressourcen des Gehirns läge eine Adaptation in der Verbesserung des Energieverbrauchs. Dementsprechend sollte die Bewertung visueller Informationen auch deren Beitrag zur Verbesserung der Energiebilanz umfassen. Dieses Kriterium könnte durch die Komprimierbarkeit visueller Informationen erfüllt werden und würde darüber hinaus auch die Wahrnehmung von Gesetzmäßigkeiten in der Umwelt ermöglichen.

Die vorliegende Arbeit argumentiert, dass die interferenzbasierte Synchronisation von Informationsweiterleitungswahrscheinlichkeiten eine Erklärung liefern könnte, wie visuelle Information durch einfache Zellmechanismen strukturiert werden könnte. Durch Zusammenfassung von Redundanz und Verringerung zufälliger Variabilität visueller Merkmale werden quantitativ mehr Informationen mit weniger Energie weitergeleitet. Um eine Verbindung zwischen physiologischen und introspektiven Messungen herzustellen, werden Hypothesen entwickelt, die testen sollen, ob positiv erlebte Stimulation durch visuelle Merkmale in Abhängigkeit von dem Prozess der Informationsmaximierung durch Energieminimierung steht.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Mag. Stefan Zabransky

Ausbildung

9/2008 – 12/2012 Universität Wien, Wien Fakultät für Lebenswissenschaften
Diplomstudiengang Biologie, Studienzweig: Anthropologie; Spezialisierung
im Diplomstudium: Humanethologie

9/2008 – 12/2011 Universität Wien, Wien Fakultät für Sozialwissenschaften
Diplomstudiengang Psychologie

10/2006 – 06/2008 Universität Wien Diplomstudium Biologie

09/2005 – 09/2006 Zivildienst Rotes Kreuz Horn Rettungssanitäter

09/1997 – 06/2005 Neusprachliches Gymnasium Horn

Praktika

07/2012 – 08/2012 „Angewandte Psychologie und Forschung GmbH“
Mariahilfergürtel 37/2/5

03/2012 – 07/2012 Tutortätigkeit bei der Universität Wien
Altanstraße 14, 1190 Wien

Veröffentlichung

Zabransky, S. (2014) *Cortisol und Gesichtsmorphologie bei männlichen Homo Sapiens*. Saarbrücken: Av Akademikerverlag.