# DIE VERARBEITUNG HIERARCHISCHER REIZE: AUF DER SUCHE NACH DEM MECHANISMUS DES BINDENS IM GLOBAL/LOKAL-PARADIGMA

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

vorgelegt von

Seyedeh Rana Kruse

an der

Mathematisch-naturwissenschaftliche Sektion
Fachbereich Psychologie

Tag der mündlichen Prüfung: 24. April 2013

1. Referent: Prof. Dr. Ronald Hübner
2. Referent: Prof. Dr. Peter M. Gollwitzer

*Konstanzer Online-Publikations-System (KOPS)*
*URL: http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:352-230358*

# DANKSAGUNG

Ich danke zuvorderst Prof. Dr. Ronald Hübner für die Betreuung dieser Arbeit. Seine Führung war in allen Phasen der Vorbereitung und Erstellung dieser Arbeit eine wichtige Bereicherung. Sein Zugang zur wissenschaftlichen Forschung war für mich eine wertvolle Inspiration. Über weitere Zusammenarbeit würde ich mich jederzeit freuen.

Auch danke ich Prof. Dr. Peter M. Gollwitzer für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Mein Dank geht weiterhin an die gesamte Arbeitsgruppe der Kognitiven Psychologie der Universität Konstanz für ein angenehmes und freundschaftliches Arbeitsklima und hilfreiche Gedankenanstöße.

Schließlich geht mein besonderer Dank an meinen Ehemann, der mich liebevoll auf allen Ebenen unterstützt und stärkt, sowie an meinen Sohn, der es versteht mit Leichtigkeit Freude zu verbreiten. Auch an meine Eltern und meinen Bruder möchte ich meinen besonderen Dank richten, sie haben mich stets in allen meinen Vorhaben unterstützt und ermutigt.

# ZUSAMMENFASSUNG

Bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung hierarchischer Reize entstehen Konjunktionsfehler. Sie bezeugen, dass die zunächst noch ungebundenen Inhalte erst zu einem späteren Zeitpunkt an die Ebenen Global und Lokal gebunden werden. Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (Hübner & Volberg, 2005), die dieser Arbeit zugrunde liegt, geht zusätzlich mit ihrer Bindungsasymmetrie-Hypothese davon aus, dass sich die Hirnhemisphären ausschließlich bezüglich ihrer Bindungskapazitäten unterscheiden. Die spezifische Hemisphären-Asymmetrie bietet Zugang, Faktoren in Hinblick auf ihren Einfluss auf den Bindungsprozess zu untersuchen. Es besteht die Annahme, dass Raumfrequenzen eine maßgebende Rolle im Mechanismus des Bindens spielen (Flevaris et al., 2010). In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss verschiedener Faktoren auf den Mechanismus des Bindens untersucht. Weiterhin wurde die Bindungsasymmetrie-Hypothese geprüft und schließlich hinterfragt, ob der Bindungskonsistenzeffekt (Goldfarb & Treisman, 2010) auf das Global/Lokal-Paradigma übertragbar ist.

In der ersten Studie wurde der Einfluss der Faktoren Reiztyp (spezifische Zusammensetzung von Raumfrequenzen), Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung auf den Bindungsprozess untersucht. Es stellte sich heraus, dass der Prozess des Bindens sowohl durch eine Voraktivierung einer Ebenenkategorie durch Ebenenwiederholung als auch durch eine erleichterte Raumfrequenzanalyse (Reiztyp) verbessert werden kann. In der zweiten Studie wurde die Bindungsasymmetrie-Hypothese überprüft. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Hemisphären sich bezüglich ihrer Identifikationskapazitäten nicht unterscheiden, während die rechte Hemisphäre leichter Inhalte an die Ebene Global und die linke Hemisphäre leichter Inhalte an die Ebene Lokal bindet. Schließlich wurde in der dritten Studie bei der Überprüfung der Übertragbarkeit des Bindungskonsistenzeffektes auf das Global/Lokal-Paradigma festgestellt, dass unter der Voraussetzung, dass ausreichend Wahrnehmungskapazität für die Verarbeitung aufgaben-irrelevanter Informationen zur Verfügung steht, der Bindungskonsistenzeffekt auch im Global/Lokal-Paradigma beobachtet werden kann.

Insgesamt unterstützen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nicht nur die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie inklusive der in ihr enthaltenen Bindungsasymmetrie-Hypothese, ferner wird sie zusätzlich ergänzt durch Hinweise über den Mechanismus des Bindens und Wege den Bindungsprozess zu manipulieren.

# SUMMARY

By early interruption of processing hierarchical stimuli conjunction errors occur, they prove that identified and initially unbound contents are bound to the global and local level of hierarchical stimuli only at a later stage of processing. This work is based on the content-level-binding theory (Hübner & Volberg, 2005) which includes the binding-asymmetry-hypothesis. It proceeds from the assumption, that the hemispheres do not differ in their identification capacities and that they exclusively differ with regard to their capacities of binding content to the global or local level of hierarchical stimuli. These specific hemispheric asymmetries give access to examine the effects of various factors on the binding-process. It is assumed that spatial frequencies have an influential role in the mechanism of binding (Flevaris et al., 2010). In the present work the effects of various factors on the mechanism of binding were examined. In addition the binding-asymmetry-hypothesis was verified and finally the transferability of the binding-congruency-effect (Goldfarb & Treisman, 2010) into the global/local-paradigm was analyzed.

In the first study the effects of stimulus type (specific spatial frequency composition), stimulus type repetition and level repetition on content-level-binding was examined. The results indicated that both pre-activation of level category through level repetition and easy spatial frequency analysis can improve content-level-binding. In the second study the binding-asymmetry hypothesis was confirmed. The hemispheres do not differ in their capacity for content identification. They only differ with respect to their capacity for binding content to their respective levels. Finally in the third study it was detected, that under conditions of enough perception load remaining for the processing of task-irrelevant information the binding-congruency-effect is effective in the global/local-paradigm.

Altogether, the results of the present work not only support the content-level-binding theory as well as the binding-asymmetry hypothesis, they rather complete the content-level-binding theory with their indications about the mechanism of binding and ways of manipulating content-level-binding.

# INHALTSVERZEICHNIS


**EINFÜHRUNG** **1**

**1. VISUELLE OBJEKTWAHRNEHMUNG** **1**

**1.1. WAHRNEHMUNG HIERARCHISCHER OBJEKTE** 3

**1.2. ÜBERBLICK** 5

**2. REIZE UND AUFGABEN IN GLOBAL/LOKAL-STUDIEN** **6**

**2.1. EBENENDOMINANZ** 9

**2.2. PHYSIKALISCHE REIZEIGENSCHAFTEN** 11

**2.3. RELATIVE REIZEIGENSCHAFTEN** 14

**2.4. MASKIERUNGSPARADIGMA** 15

**3. ILLUSORISCHE KONJUNKTIONEN** **17**

**3.1. KONJUNKTIONSFEHLER** 19

**3.2. MERKMALSFEHLER** 20

**3.3. „ECHTE“ KONJUNKTIONSFEHLER** 20

**3.4. ZUSAMMENFASSUNG** 23

**4. THEORIEN ZUR VERARBEITUNG HIERARCHISCHER OBJEKTE** **23**

**4.1. MERKMALSINTEGRATIONSTHEORIE (MIT)** 25

**4.2. INHALT-EBENEN-BINDUNGSTHEORIE** 31

**4.3. DOUBLE-FILTERING-BY-FREQUENCY-THEORIE (DFF)** 38

**4.4. ZUSAMMENFASSUNG** 41

**5. HIRNASYMMETRIEN IN DER VERARBEITUNG VON HIERARCHISCHEN OBJEKTEN** **42**

**5.1. KONGRUENTE VS. INKONGRUENTE HIERARCHISCHE REIZE** 46

**5.2. REIZINDENTIFIKATION** 48

**6. AUSBLICK AUF DIE STUDIEN** **52**

**6.1. AUF DER SUCHE NACH DEM MECHANISMUS DER INHALT-EBENEN-BINDUNG** 52

**6.2. DER GRÖßENKONSISTENZEFFEKT IM GLOBAL/LOKAL-PARADIGMA** 55

**STUDIE 1: DER BINDUNGSMECHANISMUS** **56**

**1. EINLEITUNG** **56**

**2. Experiment 1 – Reizmanipulation 62**

2.1. Methode 64

2.2. Ergebnisse 67

2.3. Diskussion 70

**3. Experiment 2 – Ebenen- und Reizwiederholung (Prime und Testreiz maskiert) 72**

3.1. Methode 73

3.2. Ergebnisse 74

3.3. Diskussion 77

**4. Experiment 3 – Ebenen- und Reizwiederholung (Prime unmaskiert) 79**

4.1. Methode 80

4.2. Ergebnisse 81

4.3. Diskussion 86

**5. Diskussion von Studie 1 87**

**STUDIE 2: INTEGRATION VS. IDENTIFIKATION 94**

**1. Einleitung 94**

**2. Experiment 4 – bilaterale Präsentation 99**

2.1. Methode 99

2.2. Ergebnisse 101

**3. Diskussion von Studie 2 105**

**STUDIE 3: GRÖßENKONSISTENZEFFEKT 110**

**1. Einleitung 110**

**2. Experiment 5A – hierarchische Ziffern 117**

2.1. Methode 119

2.2. Ergebnisse 121

2.3. Diskussion 124

**3. Experiment 5B – Hierarchische Ziffern (mit „?“-Taste) 128**

3.1. Methode 128

3.2. Ergebnisse 130

3.3. DISKUSSION 133

4. DISKUSSION VON STUDIE 3 137

GESAMTDISKUSSION 143

1. DIE GRÖßE DER HIRNASYMMETRIE ALS MAß FÜR DIE INHALT-EBENEN-BINDUNG 145

2. DIE DIFFERENZIERUNG ZWISCHEN INTEGRATION UND IDENTIFIKATION 147

3. AUSWIRKUNGEN DER GRÖßENKONSISTENZ AUF DIE INHALT-EBENEN-BINDUNG 149

4. DER MECHANISMUS DER INHALT-EBENEN-BINDUNG 151

5. MODELLE DER INHALT-EBENEN-BINDUNG 152

6. AUSBLICK 154

LITERATURVERZEICHNIS 157

# EINFÜHRUNG

## 1. VISUELLE OBJEKTWAHRNEHMUNG

Wenn wir durch ein Fenster schauen, so erleben wir eine sofortige Repräsentation der betrachteten Landschaft. Ohne jegliche Verzögerung nehmen wir alle in der Landschaft enthaltenen Objekte als Ganzes, vollständig und an ihrer korrekten Position wahr. Ganz gleich wie sehr wir uns konzentrieren, diesen Sehvorgang und den Prozess der Informationsverarbeitung bewusst zu erleben, es wird uns nicht gelingen, diesen gesamten Wahrnehmungs- und Informationsverarbeitungsprozess in unser bewusstes Erleben zu holen.

Ausführliche Forschung zur Physiologie des menschlichen visuellen Systems konnte zeigen, dass es mit spezialisierten Rezeptoren und kortikalen Verarbeitungsströmen für Farb-, Form-, Ort-, und Bewegungswahrnehmung ausgestattet ist. In den höheren Cortexarealen finden sich zusätzlich hochspezifische Zellen, die zum Beispiel lediglich auf das Vorhandensein von Händen, Tieren oder Gesichtern – ganz unabhängig davon, wo diese Objekte sich im Sehfeld befinden – reagieren. Zusätzlich zu diesen neuronalen Merkmalsdetektoren haben Forscher auch beobachtet, wie einzelne, einfache Cortexzellen auf spezifische Raumfrequenzen reagieren (Goldstein, 2002). Dieser Detektionsmechanismus für Raumfrequenzen im menschlichen visuellen System ist ein weitverbreiteter Erklärungsansatz für Objektwahrnehmung (Sachs, Nachmias & Robson, 1971). In Abschnitt 4 wird ausführlich auf die für die vorliegende Arbeit interessanten Aspekte dieses Ansatzes eingegangen.

Könnte eine Analyse der Physiologie des visuellen Systems bereits alle Fragen zum Prozess unseres Sehens und der Informationsverarbeitung beantworten? Bei einer alleinigen Berücksichtigung der Antwortsignale von Rezeptoren und Aktivitäten von Hirnarealen würde der Mensch lediglich als ein passiver Empfänger verstanden werden. Erst wenn wir Faktoren wie beispielsweise Aufmerksamkeit, Erfahrung, Vertrautheit und Bedeutung hinzuziehen, können wir uns an die multiplen Mechanismen, die unsere visuelle Wahrnehmung zusam-

mensetzen, herantasten. Die visuelle Objektwahrnehmung hängt also von multiplen Mechanismen ab, die sowohl auf der physiologischen als auch auf der psychophysischen Ebene zusammenarbeiten. Diese wiederum werden von Informationsverarbeitungsprozessen beeinflusst, zu denen unser Bewusstsein kaum oder keinen Zugang hat (Goldstein, 2002).

Es lassen sich also eine Vielzahl von Fragen formulieren, die den Wahrnehmungsprozess betreffen. Nehmen wir alle Informationen parallel auf? Werden Szenen aus Einzelteilen konstruiert oder werden die Einzelteile später erkannt und integriert? Verläuft die Verarbeitung stufenweise? Werden Informationen in getrennten Kanälen verarbeitet oder können sie miteinander interferieren? Unterscheiden sich die Hirnhemisphären bezüglich ihrer Kapazitäten visuelle Stimuli zu verarbeiten? Wie kommt es zu illusorischen Vertauschungen? Die Liste der Fragen ist lang und bis heute finden sich immer wieder neue und in tiefere Details reichende Fragen, die aus den Forschungsbereichen der Kognitiven Psychologie, Neuroinformatik, Neuropsychologie und Neurophysiologie zusammengetragen werden. In dieser Einführung soll in erster Linie auf die bereits gesammelten Antworten oder Annahmen, die für die vorliegende Arbeit relevant sind, eingegangen werden.

Einen guten Zugang zu den vorherrschenden Erklärungsansätzen der Objektwahrnehmung eröffnet eine Gegenüberstellung der beiden entgegengesetzten Perspektiven der Gestaltpsychologen und der Konstruktivisten. Die gestalttheoretische Erklärung nimmt an, dass zunächst das Ganze – als Einheit der Objekte und ihrer Relationen – wahrgenommen wird und erst bei notwendiger, näherer Analyse die einzelnen Elementarmerkmale registriert werden. Wohingegen der konstruktivistische Ansatz vertritt, dass die Erfahrung des Ganzen durch das Zusammensetzen der registrierten Einzelteile konstruiert wird (Koffka, 1935; Titchener, 1909). Wenn der eine oder der andere Ansatz alleinstehend gelten würde, so müssten wir in der Betrachtung von Objekten stets entweder das Ganze oder die Einzelteile schneller erkennen und verarbeiten können. Wir werden weiter unten noch sehen, dass der Wahrnehmungsprozess flexibel ist und dieser Prozess wesentlich durch Aufmerksamkeit beeinflusst werden kann. Die gestaltpsychologischen und auch konstruktivistischen Erklärungsmodelle können den Vorgang der visuellen Wahrnehmung nicht ausreichend erklären oder vorhersagen.

Einen wichtigen Meilenstein für den Erklärungsversuch der Objektwahrnehmung setzte Ann Treisman als sie 1980 zusammen mit Garry Gelade die Merkmalsintegrationstheorie (*Feature-Integration Theory of Attention*) vorstellte. Ich werde in Abschnitt 4 ausführlich auf

diese Theorie eingehen. An dieser Stelle sei bereits gesagt, dass die Theorie der Merkmalsintegration von einem zweistufigen Prozess der Objektwahrnehmung ausgeht. Auf der ersten und frühen Verarbeitungsstufe werden zunächst die Elementarmerkmale (wie beispielsweise Form, Farbe, Orientierung und Größe) automatisch und parallel registriert. Die Objekterkennung erfolgt dann erst auf einer späteren Stufe, wenn die einzelnen Merkmale aufmerksamkeitsgeleitet gebunden wurden.

Doch wie entsteht die Repräsentation eines Ganzen? Wie werden die einzelnen Elemente zusammengebunden? Diese Frage, die das sogenannte „Bindungsproblem“ (*binding-problem*) anspricht, verweist bereits auf eines der zentralen Fragestellungen der aktuellen Forschung zum Thema visuelle Objektwahrnehmung. Die Neuropsychologie beispielsweise nimmt an, dass die Synchronizität der aktivierten neuronalen Merkmalsdetektoren für das Binden von Reizantworten und Informationen verantwortlich ist. In ihrem Modell der Merkmalsintegration führen Treisman und Gelade (1980) die gerichtete Aufmerksamkeit als „Leim“ auf, welcher die zunächst separaten und frei flottierenden Elementarmerkmale zu einem ganzen Objekt zusammensetzt. Doch die zentrale Frage nach dem Mechanismus, der die einzelnen Elementarmerkmale zu einem Ganzen bindet, bleibt bis heute noch Diskussionsthema und wird durch die Ergebnisse aktueller Forschung weiter verfeinert (siehe bspw. Goldfarb & Treisman, 2010; Flevaris, Bentin & Robertson, 2010). Auch die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dieser Frage – speziell bei der Verarbeitung von hierarchischen Objekten – auf der Suche nach möglichen Erklärungen und Einflussfaktoren rund um das Bindungsproblem.

## 1.1. WAHRNEHMUNG HIERARCHISCHER OBJEKTE

Die meisten Objekte unserer Umgebung sind hierarchisch aufgebaut, d.h. auf der niedrigeren Ebene A bilden mehrere Elemente zusammen ein auf der höheren Ebene B als Ganzes wahrgenommenes Objekt (beispielsweise: bilden mehrere Bäume auf Ebene A den auf der höheren Ebene B wahrgenommenen Wald). Es hat sich durchgesetzt, dass die niedrigere Ebene als *lokal* und die höhere Ebene als *global* bezeichnet werden. Ein betrachteter Wald bildet somit die Ebene Global, wenn er in Relation zu den in ihm enthaltenen Bäumen (Ebene Lo-

kal) gesehen wird. Doch auch jeder einzelne Baum wiederum kann als Ebene Global wahrgenommen werden, wenn wir ihn in Relation zu seinen lokalen Bestandteilen (bspw. Äste, Blätter) betrachten. So kann unsere gesamte Umgebung als ein hierarchisches Netzwerk verstanden werden (vgl. Navon, 1977; Flevaris, Bentin & Robertson, 2010).

Wie werden hierarchische Objekte verarbeitet? Nehmen wir hierarchische Objekte so wie eine Zoom-In-Linse wahr, die von der Ebene Global in die Ebene Lokal steuert? Oder werden erst die lokalen Aspekte analysiert und dann die globale Ebene zusammengesetzt? Gibt es Hinweise auf eine gleichzeitige oder variable Verarbeitung der beiden Ebenen? Wenngleich David Navon 1977 noch von dem allgemeinen „Prinzip des Vorrangs des Globalen“ (*the principle of global precedence*) ausging, so konnte weitere empirische Forschung zeigen, dass durch die Manipulation unterschiedlicher Faktoren wie beispielsweise Anzahl, Größe und Abstand der lokalen Elemente (Kimchi & Palmer, 1982) die Ebene, auf der die Informationen schneller erkannt werden, gewechselt werden kann. Somit ist die Wahrnehmung von hierarchischen Objekten wesentlich komplexer als ein rigides, serielles Ablaufen der Verarbeitungsprozesse der beiden Ebenen Global und Lokal (siehe Abschnitt 2). Ein Hinweis, dass die Verarbeitung der Informationen auf den Ebenen Global und Lokal nicht voneinander getrennt und seriell abläuft, bot die Beobachtung der Interferenz zwischen den beiden Ebenen. Inkongruente Reize, bei denen sich die Inhalte auf den beiden Ebenen unterscheiden, werden aufgrund dieser Interferenz langsamer verarbeitet, als kongruente Reize, dessen Inhalte auf den beiden Ebenen identisch sind (Navon, 1977). Dieser Befund der Global/Lokal-Interferenz weist daraufhin, dass es nicht immer möglich ist, die Information auf der nicht-Zielebene (*nontarget-level*) zu ignorieren (siehe auch Stroop, 1935), selbst wenn die Zielebene (*target-level*) fokussiert wird.

Unteranderem wurde auch vorgeschlagen, dass spezifische, getrennte Verarbeitungsströme im Gehirn für die Verarbeitung von globalen und lokalen Elementen fungieren und dass diese jeweils mit unterschiedlichen Hirnhemisphären zu assoziieren sind. Tatsächlich finden sich mittlerweile viele empirische Studien, in denen Unterschiede zwischen den beiden Hirnhemisphären bezüglich der Verarbeitung der globalen und lokalen Ebene gefunden wurden (siehe Abschnitt 5). Doch dieser Befund gibt noch keinen Hinweis darauf, wie und wann der Inhalt einer Ebene mit der Ebene selbst verbunden wird.

Angeregt vom Grundgedanken der Merkmalsintegrationstheorie (Treisman & Gelade, 1980) entwickelten Hübner und Volberg (2005) die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (*content-level-binding theory*). Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie beschreibt die Verarbeitung von hierarchischen Objekten als einen Prozess mit zwei Phasen. In der frühen Phase der Verarbeitung werden Inhalte identifiziert und von den Ebenen separat registriert. Wenn wir also an unser Wald-Baum-Beispiel denken, so würde das bedeuten, dass die Inhalte („Wald", „Baum") jeweils getrennt und separat von den Ebenen („Global", „Lokal") repräsentiert werden. Erst in einer späteren Verarbeitungsphase werden die Inhalte „Wald" und „Baum" dann an ihre entsprechenden Ebenen „Global" und „Lokal" gebunden (siehe Abschnitt 4). Zusätzlich konnten Hübner und Volberg (2005) zeigen, dass die bei der Verarbeitung von hierarchischen Objekten häufig beobachteten Hirnasymmetrien nur dann auftreten, wenn das Binden von Inhalt und Ebene notwendig wird. Das Inhalt-Ebenen-Bindungs-Modell von Hübner und Volberg (2005) gibt eine Antwort auf die Frage, wann Inhalt und Ebene verbunden werden, jedoch bleibt die Frage nach dem „Wie?" noch offen.

Flevaris, Bentin und Robertson (2010) schlagen vor, dass die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion hoher und niedriger Raumfrequenzen das Binden von Inhalt und Ebene „moduliert" (siehe Abschnitt 4 und 5). Ob der Einfluss von hohen und niedrigen Raumfrequenzen den Mechanismus des Bindens erklären kann oder ob weitere Faktoren für den Mechanismus des Bindens relevant sind, werden wir in der vorliegenden Arbeit ausführlich diskutieren.

## 1.2. ÜBERBLICK

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Verarbeitung hierarchischer Objekte (*global-local-processing*). Ihr liegt die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (Hübner & Volberg, 2005) zugrunde, auch die in der Studie von Hübner und Volberg (2005) verwendeten Methoden wurden hier aufgegriffen. Sowohl die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie als auch die zu ihrer Untersuchung verwendeten Methoden sind in der aktuellen Forschung im Global/Lokal-Paradigma anerkannt (siehe bspw. Flevaris, Bentin & Robertson, 2010; Keita & Bedoin, 2010). Hübner und Volberg (2005) verwendeten die von Navon (1977) erstellten hierarchischen Buchstaben (*compound-letter stimuli*), bei denen beispielsweise ein globales „H" aus

mehreren lokalen Buchstaben „E“ aufgebaut wurde. Weiterhin haben sie – statt der traditionellen Analyse der Reaktionszeiten – die Fehler analysiert. Fehler wurden provoziert, in dem die Darbietungszeit durch eine knappe Reizpräsentation (24 *ms*) und der zügigen Maskierung des Reizes (unterschiedliche Stimulus-Maskierungs-Intervalle, von 196 *ms* bis 12 *ms*) verkürzt wurde. Die beobachteten Fehler wurden weiter differenziert. Hübner und Volberg (2005) unterschieden – nach der Tradition von Treisman und Gelade (1980) – zwischen Konjunktionsfehlern (*conjunction errors*) und Merkmalsfehlern (*feature errors*) (siehe Abschnitt 3). Dieses Maskierungs-Paradigma erwies sich als sehr effektiv, um den Verarbeitungsprozess hierarchischer Objekte zu untersuchen und um die noch offenstehenden Fragen zu diesem Prozess anzugehen: Worin unterscheiden sich die Prozesse der Merkmalsidentifikation und Merkmalsintegration (bzw. Merkmalsbindung)? Was sagt die Größe der Hirnasymmetrie über das Binden aus? Gibt es feste Regeln nach denen das Binden abläuft? Welche Einflussfaktoren können das Binden von Inhalt und Ebene beeinflussen?

In den kommenden Abschnitten werden die zentralen Aspekte, Faktoren und Methoden des Global/Lokal-Paradigmas besprochen (Abschnitt 2 und 3), darauf folgt eine ausführliche Auseinandersetzung mit den Theorien der Verarbeitung hierarchischer Objekte (Abschnitt 4). Um die Rolle der Hirnasymmetrie im Global-Lokal-Verarbeitungsprozess zu beleuchten, wird in Abschnitt 5 ein näherer Blick auf die aktuellen Studien und Erkenntnisse bezüglich der unterschiedlichen Verarbeitung von Global und Lokal in den beiden Hirnhemisphären geworfen.

# 2. REIZE UND AUFGABEN IN GLOBAL/LOKAL-STUDIEN

Um den Verarbeitungsprozess der visuellen Wahrnehmung messbar zu machen, ist es erforderlich Reize und Aufgabenstellungen zu entwickeln, die die jeweiligen Hypothesen überprüfen können. Überfliegt man die mittlerweile vielen Studien, die zur Erforschung des Global/Lokal-Prozesses gemacht wurden, so finden sich eine Vielzahl unterschiedlicher Reize (bspw. hierarchische Objekte aus Zahlen, Buchstaben oder anderen Formen) und Aufgaben-

stellungen (bspw. Visuelle Suche, Gleich/Ungleich-Aufgaben oder Identifikations-Aufgaben), die verwendet wurden.

Das Charakteristikum hierarchischer Reize ist, dass mehrere, kleinere Elemente eine größere Form zusammensetzen. Dabei bilden die kleineren Elemente die Ebene Lokal und die so gebildete Gesamtform repräsentiert die Ebene Global. Um die beiden Ebenen Global und Lokal zu bilden, können an alle denkbaren Symbole verwendet werden. In unserer natürlichen Umgebung haben wir in der Regel eine Mischung unterschiedlicher Formen, die die unterschiedlichen Ebenen bilden. Betrachten wir ein Gesicht, bildet die Gesichtsform die Ebene Global und ihre Bestandteile wie Augen und Nase sind als lokale Elemente zu erkennen. Doch bei dieser Informationsverarbeitung vermengen sich die datengeleiteten Informationen

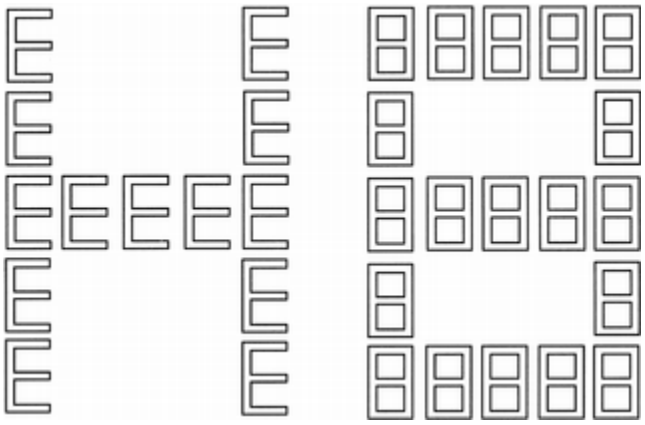

**Abbildung 1. Links: Beispiel eines hierarchischen Buchstabens. Rechts: Maske zur Verarbeitungsunterbrechung. (Hübner & Volberg, 2005)**

(*bottom-up information*) und die erfahrungsgeleiteten Informationen (*top-down information*). Uns ist die Zusammensetzung eines Gesichts selbstverständlich vertraut, sodass wir auch ohne eine erneute Verarbeitung der Gesichtsabbildung sowohl Positionen von Augen, Nasen, Mund oder Ohren als auch ihre Ebenenzugehörigkeit ohne Schwierigkeiten kategorisieren können. D.h. für die Verarbeitung von vertrauten Objekten werden bei einem Mangel an datengeleiteten Informationen erfahrungsgeleitete Informationen herangezogen, um eine korrekte Repräsentation des Objektes zu gewährleisten. Wenn das Ziel also darin besteht, den Verarbeitungsprozess der visuellen Wahrnehmung in Hinblick auf das Binden von Inhalten an ihre entsprechenden Ebenen untersuchen zu können, so empfiehlt es sich, Reize zu verwenden, dessen Inhalte nicht allein durch ihre Identifikation bereits ihre Ebenenzugehörigkeit vermitteln. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für einen hierarchischen Reiz aus Buchstaben. Dieser hierarchische Buchstabe besteht aus zwei Buchstaben, wobei der globale Buchstabe „H“

aus den lokalen Buchstaben „E“ zusammengesetzt wird. Ein solcher Reiz ist gut geeignet für die Untersuchung der Global/Lokal-Verarbeitung, da die Identifikation des Buchstabens keinen Hinweis über ihre Ebenenzugehörigkeit liefert und weiterhin die Information über den Inhalt der einen Ebene (hier „H“ für global) keinen Schluss über die Information auf der anderen Ebene (hier „E“ für lokal) gewährt. Ein solcher hierarchischer Buchstabe wird häufig auch als „Navon Buchstabe“ (*Navon letter*) bezeichnet, da es David Navon war, der 1977 solche Reize verwendete, um seine mittlerweile im Global/Lokal-Paradigma berühmt gewordene Hypothese über die „globale Dominanz“ (*global precedence*) zu prüfen.

Eine mögliche Aufgabenstellung, um die Reaktionszeiten zwischen der Verarbeitung der globalen Ebene und der lokalen Ebene zu vergleichen, präsentierte Navon (1977), indem die Versuchspersonen möglichst schnell den auf der angewiesenen Ebene (Zielebene, *target level*) erkannten Buchstaben eingeben sollten. Navons hierarchische Buchstaben waren zusammengesetzt aus den zwei möglichen Zielbuchstaben „H“ und „S“ und einem neutralen Buchstaben „O“. In der Bedingung „Global“, sollten Versuchspersonen per Tastendruck eingeben, welcher der beiden Buchstaben „H“ und „S“ auf der Ebene Global zu erkennen war. Entsprechend sollten sie in der „Lokal“-Bedingung angeben, welchen der beiden Buchstaben „H“ und „S“ sie auf der Ebene Lokal erkannt hatten. Weiterhin wurden die Reize randomisiert an unterschiedlichen Positionen präsentiert, um eine starre Anpassung der Fokuseinstellung bei den Versuchspersonen zu vermeiden. Die Reize wurden jeweils für 40 *ms* präsentiert und sofort mit einem Punktemuster maskiert. Die Maske blieb dann jeweils solange aufrecht, bis die Versuchsperson geantwortet hatte. Bei diesem Versuchsaufbau wurden die Reaktionszeiten gemessen und analysiert. Wie bereits oben erwähnt, finden sich in den Studien zur Global/Lokal-Verarbeitung (*global/local-processing*) eine Vielzahl von Operationalisierungen, bei denen unterschiedliche Faktoren variiert wurden, wie bspw. Variation der Reize (Kimchi & Palmer, 1982), Variation der räumlichen Position (Lamb & Robertson, 1988) und Variation der Darbietungsdauer (Paquet & Merikle, 1988). Die Betrachtung und Analyse von illusorischen Konjunktionen (*illusory conjunctions*) (Hübner & Volberg, 2005) – statt der Reaktionszeiten – erlaubte die Überprüfung der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie. In ihren Untersuchungen verwendeten Hübner und Volberg (2005) hierarchische Buchstaben, diese wurden jeweils aus zwei verschiedenen Buchstaben aus den vier Buchstaben „A, S, H und E“ zusammengesetzt. Zunächst wurde den Versuchspersonen ein Hinweisreiz präsentiert, der ihnen angab, auf welche Ebene sie achten sollten, daraufhin erschien der Reiz für 24 *ms* entweder

im linken (LVF) oder rechten visuellen Feld (RVF). Die Zeitspanne (*Stimulus-Maskierungs-Intervall,* SMI), bis der Reiz dann maskiert wurde, wurde ebenfalls randomisiert variiert. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, den Buchstaben auf der Zielebene (*target level*) zu kategorisieren, indem sie eines der vier Tasten auf der Tastatur drückten, die für die jeweiligen Buchstaben „A, S, H und E“ vorgesehen waren. Hübner und Volberg (2005) analysierten daraufhin die Fehler, die die Versuchspersonen gemacht hatten. Von besonderem Interesse war das Muster der Konjunktionsfehler (*conjunction errors*). In Abschnitt 3 wird ausführlich auf die Definition, Bedeutung und Analyse von illusorischen Konjunktionen (*illusory conjunctions*) eingegangen. An dieser Stelle sei bereits vermerkt, dass diese Methode aktuell die Methode der Wahl ist, wenn weitere Erkenntnisgewinne über den Bindungsmechanismus im Global/Lokal-Paradigma angestrebt werden (siehe dazu auch Flevaris, Bentin, Robertson, 2010), so wurden auch in den Studien der vorliegenden Arbeit jeweils diese Methode verwendet.

## 2.1. EBENENDOMINANZ

Navon (1977) beschrieb, dass unser visuelles System eine Szene in unterschiedliche Ebenen zerlege. Er nahm an, dass das menschliche visuelle System die Tendenz vorweise, die Ebene Global bevorzugt und schneller zu verarbeiten. So schlussfolgerte er, dass die Verarbeitung hierarchischer Szenen entweder durch eine sequenzielle Analyse erfolgte, die erst globale Informationen und dann immer mehr die lokalen Elemente verwendete, oder aber durch eine schnellere oder stärkere Aktivität globaler als lokaler Informationen angetrieben sein könnte. Der Begriff „globale Dominanz“ (*global precedence* oder *global advantage*) wird häufig verwendet, um die empirisch häufig beobachtete schnellere Verarbeitung der Informationen auf der Ebene Global zu bezeichnen. Navon (1977) hat in Experiment 2 seiner Studie Stroops Befund (1935), dass unterschiedliche Aspekte eines Reizes bei der Verarbeitung miteinander interferieren können, zu Nutze gemacht. Stroop (1935) konnte unter Verwendung fünf verschiedener Farbnamen und Schriftfarben zeigen, dass die Benennung der Schriftfarbe durch den Farbnamen gestört wurde. So fand er also verlangsamte Reaktionszeiten, wenn Versuchspersonen die Schriftfarbe eines Farbnamens nennen sollten, dessen

Farbname nicht der Schriftfarbe entsprach (z.B. Farbname „rot“ und Schriftfarbe „grün“). Navon (1977) verwendete eine Variation des Stroop-Interferenz-Tests, die er selbst „intermodale Stroop-Aufgabe“ (*an intermodality Stroop task*) nennt. Dabei verwendete er auditive Signale, die mit der visuellen Darbietung der von ihm konstruierten hierarchischen Reize interferieren sollten. Versuchspersonen wurde über den auditiven Kanal entweder der Buchstabe „H“ oder „S“ genannt und zusätzlich erhielten sie auf dem Bildschirm einen hierarchischen Reiz, der entweder aus den beiden Buchstaben „H“ und „S“ zusammengesetzt war oder aus einer Kombination eines der Buchstaben mit einem Quadraten als neutrales Symbol. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, auf den auditiven Reiz zu reagieren und anzugeben, ob der Buchstabe „H“ oder „S“ genannt wurde. Lediglich die Information auf der Ebene Global hat einen Einfluss auf die Reaktionszeiten der Versuchspersonen gezeigt. War der Buchstabe auf der Ebene Global kongruent mit dem auditiven Reiz (auditives „H“ und Buchstabe auf der Ebene Global ebenfalls „H“), so haben die Versuchspersonen wesentlich schneller geantwortet als im Falle eines Konfliktes zwischen auditivem Reiz und dem Buchstaben auf der Ebene Global (auditives „H“ und „S“ als Buchstabe auf der Ebene Global). Die Variation der Buchstaben auf der Ebene Lokal hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten.

Navon argumentierte weiterhin, dass die globale Ebene nicht nur schneller verarbeitet wurde, sondern zusätzlich die Verarbeitung der lokalen Informationen beeinflusste (vgl. auch Pomerantz, 1983). Um diese Annahme zu demonstrieren, hat er in seinem Experiment 3 Versuchspersonen hierarchische Buchstaben für 40 *ms* präsentiert und diese maskiert. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, den Buchstaben auf der Zielebene zu nennen („H“ oder „S“). Die Reaktionszeiten für die Buchstaben auf der Ebene Global waren wesentlich schneller als für die Buchstaben auf der Ebene Lokal. Navon (1977) interpretierte dieses Ergebnis im Sinne einer Inhibition der Verarbeitung der Information auf der Ebene Lokal durch die Verarbeitung der Information auf der Ebene Global. Er beschrieb das Phänomen des „globalen Einflusses“ (*global interference*) als unidirektionale, hemmende Wirkung der Information auf der globalen Ebene auf die Verarbeitung der Information auf der lokalen Ebene (siehe auch Luna, Merino & Marcos-Ruiz, 1990; Robertson, Lamb & Zaidel, 1993).

Navons Annahme der „globalen Dominanz“ war Motor für ausgiebige Studien zu den möglichen Einflussfaktoren, die eine Ebenendominanz verursachen und manipulieren können. Insofern visuelle Wahrnehmung aus einem Zusammenspiel datengeleiteter Prozesse (*bottom-*

*up-processes*) und erfahrungs- und kognitionsgeleiteter Prozesse (*top-down-processes*) hervorgeht, stellte sich also die Frage: Welche Reizeigenschaften und welche Erfahrungs- und Aufmerksamkeitsfaktoren könnten einen Einfluss auf die Dominanz einer bestimmten Ebene haben? Auf der Suche nach diesen Einflussfaktoren konnten spätere Studien zeigen, dass das Phänomen der „globalen Dominanz" durchaus abhängig ist von unterschiedlichen Reizeigenschaften wie Gesamtgröße des Reizes (Kinchla & Wolfe, 1979), Anzahl und Abstand der lokalen Elemente (Martin, 1979; Pomerantz & Sager, 1975), relative Größe (Kimchi & Palmer, 1982) oder Verzerrungsgrad des Reizes (Hoffman, 1980) und auch von Aufmerksamkeitsstrategien wie Filtereinstellungen für Positionen oder Größen (Lamb & Robertson, 1988; Robertson, Egly, Lamb & Kerth, 1993). Diese Untersuchungen konnten zeigen, dass die Annahme der Unvermeidbarkeit einer „globalen Dominanz" zu verwerfen ist, da es unter Manipulation der obengenannten Reiz- und Aufmerksamkeitsfaktoren zu ihrer Umkehrung – nämlich einer „lokalen Dominanz" – kommen kann.

## 2.2. PHYSIKALISCHE REIZEIGENSCHAFTEN

Wenn man hierarchische Objekte in unserer natürlichen Umgebung betrachtet, so unterscheiden sich häufig Form, Größe, Farbe und Raumfrequenz der globalen Objekte mit den jeweiligen Eigenschaften ihrer lokalen Elemente. Ein Auge als lokaler Bestandteil eines Gesichts unterscheidet sich sowohl in seiner äußeren Form als auch in Größe, Farbe und Raumfrequenz von dem Gesicht, das die globale Ebene bildet. Jedes dieser Eigenschaften kann die Aufmerksamkeit und den visuellen Prozess für die Verarbeitung der einen oder anderen Ebene beeinflussen. Es sind im Besonderen zwei physikalische Eigenschaften von hierarchisch aufgebauten Reizen zu nennen, die zu meist zwischen globalen und lokalen Elementen unterscheiden lassen. In diesem Abschnitt soll näher auf die beiden physikalischen Reizeigenschaften absolute physikalische Größe und spezifische Raumfrequenz eingegangen werden.

In Studien wurde gezeigt, dass Reaktionszeiten deutlich verringert werden konnten, indem vor der Präsentation des Zielreizes (*target*) bereits durch einen Hinweisreiz (*cue*) angegeben wurde, an welcher Position der Zielreiz erscheinen wird (Eriksen & Hoffman, 1972; Eriksen & St. James, 1986; Eriksen & Webb, 1989). Eine solche Leistung fordert Aufmerk-

samkeitskontrolle und die Anwendung eines Filtermechanismus, der die räumliche Verteilung der Aufmerksamkeit begrenzen kann. Jonides (1981, 1983) unterschied mit seinem *spotlight*-Modell zwischen zwei voneinander getrennten Formen der räumlichen Aufmerksamkeit: „fokussiert“ (*focused*) und „verteilt“ (*distributed*). Im Falle der fokussierten Aufmerksamkeit werden relativ detaillierte Informationen aus einer spezifischen räumlichen Position verarbeitet und im Falle der verteilten Aufmerksamkeit werden weniger detaillierte Informationen aus einer breiteren Region im Raum verarbeitet. Es wurden jedoch auch Theorien für eine graduelle Eingrenzung/Erweiterung der mit gesteigerter Aufmerksamkeit benetzten räumlichen Fläche entwickelt (vgl. Henderson, 1992). Letztlich bildet das Zoom-Linsen-Modell (*zoom-lens model*) von Eriksen und Yeh (1985) eine Mischform zwischen dem *spotlight*-Modell und der graduellen Theorien. Das Zoom-Linsen-Modell (*zoom-lens model*) differenziert ebenfalls zwischen fokussierter und verteilter Aufmerksamkeit, betrachtet diese beiden Aufmerksamkeitsformen jedoch als Endpunkte eines Kontinuums und nicht als voneinander getrennte Verarbeitungsformen. Dadurch, dass häufig die lokalen Elemente eines hierarchischen Objektes in ihrer physikalischen Größe wesentlich kleiner sind als die globale Gesamtform (z.B. Auge vs. Gesicht), kann die Voreinstellung der Zoom-Linse der Aufmerksamkeit entsprechend auf die spezielle physikalische Größe und Position der jeweiligen Ebene angepasst werden. Mit einer solchen Filterstrategie ist es möglich, die Verarbeitung der Zielebene zu beschleunigen. Experimentell lässt sich diese Strategie der Zoom-Linsen-Voreinstellung leicht aufbrechen, indem die Reizposition und die Zielebene randomisiert werden.

Die zweite physikalische Reizeigenschaft, in der sich globale und lokale Elemente eines hierarchischen Reizes häufig unterscheiden, ist ihre jeweilige Raumfrequenz (Broadbent, 1977). Die Raumfrequenz bezeichnet die Anzahl an Kanten pro Grad Sehwinkel. Somit haben die eher flächigen Inhalte auf der globalen Ebene häufig eine eher niedrigere Raumfrequenz und detailreiche und kontrastreiche Inhalte auf der lokalen Ebene eine eher höhere Raumfrequenz (siehe Abbildung 2). In psychophysischen Studien konnte gezeigt werden, dass das menschliche, visuelle System über selektive Kanäle verfügt, die ganz spezifisch auf jeweilige Raumfrequenzintervalle reagieren (Stromeyer & Klein, 1974). Für diese Arbeit interessant sind vor allem Studien, die Raumfrequenzen in Verbindung mit Aufmerksamkeit und der Selektion von Global/Lokal-Kategorien untersuchen. 1996 stellte Robertson die Annahme auf, dass Aufmerksamkeitsselektion zwischen den Ebenen Global und Lokal eines hierarchisch aufgebauten Objektes auf einer Selektion der Raumfrequenzen basiere. Diese Annahme

schlussfolgerte sie aus den Ergebnissen zweier Experimente. In Experiment 1 ihres Artikels untersuchte sie mit hierarchisch aufgebauten Buchstaben (in einer 5 x 4 aufgebauten Matrix bildeten kleine Buchstaben einen großen Buchstaben) in Form eines typischen Breitband-Stimulus (d.h. die Raumfrequenzen für die lokale und globale Ebene unterscheiden sich) den Ebenenwiederholungs-Effekt (*level repetition effect*). Der Ebenenwiederholungs-Effekt bezeichnet die Erkennungserleichterung, ein Zielobjekt auf einer bestimmten Ebene zu erkennen, wenn diese auf derselben Ebene erscheint wie im vorherigen Durchgang. Für den Breitband-Stimulus, den Robertson in ihrem Experiment 1 verwendete, konnte sie Ebenenwiederholungs-Effekte feststellen. In Experiment 3 ihres Artikels verwendete sie ne-

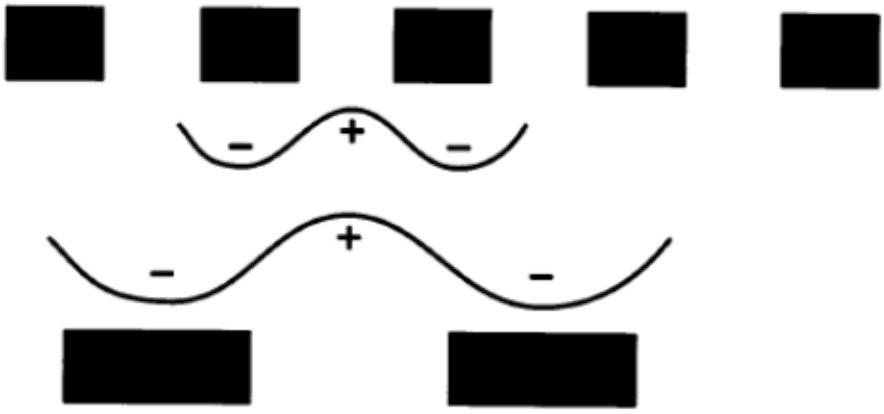


**Abbildung 2. Beispiele für Reize mit hoher Raumfrequenz (oben) und niedriger Raumfrequenz (unten). (Ivry & Robertson, 1998)**

ben Breitband-Stimuli auch Kontrast-Balancierte-Stimuli (*contrast balanced stimuli*), bei denen niedrige Raumfrequenzen eliminiert wurden. Für die Kontrast-Balancierten-Stimuli konnte sie keinen Ebenenwiederholungs-Effekt feststellen und schlussfolgerte somit, dass die Aufmerksamkeitsspur (*attentional print*), welche sich auf den nächsten Stimulus überträgt und die Erkennung der Inhalte auf derselben Zielebene erleichtert, auf Raumfrequenzen basiert. Dieser Hypothese nach, werden Inhalte auf den Ebenen Global und Lokal bei Breitband-Stimuli auf der Basis von hohen bzw. niedrigen Raumfrequenzen unterschieden. Doch diese Ergebnisse und Robertsons Annahme wurden von Lamb, Yund und Pond (1999) kritisch geprüft. Sie replizierten sowohl Robertsons Experiment als auch die Ergebnisse von Lamb und Yund (1996), welche ebenfalls Kontrast-Balancierte-Stimuli verwendeten und keinen Einfluss einer Eliminierung von niedrigen Raumfrequenzen auf den Ebenenwiederholungs-Effekt fest-

stellen konnten. Lamb, Yund und Pond (1999) konnten zeigen, dass Raumfrequenzen keine notwendige Bedingung für Aufmerksamkeitsselektion zwischen der Ebene Global und Lokal bilden.

Insgesamt bleibt es nach wie vor offen, inwiefern Raumfrequenzen unter bestimmten Umständen durchaus eine hinreichende Information für die Aufmerksamkeitsselektion zwischen den Ebenen Global und Lokal liefern können. Flevaris, Bentin und Robertson (2010) beispielsweise argumentieren jüngst, dass Raumfrequenzen eine Hauptrolle bei der Zuordnung von Inhalten zu den jeweiligen Ebenen spielen. Dieser interessante Gedanke wird in der vorliegenden Arbeit aufgenommen und untersucht.

## 2.3. RELATIVE REIZEIGENSCHAFTEN

Wenn die absoluten Reizeigenschaften fortwährend variieren und ihre Information keinen Hinweis mehr für die zugehörige Ebene bietet, dann werden auch die Informationen der relativen Reizeigenschaften herangezogen. Da sowohl der Betrachter als auch die Objekte sich in der natürlichen Umgebung bewegen und somit absolute, physikalische Reizeigenschaften wie Größe und Raumfrequenz sich fließend verändern, ist es interessant, zu untersuchen, in welcher Form die menschliche Objektwahrnehmung sich in solchen Fällen an den relativen Reizeigenschaften orientiert.

Um zu zeigen, dass Raumfrequenzen in engem Zusammenhang zu den Ebenen Global und Lokal stehen, untersuchte Robertson (1996) wie bereits oben erwähnt die Ebenenwiederholungs-Effekte. Bei dieser Untersuchung waren die Faktoren Ebeneninformation, physikalische Größe und Raumfrequenz miteinander konfundiert, so dass keine Schlüsse auf die Wirkung absoluter oder relativer Reizeigenschaften auf die von ihr bezeichnete Aufmerksamkeitsspur (*attentional print*) gezogen werden konnten. So könnte es durchaus sein, dass Ebenenwiederholungs-Effekte unabhängig von der absoluten Zielreiz-Raumfrequenz oder physikalischen Zielreiz-Größe sind. Vielmehr könnten die Effekte auf einer abstrakteren Ebene der Objektrepräsentation ablaufen. Kim, Ivry und Robertson (1999) verwendeten in ihrer Studie dieselbe Versuchsanordnung wie Robertson (1996) und manipu-

lierten die physikalische Gesamtreizgröße jeweils so, dass die globalen Elemente der kleineren Stimuli den gleichen Sehwinkel wie die lokalen Elemente der größeren Stimuli erzeugten. In den Ergebnissen der Experimente 1 und 2 konnten sie zeigen, dass Ebenenwiederholungs-Effekte unabhängig von absoluten Reizeigenschaften beobachtet werden konnten. Es konnte festgestellt werden, dass das visuelle System zwischen den relativen Reizeigenschaften differenziert.

Zusammenfassend unterstützen die Ergebnisse die Vorstellung, dass sowohl absolute als auch relative Reizeigenschaften in der Verarbeitung hierarchischer Reize herangezogen werden können. Welche Informationen letztlich die Aufmerksamkeitsselektion leiten, ist jeweils vom Versuchsaufbau und Informationsangebot abhängig. Auch hier zeigt sich, wie flexibel und komplex der Prozess der Objektwahrnehmung abläuft.

## 2.4. MASKIERUNGSPARADIGMA

Visuelle Wahrnehmung baut sich über einen bestimmten Zeitraum auf. Unser Gehirn benötigt eine bestimmte Zeitspanne bis es die visuellen Informationen zu einer bewussten Wahrnehmung verarbeitet hat. Um den zeitlichen Verlauf der menschlichen, visuellen Wahrnehmung zu zeigen, ist die Methode der visuellen Maskierung (*masking*) eine wichtige Technik (siehe Breitmeyer & Ögmen, 2006). So können mit dieser Methode kognitive Prozesse während der Informationsverarbeitung visueller Informationen, die unterbewusst oder nichtbewusst verlaufen, untersucht werden.

Visuelle Maskierung kann auf drei Dimensionen kategorisiert werden. Erstens, lässt sich zwischen vorwärtsgerichteter und rückwärtsgerichteter Maskierung unterscheiden. Bei der vorwärtsgerichteten Maskierung (*forward masking*) wird die Maske vor dem Testreiz präsentiert und bei der rückwärtsgerichteten Maskierung (*backward masking*) folgt die Maske auf den Testreiz. Die zweite Dimension bildet sich aus der Form und Beschaffenheit der Maske selbst. Ein Maskierungsmuster (*pattern mask*) ist eine Maske, die den Testreiz räumlich überlappt, wohin gegen eine Metakontrast-Maske (*metacontrast mask*) keine räumliche Überlappung mit dem Testreiz aufzeigt, sondern diesen in der Regel umgibt. Drittens unterscheidet

die Literatur zwischen A-Typ-Maskierung (*A-type masking*) und B-Typ-Maskierung (*B-type masking*). Die Unterscheidung dieser beiden Maskierung-Typen erfolgte durch Studien zum zeitlich optimalen Darbietungsabstand zwischen Testreiz und Maske. Überträgt man die Reaktionen von Versuchspersonen und die jeweiligen Stimulus-Maskierungs-Intervalle (*stimulus mask intervall*, SMI) in ein entsprechendes Koordinatensystem, so lassen sich Maskierungskurven (*masking functions*) ablesen (siehe hierzu Beispiele bei Francis & Cho, 2008). Bei einer monoton steigenden Maskierungskurve, d.h. die stärkste Maskierungskraft erfolgt für das kürzeste SMI und wird stetig schwächer mit Verlängerung des SMIs, spricht man von A-Typ-Maskierung. Tritt die stärkste Maskierungskraft jedoch erst zu einem fortgeschrittenen Zeitpunkt (mittleres SMI) auf und bildet somit eine U-förmige Maskierungskurve, spricht man von B-Typ-Maskierung.

Natürlich ist das Maskieren nicht nur Werkzeug, um Prozessabläufe zu verkürzen und beobachtbar zu machen, sondern ist bis heute auch selbst Gegenstand der Forschung. Es finden sich jedoch überraschenderweise kaum Modelle, die die komplexen Mechanismen der Maskierungs-Prozedur ausreichend erklären und beschreiben. Hermens, Luksys, et. al (2008) berücksichtigen viele räumliche und zeitliche Effekte in ihrem mathematischen Modell und weisen auf die Bedeutsamkeit der räumlichen Anordnung als auch der räumlichen Komplexität des Maskierungsmusters sowie die Bedeutsamkeit der zeitlichen Abstände zwischen Testreiz und Maske auf die Maskierungskraft hin.

Wenn Maskierung als Werkzeug angewandt wird, so ist sie in der Regel rückwärtsgerichtet, es werden Maskierungsmuster verwendet und eine A-Typ-Maskierung angenommen. Auch im Global/Lokal-Paradigma findet sich die erfolgreiche Anwendung dieser Methode. Hübner und Volberg (2005) haben die Methode der rückwärtsgerichteten Maskierung an das Global/Lokal-Paradigma angepasst. Anhand der von ihnen entwickelten Prozedur konnten sie zeigen, dass der Verarbeitungsprozess, um hierarchische Objekte als Ganzes bewusst wahrzunehmen, zweistufig verläuft. Als Testreiz verwendeten sie hierarchische Buchstaben, bei denen in einer 5 × 5 Matrix große Buchstaben aus kleinen Buchstaben gebildet wurden, dabei verwendeten sie die Buchstaben „A, S, H und E“. Die von ihnen gefertigte Maske (*pattern mask*) wurde ebenfalls in einer 5 × 5 Matrix gezeichnet, die mit kleinen „8ten“ eine große „8“ bildeten (siehe Abbildung 1). In Experiment 2 ihrer Studie variierten sie zwischen vier unterschiedlichen SMIs (12 *ms*, 24 *ms*, 48 *ms* und 96 *ms*). Betrachtet man die von ihnen erstellten Maskierungskurven, so sind diese als Typ A einzuordnen, da sie monoton sind und mit größer

werdendem SMI eine schwächer werdende Maskierungskraft abzulesen ist. Die von Hübner und Volberg (2005) entwickelte Methode stellt sich zunehmend als ein beständiges Werkzeug zur Untersuchung des Global/Lokal-Prozesses heraus (siehe auch Flevaris, Bentin & Robertson, 2010 und 2011). Auch für die hier vorgestellten Studien war diese von Hübner und Volberg (2005) vorgestellte Technik die Methode der Wahl.

# 3. ILLUSORISCHE KONJUNKTIONEN

Unsere natürliche Umgebung baut sich stets aus mehreren und oftmals hierarchisch organisierten Objekten und Reizen auf. Somit ist es nicht nur wichtig, die einzelnen Merkmale eines Objekts korrekt wahrzunehmen, um eine korrekte Repräsentation der aufgenommenen Informationen zu bilden, es ist auch wichtig, dass die einzelnen Merkmalseigenschaften entsprechend verknüpft werden. Betrachten wir also eine Hausfront, dann müssen wir die Fenster und die Tür nicht nur korrekt als solche erkennen, sondern zugleich auch weitere Merkmalseigenschaften wie beispielsweise Position, Größe und Farbe mitverarbeiten. Wie kann gezeigt werden, ob dieser Wahrnehmungsprozess parallel und direkt abläuft – d.h. alle Merkmalseigenschaften sind bereits im ersten Schritt schon korrekt verknüpft und werden als Ganzes wahrgenommen – oder ob dieser Wahrnehmungsprozess mehrere Stufen hat, in der die einzelnen Merkmalseigenschaften zunächst getrennt aufgenommen werden?

Treisman und Schmidt (1982) haben Versuchspersonen einen Bildschirm mit zwei schwarzen Ziffern und drei farbigen Buchstaben (z.B. „6, rotes T, gelbes S, grünes N, 4“) präsentiert, welche alle in einer Linie angeordnet waren, wobei die Zahlen jeweils die Außenpositionen einnahmen. Es wurden jeweils drei Buchstaben aus einem Satz von insgesamt fünf (T, S, N, O, X) und drei Farben aus einem Satz von insgesamt fünf Farben (pink, gelb, grün, blau und braun) gewählt. Die Aufgabe der Probanden war es, die linke und die rechte Ziffer zu einer Zahl zu vereinigen (in diesem Beispiel „64“) und diese zu nennen. Erst als zweite Aufgabe sollten sie dann die Buchstaben, die sie gesehen hatten, in Verbindung mit ihren Farben und Positionen angeben. Durchschnittlich wurde der Testbildschirm für eine Dauer von ca. 120 *ms* präsentiert und dann sofort für die Dauer von 200 *ms* maskiert. Das Ziel dieser

Methode war es, die Kapazität von Wahrnehmung und Informationsverarbeitung so zu übersteigen, dass Fehler entstehen. Das Muster dieser Fehler sollte dann Auskunft über den tatsächlichen Verarbeitungsverlauf der Objektwahrnehmung geben.

Was war zu erwarten? Unter der Annahme, dass alle Objekte sofort als Ganzes wahrgenommen werden, konnte davon ausgegangen werden, dass es unter limitierter Präsentationsdauer den Versuchspersonen nicht möglich war alle Buchstaben wahrzunehmen, jedoch sollte ein linksgesehenes „T“ bereits die Information beinhalten, dass es rot war. Wenn jedoch Merkmale auf den Merkmalsdimensionen wie Farbe und Form zunächst getrennt wahrgenommen werden, dann sollte es unter vorherrschendem Zeitdruck zu Verwechslungen kommen können, sodass die Versuchspersonen beispielsweise statt einem „roten T“ ein „grünes T“ angeben.

Die Ergebnisse von Treisman und Schmidt (1982) weisen deutlich darauf hin, dass Merkmalsdimensionen wie Farbe und Form parallel und getrennt wahrgenommen und erst in einem zweiten Schritt zusammengeführt werden. Unter der Bedingung stark limitierter Präsentationsdauer werden überzufällig oft Verwechslungen zwischen den Merkmalen einer Merkmalsdimension (z.B. der Farbe: „grünes T“ statt „rotes T“) verbucht.

Wenn insgesamt fünf Buchstaben und fünf Farben verwendet wurden und auf dem Testbildschirm jeweils eine Auswahl von drei Buchstaben und drei Farben präsentiert wurde (wir bleiben weiterhin bei unserem Beispiel: „rotes T“, „gelbes S“ und „grünes N“) dann wurden Verwechslungen wie „grünes T“ oder „rotes S“ als Konjunktionsfehler (*conjunction errors*) und Verwechslungen wie „braunes T“ oder „rotes X“ als Merkmalsfehler (*feature errors*) bezeichnet. Das Phänomen dieser Verwechslungen nannten sie *illusorische Konjunktionen* (*illusory conjunctions*).

Hübner und Volberg (2005) konnten zeigen, dass illusorische Konjunktionen auch zwischen den Merkmalsdimensionen Ebene (Global/Lokal) und Inhalt (Form: Buchstaben) erzeugt werden können.

Die von Hübner und Volberg (2005) verwendete Methode ähnelte Treisman und Schmidts (1982) Maskierungsmethode. Den Versuchspersonen wurde zunächst mit einem Hinweisreiz (*cue*) angegeben auf welche Ebene (Global oder Lokal) sie ihre Aufmerksamkeit lenken sollen. Daraufhin wurde ein hierarchisch-aufgebauter Buchstabe, der aus zwei von vier unterschiedlichen Buchstaben (A, S, H, E) zusammengesetzt wurde, für einen kurzen Zeit-

raum (bspw. 96 *ms*) dargeboten und nach einem bestimmten SMI maskiert. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, den Buchstaben auf der Zielebene anzugeben. Auch Hübner und Volberg (2005) differenzierten zwischen Konjunktionsfehlern und Merkmalsfehlern. Im Folgenden betrachten wir diese beiden Fehlerarten genauer.

## 3.1. KONJUNKTIONSFEHLER

Das korrekte Kombinieren der einzelnen Merkmale miteinander ist ein überaus wichtiger Prozess für die Objektwahrnehmung. Wie bereits oben erwähnt, konnten Treisman und Schmidt (1982) zeigen, dass unter der Bedingung einer kurzen Präsentationsdauer von Reizen Beobachter die präsentierten Reizmerkmale fälschlich miteinander kombinierten. Ein Konjuktionsfehler wurde vermerkt, wenn beispielsweise ein Beobachter angab, ein „grünes T“ gesehen zu haben, nachdem ihm ein Bildschirm mit einem „roten T“, „gelben S“ und „grünen N“ präsentiert worden war. D.h. nur dann, wenn Merkmale, die präsentiert wurden, fälschlich zusammengeführt werden, spricht man von einem Konjunktionsfehler.

Wie sieht ein Konjunktionsfehler im Global/Lokal-Paradigma aus? Wenn auf dem Bildschirm ein hierarchischer Buchstabe, welcher aus einem großen Buchstaben „H“, das aus mehreren, kleinen Buchstaben „E“ zusammengesetzt wurde, besteht, kurz aufflackert und dann sofort maskiert wird, kann es aufgrund der kurzen Darbietungsdauer zu folgender Verwechslung kommen: Die Versuchsperson, die zu Beginn angeleitet worden war, auf die Ebene Global zu achten, könnte sagen, sie habe auf der Ebene Global ein „E“ gesehen. Wird also der Inhalt auf der nicht-Zielebene fälschlicherweise an die Zielebene gebunden, so wird diese Verwechslung als Konjunktionsfehler kategorisiert.

## 3.2. MERKMALSFEHLER

Treisman und Schmidt (1982) haben festgestellt, dass Probanden hin und wieder auch Merkmale angaben, welche gar nicht auf dem Bildschirm dargeboten wurden. Wenn eine Versuchsperson also angab, sie habe ein „braunes T“ gesehen, wobei auf dem Testbildschirm „rotes T, gelbes S, grünes N“ angezeigt worden war, dann ist die Farbe „braun“, gar nicht auf dem Bildschirm gewesen. Ein solcher Fehler wurde als Merkmalsfehler (*feature error*) vermerkt. Hier wurde die Farbe nicht korrekt angegeben, jedoch hat keine Verwechslung mit der Farbe eines anderen auf dem Bildschirm präsentierten Buchstabens stattgefunden.

Ein Merkmalsfehler im Global/Lokal-Paradigma sähe so aus, dass eine Versuchsperson, die auf die Ebene Global achten sollte, nach der Präsentation eines hierarchischen Buchstabens (Global: H; Lokal: E) angäbe, er habe auf der Ebene Global ein „S“ gesehen. D. h. wenn keines der auf dem Bildschirm präsentierten Inhalte an die Zielebene gebunden wird, dann wird dieser Fehler als Merkmalsfehler kategorisiert.

## 3.3. „ECHTE“ KONJUNKTIONSFEHLER

Sind Konjunktionsfehler nicht einfach nur Merkmalsfehler, bei denen es nur Zufall war, dass das genannte Merkmal auf dem Bildschirm angezeigt wurde? Diese Frage ist durchaus berechtigt und wichtig für die Analyse und Interpretation von Konjunktions- und Merkmalsfehlern.

Zur Veranschaulichung der Überlegungen zu der kritischen Hinterfragung von Konjunktionsfehlern kann das Experiment aus dem Global/Lokal-Paradigma dienen: Es werden zwei (z.B. „H“ und „E“) aus vier verschiedenen Buchstaben („A, S, H, E“) zu einem hierarchischen Buchstaben (ein großes „H“ aus kleinen „E“) geformt. Dieser hierarchische Buchstabe wird kurz präsentiert und anschließend maskiert. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, den Buchstaben auf der Zielebene Global zu nennen. Wird der Buchstabe (Reaktion: „H“) auf der Zielebene genannt, wird die Reaktion als korrekte Antwort eingestuft. Wird der Buchstabe auf der nicht-Zielebene genannt (Reaktion: „E“), wird die Reaktion als

Konjunktionsfehler eingeordnet. Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie von Hübner und Volberg (2005) erklärt diese Reaktion mit der Annahme, dass der Buchstabe aus der Ebene Lokal fälschlicherweise an die Ebene Global gebunden wurde. Wird eines der Buchstaben genannt, die nicht auf dem Bildschirm präsentiert wurden (Reaktion: „A“ oder „S“), sind die Reaktionen jeweils als Merkmalsfehler zu kategorisieren.

Geht man von der Situation aus, dass die Versuchsperson durchgehend weder den Buchstaben auf der Zielebene noch den Buchstaben auf der nicht-Zielebene gesehen hat und folglich in allen Durchgängen geraten hat, dann verteilt sich die Wahrscheinlichkeit, welchen Buchstaben sie angibt, gleichmäßig, sodass für jede der vier Antwortmöglichkeit eine Wahrscheinlichkeit von ¼ zu verbuchen wäre. Wenn also die Ergebnisse bei einem Probanden so verteilt sind, dass sowohl korrekte Antworten als auch alle Fehlerarten gleichverteilt sind, dann ist von einem durchgehenden Rateverhalten auszugehen.

Ist in der Untersuchung die Darbietungsdauer bzw. das SMI so eingestellt, dass Versuchspersonen beispielsweise ca. 70% korrekte Antworten leisten, dann wird die Verteilung der Fehlerraten interessant. Die Gesamtfehlerrate wird in die zwei Fehlertypen Konjunktionsfehler und Merkmalsfehler aufgeteilt. Folgt man der Annahme, dass Versuchspersonen immer dann, wenn sie den Buchstaben auf der Zielebene nicht gesehen haben, aus den drei Alternativantwortmöglichkeiten geraten haben, dann müsste die Fehlerrate für jede der drei Antwortalternativen bei 1/3 liegen. Sobald also die Fehlerrate der Konjuktionsfehler sich signifikant von dieser Zufallsverteilung von 1/3 abhebt, kann davon ausgegangen werden, dass es sich nicht lediglich um einen Merkmalsfehler handelt, sondern um „echte“ Konjuktionsfehler. In den Studien, in denen die Methode der illusorischen Konjunktionen angewendet wird, ist zu überprüfen, ob die Rate der Konjunktionsfehler diese kritische Schwelle der Zufallsverteilung signifikant übersteigt. Auch Hübner und Volberg (2005) konnten in den Ergebnissen ihrer Experimente zeigen, dass die Fehlerrate der Konjunktionsfehler jeweils signifikant höher war als eine Zufallsverteilung.

Treisman und Schmidt (1982) haben in ihrer Studie ebenfalls die Frage aufgeworfen, ob ihre Versuchspersonen tatsächlich die illusorischen Konjunktionen gesehen haben oder ob geraten wurde. Eine weitere Möglichkeit wäre, dass Versuchspersonen zwar die unterschiedlichen Merkmale tatsächlich gesehen haben, aber die Angaben über die jeweiligen Zusammensetzungen geraten wurden. Bei der Diskussion dieser Frage, muss natürlich eingeräumt

werden, dass es unmöglich ist, aus den erhobenen Konjuktionsfehlern den exakten Anteil von erratenen Antworten herauszufiltern (was auch für die korrekten Antworten zutrifft). Nur die Höhe der Fehlerrate kann eine Auskunft liefern, ob die Rate der erhobenen Konjunktionsfehler sich ausreichend von einer Zufallsverteilung abheben kann.

Treisman und Schmidt (1982) haben für eine Einschätzung, inwiefern Versuchspersonen raten, die Auskünfte der Probanden bezüglich ihrer Erinnerung zusammengetragen und stellten fest, dass illusorische Konjunktionen durchaus den Charakter einer tatsächlichen perzeptuellen Erfahrung haben. Sie beschrieben, dass einige Probanden sogar mit Sicherheit angegeben hätten, dass ihnen farbige Zahlen präsentiert worden seien. Selbst als ihnen von den Versuchsleitern versichert worden sei, dass alle Zahlen stets schwarz präsentiert worden seien, hätten Versuchspersonen teilweise darauf bestanden, dass sie farbige Zahlen gesehen hätten. Solche Daten weisen darauf hin, dass es „echte“ Konjuktionsfehler gibt.

Donk (1999) stellte zur Diskussion, dass es sich bei Konjunktionsfehlern möglicherweise nicht um fälschliche Integration von korrekt wahrgenommenen Merkmalen handelt, vielmehr könnten Konjunktionsfehler lediglich durch eine Verwechslung des Zielreizes (*target-nontarget confusion*) entstehen. Das würde bedeuten, dass eine Versuchsperson, die eigentlich auf die Ebene Global achten sollte, fälschlicherweise auf die Ebene Lokal geachtet hat und dort dann die „korrekte“ Antwort für die Ebene Lokal gibt. Eine solche Zielreiz-Verwechslung führt ebenfalls zu Reaktionen, die als Konjunktionsfehler eingestuft werden würden, da der Inhalt auf der nicht-Zielebene angegeben würde. Prinzmetal, Diedrichsen und Ivry (2001) gehen auf die Diskussion ein und räumen ein, dass es nicht auszuschließen sei, dass ein Teil der erhobenen Konjunktionsfehler mögliche Zielreiz-Verwechslungen (*target-nontarget confusions*) sein könnten, jedoch könnten viele Daten und Studien wiederum nicht allein mit dem Ansatz einer Zielreiz-Verwechslung erklärt und abgehandelt werden, beispielsweise könnten VF-Effekte (siehe Abschnitt 5) mit dem Ansatz der Zielreiz-Verwechslung nicht erklärt werden.

### 3.4. ZUSAMMENFASSUNG

Das Erzeugen und Analysieren von illusorischen Konjunktionen hat sich in den letzten Jahrzehnten als eine sinnvolle und aussagekräftige Methode erwiesen, mit der gezeigt werden kann, unter welchen Bedingungen die Integration unterschiedlicher Merkmale einer Merkmalsdimension fehlschlagen kann. Auch konnte untersucht werden, welche Merkmalsdimensionen (z.B. Farbe, Form etc.) für solche Verwechslungen anfälliger sind. Eine Differenzierung der Fehlerarten in Konjunktionsfehler und Merkmalsfehler gibt Hinweise darüber, wie Objektverarbeitung und Merkmalsintegration verlaufen. Konjunktionsfehler können zeigen, dass die unterschiedlichen Merkmale in der frühen Phase identifiziert werden und ihre Integration erst zu einem späteren Zeitpunkt stattfindet. So kann es bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung – bspw. durch eine limitierte Verarbeitungsdauer – zu Verwechslungen in der Integration der Merkmale kommen.

Eine transparente „Bereinigung" der erhobenen Konjunktionsfehler von möglichen Zufallsantworten oder Zielreiz-Verwechslungen kann nicht garantiert werden. Kann jedoch gezeigt werden, dass die Fehlerrate der Konjunktionsfehler sich deutlich von einer Zufallsverteilung abhebt und können zusätzlich noch aussagekräftige Effekte (z.B. VF-Effekte im Global/Lokal-Paradigma) in den Konjunktionsfehlern beobachtet werden, so weisen diese Umstände auf die Existenz von „echten" Konjunktionsfehlern hin.

## 4. THEORIEN ZUR VERARBEITUNG HIERARCHISCHER OBJEKTE

Betrachten wir zunächst die Ansätze der Gestaltpsychologie (z.B. Wertheimer, 1922, 1923; Metzger, 1936) so legen diese nahe, dass hierarchische Objekte direkt als ganze Gestalt erkannt und wahrgenommen werden und erst bei weiterer Analyse Einzelteile und Merkmale betrachtet und differenziert werden können. Hier wird der Vorstellung nachgegangen, dass der Drang des visuellen Systems, eine Gestalt zu erkennen, maßgebend ist für die visuelle

Wahrnehmung hierarchischer Objekte. Dieser Ansatz liegt der subjektiven Auffassung unserer Wahrnehmungserfahrung nahe. Wir erleben unsere Umwelt in der Regel in zusammengefassten Gestalten, dessen Details wir erst bei näherer Betrachtung bewusst analysieren. So sehen wir Gesichter und Personen auf den Straßen und erst bei näherer Betrachtung stellen wir beispielsweise die Augenfarbe einer Person fest. Bis heute werden die Gestaltgesetze als relevant für die Wahrnehmungsorganisation diskutiert (z.B. Pomerantz & Portillo, 2011).

Anne M. Treisman und Garry Gelade stellten 1980 ihre Merkmalsintegrationstheorie der Aufmerksamkeit (*Feature-Integration Theory of Attention, FIT*) vor. Sie schlugen vor, dass Einzelteile – also einzelne Merkmale auf Merkmalsdimensionen wie Farbe und Form – zunächst parallel und automatisch wahrgenommen werden und diese dann in einer späteren Phase durch gerichtete Aufmerksamkeit zu einer Gestalt zusammengesetzt werden. Diese Theorie sagt voraus, dass im Falle dessen, dass die Aufmerksamkeit zur korrekten Weiterverarbeitung der identifizierten Merkmale gestört werde, es zu Fehlern in der Konstruktion der Gestalt kommen kann. Eben diese Hypothese haben Treisman und Schmidt (1982) mit der Methode der illusorischen Konjunktionen (*illusory conjunctions*) überprüft. Sie konnten so zeigen, dass in der frühen Phase der Objekterkennung die Merkmale eines Objekts zunächst automatisch und separat identifiziert werden und erst in einem nächsten Schritt – mit Hilfe von Aufmerksamkeit – zu einem Objekt integriert werden.

Hübner und Volberg (2005) verwendeten die Logik der Merkmalsintegrationstheorie und transferierten diese in das Global/Lokal-Paradigma. Durch das Erzeugen illusorischer Konjunktionen konnten sie zeigen, dass das aktive Binden von in der frühen Phase identifizierten und noch ungebundenen Inhalten an die Ebenen Global und Lokal ein zentraler Moment in der Verarbeitung hierarchischer Reize ist.

An dieser Stelle trifft man auf die für die vorliegende Arbeit zentrale Frage: Wie verläuft der Prozess des Bindens? Was ist der Mechanismus der die einzelnen Inhalte bindet?

Die Merkmalsintegrationstheorie geht davon aus, dass gerichtete Aufmerksamkeit der „Klebstoff“ für die einzelnen Merkmale ist. Für das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal stellten Flevaris, Bentin und Robertson (2010, 2011) die Annahme auf, dass Raumfrequenzen für den Mechanismus des Bindens maßgebend seien.

Im Folgenden werden die einzelnen Ansätze ausführlich besprochen und anschließend wird in Abschnitt 4.4. der aktuelle Stand der Theorien zur Verarbeitung hierarchischer Objekte zusammengefasst.

## 4.1. MERKMALSINTEGRATIONSTHEORIE (MIT)

Bereits Garner (1974, 1978) verwies auf die frühe Analyse eines Reizes über ihre unterschiedlichen Merkmalsdimensionen (bspw. Helligkeit, Größe, Farbe etc.) hinweg. Er unterschied zwischen trennbaren Dimensionen (*separable dimensions*) und integralen Dimensionen (*integral dimensions*). Bei trennbaren Dimensionen ist es möglich die Aufmerksamkeit auf lediglich eine Dimension zu richten und die andere zu ignorieren (keine Interferenz), bei integralen Dimensionen interferieren die Informationsverarbeitungsprozesse der beiden Dimensionen miteinander, d.h. die Information auf der nicht-Zielebene kann nicht ignoriert werden (siehe auch Stroop, 1935).

Treisman und Gelade (1980) übernahmen die Idee der frühen Analyse eines Reizes über seine Merkmalsdimensionen hinweg und gingen weiter davon aus, dass integrale Merkmale (*integral features*) automatisch verbunden sind und trennbare Merkmale (*separable features*) für eine korrekte Integration Aufmerksamkeit verlangen. Doch was bedeuten hier die Begriffe „verbunden“ und „Integration“?

Stellen wir uns zur Veranschaulichung zunächst ein „grünes T“ als Reiz vor. Dieser Reiz weist die beiden Merkmalsdimensionen „Farbe“ und „Form“ mit den Merkmalen (*features*) „grün“ und „T“ auf. Nun interessiert uns die Frage, ob die beiden Merkmale „grün“ und „T“ automatisch eine Einheit bilden (im Sinne integraler Merkmale) oder ob sie in der frühen Phase der Reizverarbeitung zunächst getrennt voneinander identifiziert werden. In ihrem Experiment 1 haben Treisman und Schmidt (1982) Versuchspersonen drei unterschiedliche Buchstaben in unterschiedlichen Farben (z.B. „grünes T“, „gelbes S“ und „rotes X“) präsentiert. Die farbigen Buchstaben wurden zentral und horizontal in einer Reihe dargestellt. Links und rechts von den drei Buchstaben erschien jeweils am Bildschirmrand eine Ziffer. Nach einer kurzen Präsentationsdauer (durchschnittlich 120 *ms*) wurde der Bildschirm dann mas-

kiert, um die Verarbeitung zu unterbrechen. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, zunächst die beiden Ziffern in Form einer zweistelligen Zahl zu nennen (z.B. Bildschirm: „6, grünes T, gelbes S, rotes X, 4“; 1. Antwort: „64“). Als nächstes sollten dann die Buchstaben, ihre jeweilige Position (links, mittig, rechts) und Farbe genannt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Versuchspersonen häufig fälschliche Zusammensetzungen der Merkmale angaben. So gaben sie an, sie hätten ein „gelbes T“ oder ein „grünes X“ gesehen. Diese fälschlichen Zusammensetzungen bezeichneten Treisman und Gelade (1980) als illusorische Konjunktionen (*illusory conjunctions*). Wie kommt es also, dass Versuchspersonen, die einzelnen Merkmale zwar richtig identifiziert, diese aber dann in einer anderen Zusammensetzung geäußert haben?

Mit ihrer Merkmalsintegrationstheorie konnten Treisman und Gelade (1980) genau dieses Phänomen erklären. Die Merkmalsintegrationstheorie geht davon aus, dass einzelne Merkmale zunächst in ihren jeweiligen Merkmalsdimensionen (z.B. Farbe, Form, Größe etc.) getrennt und automatisch identifiziert werden (*separate feature maps*). So hat die Versuchsperson von unserem Beispiel oben auf der Merkmalsdimension „Farbe“ die Merkmale „grün“, „gelb“ und „rot“, auf der Merkmalsdimension Form die Merkmale „T“, „S“ und „X“ und auf der Merkmalsdimension Position die Merkmale „links“, „mittig“ und „rechts“ identifiziert. Die nun wesentliche Annahme der Merkmalsintegrationstheorie besagt an dieser Stelle, dass die zunächst automatisch und separat identifizierten Merkmale erst zu einem späteren Zeitpunkt durch fokussierte Aufmerksamkeit (*focal attention*) aneinander gebunden werden. Dies bedeutet, dass die Merkmale „grün“, „T“ und „links“, nachdem sie getrennt voneinander identifiziert wurden, aufmerksamkeitsgeleitet wieder aneinandergebunden werden müssen. Dieses Binden der Merkmale „grün“, „T“ und „links“ führt somit zu ihrer Integration in eine mentale Repräsentation des Reizes.

Treisman und Gelade (1980) gehen davon aus, dass die identifizierten Merkmale in der frühen Phase, in der sie noch nicht gebunden sind, „frei schwimmen“ (*float free*). Weiterhin vermuten sie, dass sobald identifizierte Merkmale nicht aktiv durch fokussierte Aufmerksamkeit oder top-down-Prozesse gebunden werden, diese sich zufällig zusammenfügen. Eine solche zufällige Zusammensetzung könnte dann eine illusorische Konjunktion sein.

Um ihre Merkmalsintegrationstheorie empirisch zu stützen, sind Treisman und Gelade (1980) aus unterschiedlichen Paradigmen an die Fragestellung herangetreten und verwendeten

fünf unterschiedliche Testmethoden (*visual search*, *texture segregation*, *illusory conjunctions*, *identity and location* und *interference from unattend stimuli*). Sie konnten mit dem Gesamteindruck ihrer Ergebnisse zeigen, dass die Identifizierung von einzelnen Merkmalen bereits in einer sehr frühen Phase der Objektverarbeitung parallel und automatisch verläuft. Um diese identifizierten Merkmale dann zusammenzusetzen, bedarf es in erster Linie fokussierter Aufmerksamkeit. Ist die Kapazität der Aufmerksamkeit überladen oder wird die Darbietungsdauer extrem limitiert, so könnten nur noch top-down-Prozesse (d.h. kognitive Prozesse wie Erfahrungen und Erwartungen) zu einer erfolgreichen und korrekten Integration der einzelnen Merkmale führen. Würde uns beispielsweise ein Obstteller nur kurz gezeigt werden, dann wäre uns aufgrund unserer Erfahrung bekannt, dass die Banane gelb und die Erdbeeren rot waren. Hier würde es selten zu Verwechslungen kommen. Im Alltag ist davon auszugehen, dass fokussierte Aufmerksamkeit und top-down-Prozesse in der Regel ineinander greifen und nicht auseinander zu halten sind. Doch was passiert, wenn sowohl die Aufmerksamkeit gestört wurde als auch unsere Erfahrungen oder Erwartungen uns nicht weiterhelfen können?

In einer weiteren Hypothese der Merkmalsintegrationstheorie greifen Treisman und Gelade (1980) das „spotlight"-Model der Aufmerksamkeit von Eriksen und Hoffman (1972) auf. Das Aufmerksamkeits-„spotlight" kann sowohl auf ein kleines als auch auf ein breiteres Feld gerichtet werden. Wenn sich zwei oder mehr Merkmale innerhalb dieses fokussierten Feldes befinden, so können diese vertauscht werden, dasselbe gilt auch für die Merkmale, welche sich außerhalb der Grenzen des „spotlights" befinden. Doch Verwechslungen über dies Grenzen hinweg (d.h. zwischen Merkmalen, die sich im Fokus der Aufmerksamkeit befinden, und Merkmalen außerhalb der Aufmerksamkeitsgrenze) werden ausgeschlossen. Daher wird angenommen, dass illusorische Konjunktionen sich vor allem außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus häufen und nur dann innerhalb des Aufmerksamkeitsfokus auftreten, wenn die Aufmerksamkeit über mehrere Objekte verteilt werden muss; z.B. wurde bei dem oben beschriebenen Experiment von Treisman und Schmidt (1982) der Aufmerksamkeitsfokus („spotlight") auf den gesamten Bildschirm ausgeweitet.

Während Treisman und Gelade (1980) die Vorstellung pflegten, dass im Falle einer frühzeitigen Störung des Verarbeitungsprozesses die noch frei flottierenden Merkmale zufällig zusammengesetzt werden, sind Goldfarb und Treisman (2010) der Frage nachgegangen, ob die frei flottierenden Merkmale tatsächlich zufällig gebunden werden oder ob in einem sol-

chen Fall das Binden bestimmten Regeln unterliegt. Als Ergebnis ihrer Untersuchungen postulieren sie den *Bindungskonsistenzeffekt* (*binding congruency effect*).

In früheren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Inkonsistenz unterschiedlicher Reizmerkmale wie beispielsweise physikalische Größe und numerische Größe (Henik & Tzelgov, 1982) oder Farbenname und Farbe (Stroop, 1935) zu Interferenzen (*interference effect*) bzw. die Konsistenz dieser Reizmerkmale zu erleichterter Verarbeitung (*facilitation effect*) führt. Dazu wurde jeweils die Differenz in den Reaktionszeiten zwischen den beiden Bedingungen „konsistent“ und „inkonsistent“ als Maß für die Störung durch die aufgabenirrelevante Information und die durch Inkonsistenz erzeugte Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit gewertet. Betrachten wir hierzu die Aufgabenstellung der Größenkonsistenz-Aufgabe (*size-congruency task*). Hier wurden entweder Ziffernpaare mit variierender numerischer Größe und physikalischer Größe (bspw. eine kleine „1“ und eine große „9“) oder auch Einzelpräsentationen von Ziffern mit variierender numerischer Größe und physikalischer Größe (bspw. eine große „1“) verwendet. Dabei wurde immer dann, wenn die numerische Größe mit der physikalischen Größe übereinstimmte, d.h. eine kleine Schrift für die Ziffer „1“ (oder ähnliche kleine numerische Größen) oder eine große Schrift für die Ziffer „9“ (oder ähnliche größere numerische Größen), der Reiz als *konsistent* eingestuft. Stimmten hingegen numerische Größe und physikalische Größe der Ziffern nicht überein, d.h. es wurden eine große Schrift für die Ziffer „1“ (oder ähnliche kleine numerische Größen) oder eine kleine Schrift für die Ziffer „9“ (oder ähnliche größere numerische Größen) verwendet, dann wurde der Reiz als *inkonsistent* eingestuft. Henik und Tzelgov (1982) präsentierten sowohl konsistente als auch inkonsistente Ziffernpaare (bspw. eine kleine „1“ mit einer großen „9“ oder eine große „1“ mit einer kleinen „9“). Versuchspersonen hatten die Aufgabe zu entscheiden, welche Ziffer numerisch größer ist. Die Auswertung der Reaktionszeiten zeigte, dass Versuchspersonen auf konsistente Ziffernpaare schneller reagieren als auf inkonsistente Ziffernpaare.

In Experiment 1 ihrer Studie haben Goldfarb und Treisman (2010) die Ziffern „1, 2, 8, 9“ und die Buchstaben „C, S, T, X“ verwendet. Sie wurden entweder in unterschiedlichen Schriftgrößen (groß vs. klein) oder in unterschiedlichen Farben (rot vs. grün) präsentiert. Auf dem Testbildschirm wurden jeweils alle vier Ziffern (oder Buchstaben) dargeboten, jede Ziffer war in einem der vier Positionen gleichweit vom Zentrum des Bildschirms entfernt (siehe Abbildung 3). Zwei Ziffern erschienen jeweils in großer Schrift (oder in rot) und zwei in kleiner Schrift (oder in grün). In einem Block wurde die physikalische Größe und in einem ande-

ren Block wurde die Farbe variiert. Inkonsistent waren die Reize, wenn die Ziffern „1“ und „2“ in großer Schrift und die Ziffern „8“ und „9“ in kleiner Schrift präsentiert wurden. Als konsistent galt der Reiz, wenn die Ziffern „1“ und „2“ in kleiner Schrift und die Ziffern „8“ und „9“ in großer Schrift präsentiert wurden. Kombinationen mit Buchstaben und Farben gelten als neutrale Reize und wurden als Kontrollbedingung eingeführt. Um das Aufmerksamkeits-„spotlight“ auszudehnen, wurden zwei Symbole (entweder Dreiecke oder Kreise) links und rechts am Bildschirmrand dargeboten (siehe Abbildung 3). Jeder Bildschirm wurde nach einer kurzen Präsentation maskiert, um die Verarbeitungsdauer zu limitieren. Versuchspersonen wurden instruiert, zunächst auf die Symbole am Bildschirmrand zu achten und dann die Ziffern (bzw. Buchstaben) zu betrachten. Nach der Maskierung des Testbildschirms wurden Versuchspersonen zunächst bezüglich der Einstufung der physikalischen Größe (bzw. der Farbe) der Ziffern (bzw. der Buchstaben) befragt. Anschließend sollten die Versuchspersonen zusätzlich ihre Antwortzuversicht auf einer Skala von 1 (sicher) bis 3 (geraten) einordnen. Schließlich wurden sie um eine Gleich/Ungleich-Einstufung der Symbole am Bildschirmrand gebeten.

**Abbildung 3. Beispiel eines Testbildschirms mit konsistenten Reizen in Experiment 1 von Goldfarb und Treisman (2010).**

Nach der Merkmalsintegrationstheorie werden die Merkmale „1“, „2“, „8“ und „9“ zunächst automatisch und unabhängig von den Merkmalen „groß“ und „klein“ identifiziert. Durch die Maske wird der Verarbeitungsprozess unterbrochen und die Merkmale bleiben zunächst ungebunden. An dieser Stelle sagt die Bindungskonsistenzhypothese von Goldfarb und Treisman (2010) voraus, dass das Binden der noch ungebundenen Merkmale nicht zufällig

durchgeführt wird. Vielmehr werden konsistente Bindungen bevorzugt, d.h. die Merkmale „1“ und „2“ werden bevorzugt an das Merkmal „klein“ und die Merkmale „8“ und „9“ an das Merkmal „groß“ gebunden. Die Ergebnisse von Experiment 1 von Goldfarb und Treisman (2010) ließen erkennen, dass Versuchspersonen mehr Fehler gemacht haben, wenn sie eine Ziffer an eine inkonsistenten physischen Größe (bspw. „1“ mit „groß“) binden mussten, als wenn sie eine Ziffer mit einer konsistenten physischen Größe (bspw. „1“ mit „klein“) verknüpfen sollten.

Um sicher zu gehen, dass es sich tatsächlich um illusorische Konjunktionen handelt und nicht um die Tendenz der Probanden kongruente Zusammenfügungen zu erraten, wurden die Fehler in Bezug auf die unterschiedlichen Stufen der Antwortzuversicht analysiert. Es zeigte sich, dass die Fehlerraten, bei denen die Probanden angaben, dass sie geraten haben, keinen Effekt der Konsistenz aufwiesen. Daraus ließ sich schlussfolgern, dass in den Durchgängen, in denen sicher war, dass geraten wurde, kein Bias der Größenkonsistenz zu finden war. Dadurch konnte ausgeschlossen werden, dass der gefundene Effekt in den restlichen Durchgängen auf ein Rateverhalten zurückzuführen wäre.  In Experimenten 2 ihrer Studie konnten sie zusätzlich zeigen, dass der Bindungskonsistenzeffekt auch für Farbwörter und Schriftfarben gilt.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass in der frühen Phase der Objektwahrnehmung viele einzelne Merkmale eines Objektes zunächst automatisch, parallel und separat identifiziert werden. Erst in einer weiteren Stufe werden dann diese Merkmale geleitet durch Aufmerksamkeit gebunden und zusammengesetzt. Wird dieser Bindungsprozess gestört, so können illusorische Konjunktionen entstehen. Der Bindungskonsistenzeffekt zeigt, dass für Reize, die aus inkonsistenten Merkmalen aufgebaut sind, mehr Konjunktionsfehler auftreten, als für Reize, die aus konsistenten Merkmalen bestehen.

## 4.2. INHALT-EBENEN-BINDUNGSTHEORIE

Angeregt von der Merkmalsintegrationstheorie haben Hübner und Volberg (2005) die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (*content-level-binding theory, CLB*) präsentiert. Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie besagt, dass die Informationsauswahl auf einer bestimmten Ebene (Global vs. Lokal) nicht nur die Identifikation des Inhaltes, sondern ebenfalls das Binden des identifizierten Inhaltes an die entsprechende Ebene erfordert.

Traditionell wurde für die Verarbeitung hierarchischer Objekte (*global-local-processing*) angenommen, dass es für die Ebene Global bzw. Lokal jeweils separate Kanäle im Gehirn gäbe, auf denen die entsprechenden Informationen übermittelt werden (siehe z.B. Lamb & Yund, 1996). Dies würde bedeuten, dass jede Identifikation von einem Inhalt automatisch auch die Information über ihre Ebenenzugehörigkeit mit sich führen würde. Diesem Gedanken zufolge, würde bei der Verarbeitung eines hierarchisch aufgebauten Buchstabens, welcher aus einem großen „H“ bestünde, das aus mehreren, kleinen „E“ zusammengesetzt wäre, die Information „H“ ausschließlich über den Kanal „Global“ und die Information „E“ über den Kanal „Lokal“ verlaufen, sodass keinerlei Vertauschungen möglich wären.

Im Kontrast zu dieser traditionellen Sichtweise nimmt die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie von Hübner und Volberg (2005) an, dass es solche fixen Kanäle für die Verarbeitung der Ebenen Global und Lokal nicht gibt. Bereits der oben beschriebene Befund von Navon (1977) zum Einfluss der Information auf der Ebene Global auf die Verarbeitung der Information auf der Ebene Lokal (*global interference*) weist daraufhin, dass die Verarbeitung der Ebenen Global und Lokal nicht in absolut separaten Kanälen verlaufen können. Vielmehr ist das Global/Lokal-Paradigma in das Interferenzparadigma einzustufen, d.h. bei der Verarbeitung von Informationen auf der einen Ebene, kann die Information auf der anderen Ebene nicht vollständig ignoriert werden.

Die Verarbeitung hierarchischer Reize erklärt die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie in einem zweistufigen Modell. Dabei werden die einzelnen Inhalte auf den Ebenen in der frühen Phase der Verarbeitung separat von der jeweiligen Ebene identifiziert. Erst in einer späteren Phase werden die Inhalte an die entsprechenden Ebenen gebunden. Über den Mechanismus, der die Inhalte an die Ebenen bindet, macht die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie keine Aussagen.

Zur Veranschaulichung und Vertiefung der Theorie ist es hilfreich, Experiment 1 von Hübner und Volberg (2005) genauer zu betrachten und anschließend das Pfaddiagramm zu den entsprechenden Antwortmöglichkeiten zu erläutern. Den Versuchspersonen wurde zunächst mit einem zentral-dargebotenem kleinen „*l*“ oder „*g*“ angezeigt, auf welche Ebene (*l* für Lokal und *g* für Global) sie achten sollten. Daraufhin wurde für 24 *ms* entweder im linken oder rechten visuellen Feld ein hierarchischer Reiz dargeboten, welcher aus zwei unterschiedlichen Buchstaben aus den vier möglichen Buchstaben „A, S, H und E“ aufgebaut wurde (siehe Abbildung 1). Nach einem individuell angepassten Stimulus-Maskierungs-Intervall (SMI) wurde dann die Maske (siehe ebenfalls Abbildung 1) präsentiert, welche bis zur Antwortmeldung auf dem Bildschirm verblieb. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, den Buchstaben auf der Zielebene zu nennen.

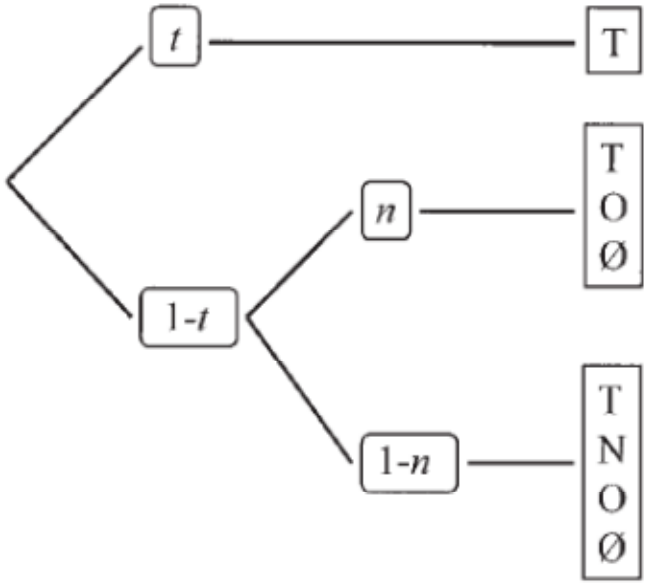


**Abbildung 4. Multinomiales Pfaddiagramm des "Null Modells" für die Verarbeitung eines hierarchischen Reizes. (Hübner & Volberg, 2005)**

Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie sagt voraus, dass bei früher Unterbrechung der Reizverarbeitung, die einzelnen Inhalte zwar schon identifiziert wurden, jedoch das Binden zu den entsprechenden Ebenen noch nicht stattgefunden hat, sodass es zu illusorischen Konjunktionen kommen kann. Wurde also ein großes „H“ aus kleinen „Es“ präsentiert, so wurden die Buchstaben „H“ und „E“ zwar identifiziert, aber noch nicht an ihre entsprechende Ebene gebunden, folglich kann es sein, dass es zu einer Vertauschung kommt und der Buchstabe „E“

fälschlicherweise an die Ebene Global gebunden wird. Tatsächlich fanden Hübner und Volberg (2005) mit dieser Methode signifikant viele Konjunktionsfehler, bei denen Versuchspersonen fälschlicherweise den Buchstaben auf der nicht-Zielebene angaben.

Die verwendete Maskierungsmethode, um illusorische Konjunktionen zu erzeugen, ist ein gutes Werkzeug, um zu zeigen, dass die Reizverarbeitung von hierarchischen Objekten stufenweise abläuft und es durch die Unterbrechung des Bindens von Inhalt und Ebene zu klassischen illusorischen Konjunktionen kommen kann. Jedoch können erhobene Fehlerraten meist nicht als ein direktes Maß für den tatsächlichen Verarbeitungsprozess aufgeführt werden. Hier muss zunächst diskutiert werden, inwiefern die Daten von einer Zufallsverteilung abweichen. Für eine Bereinigung der Wahrscheinlichkeiten wurden Multinomial-Modelle verwendet (siehe auch Ashby, Prinzmetal, Ivry & Maddox, 1996; Prinzmetal, Ivry, Beck & Schimizu, 2002).

Nehmen wir an, eine Versuchsperson hat keinen Buchstaben gesehen (weder auf der Zielebene noch auf der nicht-Zielebene). Wenn er nun zwischen den vier Buchstaben rät, dann hat er eine Wahrscheinlichkeit von ¼ für jede Antwortmöglichkeit. Betrachtet man lediglich die möglichen Fehler, dann verteilt sich die Wahrscheinlichkeit auf 1/3 pro Antwort (ein Buchstabe auf der nicht-Zielebene und zwei Buchstaben, die nicht auf dem Bildschirm waren). Diese Überlegungen lehnen sich an das einfache „Null Modell“ der Verarbeitung hierarchischer Reize an. In dem Diagramm auf Abbildung 4 ist die Wahrscheinlichkeit den Buchstaben auf der Zielebene zu sehen, mit „*t*“ und die Wahrscheinlichkeit den Buchstaben auf der nicht-Zielebene zu sehen mit „*n*“ codiert. Da das „Null Modell“ davon ausgeht, dass die Information über den Inhalt gleichzeitig auch beinhaltet, auf welcher Ebene sie sich befindet, gibt es keine weiteren Umwege. Wurde der Buchstabe auf der gefragten Ebene gesehen, dann wird die korrekte Antwort gegeben, welche hier mit „*T*“ codiert wurde. Ein Konjuktionsfehler wurde mit „*N*“ und die zwei möglichen Merkmalsfehler mit „*O*“ bzw. „*ø*“ codiert.

Das einfache „Null Model“ würde also voraussagen, dass im Falle dessen, dass die Versuchsperson keinen der beiden Buchstaben des hierarchischen Reizes gesehen hat (also $t = 0$ und $n = 0$), nur 1/3 der Gesamtfehlerrate aus Konjunktionsfehler (*N*) bestünde und die restlichen 2/3 Merkmalsfehler (O, ø) sein müssten. Da das Null Model davon ausgeht, dass im Falle dessen, dass der Buchstabe auf der nicht-Zielebene ausgeschlossen wird, sobald es identifi-

ziert wurde, sinkt die Wahrscheinlichkeit für Konjunktionsfehler (N) sogar unter 1/3 der Gesamtfehlerrate, sobald man $n > 0$ einsetzt. Hübner und Volberg (2005) konnten zeigen, dass in den Ergebnissen aller Experimente ihrer Studie die Rate der Konjunktionsfehler signifikant höher war, als das „Null Model“ vorhersagen würde.

Doch was wäre, wenn die erhobenen Kojunktionsfehler lediglich entstanden sind, weil die Probanden die Zielebene verwechselt haben (siehe Donk, 1999)? Auch Hübner und Volberg (2005) widmen sich dieser Frage und kommen zu dem Schluss, dass die Daten nicht mit der Annahme einer Zielebenen-Vertauschung erklärt werden könnten. Dazu ziehen sie unter anderem auch die Daten aus Hübner und Malinowski (2002) heran. In dem Experiment von Hübner und Malinowski (2002) wird sowohl die Bedingung der geblockten Präsentation der Zielebene als auch der randomisierten Präsentation der Zielebene realisiert. Es ist anzunehmen, dass im Falle der geblockten Präsentation der Zielebene die Rate der Zielebenen-Vertauschungen unerheblich klein sein sollte. Der Vergleich der beiden Bedingungen müsste Aufschluss über die mögliche Rate von Zielebenen-Vertauschungen geben. Die Fehlerrate steigerte sich im Vergleich jedoch lediglich um 3,7 %, diese geringe Rate von möglichen Vertauschungen kann die Menge der Konjunktionsfehler nicht erklären. So dass hier weder das „Null Modell“ noch der Ansatz der Zielebenen-Vertauschung die Daten erklären können.

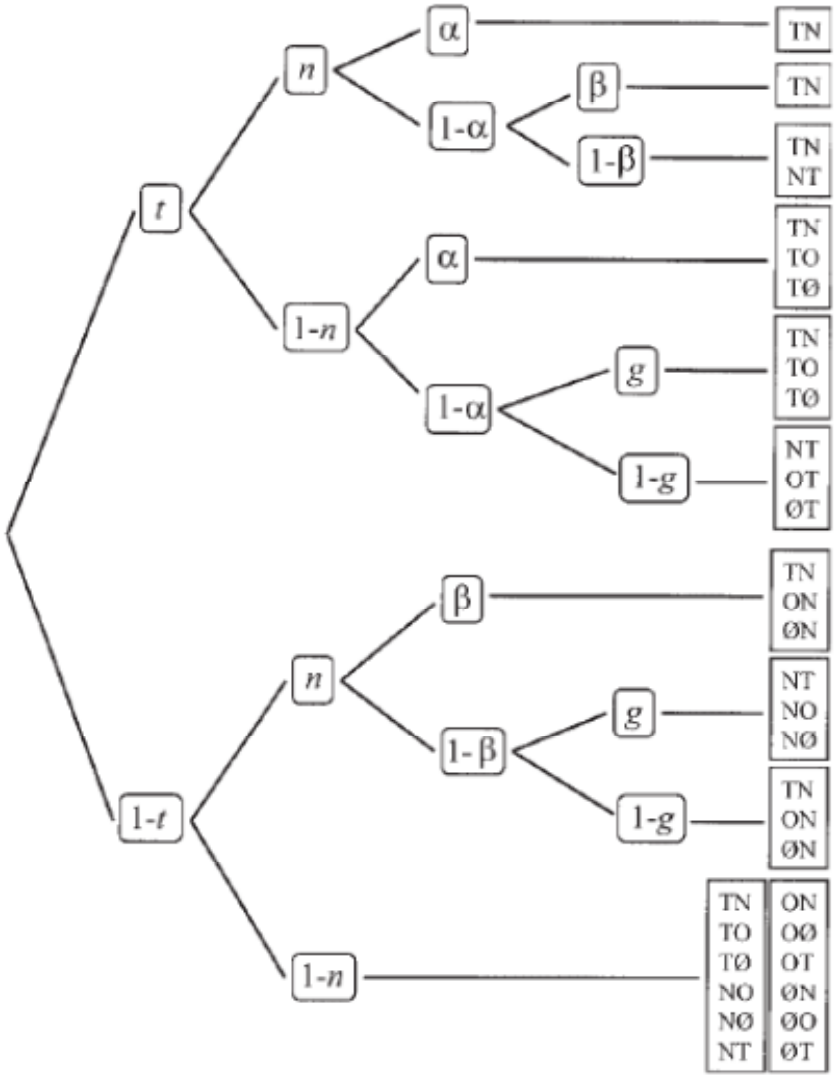


**Abbildung 5. Das multinomiale Pfaddiagramm der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie. (Hübner & Volberg, 2005)**

Betrachten wir nun im Vergleich zum multinomialen Pfaddiagramm des „Null Models" für die Verarbeitung eines hierarchischen Reizes das multinomiale Pfaddiagramm der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (siehe Abbildung 5). Auch hier stellen „*t*" und „*n*" jeweils die Wahrscheinlichkeit dar, in der der Buchstabe auf der Zielebene bzw. auf der nicht-Zielebene identifiziert wurde. Die Wahrscheinlichkeit, dass der identifizierte Buchstabe auf der Zielebene korrekt an die entsprechende Ebene gebunden wurde, wird mit „$\alpha$" dargestellt. Die Wahrscheinlichkeit, dass der identifizierte Buchstabe auf der nicht-Zielebene korrekt an die entsprechende Ebene gebunden wurde, wird mit „$\beta$" dargestellt. Somit ergibt sich, dass die Wahrscheinlichkeit, dass beide Buchstaben identifiziert werden und der Buchstabe auf der

Zielebene an die Zielebene gebunden wird – d.h. die Wahrscheinlichkeit für eine korrekte Repräsentation des hierarchischen Reizes – wie folgt dargestellt werden kann: $t \times n \times \alpha$.

Hübner und Volberg (2005) haben weiterhin für den Sonderfall, dass nur eines der beiden Buchstaben erkannt wird und dieser nicht an die zugehörige Ebene gebunden wird, einen weiteren Parameter „*g*" (*guessing parameter*) hinzugefügt. Sie nehmen an, dass in einem solchen Fall, häufig die Strategie verwendet wird, dass Probanden den identifizierten Buchstaben an die Zielebene binden, weil sie davon ausgingen, dass sie den Buchstaben auf der fokussierten Ebene eher gesehen hätten. Der Rateparameter *g* wird hier verwendet, um diese vermutlich häufig verwendete Strategie repräsentieren zu können.

Wenn die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie nun davon ausgeht, dass zusätzlich zu „*t*" und „*n*" noch zwei weitere Parameter „$\alpha$" und „$\beta$" bei der Verarbeitung von hierarchischen Reizen mitwirken, dann reichen die drei Antwortkategorien, wie sie bei der alleinigen Abfrage des Buchstabens auf der Zielebene zustande kommen würden, nicht aus, um das Modell der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie an die erhobenen Daten anzupassen. Folglich haben Hübner und Volberg (2005) ein weiteres Experiment aufgeführt, bei dem sie sowohl den Buchstaben auf der Zielebene als auch den Buchstaben auf der nicht-Zielebene abgefragt haben. Durch die Angabe beider Buchstaben entstehen insgesamt sieben unterschiedliche Antwortkategorien. Im Pfaddiagramm werden die Antwortmöglichkeiten jeweils als Pärchen von einzelnen Antwortkategorien ausgedrückt. Beispielsweise steht „*TN*" für den Fall, dass als erstes der Buchstabe auf der Zielebene und als zweites der Buchstabe auf der nicht-Zielebene genannt wurde.

Zwei weitere wichtige Annahmen der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie, die ganz entscheidend sind für die Interpretation von Konjunktionsfehlern, besagen zum Einen, dass die Hirnhemisphären (rechte Hirnhemisphäre vs. linke Hirnhemisphäre) sich bezüglich ihrer Kapazität, Buchstaben an eine bestimmte Ebene zu binden, unterscheiden, und zum Anderen, dass sie jedoch nicht bezüglich der Identifikation von Buchstaben auf unterschiedlichen Ebenen differieren. Diese beiden Annahmen wollen wir im Folgenden die *Bindungsasymmetrie-Hypothese* nennen. In Abschnitt 5 wird auf beide Annahmen im Detail eingegangen und die Hirnasymmetrien in der Verarbeitung von hierarchischen Objekten werden umfangreich dargestellt. An dieser Stelle sei vorgegriffen, dass die Annahme weitverbreitet ist, dass die linke Hemisphäre (LH) effizienter Inhalte an die Ebene Lokal und die rechte Hemisphäre (RH) besser Inhalte an die Ebene Global bindet. Aufgrund dieser spezifischen Hirnasymmetrie findet

sich bei Präsentation von hierarchischen Objekten in unterschiedlichen visuellen Feldern immer dann eine Interaktion zwischen den Faktoren Ebene und visuellem Feld, wenn das Binden von Inhalt und Ebene notwendig wird. Transferieren wir nun die Bindungsasymmetrie-Hypothese auf das multinomiale Pfaddiagramm der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie, dann ist zu beachten, dass die Faktoren „*t*“ und „*n*“ (für die Identifikation der Buchstaben) zwischen den Hemisphären nicht variieren und die Faktoren „$\alpha$“ und „$\beta$“ (für das Binden der Buchstaben an ihre entsprechende Ebene) jeweils abhängig von der jeweiligen Hirnhemisphäre unterschiedliche Werte annehmen. Alle vier Faktoren sind jedoch abhängig von den Bedingungen Ebene (Lokal vs. Global) und SMI.

Hübner und Volberg (2005) haben nach der Erhebung der Daten aus ihrem Experiment 3 die multinomiale Version ihrer Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie an die empirischen Daten angepasst. An dieser Stelle möchte ich die daraus entstandenen zentralen Schlussfolgerungen und Ableitungen zusammenfassen:

Für die Variablen „*t*“ und „*n*“ gilt zunächst, dass sie mit steigendem Maskierungsintervall ebenfalls größer werden. Je mehr Zeit für die Identifikation der Inhalte, desto besser werden diese erkannt. Weiterhin sind die *n*-Werte unter allen Bedingungen stets kleiner als „*t*“, dieser Umstand ist vermutlich auf frühe Aufmerksamkeitsfilter zurückzuführen. Es ist zu vermuten, dass die Probanden zunächst ihre Aufmerksamkeit auf die Zielebene zentrieren und dann erst auf die nicht-Zielebene wechseln. Weiterhin bemerkenswert ist, dass die Differenz zwischen „*n*“ und „*t*“ für die Zielebene Lokal durchgehend größer ist, als für die Ebene Global. Es scheint also, schwieriger zu sein, die Aufmerksamkeit von der Ebene Lokal auf die Ebene Global zu lenken als andersherum.

Betrachten wir nun den Parameter „$\alpha$“, der das korrekte Binden des Buchstabens an die Zielebene darstellt, dann sind die Werte für die Zielebene Global größer für die Reize, die im linken Visuellen Feld (LVF) präsentiert wurden, als für die Reize, die im rechten visuellem Feld (RVF) präsentiert wurden. Entsprechend umgekehrt verhält es sich dann für die Zielebene Lokal. Interessant ist, dass die Werte für „$\alpha$“ nicht durchgehend größer waren als für „$\beta$“, somit scheint der Aufmerksamkeitsfokus auf die Zielebene das Binden der Inhalte an ihre entsprechenden Ebenen nicht zu beeinflussen.

Zusammenfassend ist zu bemerken, dass die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie zeigen konnte, dass sie die empirischen Daten erklären kann. Es ist für ein Bestreben nach weiteren

Erkenntnissen über die Verarbeitung von den Ebenen Global/Lokal unausweichlich sich mit dem Bindungsproblem von Inhalt und Ebene zu befassen. Hübner und Volberg (2005) haben mit der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie zu einer wesentlichen Aufklärung der Frage nach der Verarbeitung hierarchischer Reize beigetragen. Offen bleiben dennoch Fragen wie beispielsweise: „Wie verläuft der Mechanismus des Bindens?“ oder „Welche Faktoren können das Binden beeinflussen?“

## 4.3. DOUBLE-FILTERING-BY-FREQUENCY-THEORIE (DFF)

Es konnte gezeigt werden, dass unser menschliches visuelles System über spezifische Rezeptoren verfügt, die auf bestimmte Raumfrequenzen (Anzahl von Kanten pro Sehwinkel) reagieren (siehe z.B. Campbell, 1974). Broadbent (1977) sah als erstes einen Zusammenhang zwischen der Verarbeitung von niedrigen und hohen Raumfrequenzen und der Verarbeitung der hierarchischen Ebenen Global und Lokal. Er vermutete, dass niedrige Raumfrequenzen Informationen der Ebene Global und hohe Raumfrequenzen Informationen der Ebene Lokal zur Verfügung stellen. Dass niedrige und hohe Raumfrequenzen für die Verarbeitung von hierarchischen Reizen eine wichtige Rolle spielen könnten, hat auch Robertson (1996) vermutet. Sie konnte zeigen, dass in einer Untersuchung, bei der nur Breitband-Stimuli (d.h. Reize, bei denen sowohl hohe als auch niedrige Raumfrequenzen enthalten sind), die Wiederholung derselben Zielebene zu Verarbeitungsvorteilen führte (Ebenenwiederholungs-Effekt), während jedoch bei einer abwechselnden Präsentation von Breitband-Stimuli und kotrastbalancierten Stimuli (d.h., Reize, bei denen bspw. die niedrige Raumfrequenz eliminiert wurde) kein Ebenenwiederholungs-Effekt festgestellt werden konnte. Robertson argumentierte, dass die Aufmerksamkeitsspur (*attentional print*), welche von einem Durchgang zum nächsten Durchgang bestehen bliebe, um bei einer Zielebenenwiederholung eine Verarbeitungserleichterung bewirken zu können, auf Raumfrequenzen basiere. Dieser Gedanke führt weiterhin zu der Annahme, dass die Selektion der Informationen auf den Ebenen Global und Lokal bei regulären Breitband-Reizen jeweils durch die Differenzierung zwischen hohen und niedrigen Raumfrequenzen erfolgt (siehe zur Veranschaulichung ihres Modells Abbildung 6). Betrachtet man im Verarbeitungsmodell von Robertson (1996) den Verarbeitungsablauf eines hierar-

chischen Reizes genauer, so wird deutlich, dass angenommen wird, dass globale und lokale Informationen durch einen sehr frühen Filtermechanismus in separaten Raumfrequenzkanälen (*low vs. high pass filter*) verarbeitet und erst im Identifikationsstadium wieder zusammengeführt werden. Entscheidend ist dabei – im Kontrast zum Inhalt-Ebenen-Bindungs-Modell von Hübner und Volberg (2005) –, dass im Verarbeitungsmodell nach Robertson (1996) nicht nur die Raumfrequenzen bereits ab einem frühen Stadium des Verarbeitungsablaufes in getrennten Kanälen verarbeitet werden, sondern gleichzeitig auch die Verarbeitung der Informationen auf den Ebenen und die Verarbeitung der Ebenen selbst in diesen getrennten Bahnen ausgeführt werden.

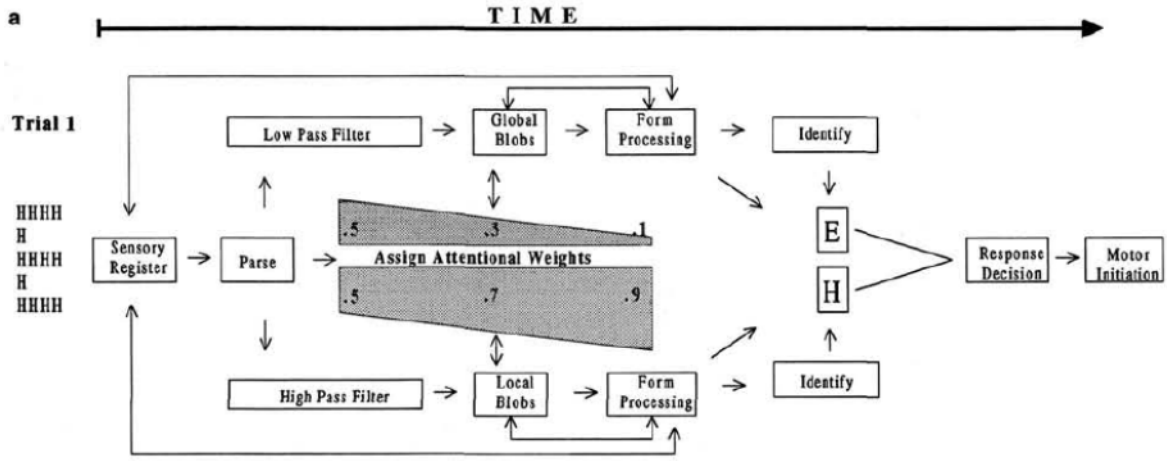


**Abbildung 6. DFF-Modell: Verarbeitung eines hierarchischen Reizes (ein großes E aus kleinen Hs). (Robertson, 1996)**

Lamb, Yund und Pond (1999) fanden jedoch, dass unter der Bedingung, dass kontrastbalancierte Reize geblockt gezeigt werden (statt vermischt mit Breitbandreizen), wieder der Ebenenwiederholungs-Effekt beobachtet werden konnte. Zusammenfassend interpretierten sie die Ergebnisse dahingehend, dass Raumfrequenzen zwar zur Selektion von globalen und lokalen Einheiten verwendet werden können, jedoch nicht die alleinige Voraussetzung für die Differenzierung zwischen den globalen und lokalen Einheiten ausmachen. Können Raumfrequenzen keine diskriminierende Aussage über die Ebenen machen, werden andere Merkmale (wie z.B. Größe) herangezogen, um die globalen von den lokalen Einheiten zu unterscheiden.

Das in Abbildung 6 dargestellte Modell der Verarbeitung eines hierarchischen Reizes basiert auf den Annahmen der *Double-Filtering-by-Frequency*-Theorie (DFF-Theorie; Ivry & Robertson, 1998). Die DFF-Theorie beschäftigt sich vorrangig mit der Verarbeitung von visuellen und auditiven Reizen in Hinblick auf die in den Reizen jeweils enthaltenen, unter-

schiedlichen Frequenzen. In ihrem Buch „*The Two Sides of Perception*“ gehen Ivry und Robertson (1998) auf eine Vielzahl von Untersuchungen ein, die sich mit der Verarbeitung von hohen vs. niedrigen Raumfrequenzen im visuellen System beschäftigen. Besonders interessant ist dabei die häufig beobachtete Hirnhemisphären-Asymmetrie, die deutlich macht, dass die linke Hemisphäre bevorzugt niedrige Raumfrequenzen und die rechte Hemisphäre bevorzugt hohe Raumfrequenzen verarbeitet. Diese Gemeinsamkeit der Verarbeitung von Raumfrequenzen und der Verarbeitung der hierarchischen Ebenen stärkt die Annahme, dass die beiden Konstrukte in einem engen Zusammenhang stehen oder sich gar überlappen. Die DFF-Theorie geht von drei Stufen mit zwei wichtigen Filtermechanismen bei der Verarbeitung eines visuellen Reizes aus. Die Hauptbestandteile der DFF-Theorie bestehen aus den beiden Filtermechanismen. Die auf erster Stufe entstandene sensorische Repräsentation des Reizes durchläuft zuerst einen Filter, der die aufgaben-relevanten Informationen selektiert, daraufhin folgt ein asymmetrischer Filter, der aus der Selektion von Informationen durch die Hemisphären besteht. D.h., der erste Filter analysiert die Zusammensetzung der Raumfrequenzen im Reiz und kann dadurch eine aufmerksamkeitsgeleitete Selektion der aufgaben-relevanten Informationen durchführen, wohingegen der zweite Filterprozess durch die unterschiedlichen Kapazitäten der Hemisphären bezüglich ihrer Verarbeitung von relativen hohen und relativ niedrigen Raumfrequenzen gebildet wird. Dabei wird angenommen, dass die Informationen der niedrigen Raumfrequenzen von der RH und die Informationen der hohen Raumfrequenzen von der LH verarbeitet werden.

Wird die DFF-Theorie (wie in Abbildung 6 gezeigt) auf die Verarbeitung von hierarchischen Reizen angewendet, so ist die Annahme einer so frühen und strikten Trennung der Verarbeitungskanäle der Informationen auf den Ebenen kritisch zu betrachten. Hier könnte die DFF-Theorie den Befund von Hübner und Volberg (2005), welche Konjunktionsfehler bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung zeigen konnten, nicht erklären. So haben Flevaris, Bentin und Robertson (2010) ohne es explizit zu formulieren, die beiden Theorien (DFF-Theorie und Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie) zusammengeführt, in dem sie die Rolle der Raumfrequenzen in das Inhalt-Ebenen-Bindungs-Modell eingefügt haben. In ihrem Artikel verlassen sie das eher traditionelle DFF-Modell für die Verarbeitung hierarchischer Reize und übernehmen zunächst die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie. Ihre Untersuchung befasste sich mit der Aufklärung der Frage nach dem Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene. In ihrem Experiment haben sie Probanden zunächst ein Muster aus sowohl hohen („dünne Li-

nien“) als auch niedrigen („breite Linien“) Raumfrequenzen gezeigt und die Probanden sollten jeweils blockweise die Orientierung der „dünnen“ bzw. „dicken Linien“ nennen. Nach der Präsentation eines Fixierungskreuzes wurden den Probanden hierarchische Buchstaben (wie bei Hübner & Volberg, 2005) für 24ms randomisiert entweder im rechten oder linken visuellen Feld dargeboten. Die Testreize wurden maskiert. Das SMI wurde individuell angeglichen. Sie konnten zeigen, dass die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion niedriger Raumfrequenzen das Binden von Inhalten an die globale Ebene und die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion hoher Raumfrequenzen das Binden von Inhalten an die lokale Ebene erleichtert. Für die Interpretation ihrer Ergebnisse verwendeten Felvaris et al. (2010) als Maß für die Schwierigkeit des Bindens von Inhalt und Ebene die Größe der Hirnasymmetrie (VF-Effekt, *visual field effect*) in den Konjunktionsfehlern – je kleiner die Hirnasymmetrie, desto besser das Binden. Zusammenfassend schlussfolgerten sie, dass aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von relativen Raumfrequenzen (siehe auch Flevaris, Bentin, Robertson, 2011) das Binden von Inhalten und hierarchischen Ebenen moduliert (siehe dazu auch Abschnitt 5.3).

## 4.4. ZUSAMMENFASSUNG

Wie hierarchisch aufgebaute Objekte verarbeitet werden und welche Faktoren und Reizeigenschaften dabei eine Rolle spielen, ist in den letzten 50 Jahren ausgiebig erforscht, diskutiert und theorisiert worden. Das traditionelle Modell, das noch davon ausging, dass es für globale und lokale Einheiten unterschiedliche, getrennte Kanäle oder Wege gäbe, wird zunehmend verworfen. Ausschlaggebend für die Idee, dass Informationen über Inhalt und Ebene zunächst getrennt verarbeitet werden, war die Merkmalsintegrationstheorie (*feature-integration theory, FIT*) von Treisman & Gelade (1980). Das von Treisman & Gelade (1980) verwendete Paradigma der Illusorischen Konjunktionen ist eine entscheidende Methode, um die Verarbeitung von Objekten und ihren Merkmalen zu untersuchen. So konnten sie zeigen, dass bei Unterbrechung der Verarbeitung von Objekten mit mehreren Merkmalen, die identifizierten Merkmale fälschlich zusammengesetzt werden, sodass illusorische Konjunktionen entstehen. Goldfarb und Treisman (2010) konnten den Bindungskongruenzeffekt zeigen. Ver-

suchspersonen haben mehr Fehler gemacht, wenn sie inkongruente Merkmale aneinanderbinden sollten, im Vergleich zu der Aufgabe, in dem sie kongruente Merkmale binden sollten.

Von den Erkenntnissen von Treisman und Gelade (1980) angeregt entwickelten Hübner und Volberg (2005) die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (*content-level-binding theory, CLB*). Sie konnten erstmalig zeigen, dass für die Verarbeitung von hierarchischen Reizen, nach der Identifikation der einzelnen Inhalte ein Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal notwendig ist. Weiterhin wird in ihrer Bindungsasymmetrie-Hypothese die Vorstellung formuliert, dass die Hemisphären sich nicht bezüglich ihrer Identifikationseffizienz, sondern sich lediglich bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte an die Ebenen Global und Lokal zu binden, unterscheiden. Zum aktuellen Forschungsstand der Verarbeitung von hierarchischen Objekten ist die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie weitflächig anerkannt. Selbst Anhänger der Modelle, dass Raumfrequenzen maßgebend sind für die Verarbeitung von hierarchischen Objekten, haben die Bedeutsamkeit der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie für die weitere Forschung im Global/Lokal-Paradigma anerkannt. So haben Flevaris, Bentin und Robertson (2010) die Rolle der Raumfrequenzen mit der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie kombiniert und die Bindungsasymmetrie-Hypothese von Hübner und Volberg (2005) als Voraussetzung für ihre Dateninterpretation verwendet. Sie kamen zu dem Schluss, dass die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von niedrigen oder hohen Raumfrequenzen das Binden von Inhalt und Ebene moduliert und somit für den Mechanismus des Bindens maßgebend ist.

# 5. HIRNASYMMETRIEN IN DER VERARBEITUNG VON HIERARCHISCHEN OBJEKTEN

Es wird angenommen, dass die Hirnhemisphären sich bezüglich ihrer Effizienz, globale oder lokale Einheiten eines hierarchischen Objektes zu verarbeiten, unterscheiden. Die linke Hemisphäre (LH) kann lokale Informationen leichter verarbeiten, während die rechte Hemi-

sphäre (RH) einen Vorteil bei der Verarbeitung globaler Informationen zeigt. Eine Reihe von Studien sowohl an gesunden Probanden als auch an Patienten mit spezifischen Hirnläsionen (siehe Übersicht bei Hübner & Volberg, 2005) konnte diese Hirnasymmetrie bestätigen. Beispielsweise konnten Delis, Robertson und Efron (1986) zeigen, dass Patienten mit einer Störung in der temporoparietal Region (TP) der rechten Hemisphäre nicht in der Lage waren, globale Aspekte einer vorher betrachteten Figur zu zeichnen, währenddessen waren Patienten mit einer Störung in der temporoparietal Region der linken Hemisphäre nicht in der Lage, lokale Aspekte einer vorher betrachteten Figur zu zeichnen (siehe Abbildung 7).

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Studien, bei denen die Spezialisierungen der Hemisphären auf die Verarbeitung von Merkmalen der Ebenen Global oder Lokal gezeigt werden konnten. Sie wurden sowohl in elektrophysiologischen Studien (siehe z.B. Malinowski, Hübner, Keil, & Gruber, 2002; Volberg & Hübner, 2004), in neuro-psychologischen Studien (z.B. Delis, Robertson, Efron, 1986; Robertson, Lamb, & Knight, 1991) als auch in Brain-Imaging Studien unter Verwendung von Bildgebungsverfahren (z.B. Fink et al. 1996; Heinze, Hinrichs, Scholz, Burchert, & Mangun, 1998) gefunden.

In einer gängigen Untersuchung, um die unterschiedlichen Kapazitäten der Hirnhemisphären in der Verarbeitung von hierarchischen Objekten zu ermitteln, werden gesunden Probanden lateral Reize präsentiert. Zunächst erscheint ein Fixationskreuz, auf das die Probanden schauen sollen, daraufhin werden hierarchische Stimuli (meist hierarchische Buchstaben) randomisiert entweder im rechten oder linken visuellen Feld präsentiert. Das neuronale Netz des menschlichen Hirns reagiert mit einer Projektion des rechten visuellen Feldes auf die LH und einer Projektion des linken visuellen Feldes auf die RH.

Theorien zur Verarbeitung von Raumfrequenzen in Zusammenhang mit hierarchischen Objekten interpretieren solche Ergebnisse, bei denen die rechte oder die linke Hemisphäre einen Vorteil in der Verarbeitung globaler bzw. lokaler Aspekte eines Reizes zeigen, als eine Spezialisierung der Hemisphären auf niedrigere bzw. höhere Raumfrequenzen. Wie bereits in Abschnitt 4.3 erwähnt, stellen Ivry und Robertson (1998) in ihrem Buch „*The Two Sides of Perception"* die DFF-Theorie vor. In ihr wird angenommen, dass beide Hirnhemisphären grundsätzlich alle Raumfrequenzen (sowohl hohe als auch niedrige) repräsentieren können.

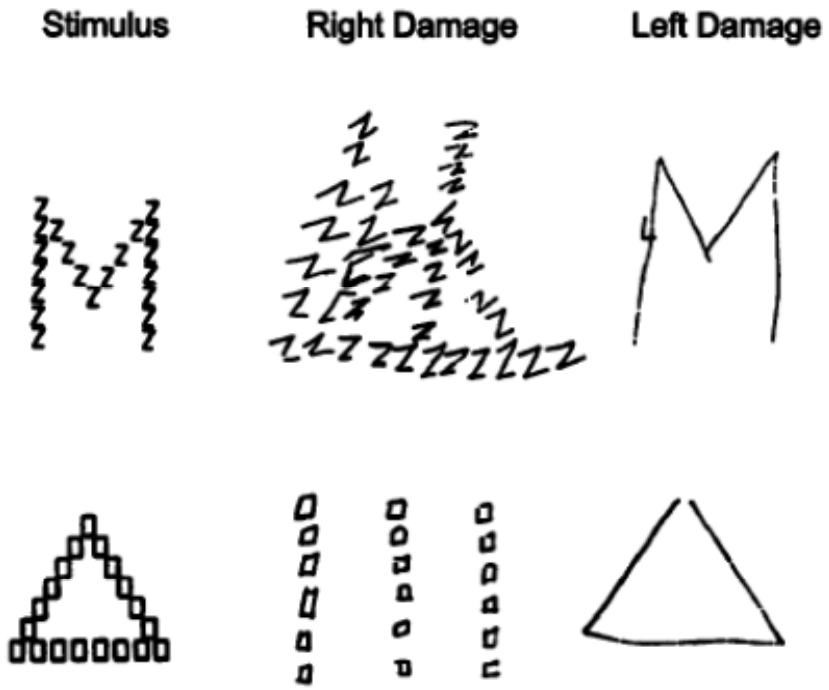


**Abbildung 7. Patienten mit einer Läsion der RH (*right damage*; Mitte) konnten die globale Form der Vorlage (*stimulus* ; links) nicht reproduzieren. Patienten mit einer Läsion der LH (*left damage* ; rechts) konnten die lokalen Aspekte der Vorlage nicht angeben. (Aus Delis et al., 1986)**

Nach einem ersten Filter, der die Spannbreite der im Aufmerksamkeitsbereich liegenden Raumfrequenzen erkennt, ist ein zweiter, asymmetrischer Filter geschaltet, bei dem die rechte Hemisphäre die relativ niedrigere Raumfrequenz und die linke Hemisphäre die relativ höhere Raumfrequenz verarbeitet. In 5.3. werden wir näher auf den Zusammenhang zwischen Raumfrequenzen, hierarchischen Ebenen und Hirnasymmetrien eingehen.

Es sei jedoch auch erwähnt, dass bei vielen Untersuchungen mit hierarchischen Objekten keine Hirnasymmetrie gefunden werden konnte (siehe dazu die Meta-Analyse von Van Kleeck, 1989). Dass es viele Untersuchungen gab, bei denen keine Hirnasymmetrien bei der Verarbeitung hierarchischer Reize gefunden werden konnten, führte zu Fragen: Warum sind

Hirnasymmetrien so schwer zu beobachten? Gibt es bestimmte Bedingungen, unter denen Hirnasymmetrien auftauchen und andere unter denen sie verschwinden? Welche Faktoren können da eine führende Rolle spielen? Mit diesen Fragen beschäftigten sich auch Yovel, Yovel und Levy (2001). In ihrer Studie haben sie sowohl die Aufgabenstellung als auch den Testreiz manipuliert und kamen zu dem Ergebnis, dass bei Aufgabenstellungen mit geteilter Aufmerksamkeit (verglichen zu fokussierter Aufmerksamkeit) und bei Testreizen mit ausgeglichener Salienz der Ebenen (verglichen zu erhöhter Salienz der Ebene Global) eher Hirnasymmetrien zu beobachten sind. Sind diese Ergebnisse vielleicht ein Hinweis, dass die Aufgabenschwierigkeit eine Rolle spielt? Können Hirnasymmetrien bei der Verarbeitung hierarchischer Objekte nur dann beobachtet werden, wenn es zu einer Überbelastung der Aufmerksamkeit kommt?

Van Kleeck (1989) gibt den Hinweis, dass der Faktor „kongruenter vs. inkongruenter Reiz“ (siehe Abbildung 8) eine Rolle spielt. Er beobachtet, dass Hirnasymmetrien wesentlich häufiger beobachtet werden können, wenn bei den Untersuchungen inkongruente statt kongruente Testreize verwendet werden. Auch Hübner und Volberg (2005) diskutieren diese Annahme in Bezug auf die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie. Da die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie mit der Bindungsasymmetrie-Hypothese davon ausgeht, dass die Hirnhemisphären sich bezüglich der Identifizierung von Inhalten nicht unterscheiden (siehe auch Abschnitt 5.2.) und erst beim Binden der Inhalte an die entsprechende Ebenen Hirnasymmetrien zu berücksichtigen sind, ist es nachvollziehbar, dass die Kongruenz der Reize eine wesentliche Rolle spielt, denn nur bei inkongruenten Reizen ist eine korrekte Bindung der identifizierten Inhalte an ihre entsprechende Ebene notwendig – und eben dann sind Hirnasymmetrien zu beobachten.

In Abschnitt 5.1. wird zunächst auf die Bedeutung der Kongruenz von Testreizen näher eingegangen und auch die Frage, ob Aufgabenschwierigkeit einen Einfluss auf Hirnasymmetrien haben könnte, besprochen.

## 5.1. KONGRUENTE VS. INKONGRUENTE HIERARCHISCHE REIZE

Was sind kongruente und inkongruente hierarchische Reize? Zur Veranschaulichung bietet es sich an, hierarchische Buchstaben zu betrachten (siehe Abbildung 8). Ein kongruenter hierarchischer Buchstabe besteht beispielsweise aus einem großen „H“, der aus kleinen „Hs“ zusammengesetzt wurde. Würde man nun also nach dem Buchstaben auf der Zielebene Global fragen, so ist die Antwort identisch mit dem Buchstaben auf der nicht-Zielebene. Bei kongruenten Reizen konkurrieren die unterschiedlichen Antwortmöglichkeiten nicht miteinander. Ein inkongruenter hierarchischer Reiz hingegen besteht aus zwei unterschiedlichen Buchstaben, beispielsweise ein großes „H“ aus kleinen „S“ zusammengesetzt. Wird nun nach der Zielebene Global gefragt, so sind die Antworten für Zielebene und nicht-Zielebene nicht mehr identisch. Es wird erforderlich, dass die identifizierten Buchstaben den entsprechenden Ebenen korrekt zugeordnet werden, damit der richtige Buchstabe genannt werden kann.

Die unterschiedliche Verarbeitung von kongruenten und inkongruenten hierarchischen Reizen haben Hübner und Volberg (2005) in Experiment 3 ihrer Studie unteranderem untersucht. Die Probanden hatten die Aufgabe zunächst den Buchstaben auf der Zielebene und dann den Buchstaben auf der nicht-Zielebene anzugeben. Das Testmaterial bestand sowohl aus inkongruenten hierarchischen Buchstaben (d.h. zwei unterschiedliche Buchstaben aus der Gruppe „H, S, A, E“ wurden zu einem hierarchischen Reiz zusammengesetzt) als auch aus neutralen Reizen (*neutral stimuli*), bei denen auf der nicht-Zielebene jeweils eine aufgabenirrelevantes Symbol (entweder ein „U“ oder ein „umgedrehtes U“) eingesetzt wurde. In diesem Fall gilt für den neutralen Reiz dasselbe wie für einen kongruenten Reiz: Wurde ein Buchstabe (H, S, A oder E) gesehen, so kann davon ausgegangen werden, dass dieser auch auf der Testebene war, somit war für die Aufgabenbewältigung kein aktives Binden des Inhaltes an die entsprechende Ebene notwendig. Diese Variation der Testreize ermöglichte es, zu beobachten, ob eine Interaktion zwischen visuellem Feld und Zielebene (VF-Effekt, *visual-field effect*) zu beobachten war. Für neutrale Reize konnte keine Hirnasymmetrie in den Fehlerraten gefunden werden, während für die inkongruenten Reize deutliche Hirnasymmetrien für die Konjunktionsfehler beobachtet werden konnten. Diese Daten führten Hübner und Volberg (2005) zu der Annahme, dass Hirnasymmetrien bei der Verarbeitung hierarchischer Reize nur dann zu beobachten sind, wenn das Binden der Inhalte an die entsprechenden Ebe-

nen notwendig wird, d.h. dass vor allem mit inkongruenten hierarchischen Reizen Hirnasymmetrien (VF-Effekte) erzeugt werden können.

Nun haben wir in der Einführung die Frage gestellt, ob nicht etwa die Aufgabenschwierigkeit auch eine Rolle spielt. In ihrem Artikel von 2007 gingen Volberg und Hübner sogar weiter und überprüften die Möglichkeit, dass Aufgabenschwierigkeit und Reizkongruenz miteinander konfundiert sein könnten. Wenn das so wäre, dann könnte man anhand der bisherigen Ergebnisse nicht eindeutig entscheiden, ob nun der Faktor Aufgabenschwierigkeit oder der Faktor Reizkongruenz maßgebend sei für die Hirnasymmetrie bei der Verarbeitung hierarchischer Reize. Es ist nachvollziehbar, dass in der Regel allein durch die Verwendung von inkongruenten Reizen – im Vergleich zu kongruenten Reizen – die Aufgabenschwierigkeit erhöht wird. Um den Einfluss von Aufgabenschwierigkeit und Reizkongruenz auf den Verarbeitungsprozess auseinanderhalten zu können, haben Hübner und Volberg (2007) in ihrem

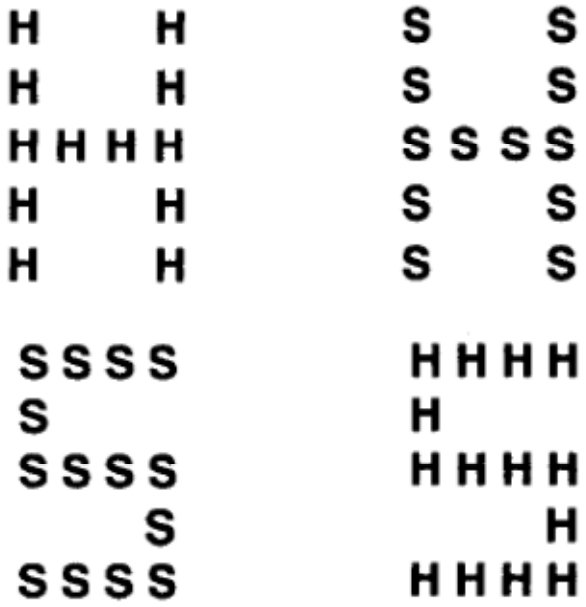

**Abbildung 8. Beispiele für inkongruente (links) und kongruente (rechts) hierarchische Buchstaben. (Aus Weissman & Banich, 1999)**

Experiment den Aufgabenschwierigkeitsgrad für Durchgänge mit kongruenten und für Durchgänge mit inkongruenten Reizen aneinander angeglichen. Wenn der Grad der Aufgabenschwierigkeit für beide Reiztypen (kongruent vs. inkongruent) identisch ist, können Unterschiede in der Verarbeitung auf den Faktor der Kongruenz zurückgeführt werden. Die Ergebnisse zeigten, dass Hemisphären-Unterschiede (VF-Effekte) lediglich bei der Verarbeitung inkongruenter Reize zu beobachten waren. So konnte ausgeschlossen werden, dass Aufgaben-

schwierigkeit einen Einfluss auf die Anwesenheit oder Abwesenheit von Hemisphären-Unterschieden bei der Verarbeitung von Global/Lokal-Informationen hat.

## 5.2. REIZINDENTIFIKATION

Betrachten wir erneut die Ergebnisse, die wir für die Erkenntnisse über die Spezialisierungen der Hemisphären bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte an Ebenen zu binden, herangezogen haben (siehe 5.1.). Wenn die Hemisphären sich bezüglich ihrer Kapazität Inhalte zu identifizieren ebenfalls unterscheiden würden, so müssten bei den oben beschriebenen Untersuchungen (Hübner & Volberg, 2005; Volberg & Hübner, 2007) auch Hirnasymmetrien bei neutralen bzw. kongruenten Reizen gefunden werden. Die Ergebnisse weisen also daraufhin, dass die Hemisphären sich bezüglich ihrer Leistungen, Inhalte auf der Ebene Global oder Lokal zu identifizieren, nicht unterscheiden.

Auch in dem multinomial Modell der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie von Hübner und Volberg (2005) wird die Bindungsasymmetrie-Hypothese berücksichtig. Darin variieren die Parameter „$t$“ und „$n$“, welche für die reine Identifikation der Inhalte auf der Zielebene und der nicht-Zielebene stehen, nicht bezüglich der visuellen Felder/Hirnhemisphären, wohingegen die Parameter „$\alpha$“ und „$\beta$“ je nach visuellem Feld/Hirnhemisphäre variieren.

## 5.3. DIE ASYMMETRISCHE VERARBEITUNG VON RAUMFREQUENZEN

Robertson (1996) nimmt an, dass die Raumfrequenzen eines hierarchischen Objektes jeweils wie ein Hinweis auf die Ebene des jeweiligen Inhaltes fungieren. So konnte sie zeigen, dass das vorherige Betrachten (*priming*) von Mustern mit hohen Raumfrequenzen die Verarbeitung von Informationen auf der Ebene Lokal und ein Prime mit niedrigen Raumfrequenzen die Verarbeitung von Informationen auf der Ebene Global erleichterte. Daraus wurde

die Vorstellung geschlussfolgert, dass hohe Raumfrequenzen direkt mit der Ebene Lokal und niedrige Raumfrequenzen direkt mit der Ebene Global assoziiert sind.

Ivry und Robertson (1998) bringen die Beobachtungen über die Hemisphären-Unterschiede bei der Verarbeitung der Informationen auf den Ebenen Global und Lokal in Zusammenhang mit den Erkenntnissen über die Verarbeitung von Raumfrequenzen. Sowohl für die Verarbeitung der abstrakten Kategorien Global und Lokal als auch für die Verarbeitung von Reizen mit unterschiedlichen Raumfrequenzen (hohe vs. niedrige) gilt die typische Hemisphären-Asymmetrie. Wie bereits angedeutet, betrachten sie die beiden Faktoren (Raumfrequenzen und Ebenen eines hierarchischen Reizes) als engverbunden und oftmals miteinander konfundiert (sieh auch Abschnitt 4.3.). Die DFF-Theorie (*double-filtering by frequency theory*), die hauptsächlich Aussagen über die Verarbeitung von Raumfrequenzen macht, ist somit gleichzeitig auch als ein Modell für die Verarbeitung hierarchischer Reize zu verstehen. Die DFF-Theorie nimmt an, dass Informationen, die über das visuelle System aufgenommen wurden, zwei Raumfrequenz-Filter-Stufen durchlaufen. Auf der ersten Stufe werden durch gerichtete Aufmerksamkeit die aufgaben-relevanten Raumfrequenzen herausgefiltert und auf der nächsten Stufe werden diese erwählten Informationen von den beiden Hemisphären unterschiedlich weiterverarbeitet. Die Informationen der hohen Raumfrequenzen werden von der linken Hemisphäre (LH) weiterverarbeitet und die Informationen der niedrigen Raumfrequenzen werden von der rechten Hemisphäre (RH) weiterverarbeitet. So besteht ein Filter für die spezifische Spannbreite von Raumfrequenzen, die für die Aufgabe relevant sind, und ein weiterer Filter, der die hohen Raumfrequenzen von den niedrigen Raumfrequenzen trennt, so dass die Informationen getrennt in den jeweiligen Hemisphären weiterverarbeitet werden können. Dabei ist die LH spezialisiert auf die hohen Raumfrequenzen und die RH auf die niedrigen Raumfrequenzen.

Felvaris, Bentin und Robertson (2010) integrierten ihre Vorstellung von einem engen Zusammenhang zwischen der Verarbeitung von Raumfrequenzen und den hierarchischen Ebenen Global und Lokal in die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie von Hübner und Volberg (2005). Sie formulierten die Annahme, dass Raumfrequenzen als Medium zum Binden von Inhalten an hierarchische Ebenen zu verstehen seien. Die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von relativ niedrigeren Raumfrequenzen erleichtere das Binden durch die RH (d.h. an die Ebene Global) und entsprechende Erleichterung biete die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von relativ hohen Raumfrequenzen für das Binden durch die LH (d.h. an die Ebene Lokal).

Um ihre Hypothese zu testen, haben sie  einem Probanden zunächst die Aufgabe gegeben in einem Muster aus Raumfrequenzen die Orientierung der „dicken Streifen“ (niedrigere Raumfrequenz) bzw. „dünnen Streifen“ (höhere Raumfrequenz) anzugeben. Dann wurde nach der Präsentation eines Fixationskreuzes lateral ein hierarchischer Buchstabe dargeboten. Es wurden lediglich inkongruente Stimuli verwendet, die aus den Buchstaben „A, E, H oder S“ bestanden. Nach einem individuell angepassten Stimulus-Maskierungs-Intervall (SMI) erschien die Maske (sieh Abbildung 9).

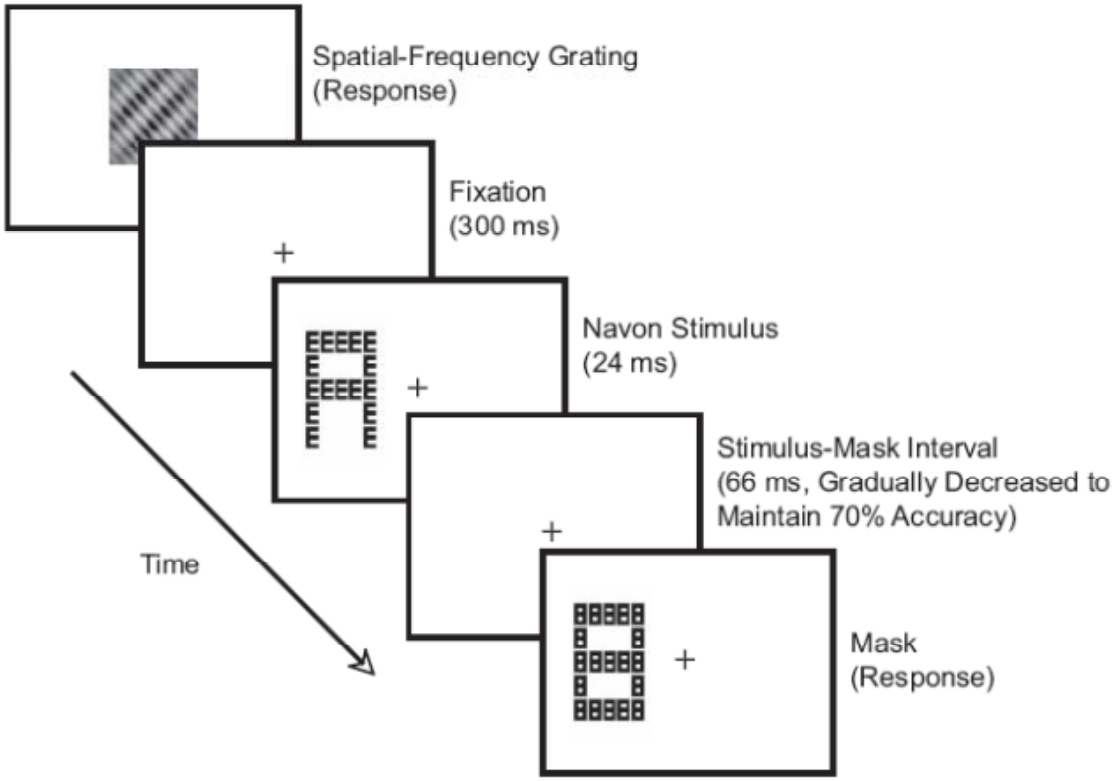


**Abbildung 9. Schematische Darstellung eines typischen experimentellen Durchganges in dem Experiment von Flevaris et al. (2010).**

Die hierarchischen Buchstaben wurden jeweils randomisiert entweder im rechten oder im linken visuellen Feld präsentiert. Die Zielebene wurde blockweise abgefragt. Probanden wurden zu Beginn eines Blocks informiert, welche Ebene zu beachten war. Weiterhin wurden sie instruiert zu raten, falls sie den Buchstaben auf der Zielebene nicht gesehen hatten. Betrachtet man nun die Ergebnisse dieser Untersuchung, so konnten zunächst die für inkongruente Reize erwarteten VF-Effekte verbucht werden. Flevaris, Bentin und Robertson (2010) haben zusätzlich geprüft, welchen Einfluss die Aufgabe, die Orientierung von Mustern mit

niedrigen vs. hohen Raumfrequenzen anzugeben, auf die VF-Effekte in den Konjunktionsfehlern hatte. Dabei stellten sie fest, dass immer dann, wenn Versuchspersonen zuvor die Orientierung der niedrigeren Raumfrequenz kategorisiert hatten, die Hirnasymmetrie für das Binden der Inhalte an die Ebene Global sich verringerte. Entsprechend konnten sie beobachten, dass immer dann, wenn eine Versuchsperson zuvor die Orientierung der höheren Raumfrequenz kategorisiert hatte, die Hirnasymmetrie für das Binden der Inhalte an die Ebene Lokal sich verringerte. Flevaris et al. (2010) interpretierten diese Daten, als Zeichen dafür, dass durch die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion einer niedrigen bzw. hohen Raumfrequenz das Binden von Inhalten an die Ebene Global bzw. Lokal erleichtert wird. Aufgrund ihrer Resultate betrachteten sie ihre Hypothese, dass Raumfrequenzen für den Mechanismus des Bindens verantwortlich seien, als bestätigt.

## 5.4. ZUSAMMENFASSUNG

Es wird weitgehend angenommen, dass die rechte und linke Hemisphäre spezialisiert sind auf die Verarbeitung von Informationen der Ebenen Global und Lokal. Viele Studien konnten positive Daten zu der Interaktion zwischen hierarchischer Ebene und visuellem Feld bzw. Hirnhemisphäre vorweisen. Dass es jedoch auch eine Vielzahl von Studien gibt, die diese Asymmetrie der Hemisphären nicht bestätigen konnten, führte erstmals Van Kleeck (1989) auf den Umstand zurück, dass die Verwendung inkongruenter Stimuli ausschlaggebend sei. Er entdeckte, dass Asymmetrien der Hemisphären häufiger zu beobachten waren, wenn inkongruente Reize statt kongruenter verwendet wurden. Hübner und Volberg (2005) konnten diese Annahme auch im Zusammenhang mit ihrer Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie bestätigen und erklären. Hübner und Volberg (2005) stellten die Bindungsasymmetrie-Hypothese auf und konnten zeigen, dass die Hemisphären sich nicht bezüglich ihrer Kapazität, Inhalte auf den unterschiedlichen Ebenen zu identifizieren, unterscheiden. Vielmehr konnte unterstrichen werden, dass Hemisphären-Unterschiede erst zu beobachten sind, wenn das Binden von Inhalt und Ebene notwendig wird (wie es besonders bei inkongruenten Reizen der Fall ist).

Bereits Ivry und Robertson (1998) haben darauf hingewiesen, dass die Hemisphären entsprechend den hierarchischen Ebenen auch auf niedrige bzw. hohe Raumfrequenzen spezi-

alisiert sind. Flevaris et al. (2011) konnten zeigen, dass aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von niedrigen Raumfrequenzen das Binden von Inhalten an die Ebene Global und aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von hohen Raumfrequenzen das Binden von Inhalten an die Ebene Lokal erleichtert. Aufgrund ihrer Resultate folgerten sie, dass Raumfrequenzen das entscheidende Medium für das Binden von Inhalt und Ebene seien.

# 6. AUSBLICK AUF DIE STUDIEN

Die vorliegende Arbeit untersuchte die Verarbeitung von hierarchischen Reizen. Im besonderen Fokus des Interesses lag die Frage nach dem Mechanismus der Inhalt-Ebenen-Bindung und Faktoren, die das Binden von Inhalten und den Ebenen Global und Lokal beeinflussen können. Zunächst stehen unterschiedliche Faktoren im Vordergrund, die möglicherweise am Mechanismus der Inhalt-Ebenen-Bindung beteiligt sind (Studie 1). Um die Ergebnisse aus Studie 1 zu stützen, wird dann gesondert die Bindungsasymmetrie-Hypothese von Hübner und Volberg (2005) geprüft (Studie 2). Schließlich wird der Frage nachgegangen, ob die Bindungskonsistenz-Hypothese von Goldfarb und Treisman (2010) auch für das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal zutrifft (Studie 3).

## 6.1. AUF DER SUCHE NACH DEM MECHANISMUS DER INHALT-EBENEN-BINDUNG

Die Inhalt-Ebenen-Bindungs-Theorie von Hübner und Volberg (2005) kann bereits viele Aspekte der Verarbeitung von hierarchischen Reizen mit ihren Ebenen Global und Lokal erklären. In ihr heißt es, dass in der frühen Phase der Verarbeitung hierarchischer Reize die identifizierten Inhalte von den Ebenen Global und Lokal noch separat und ungebunden sind. Erst in einer späteren Phase werden die Inhalte durch ein aktives Binden an die hierarchischen Ebenen Global und Lokal gebunden. Zusätzlich zu dem wichtigen Aspekt, dass für die kor-

rekte Verarbeitung von hierarchischen Reizen ein Binden der Inhalte an die Ebenen Global und Lokal erforderlich ist, haben Hübner und Volberg (2005) auf ein wichtiges Charakteristikum des Bindens von Inhalten an die hierarchischen Ebenen hingewiesen. Es konnte gezeigt werden, dass die rechte Hemisphäre (RH) schneller und leichter Inhalte an die Ebene Global bindet, während die linke Hemisphäre (LH) effizienter Inhalte an die Ebene Lokal knüpft (siehe dazu auch Hübner & Studer, 2009). Es wurde angenommen, dass die Hemisphären sich speziell bezüglich des Bindens von Inhalt und Ebene unterscheiden und keine Unterschiede für die Identifikation von Inhalten bestehen (Bindungsasymmetrie-Hypothese). Flevaris, Bentin und Robertson (2010) haben für ihr Ziel, den Mechanismus des Bindens von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal zu untersuchen, diese spezielle Asymmetrie der Hemisphären genutzt. Eine Reduzierung der VF-Effekte interpretierten sie als eine Erleichterung und Verbesserung des Bindens von Inhalten an die entsprechende Ebene. In ihrer Untersuchung sollten Probanden zunächst die Orientierung von einem Bestandteil eines zusammengesetzten sinusoidal Musters kategorisieren und daraufhin wurden den Probanden in einem Folgedurchgang hierarchische Buchstaben präsentiert, bei denen sie den Buchstaben auf der Zielebene angeben sollten. Es konnte gezeigt werden, dass das Beachten von hohen bzw. niedrigen Raumfrequenzen die VF-Effekte für die Zielebene Lokal bzw. Global reduzierte. Aus diesen Ergebnissen haben sie dann geschlussfolgert, dass die aufmerksamkeitsgerichtete Selektion von Raumfrequenzen eine maßgebende Rolle für das Binden von Inhalt und Ebene spielt.

Die Ergebnisse und die Schlussfolgerungen von Flevaris et al. (2010) haben uns angeregt, in Studie 1 in insgesamt drei Experimenten der Frage nachzugehen, welche Faktoren das Binden von Inhalt und Ebene bei der Verarbeitung von hierarchischen Objekten beeinflussen können und was eine solche Manipulation über den Mechanismus des Bindens aussagen kann. Dazu haben wir den Einfluss der Faktoren Reiztyp, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung auf das Binden von Inhalt und Ebene untersucht. Im ersten Experiment stand der Einfluss des Reiztypes im Vordergrund. Wenn also die Annahme besteht, dass die Selektion einer Raumfrequenz den Mechanismus des Bindens ausmacht, dann ist es möglich, dass unterschiedliche Zusammensetzungen von Raumfrequenzen in einem Reiz auch unterschiedliche Effekte auf das Binden von Inhalt und Ebene zeigen. Im zweiten und dritten Experiment haben wir zusätzlich zu dem Einfluss des Faktors Reiztyp auch den Einfluss der beiden Faktoren Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung beobachtet. Eine Reiztypwiederholung sollte dann von Vorteil für die Verarbeitung sein, wenn der Schweregrad für die

Analyse der Raumfrequenzverteilung eines Reizes einen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene hat. Dass Ebenenwiederholung die Leistung verbessert, ist bereits bekannt (Hübner, 2000; Robertson, 1996), schließlich lag der Gedanke nahe, dass es möglich wäre, dass sie auch einen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene hat.

Der Interpretationsansatz von Flevaris et al. (2010), dass eine Reduktion der VF-Effekte ein Hinweis auf eine erleichterte oder verbesserte Bindung von Inhalt und Ebene bedeutet, setzt voraus, dass die Bindungsasymmetrie-Hypothese verifiziert wurde. Betrachtet man die Studie von Hübner und Volberg (2005), so konnten sie zwar zeigen, dass die Repräsentation eines hierarchischen Reizes sowohl die Identifikation der Inhalte als auch das Binden von Inhalten an die jeweilige Ebene voraussetzt, jedoch war es mit dem dort verwendeten Versuchsaufbau schwierig, anhand der Fehlerraten zu unterscheiden, ob ein Faktor die Identifikationsfertigkeit oder die Güte der Inhalt-Ebenen-Bindung beeinflusst hatte, da die Rate der Fehler von beiden Prozessen abhing. Nur wenn die Bindungsasymmetrie-Hypothese ausreichende empirische Evidenz erhält, können diese beiden Prozesse mit Hilfe der VF-Effekte auseinandergehalten werden. Leider gibt es bisher kaum Studien, die die Bindungsasymmetrie-Hypothese geprüft haben. Es gibt einige Reaktionszeitstudien (z.B. Hübner, Volberg & Studer, 2007; Schlösser, Hübner & Studer, 2009) und elektrophysiologische Studien (z.B. Malinowski, Hübner, Keil, & Gruber, 2002; Volberg & Hübner, 2004), die zeigen konnten, dass bei inkongruenten Reizen eher Hemisphären-Unterschiede beobachtet werden konnten als bei kongruenten Reizen. Ein solcher Befund ist jedoch eher ein indirekter Hinweis, der für die Bindungsasymmetrie-Hypothese spricht.

In Studie 2 haben wir die Bindungsasymmetrie-Hypothese von Hübner und Volberg (2005) geprüft, indem wir das Binden von Buchstaben an Ebenen und an Positionen untersucht haben. Dabei haben wir zwei unterschiedliche hierarchische Buchstaben gleichzeitig im LVF und im RVF präsentiert, so dass wir die jeweils entstehenden Konjunktionsfehler innerhalb und zwischen den unterschiedlichen hierarchischen Reizen vergleichen konnten. Sollten Hemisphären-Unterschiede nur exklusiv dann zu beobachten sein, wenn das Binden von Inhalt und Ebene eines hierarchischen Reizes stattfindet, so sollten VF-Effekte ausschließlich bei den Ebenenfehlern (Konjunktionsfehler innerhalb eines hierarchischen Reizes) zu beobachten sein.

## 6.2. DER GRÖßENKONSISTENZEFFEKT IM GLOBAL/LOKAL-PARADIGMA

Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie von Hübner und Volberg (2005) wurde ursprünglich angeregt durch die Merkmalsintegrationstheorie von Treisman und Gelade (1980). Diese gingen davon aus, dass bei früher Störung der Verarbeitung von Reizen mit mehreren Merkmalen die noch ungebundenen und frei flottierenden Merkmale rein zufällig aneinandergebunden werden. Goldfarb und Treisman (2010) haben eine solche randomisierte Zusammensetzung von Merkmalen im Falle einer frühen Störung des Verarbeitungsprozesses bezweifelt. Vielmehr haben sie aus den Ergebnissen ihrer beiden Experimente schlussfolgern können, dass bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung von Reizen mit mehreren Merkmalen das Binden der Merkmale dem Bindungskonsistenzeffekt unterliegt.

In Studie 3 haben wir in zwei Experimenten untersucht, ob das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal eines hierarchischen Reizes im Falle einer frühzeitigen Unterbrechung des Verarbeitungsprozesses ebenfalls den Regeln der Bindungskonsistenz unterliegt. In beiden Experimenten haben wir den Effekt der Größenkonsistenz auf die Verarbeitung von hierarchischen Ziffern beobachtet. Dabei erfolgt die Variation der Schriftgröße allein durch die Ebenenzuordnung (Global-groß, Lokal-klein) und die Variation der numerischen Größe erfolgte durch die Verwendung der Ziffern „2“ und „9“. Wenn also bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung von hierarchischen Ziffern das Binden der Ziffer an die Ebenen Global und Lokal dem Größenkonsistenzeffekt unterliegt, dann sollten die Konjunktionsfehlerraten vergleichsweise höher sein, wenn inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen (sowohl für die Zielebene als auch für die nicht-Zielebene) vorliegen.

# STUDIE 1: DER BINDUNGSMECHANISMUS

## DER EINFLUSS VON REIZTYP, REIZTYPWIEDERHOLUNG UND EBENENWIEDERHOLUNG AUF DAS BINDEN VON INHALT UND EBENE BEI HIERARCHISCHEN REIZEN

## 1. EINLEITUNG

Ein wesentliches Charakteristikum der meisten organischen oder von Menschen gemachten Objekte (wie es beispielsweise bei Bäumen oder Autos der Fall ist) besteht darin, dass sie eine hierarchische Struktur vorweisen. Eine hierarchische Struktur bildet sich aus einer globalen Form, welche aus mehreren lokalen Komponenten zusammengesetzt wurde. Eine wichtige und in mehreren Paradigmen untersuchte Frage ist, wie solche Objekte wahrgenommen und mental repräsentiert werden. Die meisten Studien verwenden hierarchische Buchstaben (Navon, 1977) als Testreiz (siehe Abbildung1). Versuchspersonen sind in der Lage die Information auf einer bestimmten Ebene (Global vs. Lokal) auszuwählen und anzugeben. Wie verläuft der Prozess einer solchen spezifischen Selektion von Informationen auf einer bestimmten Ebene?

Die traditionelle Sicht nahm an, dass für jede Ebene separate Informationskanäle oder Wege im menschlichen Gehirn die entsprechenden Informationen übermitteln (z.B. Lamb & Yund, 1996; Lovegrove & Pepper, 1994; May, Gutierrez, & Harsin, 1995).

Hübner und Volberg (2005) haben solche separaten Kanäle in Frage gestellt und stellten stattdessen ihre Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (*content-level-binding theory*) vor. Sie konnten zeigen, dass im frühen Stadium der Verarbeitung hierarchischer Reize Inhalte und Ebenen zunächst getrennt und separat voneinander identifiziert und repräsentiert werden. Erst durch ein aktives Aneinanderbinden von Inhalt und Ebene kann die Selektion einer Information auf einer bestimmten Ebene erfolgreich stattfinden. Das Binden von Inhalt und Ebene findet erst

zu einem späteren Zeitpunkt statt. Hübner und Volberg (2005) stellten drei Experimente vor, bei denen die Versuchspersonen jeweils die Aufgabe hatten, nach Betrachtung eines hierarchischen Buchstabens den Buchstaben auf der Zielebene (*target level*) zu benennen. Jeder hierarchische Reiz wurde aus zwei unterschiedlichen aus vier möglichen Buchstaben gebildet. Nach der Präsentation des Testreizes wurde jeweils in einem bestimmten Stimulus-Maskierungs-Intervall (SMI) der Prozess des Bindens von Inhalt und Ebene durch eine Maske gestört. Wenn in der frühen Phase der Verarbeitung die Inhalte getrennt von den Ebenen identifiziert werden, dann sollte das Stören der Inhalt-Ebenen-Bindung bewirken, dass vermehrt Konjunktionsfehler entstehen, d.h. der Buchstabe auf der nicht-Zielebene (*nontarget level*) wird fälschlicherweise als Buchstabe der Zielebene genannt. Hübner und Volberg (2005) konnten genau diesen Umstand zeigen. Betrachtet man die Fehler, so haben Versuchspersonen den Buchstaben auf der nicht-Zielebene deutlich häufiger genannt als einen der beiden Buchstaben, die nicht auf dem Bildschirm erschienen.

Frühere Studien konnten bereits zeigen, dass das Binden zwischen Merkmalen wie Form, Farbe oder räumliche Position notwendig ist für eine korrekte mentale Objektrepräsentation (Treismann & Gelade, 1980; Treisman & Schmidt, 1982). Jedoch ist die Idee, dass für die Repräsentation von hierarchischen Reizen das Binden von Inhalt und Ebene ein wichtiger Schritt ist, relativ neu. Der Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene wurde bisher noch nicht ausreichend erforscht, so dass wenig über die Faktoren, die das Binden beeinflussen könnten, bekannt ist. Das Ziel dieser Arbeit ist es, eben solche Faktoren herausarbeiten zu können und damit näheren Einblick in den Mechanismus des Bindens zu gewähren.

Warum ist es so schwierig den Mechanismus des Bindens näher zu betrachten? Verwendet man beispielsweise die von Hübner und Volberg (2005) genutzte Methode, um Konjunktionsfehler zu produzieren, so ist die beobachteten Fehlerrate nicht allein auf die Effizienz des Bindens zurückzuführen. Das Binden von Inhalten an ihre entsprechende Ebene, setzt die Identifikation der Inhalte voraus und somit ist die Fehlerrate sowohl von der Effizienz der Identifikation als auch von der Effizienz des Bindens abhängig. Um diese beiden Prozesse (Identifikation vs. Inhalt-Ebenen-Bindung) auseinanderhalten zu können, bedienten sich Flevaris, Bentin und Robertson (2010) eines von Hübner und Volberg (2005) vorgeschlagenen Charakteristikums der Hemisphären. Hübner und Volberg (2005) konnten zeigen, dass sich die Kapazitäten der Hemisphären bezüglich des Bindens von Inhalten an die Ebene unterscheiden. Bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte zu identifizieren, sind jedoch keinerlei Un-

terschiede festzustellen. Die zu erwartende Asymmetrie der Hemisphären zeigt sich, wenn für die Zielebene Lokal mehr Konjunktionsfehler beobachtet werden, wenn der Reiz im linken visuellen Feld (LVF) präsentiert wurde, als wenn er im rechten visuellen Feld (RVF) erschien. Entsprechend andersherum ist zu erwarten, dass für die Zielebene Global mehr Konjunktionsfehler beobachtet werden, wenn der Reiz im RVF statt im LVF präsentiert wurde. Ist das Binden von Inhalt und Ebene nicht notwendig (wie beispielsweise unter Verwendung von neutralen Reizen), sind solche Effekte des visuellen Feldes nicht zu beobachten (siehe Hübner und Volberg, 2005).

Da das neuronale Netz des menschlichen Gehirns asymmetrisch geschaltet ist, bedeuten diese Ergebnisse, dass die linke Hemisphäre (LH) effizienter Inhalte an die Ebene Lokal und die rechte Hemisphäre (RH) entsprechende effizienter Inhalte an die Ebene Global binden kann (siehe dazu auch Hübner & Studer, 2009). Diese Annahme wird auch durch neurowissenschaftliche Studien bestätigt. Beispielsweise wurde in neuropsychologischen Studien erforscht, wie unilaterale Hirnläsionen die Verarbeitung von hierarchischen Objekten beeinflussen können. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Störungen der RH die Verarbeitung von Informationen auf der Ebene Global und Störungen der LH die Verarbeitung von Informationen auf der Ebene Lokal behindern (Delis, Robertson, & Efron, 1986). Eine weitere Methode, die bisher verwendet wurde, um die Spezialisierung von Hemisphären zu erforschen, ist die Erhebung von ereigniskorrelierten Potentialen des Gehirns (*event-related brain potentials*). Volberg und Hübner (2004) konnten zeigen, dass die Amplituden der ereigniskorrelierten Potentiale der LH höher waren für die Zielebene Lokal als für Global und entsprechend andersherum verhielt es sich für die RH, wo höhere Amplituden für die Zielebene Global als für Lokal zu verzeichnen waren. Ergebnisse aus solchen elektrophysiologischen Studien erhärten somit die Annahme der Hemisphären-Asymmetrie in der Verarbeitung von hierarchischen Objekten.

Unter Einbezug der oben beschriebenen Eigenschaften der rechten und linken Hemisphäre, schlussfolgerten Flevaris, Bentin und Robertson (2010), dass immer dann, wenn ein Faktor das Binden von Inhalt und Ebene erleichtert, diese Erleichterung zu einer Verringerung der Hemisphären-Unterschiede führen sollte. Unter Einfluss einer Erleichterung des Bindens an eine bestimmte Ebene sollte demnach die Hemisphäre, die weniger spezialisiert ist auf das Binden von Inhalten an diese Ebene, mehr von der Erleichterung profitieren, als jene, die sowieso spezialisiert ist auf die Bindung von Inhalten an diese Ebene. Dann müsste unter Ein-

fluss eines Faktors, der beispielsweise das Binden von Inhalten an die Ebene Lokal erleichtert, die RH (Präsentation der Reize im LVF) mehr von diesem Faktor profitieren, als die eh schon starke LH (Präsentation der Reize im RVF). Im Muster der Konjunktionsfehler müsste sich entsprechend eine Reduktion des VF-Effektes (*visual-field effect*) zeigen. Verwendet man jedoch einen Faktor, welcher lediglich die Identifikation der Inhalte verbessert, sollte dies eine gleichmäßige Reduktion der gesamten Konjunktionsfehler bewirken, d.h. Konjunktionsfehler für die RH und die LH werden gleichmäßig reduziert und die Größe des VF-Effektes bleibt unverändert.

Flevaris, Bentin und Robertson (2010) präsentierten Versuchspersonen zunächst ein Muster aus Raumfrequenzen. In separaten Blöcken, sollten die Probanden die Orientierung (rechts vs. links) der „dünnen Streifen“ (höhere Raumfrequenz) oder der „dicken Streifen“ (niedrigere Raumfrequenz) nennen. Daraufhin wurde das Muster von einem Fixationskreuz ersetzt und anschließend erschien ein inkongruenter hierarchischer Buchstabe randomisiert entweder im rechten oder linken visuellen Feld. Die Maske erschien im selben visuellen Feld, wie der zuvor präsentierte Reiz und verharrte bis zur Reaktion des Probanden. In separaten Blöcken sollten die Probanden entweder den Buchstaben (A, E, H oder S) auf der Ebene Global oder Lokal nennen. Das SMI wurde individuell so angepasst, dass eine Fehlerrate von etwa 30% entstand. In den Ergebnissen zeigte sich nach der Kategorisierung der Orientierung von hohen Raumfrequenzen eine Reduktion der VF-Effekte in den Konjunktionsfehlern für die Zielebene Lokal und nach der Kategorisierung der Orientierung von niedrigen Raumfrequenzen konnte eine Reduktion der VF-Effekte für die Zielebene Global beobachtet werden. Flevaris, Bentin und Robertson (2010) schlussfolgerten aus diesen Ergebnissen, dass die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von Raumfrequenzen das entscheidende Medium sei, wodurch Inhalte an ihre entsprechenden hierarchischen Ebenen gebunden werden.

Durch diese Ergebnisse wurden wir angeregt, ebenfalls die Wirkung von Raumfrequenzen in Bezug auf die Verarbeitung hierarchischer Objekte – insbesondere das Binden von Inhalt und Ebene – zu untersuchen. Weiterhin stellte sich uns die Frage, ob durch reine Wiederholung derselben Zielebene eines hierarchischen Buchstabens das Binden von Inhalt und Ebene erleichtert werden würde. Aus Studien, bei denen die Reaktionszeit erhoben wurde, ist es bekannt, dass Ebenenwiederholung (*level repetition*) einen positiven Effekt auf die Leistung hat (z.B. Hübner, 2000; Robertson, 1996). Es ist also möglich, dass die Wiederholung der Ebene auch einen positiven Effekt auf den Prozess des Bindens von Inhalt und Ebene hat.

Ein weiteres Ziel dieser Studie ist es, mögliche Effekte spezifischer Raumfrequenzen von hierarchischen Buchstaben zu ermitteln. Wir haben zwei unterschiedliche Reiztypen entwickeln, die sich bezüglich ihrer spektralen Leistung unterscheiden. Verglichen mit den gefüllten Buchstaben haben die umrandeten Buchstaben eine schwächere spektrale Leistung im Bereich der niedrigen Raumfrequenz und eine hohe spektrale Leistung im Bereich der hohen Raumfrequenz (siehe Abbildung 10).

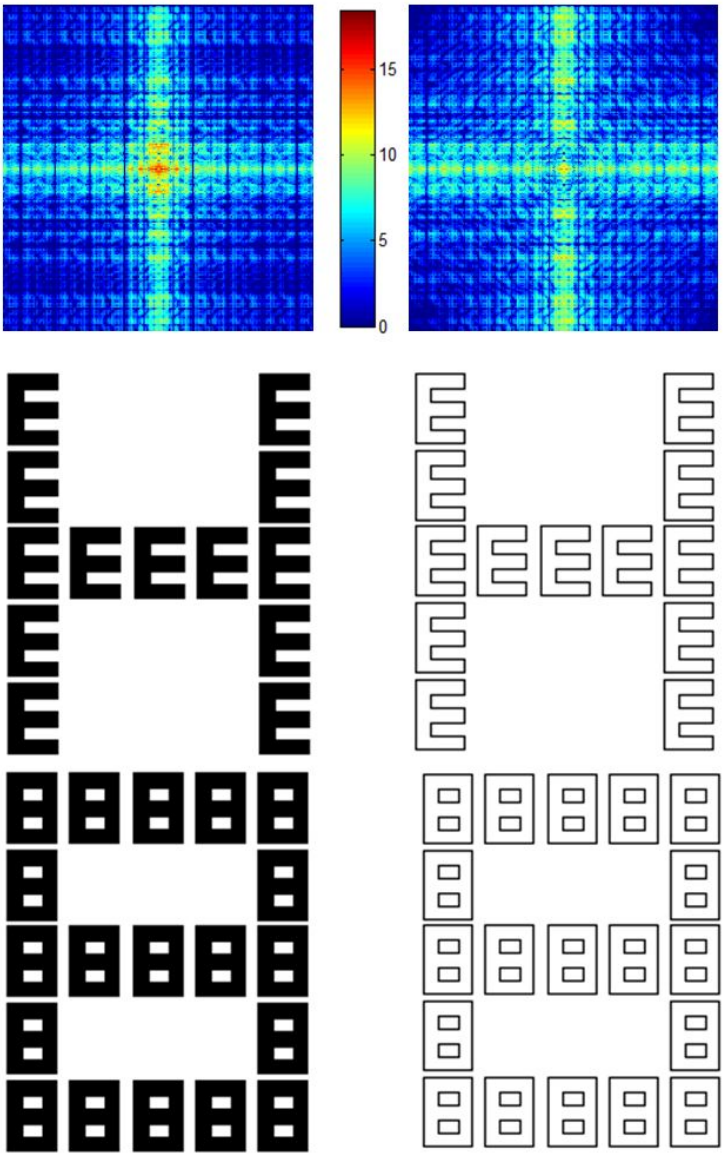


**Abbildung 10. In der mittleren Zeile befinden sich die Testreize (links gefüllte und rechts umrandete Reize). In der unteren Zeile sind die jeweiligen Masken zu sehen. In der oberen Reihe können die Raumfrequenzen verglichen werden.**

Obwohl sich die Raumfrequenzen, aus denen die beiden Reiztypen jeweils zusammengesetzt sind, nur geringfügig unterscheiden, können sie dennoch zu deutlichen Leistungsunterschieden bei Untersuchungen führen (siehe Hübner, 1997). Dabei spielt es vermutlich auch eine Rolle, dass die relative Proportion zwischen hohen und niedrigen Raumfrequenzen in einem hierarchischen Reiz die relative Salienz einer Ebene mitbestimmt. In unserem Beispiel, ist für die umrandeten Buchstaben eine höhere Salienz der Ebene Lokal (durch die höhere spektrale Leistung im Bereich der hohen Raumfrequenzen) anzunehmen, womit nach oben beschriebener Logik weniger Konjunktionsfehler für die Zielebene Lokal und mehr Konjunktionsfehler für die Zielebene Global zu erwarten wären. Sollte eine hohe spektrale Leistung der hohen oder niedrigen Raumfrequenz auch zu einer verbesserten Bindung an die Ebene Lokal bzw. Global führen, dann wäre für unsere umrandeten Buchstaben ein kleinerer VF-Effekt für die Zielebene Lokal im Vergleich zu den gefüllten Buchstaben zu erwarten, für die Zielebene Global sollte der VF-Effekt hingegen für die gefüllten Buchstaben kleiner sein als für die umrandeten.

Die Double-Filtering-by-Frequency-Theorie (DFF-Theorie; Ivry & Robertson, 1998) besagt, dass in der frühen Phase der Verarbeitung zunächst eine Analyse der vorhandenen Raumfrequenzen vorgenommen wird und dann durch einen zweiten asymmetrischen Filter die relativ höhere Raumfrequenz von der LH und die relativ niedrigere Raumfrequenz von der RH weiterverarbeitet wird. Dabei stehen hohe Raumfrequenzen in engem Zusammenhang mit der Ebene Lokal und niedrige Raumfrequenzen werden mit der Ebene Global assoziiert. Hier ist also anzunehmen, dass je einfacher die Abgrenzung der relativ hohen Raumfrequenz zur relativ niedrigeren Raumfrequenz zu erreichen ist, desto effizienter sollte das Binden von Inhalt und Ebene verlaufen können. Auch unter diesem Gesichtspunkt ist also eine unterschiedliche Verarbeitung der beiden von uns konstruierten Reiztypen zu erwarten.

Geht man gedanklich einen Schritt weiter, so ist es durchaus auch denkbar, dass die Wiederholung derselben Raumfrequenzverteilung in einem Stimulus ebenfalls zu einem Vorteil in der Verarbeitung des hierarchischen Reizes führen sollte. Auch hier könnte angenommen werden, dass bei einer Wiederholung des Reiztypes das Binden von Inhalt und Ebene erleichtert sei. Auch diese Hypothese möchten wir in dieser Studie untersuchen.

Obwohl die oben aufgeführten Überlegungen bezüglich der Ebenen Global und Lokal und den einem Reiz innewohnenden Raumfrequenzen eine enge Beziehung zwischen diesen

beiden Faktoren nahelegen, ist dennoch zu berücksichtigen, dass es eben auch Studien gibt, die zeigen konnten, dass die Wiederholung der Ebene einen anderen Effekt erzeugte als die Wiederholung der Raumfrequenz (z.B. Lamb, Yund, & Pond, 1999; Robertson, 1996). Bis heute ist die Relation zwischen diesen Faktoren noch weitgehend unbekannt und es konnten nur vage Aussagen gemacht werden. Besonders ihr Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene bleibt ein noch zu erhellendes Feld.

In allen drei Experimenten dieser Studie haben wir das Maskierungsparadigma (Hübner & Volberg, 2005) verwendet. Hierarchische Buchstaben wurden nach ihrer kurzen Präsentation nach einem festgelegten SMI maskiert. In unserem ersten Experiment haben wir den Reiztyp manipuliert, indem wir gefüllte und umrandete Stimuli verwendet haben (siehe Abbildung 10), um den Einfluss der unterschiedlichen Raumfrequenzverteilung innerhalb des Stimulus zu erheben.

In den Experimenten 2 und 3 wollten wir jeweils den Einfluss von Reiztyp, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung ermitteln. Dazu haben wir zwei unterschiedliche Herangehensweisen verwendet. In Experiment 2 haben wir zwischen dem Prime und dem Hauptstimulus nicht unterschieden. Wir haben alle Stimuli maskiert. Wohingegen wir in Experiment 3 einen unmaskierten Prime zentral dargeboten und lediglich den Hauptstimulus maskiert haben.

# 2. EXPERIMENT 1 – REIZMANIPULATION

In unserem ersten Experiment wollten wir ermitteln, ob die Raumfrequenzen eines hierarchischen Reizes einen Effekt auf das Binden von Inhalt und Ebene haben. Wie bereits erwähnt, haben Flevaris et al. (2010) aufgrund ihrer Ergebnisse angenommen, dass Raumfrequenzen das maßgebende Medium für das Binden von Inhalt und Ebene bilden. In ihrer Studie haben sie ebenfalls das Maskierungsparadigma verwendet. In ihrem Experiment präsentierten sie ihren Versuchspersonen vor der Anzeige des hierarchischen Buchstabens ein Muster aus unterschiedlichen Raumfrequenzen, bei dem sie die Orientierung einer speziellen

Raumfrequenz („dicke Streifen“ / niedrige Raumfrequenz vs. „dünne Streifen“ / hohe Raumfrequenz) kategorisieren sollten. Das Muster der Konjunktionsfehler zeigte einen reduzierten VF-Effekt (*visual field effect*) für die Zielebene Lokal, wenn zuvor die Orientierung der hohen Raumfrequenz kategorisiert wurde, und eine Reduktion des VF-Effektes für die Zielebene Global, wenn zuvor die Orientierung der niedrigen Raumfrequenz kategorisiert wurde. Die Reduktion des VF-Effektes interpretierten Flevaris et al. (2010) als eine Verbesserung des Bindens von Inhalt und Ebene und diese Verbesserung führen sie auf die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion der hohen bzw. niedrigen Raumfrequenz zurück.

Wenn also, wie Felvaris et al. (2010) annehmen, die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion einer bestimmten Raumfrequenz wichtig ist für das Binden von Inhalt und Ebene, dann ist also zu erwarten, dass im Falle dessen, dass eine bestimmte Raumfrequenzverteilung eines hierarchischen Reizes das Binden an eine bestimmte Ebene fördert, eine Veränderung der Raumfrequenzverteilung auch eine Veränderung des Bindens an diese Ebene nach sich ziehen sollte. Diese Hypothese wurde in diesem Experiment unter Verwendung von gefüllten und umrandeten Stimuli (siehe Abbildung 10) überprüft. Die beiden Reiztypen unterscheiden sich bezüglich ihrer Raumfrequenzverteilungen. Die umrandeten Buchstaben haben weniger spektrale Leistung im niedrigen Raumfrequenzbereich und mehr spektrale Leistung im hohen Raumfrequenzbereich (im Vergleich zu den gefüllten Buchstaben). Wenn also mehr Leistung im niedrigen oder hohen Raumfrequenzbereich die Aufmerksamkeit auf die entsprechende Raumfrequenz erleichtert und diese aufmerksamkeitsgeleitete Selektion der Raumfrequenz entsprechend den Prozess des Bindens von Inhalten an die Ebene Global oder Lokal erleichtert, dann sollte der VF-Effekt für die Ebene Global für die gefüllten Stimuli kleiner sein als für die umrandeten Stimuli und entsprechend andersherum sollte es sich für die Ebene Lokal verhalten.

Ein weiterer Aspekt, der durch die beiden Reiztypen variiert wird, betrifft die relative Salienz einer Ebene, die durch Unterschiede in der spektralen Leistung der Raumfrequenzen entsteht. Ursprünglich wurde angenommen, dass die Ebene Global im Vergleich zur Ebene Lokal generell dominanter sei und deshalb beispielsweise schneller und fehlerfreier verarbeitet werden könnte (Navon, 1977). Erst später konnten Studien belegen, dass die Salienz und der Vorteil einer Ebene von unterschiedlichen Reizmerkmalen wie beispielsweise Größe und Abstand der lokalen Elemente (Kinchla & Wolfe, 1979; Lamb & Robertson, 1988) und Raumfrequenzen (z. B. Hübner, 1997) abhängen. Da die spektralen Leistungen für hohe und

niedrige Raumfrequenzbereiche bei den gefüllten Reizen (im Vergleich zu den umrandeten Reizen) ausgeglichener sind, ist also mit einem Unterschied in der Ebenendominanz zwischen den beiden Reiztypen zu rechnen. Sollte die Ebenendominanz einen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene haben, dann sollten unterschiedliche VF-Effekte zwischen den Reiztypen zu beobachten sein.

Für dieses Experiment haben wir maskierte hierarchische Buchstaben (wie bei Hübner & Volberg, 2005) verwendet. Die Versuchsteilnehmer wurden angewiesen den Buchstaben auf der vorher angezeigten Ebene anzugeben. Wurde fälschlicherweise der Buchstabe aus der nicht-Zielebene genannt, so wurde diese Antwort als *Kojunktionsfehler* kategorisiert. Wurde einer der beiden Buchstaben, die nicht auf dem Bildschirm zu sehen waren, genannt, so wurde diese Antwort als *Merkmalsfehler* kategorisiert. Nehmen wir an, dass der Proband keines der auf dem Bildschirm erschienen Buchstaben identifiziert hatte, dann ist es möglich, dass der Buchstaben der nicht-Zielebene aus einem Rateverhalten genannt wurde. Die Wahrscheinlichkeit, dass per Zufall der Buchstabe auf der nicht-Zielebene genannt wird, beträgt 1/3 aller Fehler. Um also sicher zu gehen, dass tatsächliche Kojunktionsfehler entstanden sind, müssen wir sicherstellen, dass die Proportion der Konjunktionsfehler 1/3 übersteigt.

## 2.1. METHODE

*Versuchsteilnehmer*

48 Studenten (Durchschnittsalter 23 Jahre; 10 männlich) der Universität Konstanz, Deutschland, haben an diesem Experiment teilgenommen. Sie wurden randomisiert einen der beiden Bedingungen „*umrandete Stimuli*“ und „*gefüllte Stimuli*“ zugeordnet. Alle Versuchsteilnehmer hatten normale oder zu-normal-korrigierte Sehkraft, waren laut Selbstaussage rechtshändig und haben jeweils 8 € für ihre Teilnahme erhalten.

*Versuchsaufbau und Reizmaterial*

Die Reize wurden auf einem 18“ Farbmonitor mit einer Auflösung von 1280 × 1024 Pixel und einer Bildwiederholfrequenz von 60 *Hz* präsentiert. Versuchsteilnehmer reagierten, indem sie auf eines der vier Tasten einer Computertastatur gedrückt haben. Sowohl die Reizpräsentation als auch die Antwortregistrierung wurde von demselben Personal Computer (PC) kontrolliert.

In Abhängigkeit zur zugeordneten Bedingung waren die verwendeten Reize entweder umrandete oder gefüllte hierarchische Buchstaben (siehe Abbildung 10). Jeder hierarchische Buchstabe wurde aus zwei unterschiedlichen aus vier Buchstaben *A, S, H* oder *E* konstruiert. Die globalen Buchstaben hatten einen visuellen Winkel von 4.48° in der Breite und 5.72° in der Höhe. Der visuelle Winkel der lokalen Buchstaben betrug jeweils 0.72° × 1.08°. Alle Reize wurden jeweils in Weiß auf schwarzem Hintergrund entweder im linken visuellen Feld (LVF) oder im rechten visuellen Feld (RVF) mit einer Exzentrizität von 2.82° (von der Mittellinie des Bildschirms bis zum Zentrum des Reizes) präsentiert.

*Vorgehen*

Die Versuchsteilnehmer wurden in einer Betrachtungsdistanz von etwa 60 *cm* vor den Bildschirm gesetzt. Ein Durchgang begann mit der Präsentation eines Hinweisreizes (der Buchstabe „*l*“ oder „*g*“ als Hinweis auf die jeweils zu beachtende Zielebene Lokal oder Global) im Zentrum des Bildschirms für 300 *ms*, daraufhin erschien ein Fixationskreuz für ebenfalls 300 *ms*. Dann wurde der Reiz für 32 *ms* entweder im LVF oder im RVF präsentiert und innerhalb des SMIs von entweder 32 *ms*, 64 *ms* oder 96 *ms* maskiert. Alle Durchgänge waren hinsichtlich der Faktoren *VF*, *Zielebene* und *SMI*s balanciert. Die Maske erschien in beiden visuellen Feldern und bestand bis zur Antwortregistrierung (siehe Abbildung 11).

Die Aufgabe der Versuchsteilnehmer war es, den Buchstaben auf der Ebene anzugeben, welche vorher vom Hinweisreiz spezifiziert wurde. Versuchsteilnehmer haben geantwortet, indem sie eines der vier Antworttasten der Tastatur (jede Taste wurde einem Buchstaben zugewiesen) gedrückt haben. Die Zuordnung von Buchstabe und Tastaturtaste wurde zwischen den Versuchspersonen variiert, um mögliche Vorteile auszuschließen. Die Probanden wurden angeleitet, ohne Zeitdruck zu antworten und zu beachten, dass jeder Reiz aus zwei unterschiedlichen Buchstaben konstruiert wurde und dass, wenn sie sicher den Buchstaben auf der

nicht-Zielebene erkannt haben, sie diesen nicht nennen, sondern aus den noch übrigen drei Buchstaben raten sollten. Nach jedem Block wurde ein Bildschirm zur Rückmeldung präsentiert, auf dem die Versuchsteilnehmer über ihre Fehlerrate im vergangenen Block informiert wurden. Hatten sie eine Fehlerrate von über 50%, wurden sie angewiesen, ihren Einsatz und ihre Konzentration zu erhöhen.

Nach 3 Übungsblöcken, bei denen die SMIs jeweils von 192 *ms* auf 96 *ms* und 64 *ms* abnahmen, mit jeweils 24 Durchgängen, durchlief jeder Versuchsteilnehmer 8 Testblöcke mit jeweils 72 Durchgängen in einer einzelnen einstündigen Sitzung. Dieser Aufbau führte zu 48 Durchgängen pro Bedingung.

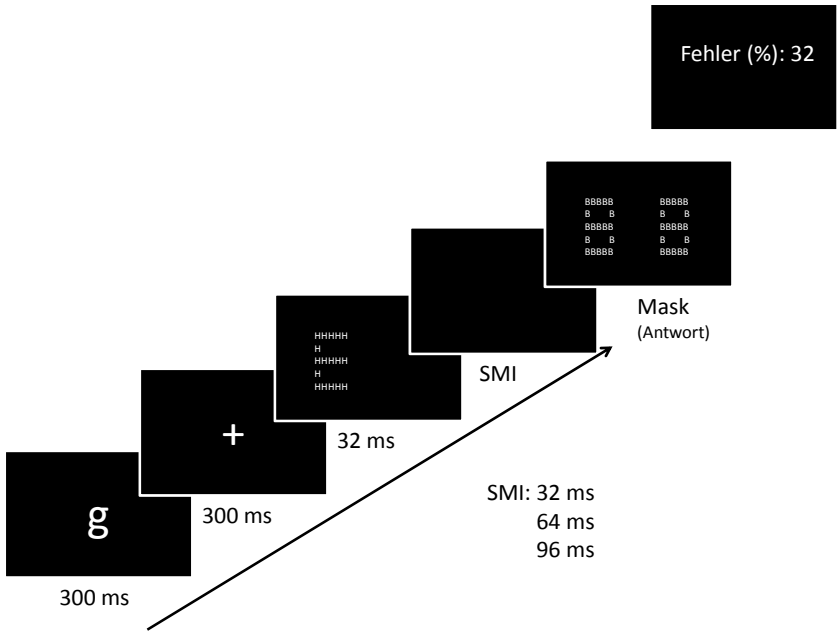


**Abbildung 11. Schematische Darstellung des Zeitverlaufs eines experimentellen Durchganges in Experiment 1.**

## 2.2. ERGEBNISSE

Der durchschnittliche Anteil der Konjunktionsfehler an der Gesamtfehlerrate betrug 60.4 %, welcher signifikant größer ist als der Anteil an Fehlern, wenn man von einem Rateverhalten ausginge, von 33.3 %, $F(1, 42) = 325$, $p < .001$.

Die Rate der Konjunktionsfehler sowie die Rate der Merkmalsfehler wurden jeweils in unterschiedlichen vierfaktoriellen ANOVAs mit dem Faktor *Reiztyp* (gefüllte vs. umrandete), der zwischen den Versuchsteilnehmern variiert wurde, und den Faktoren *Zielebene* (Global vs. Lokal), *visuelles Feld* (LVF vs. RVF) und *SMI* (kurz vs. medium vs. lang), die innerhalb der Versuchsteilnehmer variiert wurden, ausgewertet. Die Ergebnisse wurden in Abbildung 12 dargestellt.

*Konjunktionsfehler*

Es konnte ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Zielebene* ermittelt werden, $F(1, 46) = 4.12$, $p < .05$. Auch konnte jeweils eine Interaktion zwischen *Zielebene* und den Faktoren *Reiztyp*, $F(1, 46) = 6.53$, $p < .05$, und *visuelles Feld*, $F(1, 46) = 53.4$, $p < .001$, beobachtet werden. Die erste Interaktion besagt, dass umrandete Reize mehr Konjunktionsfehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global (17.6 % versus 11.0 %) produzierten, wohingegen für die gefüllten Reize kein wesentlicher Unterschied zwischen den Zielebenen (12.1 % versus 12.9 %) besteht. Die zweite Interaktion weist auf den typischen Befund, dass für die Zielebene Global mehr Konjunktionsfehler entstehen, wenn der Reiz im RVF statt im LVF (14.1 % versus 9.80 %) präsentiert wurde, während das gegensätzliche Muster für die Zielebene Lokal (12.3 % versus 17.3 %) auffällt. Die dreifach Interaktion zwischen *Zielebene*, *visuelles Feld* und *Reiztyp* war nicht signifikant, $F(1, 46) = 0.017$, $p = .90$.

Weiterhin gab es einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *SMI*, $F(2, 92) = 126$, $p < .001$. In Abbildung 12 wird deutlich wie die Konjunktionsfehler jeweils abnehmen (17.3 %, 13.2 %, 9.64 %) mit zunehmendem SMI. Abschließend konnte weiterhin eine signifikante Interaktion zwischen *visuellem Feld*, *Zielebene* und *SMI*, $F(2, 92) = 8.02$, $p < .001$, gefunden werden, welche aussagt, dass VF-Effekte mit zunehmenden SMI abnehmen.

*Merkmalsfehler*

Der Haupteffekt für den Faktor *Reiztyp* war signifikant, $F(1, 46) = 17.6$, $p < .001$. Mehr Merkmalsfehler traten für die umrandeten Reize als für die gefüllten Reize (12.7 % versus 6.40 %) auf. Weiterhin interagierte der Faktor *Reiztyp* mit dem Faktor *visuelles Feld*, $F(1, 46) = 7.51$, $p < .01$. Für die umrandeten Reize gab es einen kleinen Vorteil Richtung LVF (13.4 % versus 12.0 %), wohingegen es sich für die gefüllten Reize andersherum verhielt (6.02 % versus 6.79 %). Auch war der Haupteffekt *Zielebene* signifikant, $F(1, 46) = 4.12$, $p < .05$. Für die *Zielebene* fand sich jeweils eine Interaktion mit den Faktoren *Reiztyp*, $F(1, 46) = 39.1$, $p < .001$, und *visuelles Feld*, $F(1, 46) = 23.0$, $p < .001$. Die erste Interaktion spiegelt wider, dass die gefüllten Reize mehr Merkmalsfehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global (17.8 % versus 7.61 %) produzieren, während für die gefüllten Reize kein wesentlicher Unterschied zwischen den Zielebenen (6.01 % versus 6.79 %) gefunden wurde. Die zweite Interaktion weist auf den typischen Befund, dass für die Zielebene Global mehr Fehler auftreten, wenn der Reiz im RVF statt im LVF (8.24 % versus 6.16 %) präsentiert wurde, während es sich gegensätzlich für die Zielebene Lokal verhielt (10.5 % versus 13.2 %). Der Haupteffekt für den Faktor *SMI* war signifikant, $F(2, 92) = 97.3$, $p < .001$. Wie in Abbildung 12 zu sehen ist, nimmt die Fehlerrate der Merkmalsfehler mit steigendem SMI ab (13.5 %, 8.52 %, 6.60 %). Die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld*, *Zielebene* und *SMI* wurde signifikant, $F(2, 92) = 3.16$, $p < .05$, diese weist daraufhin, dass mit zunehmendem SMI die VF-Effekte abnehmen.

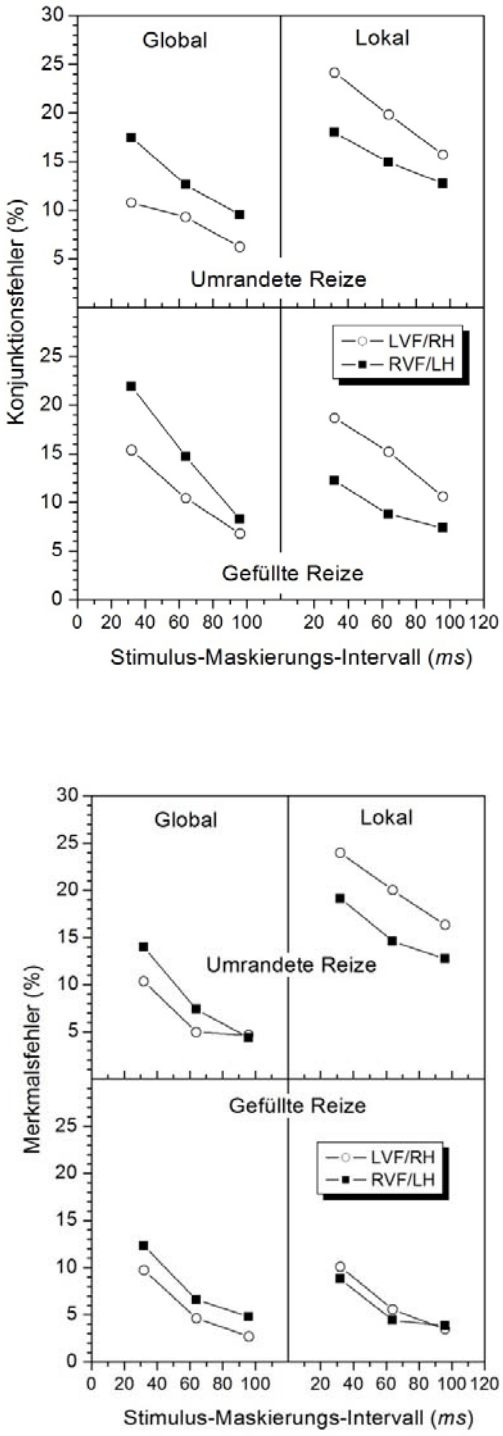


**Abbildung 12. Ergebnisse von Experiment 1. Konjunktionsfehler und Merkmalsfehler für umrandete und gefüllte Reize. LVF = linkes visuelles Feld; RVF = rechtes visuelles Feld; RH = rechte Hemisphäre; LH = linke Hemisphäre.**

## 2.3. DISKUSSION

Insgesamt haben die Ergebnisse dieselben Charakteristiken wie bei Hübner und Volberg (2005). Die Proportion der Konjunktionsfehler war signifikant größer, als ein reines Rateverhalten voraussagen würde, was darauf hinweist, dass die Versuchsteilnehmer den Buchstaben auf der nicht-Zielebene fälschlicherweise an die Zielebene gebunden haben. Weiterhin waren die VF-Effekte jeweils in der erwarteten Richtung vorzufinden. Für die Zielebene Lokal haben Reize, die im LVF präsentiert wurden, mehr Konjunktionsfehler produziert als Reize, die im RVF präsentiert wurden, während es sich gegensätzlich für die Zielebene Global verhielt. Ähnliche VF-Effekte, jedoch wesentlich schwächer, waren für die Merkmalsfehler zu beobachten. Dass VF-Effekte bei den Merkmalsfehlern gefunden werden, ist ebenfalls eine Folge der unterschiedlichen Kapazitäten der Hemisphären bezüglich des Bindens von Inhalt und Ebene (für Einzelheiten siehe Hübner & Volberg, 2005). Auch passend zu den bisherigen Ergebnissen ist die Beobachtung, dass Konjunktionsfehler und die jeweiligen VF-Effekte mit zunehmendem SMI abgenommen haben.

Bedeutsam für die aktuelle Fragestellung ist, dass die Fehlerraten der Konjunktionsfehler und der Merkmalsfehler jeweils zeigen, dass die unterschiedlichen Reiztypen jeweils unterschiedliche Dominanzverteilungen zwischen den Ebenen vorweisen. Die umrandeten Reize produzierten mehr Fehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global, während für die gefüllten Reize keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Ebenen festgestellt werden konnte. Dieses Ergebnis deutet daraufhin, dass bei den umrandeten Reizen die Ebene Lokal weniger prominent ist als die Ebene Global. Diese Resultate sind in Bezug auf unsere ursprüngliche Hypothese überraschend. Denn obwohl die umrandeten Reize mehr spektrale Leistung im Bereich der hohen Raumfrequenzen und weniger spektrale Leistung im Bereich der niedrigen Raumfrequenzen bieten, zeigten die Daten eine erleichterte Verarbeitung der Ebene Global. Die Ergebnisse der gefüllten Reize entsprechen den Erwartungen, da hier keine wesentlichen Unterschiede in der spektralen Leistung der hohen und niedrigen Raumfrequenzen vorliegen. Bei den gefüllten Reizen ist – in Anbetracht der Ergebnisse – von einer ausgeglichenen Salienz der beiden Ebenen auszugehen. Eine mögliche Erklärung für die überraschende Dominanz der Ebene Global bei den umrandeten Reizen könnte der Einfluss der Maske sein. Da hier jedoch nicht die Frage der Beziehung von unterschiedli-

chen Raumfrequenzen zur Ebenendominanz im Mittelpunkt steht, werden wir uns an dieser Stelle zunächst auf den Unterschied der beiden Reiztypen konzentrieren.

In jedem Fall zeigen die Ergebnisse, dass Unterschiede der Raumfrequenzverteilungen zwischen den beiden Reiztypen einen Effekt auf die relative Ebenendominanz haben. Nun wollten wir im Besonderen untersuchen, ob unterschiedliche Raumfrequenzverteilungen bzw. Unterschiede in der relativen Ebenendominanz einen Einfluss auf die Inhalt-Ebenen-Bindung haben. Obwohl die Unterschiede der beiden Reiztypen bezüglich ihrer relativen Ebenendominanz die Konjunktionsfehler beeinflusst haben, konnte jedoch kein Einfluss der Reiztypen auf die entsprechenden VF-Effekte verzeichnet werden, d.h. dass sie keinen Einfluss auf die Inhalt-Ebenen-Bindung hatten.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieses Experiments, dass das Binden von Inhalt und Ebene von der Manipulation der Raumfrequenzverteilung und der relativen Ebenedominanz eines Reizes nicht beeinflusst werden kann. Dies deutet daraufhin, dass die aufmerksamkeitsgerichtete Selektion einer bestimmten Raumfrequenz in einem Reiz nicht direkt das Binden von Inhalt und Ebene beeinflusst. Somit scheint es, dass die Effekte unter Verwendung hoher vs. niedriger Raumfrequenzen als Prime, die von Flevaris et al. (2010) ermittelt worden sind, über einen indirekten Prozess Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene gewonnen haben. Möglicherweise kann die aufmerksamkeitsgerichtete Selektion einer Raumfrequenz aus einem Muster von hohen und niedrigen Raumfrequenzen die mentale Repräsentation der Kategorie Global oder Lokal aktivieren. Diese Voraktivierung der abstrakten Kategorie Global oder Lokal beeinflusst dann möglicherweise bei der nächsten Aufgabe das Binden eines Inhaltes an die voraktivierte Kategorie. Wenn dies der Fall sein sollte, dann könnten auch mit anderen Methoden eine Voraktivierung einer bestimmten Ebene bewirkt werden, um dann zu überprüfen, ob es einen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene hat. In Experiment 2 wollen wir dieser Aufgabe nachgehen.

# 3. EXPERIMENT 2 – EBENEN- UND REIZWIEDERHOLUNG (PRIME UND TESTREIZ MASKIERT)

In Experiment 2 wollten wir sowohl den Einfluss von Ebenenwiederholung als auch den Einfluss von Reizwiederholung prüfen. Dazu haben wir erneut hierarchische Buchstaben verwendet, die wir nach einem bestimmten SMI maskiert haben. Es wurden zwei unterschiedliche SMIs verwendet, die in jedem Block randomisiert verteilt waren. In der Regel ist eine Abnahme der Konjunktionsfehler mit einer Zunahme der SMI verbunden, da uns jedoch dieser Effekt in unserer Fragestellung nicht interessiert, haben wir diesen Faktor später in unserer Datenanalyse nicht berücksichtigt.

Im Gegensatz zu Flevaris et al. (2010), die Muster aus hohen und niedrigen Raumfrequenzen als Prime genutzt und maskierte hierarchische Buchstaben als Hauptreiz präsentiert haben, haben wir zwischen Prime und Hauptreiz keinen Unterschied gemacht. Alle Stimuli bestanden aus maskierten hierarchischen Reizen. Wie in Experiment 1 verwendeten wir jeweils zwei unterschiedliche aus den vier Buchstaben *H, E, A* und *S*, um einen inkongruenten hierarchischen Reiz zu konstruieren. Erneut erschien vor jedem Stimulus ein Hinweisreiz, der die Zielebene (Global vs. Lokal) anzeigte.

Auch hier interessieren uns, wie in Experiment 1, besonders die Konjunktionsfehler und die Merkmalsfehler. Es wird erneut zu prüfen sein, ob die Proportion der Konjunktionsfehler 1/3 übersteigt, um ein Rateverhalten ausschließen zu können.

Um VF-Effekte zu messen, wurden wie alle Stimuli entweder im RVF oder im LVF präsentiert. Auch hier ist eine positive Interaktion zwischen dem visuellen Feld und der Zielebene zu erwarten. Das bedeutet, dass für die Zielebene Lokal mehr Konjunktionsfehler für die im LVF präsentierten Stimuli als für die im RVF präsentierten Stimuli zu erwarten sind, während das Gegenteil für die Zielebene Global der Fall sein sollte.

Während wir in Experiment 1 den Reiztyp zwischen den Versuchsteilnehmern variiert haben, ist der Faktor Reiztyp in Experiment 2 in jedem Block balanciert worden, so dass jeder Versuchsteilnehmer sowohl umrandete als auch gefüllte Reize bearbeitet hat. Der Faktor Zielebene wurde wieder wie in Experiment 1 über alle Durchgänge balanciert. Die Effekte für Ebenen- und Reizwiederholung wurden durch eine Analyse der sequentiellen Effekte herausgearbeitet. Dazu wurden die Durchgänge jeweils für den Faktor Zielebene und den Faktor

Reiztyp nach dem Experiment in *Wiederholungsdurchgang* vs. *Wechseldurchgang* kategorisiert. Wenn nun also die Wiederholung von Reiztyp oder Zielebene die Inhalt-Ebenen-Bindung erleichtern sollte, dann sollten die VF-Effekte für die entsprechenden Wiederholungsdurchgänge im Vergleich zu den Wechseldurchgängen reduziert werden.

Nach den Ergebnissen von Experiment 1 ist zu erwarten, dass die unterschiedlichen Reiztypen zwar Unterschiede der Ebenendominanz anzeigen, jedoch an sich keinen Einfluss auf die Effizienz der Inhalt-Ebenen-Bindung haben.

## 3.1. METHODE

*Versuchsteilnehmer*

28 Studenten (Durchschnittsalter 22.2 Jahre; 7 männlich) der Universität Konstanz, Deutschland, haben an diesem Experiment teilgenommen. Alle Versuchsteilnehmer hatten normale oder zu-normal-korrigierte Sehkraft, waren laut Selbstaussage rechtshändig und haben jeweils 15 € für ihre Teilnahme erhalten.

*Versuchsaufbau, Reizmaterial und Vorgehen*

Es wurden auch hier dieselben Personal Computer (PC) wie bereits in Experiment 1 verwendet. Auch die verwendeten gefüllten und umrandeten hierarchischen Buchstaben entsprechen in Größe und Form den Reizen aus Experiment 1.

Da die Effekte von Reiz- und Ebenenwiederholung über die Berechnung von Sequenzeffekten nach der Erhebung ermittelt wurden, konnten wir die einzelnen Durchgänge ebenfalls so belassen wie in Experiment 1 (siehe dazu auch Abbildung 11). Während in Experiment 1 jeder Versuchsteilnehmer lediglich einen Reiztyp vorgelegt bekam, wurden hier visuelles Feld, Ebene, Reiztyp und SMI über alle Durchgänge balanciert. Ein weiterer Unterschied zu Experiment 1 ist die Verwendung von lediglich zwei unterschiedlichen SMIs (48 *ms* und 80 *ms*).

Auch hier war es die Aufgabe der Versuchsteilnehmer, den Buchstaben auf der gefragten Ebene anzugeben, indem sie eines der vier ausgewiesenen Tasten der Computertastatur betätigen. Wie zuvor wurden unterschiedliche Tasten-Buchstaben-Zuweisungen zwischen den Versuchspersonen variiert, um Neigungen auszuschließen.

Nach einigem Training hat jeder Versuchsteilnehmer 12 Blöcke mit jeweils 96 Durchgängen in einer 2-stündigen Sitzung, welche eine Pause von 15 *min* beinhaltete, bearbeitet. Dieser Aufbau führt zu 72 Durchgängen pro Bedingung.

## 3.2. ERGEBNISSE

Die Rate der Konjunktionsfehler betrug 10.6 %. Die Proportion der Konjunktionsfehler an der Gesamtfehlerrate (18.2 %) betrug 59.2%, was signifikant größer ist als die Rate von 1/3 unter der Annahme von Rateverhalten, $F(1, 27) = 200$, $p < .001$. Zunächst wurden die Raten der Konjunktionsfehler, der Merkmalsfehler und der Reaktionszeiten in drei unterschiedlichen dreifaktoriellen ANOVAs mit den Faktoren *Reiztyp* (umrandet vs. gefüllt), *Zielebene* (Global vs. Lokal) und *visuelles Feld* (LVF vs. RVF) eingefügt. In einer weiteren ANOVA wurden dann die Sequenzeffekte analysiert.

*Konjunktionsfehler*

Der Haupteffekt *visuelles Feld* war signifikant, $F(1, 28) = 8.92$, $p < .01$. Mehr Fehler konnten für Reize festgestellt werden, die im RVF präsentiert wurden (11.2 % vs. 10.0 %). Wie erwartet, fand sich eine Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *Zielebene*, $F(1, 27) = 21.5$, $p < .001$. Für die Zielebene Global waren mehr Konjunktionsfehler für Reize aus dem RVF als aus dem LVF zu beobachten (12.9 % vs. 8.3 %), während es sich gegensätzlich für die Zielebene Lokal verhielt (9.5 % vs. 11.7 %). Weiterhin gab es eine signifikante beidseitige Interaktion zwischen *Zielebene* und *Reiztyp*, $F(1, 27) = 41.5$, $p < .001$. Bei gefüllten Reizen traten mehr Konjunktionsfehler für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal auf (12.0 % vs. 8.7 %), während es sich gegensätzlich für die umrandeten Reize verhielt (9.2 % vs. 12.5 %).

*Merkmalsfehler*

Der Haupteffekt *Reiztyp*, $F(1, 27) = 55.8$, $p < .001$, und der Haupteffekt *Zielebene* waren signifikant, $F(1, 27) = 13.2$, $p < .01$. Es traten mehr Fehler für umrandete Reize als für gefüllte Reize (9.1 % vs. 6.1 %) sowie für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global (10.6 % vs. 4.6 %) auf. Weiterhin gab es auch eine signifikante beidseitige Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren, $F(1, 27) = 31.0$, $p < .001$. Während für die Zielebene Global die Fehlerraten sich für beide Reiztypen ähnlich verhielten, unterschieden sie sich wesentlich für die Zielebene Lokal (Global: gefüllte Reize 4.3 % vs. umrandete Reize 4.9 %; Lokal: gefüllte Reize 7.8 % vs. umrandete Reize 13.3 %). Zusätzlich fand sich eine beidseitige Interaktion zwischen den Faktoren *Reiztyp* und *visuelles Feld*, $F(1, 27) = 9.79$, $p < .01$. Während die Präsentation der gefüllten Reize im RVF zu mehr Fehlern als im LVF führte (6.4 % vs. 5.7 %), verhielt es sich gegensätzlich für die umrandeten Reize (8.4 % vs. 9.8 %). Abschließend wurde auch eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *Zielebene* gefunden, $F(1, 27) = 15.2$, $p < .001$. Für die Zielebene Global wurden mehr Fehler für Reize, die im RVF präsentiert wurden, als für Reize, die im LVF präsentiert wurden, ermittelt (5.5 % vs. 3.7 %), während das Gegenteil für die Zielebene Lokal zu beobachten war (9.4 % vs. 11.8 %).

*Reaktionszeiten*

Der Haupteffekt *Zielebene* war signifikant, $F(1, 27) = 10.7$, $p < .01$. Zusätzlich gab es eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene* und *visuelles Feld*, $F(1, 27) = 19.5$, $p < .001$, welche zeigt, dass Probanden unter der Bedingung der Zielebene Global schneller reagierten bei Reizen, die im LVF präsentiert wurden, als bei Reizen, die im RVF präsentiert wurden, (796 *ms* vs. 835 *ms*), während es sich gegensätzlich verhielt für die Zielebene Lokal (894 *ms* vs. 872 *ms*). Weiterhin gab es eine beidseitige Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene* und *Reiztyp*, $F(1, 27) = 21.7$, $p < .001$. Für die gefüllten Reize gab es weniger Unterschiede in den Reaktionszeiten zwischen den Zielebenen Global und Lokal (831 *ms* vs. 872 *ms*), als es für die umrandeten Reize der Fall war (Global 800 *ms* vs. Lokal 895 *ms*).

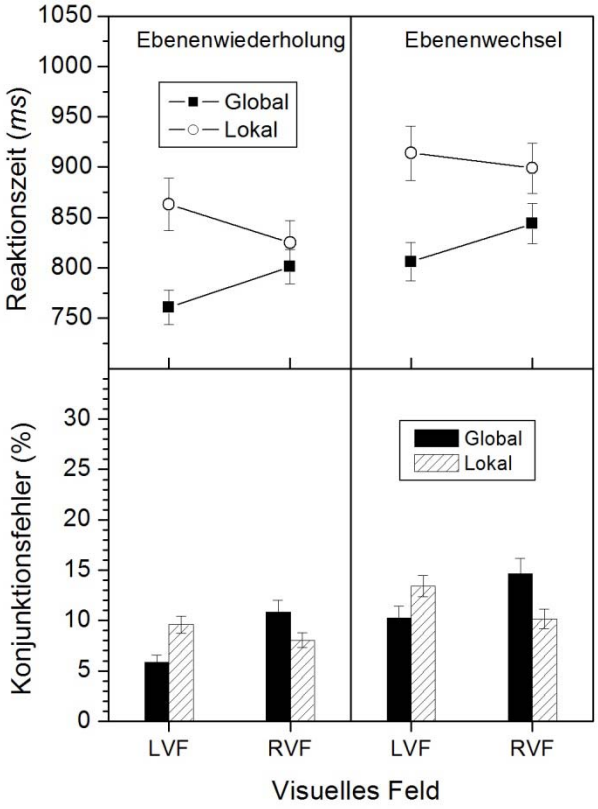


**Abbildung 13.Reaktionszeiten und Konjunktionsfehler für die Bedingungen "Ebenenwiederholung" und "Ebenenwechsel" in Experiment 2. Die Größe der VF-Effekte für die jeweilige Zielebene lässt sich am Abstand zwischen den Datenpunkten oder Balken ablesen.**

*Wiederholungseffekte*

Um die Effekte der Faktoren Ebenenwiederholung und der Reiztypwiederholung und mögliche Interaktionen mit anderen Faktoren zu ermitteln, haben wir jeden Durchgang als Wiederholungsdurchgang oder Wechseldurchgang kategorisiert. Die dann extrahierten durchschnittlichen Raten an Konjunktionsfehlern und Reaktionszeiten wurden in separate vierfaktorielle ANOVAs mit den Faktoren *Reiztypwiederholung* (Wiederholung vs. Wechsel), *Ebenenwiederholung* (Zielebenenwiederholung vs. Zielebenenwechsel), *Zielebene* (Global vs. Lokal) und *visuelles Feld* (LVF vs. RVF) integriert.

Für die Konjunktionsfehler war der Haupteffekt *Ebenenwiederholung* signifikant, $F(1, 27) = 12.2$, $p < .01$. Hat sich die Zielebene wiederholt, traten verglichen zu einem

Zielebenenwechsel weniger Fehler auf (8.58 % vs. 12.1 %). Es konnten keine signifikanten Veränderungen der VF-Effekte durch *Ebenenwiederholung* oder *Reiztypwiederholung* gefunden werden (siehe auch Abbildung 13).

Auch in den Reaktionszeiten war der Haupteffekt *Ebenenwiederholung* signifikant, $F(1, 27) = 33.3$, $p < .001$. Hat sich die Zielebene wiederholt, waren die Reaktionszeiten geringer als bei einem Zielebenenwechsel (813 *ms* vs. 866 *ms*). Auch hier fand sich keine signifikante Interaktion der Faktoren *Ebenenwiederholung* oder *Reiztypwiederholung* mit den Faktoren *Zielebene* und *visuelles Feld*.

## 3.3. DISKUSSION

Ähnlich wie bei Experiment 1 (siehe auch Hübner & Volberg, 2005) konnten unsere Ergebnisse zeigen, dass die von uns verwendete Methode geeignet ist, um eine hohe Rate an Konjunktionsfehler zu generieren. Auch die erwarteten VF-Effekte konnten sowohl für die Konjunktionsfehler als auch für die Merkmalsfehler und Reaktionszeiten gezeigt werden. Das Auftreten solcher VF-Effekte entsteht laut der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie von Hübner und Volberg (2005) durch die Unterschiede zwischen den Hemisphären bezüglich ihrer Kapazitäten Inhalte an bestimmte Ebenen zu binden.

Da die Merkmalsfehler für unsere Fragestellung uninteressant sind, werden wir uns im Folgenden mit Überlegungen zu den Konjunktionsfehlern und Reaktionszeiten beschäftigen.

In Experiment 1 haben wir den Einfluss des Reiztypes auf die Konjunktionsfehler untersucht und es zeigte sich dort, dass die unterschiedlichen Reiztypen zwar Unterschiede in der Dominanz einer Ebene aufzeigen, jedoch keinen Einfluss auf die VF-Effekte haben. In den Ergebnisse von Experiment 2 zeigt sich in der Analyse der Reaktionszeiten, dass ein genereller Vorteil für die Verarbeitung der Ebene Global bei beiden Reizen beobachtet werden konnte, nur die Unterschiede zwischen den Ebenen waren größer für die umrandeten als für die gefüllten Reize. Im Vergleich zu den gefüllten Reizen führten die umrandeten Reize zu schnelleren Reaktionszeiten für die Zielebene Global und langsamere Reaktionszeiten für die

Zielebene Lokal. Bei den Konjunktionsfehler verhielt es sich analog. Die umrandeten Reize führten zu weniger Konjunktionsfehlern für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal. Wie bereits oben erwähnt, ist dieses Verhältnis in Anbetracht der Raumfrequenzverteilung der beiden Reize (gefüllte vs. umrandete) eher überraschend. Für unsere Fragestellung ist jedoch in erster Linie wichtig, dass die Variation des Reiztypes einen Effekt auf die relative Ebenendominanz hat. Die unterschiedliche Ebenendominanz zwischen den gefüllten und umrandeten Reizen zeigte jedoch (wie auch schon bei Experiment 1) keinen Einfluss auf die VF-Effekte. Somit erhärtet sich unsere Vermutung, dass der Reiztyp zwar die Rate, zu der ein Buchstabe identifiziert werden kann, beeinflusst, jedoch keinen Einfluss hat auf die Effizienz, mit der der identifizierte Buchstabe an seine Ebene gebunden wird.

Auch die Wiederholung des Reiztypes hatte keinen Effekt. Wohingegen die Wiederholung der Zielebene nicht nur zu einer schnelleren Reaktion, sondern auch zu weniger Konjunktionsfehlern führte. Erneut hatte die Ebenenwiederholung keinen Einfluss auf die VF-Effekte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse von diesem Experiment einen Einfluss von Reiztyp, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung auf das Binden von Inhalt und Ebene nicht bestätigen können. Wir wollten jedoch einen möglichen Einfluss dieser Faktoren noch nicht verwerfen, bevor wir nicht noch eine weitere Variation dieses Experimentes durchgeführt haben. Ein wesentlicher Unterschied zwischen unserem Experiment und dem von Flevaris et al. (2010) ist, dass in unserem Experiment alle Reize maskiert wurden, wohingegen der Prime in dem Experiment von Flevaris et al. (2010) unmaskiert blieb. Vielleicht kann sich ein positiver Effekt der Wiederholung nur dann auf die Effizienz des Bindens von Inhalt und Ebene auswirken, wenn der Prime nicht maskiert wird. Zwei weitere Unterschiede im Versuchsaufbau zwischen unserem Experiment 2 und dem Experiment von Flevaris et al. (2010) sind zum Einen, dass der Prime zentral präsentiert wurde, und zum Anderen, dass sowohl Zielebene als auch Ebenenwiederholung geblockt wurden. Um zu untersuchen, ob eben diese methodischen Unterschiede wesentlich sind, um den Effekt von Reizwiederholung oder Ebenenwiederholung auf das Binden von Inhalt und Ebene zu beobachten, haben wir ein weiteres Experiment konstruiert.

# 4. EXPERIMENT 3 – EBENEN- UND REIZWIEDERHOLUNG (PRIME UNMASKIERT)

Das Ziel von Experiment 3 entsprach dem von Experiment 2. Auch hier wollten wir ermitteln, ob die Faktoren Reiztyp, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung eine Erleichterung des Bindens von Inhalt und Ebene bei der Verarbeitung hierarchischer Reize bewirken können.

Der hier verwendete Versuchsaufbau unterscheidet sich in drei wesentlichen Punkten von dem vorherigen Experiment. Erstens, haben wir, statt nur maskierte Reize zu verwenden, zunächst einen unmaskierten Prime-Reiz und darauf folgend einen maskierten Testreiz präsentiert. Zweitens, erschien der Prime-Reiz zentral auf dem Bildschirm, und drittens, wurden in diesem Experiment die Faktoren Hauptreiztyp, Prime-Reiztyp, Zielebene, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung geblockt. Mit diesen Änderungen entspricht unser Versuchsaufbau mehr dem Experiment von Flevaris et al. (2010), wobei wir – im Unterschied zu ihrer Studie – als Prime dieselben hierarchischen Buchstaben wie für den Hauptreiz verwendet haben. Auch für den Prime-Reiz bestand die Aufgabe der Versuchsteilnehmer darin, den Buchstaben auf der Zielebene zu benennen. Sowohl Prime-Reiz als auch Hauptreiz konnten gefüllte oder umrandete hierarchische Buchstaben sein (siehe Abbildung 10).

Wie bereits beschrieben wurden die Bedingungen Hauptreiztyp, Prime-Reiztyp, Zielebene, Ebenenwiederholung und Reiztypwiederholung geblockt. Jede der vier möglichen Kombinationen der beiden Bedingungen Hauptreiztyp (gefüllt vs. umrandet) und Prime-Reiztyp (gefüllt vs. umrandete) wurde mit einer anderen Gruppe von Versuchsteilnehmern (12 Versuchsteilnehmer pro Gruppe) durchgeführt. Ebenenwiederholung wurde für jeden Probanden variiert, so dass in einigen Blöcken die Zielebene sich von Prime-Reiz zu Hauptreiz wiederholte und in anderen wechselte.

## 4.1. METHODE

*Versuchsteilnehmer und Vorgehen*

48 Studenten (Durchschnittsalter 23.2 Jahre; 16 männlich) der Universität Konstanz, Deutschland, haben an diesem Experiment teilgenommen. Die Probanden wurden jeweils randomisiert zu einem der vier Gruppen (siehe unten) zugewiesen. Alle Versuchsteilnehmer hatten normale oder zu-normal-korrigierte Sehkraft, waren laut Selbstaussage rechtshändig und haben jeweils 15 € für ihre Teilnahme erhalten.

Auch hier wurden wie bei Experiment 1 und 2 hierarchische Buchstaben verwendet. Im Gegensatz zu Experiment 2 wurden hier jedoch nicht alle Reize maskiert und lateral dargeboten. Jeder Durchgang bestand aus zwei Aufgaben. Zunächst sollte der Buchstabe auf der Zielebene bei einem zentral-präsentierten und nicht-maskierten Prime-Reiz identifiziert werden und erst dann wurde der Hauptreiz – wie bei Experiment 2 – lateral präsentiert und maskiert. Auch für den Hauptreiz wurden die Versuchsteilnehmer instruiert den Buchstaben auf der Zielebene zu identifizieren. Dieselben vier Tasten der Computertastatur, welche für die Reaktion auf den Prime-Reiz verwendet wurden, wurden auch für die Beantwortung des Hauptreizes genutzt. Die Tasten-Buchstaben-Zuweisung wurde zwischen den Versuchsteilnehmern variiert. Es wurden sowohl für den Prime-Reiz als auch für den Hauptreiz gefüllte und umrandete hierarchische Buchstaben verwendet (siehe Abbildung 10). Die möglichen Kombinationen von Prime-Reiztyp und Hauptreiztyp (gefüllt-gefüllt, gefüllt-umrandet, umrandet-umrandet, umrandet-gefüllt) wurden jeweils von unterschiedlichen Gruppen von Probanden bearbeitet. Jeder Durchgang begann mit der zentralen Präsentation eines Hinweisreizes für 300 *ms*, der anzeigte, auf welche Ebene zu achten sei (der Buchstabe „*l*“ für die Zielebene Lokal und der Buchstabe „*g*“ für die Zielebene Global). Nach einem für 100 *ms* anhaltenden, schwarzen Bildschirm wurde der Prime-Reiz zentral gezeigt und blieb erhalten, bis die Versuchsperson einen Buchstaben eingegeben hatte. Sofort nach der Antwort erschien der Hinweisreiz für den Hauptreiz. Der Ablauf für die Hauptaufgabe war identisch mit einem Durchgang in Experiment 2. Auch hier wurde nach jedem Block ein Feedback-Bildschirm gezeigt, auf dem den Versuchsteilnehmern ihre Gesamtfehlerrate im letzten Block angezeigt wurde. Hier wurde zwischen den Fehlerraten von Prime-Reiz und Hauptreiz getrennt. Haben die Versuchsteilnehmer die Fehlerrate von 10 % beim Prime-Reiz oder 50 % beim Hauptreiz über-

schritten, so wurden sie gebeten, mehr Konzentration und Einsatz zu zeigen. Die Zielebenen der beiden Aufgaben pro Durchgang wurden geblockt, so dass vier Block-Kombinationen entstanden: Global-Lokal, Global-Global, Lokal-Lokal, Lokal-Global.

Nach einigem Üben, wurden vier Blöcke mit jeweils 72 Durchgängen für jede Blockkombination sequentiell verwirklicht, die Abfolge wurde jeweils über die Probanden hinweg balanciert. Dieser Aufbau führte zu 48 Durchgängen für jede Bedingung. Insgesamt wurde das Experiment in einer 2-stündigen Session mit einer Pause von 15 *min* angesetzt.

## 4.2. ERGEBNISSE

### *Reaktionen auf den ersten Reiz*

Die durchschnittlichen Fehlerraten und die durchschnittlichen Reaktionszeiten der korrekten Antworten auf den ersten Reiz wurden in separate vierfaktorielle ANOVAs mit den Faktoren *Prime-Reiztyp* (umrandet vs. gefüllt) und *Reiztypwiederholung* (Wiederholung vs. Wechsel), die zwischen den Versuchsteilnehmern variiert wurden, und den Faktoren *Zielebene* (Global vs. Lokal) und *Ebenenwiederholung* (Wiederholung vs. Wechsel), die innerhalb der Versuchsteilnehmer variiert wurden, eingefügt.

Die Fehlerrate betrug durchschnittlich 2,9 %. Die Haupteffekte *Reiztypwiederholung*, $F(1, 44) = 8.58$, $p < .01$, *Zielebene*, $F(1, 44) = 5.94$, $p < .05$, und *Ebenenwiederholung*, $F(1, 44) = 15.6$, $p < .001$, waren signifikant. Waren Prime und Hauptreiz jeweils vom selben Reiztyp so entstanden weniger Fehler im Vergleich zu unterschiedlichen Reiztypen (2.1 % vs. 3.6 %). Insgesamt traten mehr Fehler für die Zielebene Lokal auf (Lokal 3.3 % vs. Global 2.5 %). Abschließend war die Fehlerrate geringer, wenn die Zielebene zwischen Prime und Hauptreiz sich wiederholt haben im Vergleich zu einem Ebenenwechsel (2.2 % vs. 3.5 %).

In den Reaktionszeiten waren die Haupteffekte *Zielebene*, $F(1, 44) = 61.5$, $p < .001$, und *Ebenenwiederholung*, $F(1,44) = 185$, $p < .001$, signifikant. Für die Zielebene Lokal wurden

schneller korrekte Antworten gegeben als für die Zielebene Global (849 *ms* vs. 950 *ms*). Die Reaktionen in den Blöcken mit Ebenenwiederholung waren schneller als in den Blöcken mit Ebenenwechsel (815 *ms* vs. 983 *ms*).

***Reaktionen auf den zweiten Reiz***

Die Rate der Konjunktionsfehler betrug 12.2 % bei einer Gesamtfehlerrate von 22.2 %. Somit überstieg auch hier (wie bei Experiment 1 und 2 auch) die Proportion der Konjunktionsfehler mit 54.9 % signifikant die Zufallsrate von 1/3, $F(1, 44) = 223$, $p < .001$.

Die Mittelwerte der Konjunktionsfehler, der Merkmalsfehler und der Reaktionszeiten wurden in separate fünf-faktorielle ANOVAs mit den Faktoren *Reiztyp* (umrandet vs. gefüllt), *Reiztypwiederholung* (Wiederholung vs. Wechsel), die zwischen den Versuchsteilnehmern variiert wurden, und den Faktoren *Ebenewiederholung* (Ebenewiederholung vs. Ebenewechsel), *Zielebene* (Global vs. Lokal) und *visuelles Feld* (LVF vs. RVF), die innerhalb der Versuchsteilnehmer variiert wurden, eingefügt.

*Konjunktionsfehler*

Der Haupteffekt *Ebenenwiederholung*, $F(1, 44) = 80.1$, $p < .001$, war signifikant. Hat sich die Zielebene zwischen den beiden Aufgaben pro Durchgang wiederholt, so traten weniger Fehler auf als bei einem Ebenenwechsel (10.0 % vs. 14.4 %). Siehe Abbildung 14. Weiterhin gab es signifikante Haupteffekte für die Faktoren *Zielebene*, $F(1, 44) = 27.6$, $p < .001$, und *visuelles Feld*, $F(1, 44) = 6.25$, $p < .05$. Für die Zielebene Lokal (verglichen zu der Zielebene Global) traten mehr Fehler auf (14.8 % vs. 9.7 %). Wenn der Hauptreiz im LVF präsentiert wurde, führte das zu mehr Fehlern, als wenn er im RVF präsentiert wurde (12.9 % vs. 11.5 %). Die Faktoren *Zielebene* und *visuelles Feld* haben auch miteinander interagiert, $F(1, 44) = 149$, $p < .001$. Für die Zielebene Global fanden sich mehr Fehler, wenn der Reiz im RVF präsentiert wurde, als wenn er im LVF dargeboten wurde (12.6 % vs. 6.7 %), während es sich andersherum verhielt für die Zielebene Lokal (10.3 % vs. 19.2 %). Für unsere Fragestellung besonders wichtig ist die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *Ebenenwiederholung*, $F(1, 44) = 20.7$, $p < .001$. Unter der Bedingung

Ebenenwiederholung waren die VF-Effekte kleiner (Global: RVF 10.2 % vs. LVF 5.7 %; Lokal: RVF 8.2 % vs. LVF 15.9 %) als unter der Bedingung Ebenenwechsel (Global: RVF 15.1 % vs. 7.7 %; Lokal: RVF 12.4 % vs. LVF 22.5 %). Weiterhin gab es eine dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *Reiztyp*, $F(1, 44) = 24.1$, $p < .001$. Für die umrandeten Reize waren die VF-Effekte geringer (Global: RVF 10.2 % vs. LVF 6.1 %; Lokal: RVF 12.3 % vs. LVF 17.1 %) als für die gefüllten Reize (Global: RVF 15.1 % vs. LVF 7.3 %; Lokal: RVF 12.3 % vs. LVF 21.3 %). Siehe Abbildung 15. Jedoch konnten die VF-Effekte nicht durch den Faktor Reiztypwiederholung beeinflusst werden. Die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Reiztypwiederholung*, *visuelles Feld* und *Zielebene* war nicht signifikant, $F(1, 44) = 0.813$, $p = .372$.

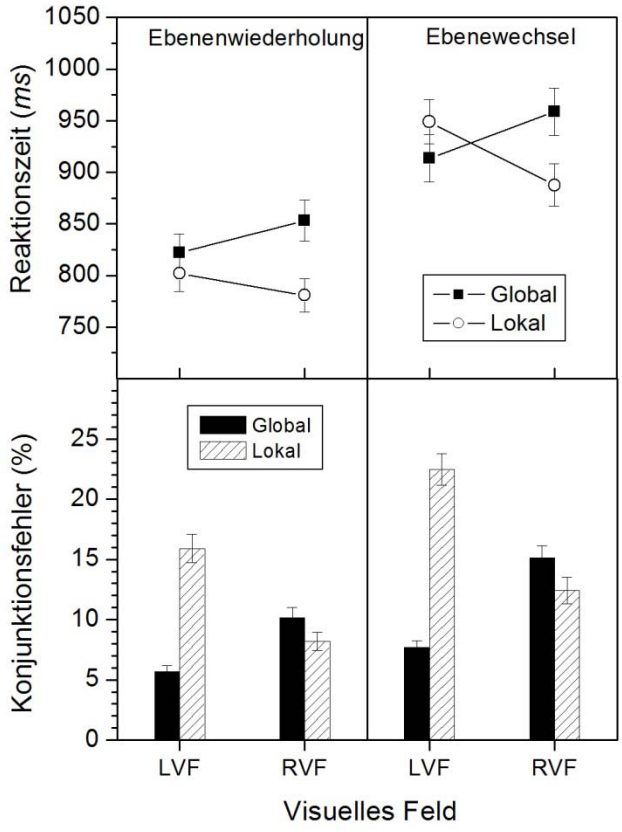


**Abbildung 14. Reaktionszeiten und Konjunktionsfehler für die Bedingungen "Ebenenwiederholung" und "Ebenenwechsel" in Experiment 3. Die Größe der VF-Effekte für die jeweilige Zielebene lässt sich am Abstand zwischen den Datenpunkten oder Balken ablesen.**

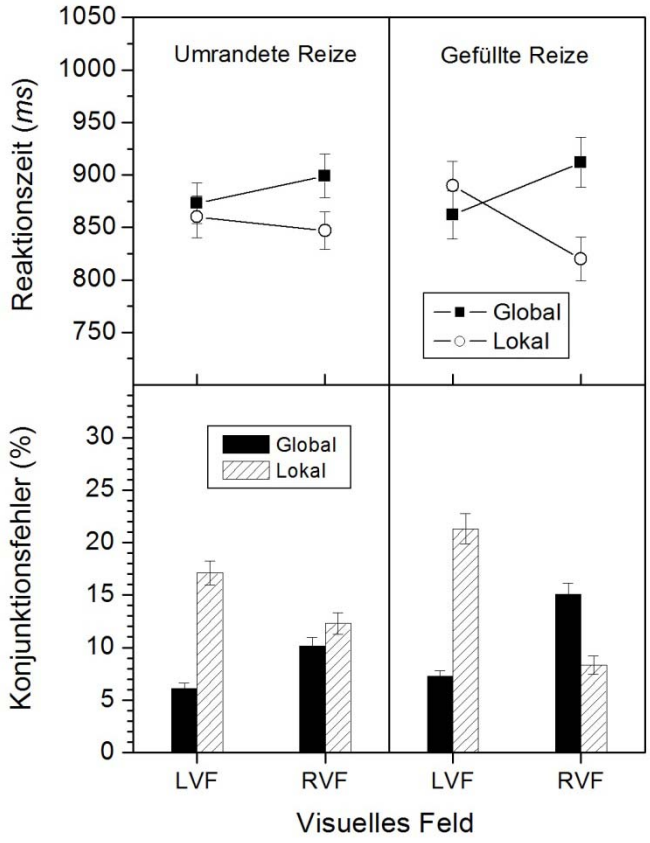


**Abbildung 15. Reaktionszeiten und Konjunktionsfehler für die beiden Reiztypen in Experiment 3. Die Größe der VF-Effekte für die jeweiligen Zielebenen lässt sich am Abstand zwischen den Datenpunkten oder Balken ablesen.**

*Merkmalsfehler*

Der Haupteffekt *Ebenenwiederholung* war signifikant, $F(1,44) = 13.5$, $p < .001$. Wurde die Zielebene wiederholt, traten weniger Fehler auf, als wenn die Zielebene gewechselt wurde (10.8 % vs. 9.2 %). Auch die Haupteffekte *Zielebene*, $F(1, 44) = 30.4$, $p < .001$, und *visuelles Feld*, $F(1, 44) = 9.24$, $p < .01$, waren signifikant. Für die Zielebene Lokal traten mehr Fehler auf als für die Zielebene Global (11.8 % vs. 8.1 %) und für Reize, die im LVF präsentiert wurden, traten mehr Fehler auf, als für Reize, die im RVF dargeboten wurden (10.7 % vs. 9.3 %). Weiterhin gab es eine Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene* und *visuelles Feld*, $F(1, 44) = 76.2$, $p < .001$. Für die Zielebene Global traten mehr Fehler auf, wenn der Reiz im RVF als im LVF dargeboten wurde (0.1 % vs. 7.2 %), während es sich andersherum verhielt für die Zielebene Lokal (9.4 % vs. 14.2 %). Zusätzlich fand sich eine beidseitige Interaktion zwischen den Faktoren *Reiztyp* und *Zielebene*, $F(1, 44) = 7.39$, $p < .001$. Für die umrandeten Reize war der Unterschied zwischen den Zielebenen größer als für die gefüllten

Reize (umrandete Reize: Global 7.9 % vs. Lokal 13.4 %; gefüllte Reize: Global 8.4 % vs. Lokal 10.2 %). Es gab eine dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *Ebenenwiederholung*, $F(1, 44) = 5.24$, $p > .05$. Für die Zielebene Global hatte die Ebenenwiederholung keinen Einfluss auf die VF-Effekte (Ebenenwiederholung: RVF 8.4 % vs. LVF 6.4 %; Ebenenwechsel: RVF 9.9 % vs. LVF 7.9 %), während die VF-Effekte für die Zielebene Lokal bei Ebenenwiederholung im Vergleich zum Ebenenwechsel abnahmen (Ebenenwiederholung: RVF 9.0 % vs. LVF 12.8 %; Ebenenwechsel: RVF 9.9 % vs. LVF 15.7 %). Weiterhin gab es eine dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Reiztyp*, *visuelles Feld* und *Zielebene*, $F(1, 44) = 9.96$, $p < .01$. Für die umrandeten Reize waren die VF-Effekte kleiner (Global: RVF 8.5 % vs. LVF 7.4 %; Lokal: RVF 11.8% vs. LVF 15.0 %) als für die gefüllten Reize (Global: RVF 9.8 % vs. LVF 7.0 %; Lokal: RVF 7.0 % vs. LVF 13.4 %).

*Reaktionszeiten*

Der Haupteffekt *Zielebene*, $F(1, 44) = 5.93$, $p < .05$, war signifikant. Reaktionen auf die Zielebene Lokal waren schneller als auf die Zielebene Global (855 *ms* vs. 887 *ms*). Weiterhin gab es einen signifikanten Haupteffekt *Ebenenwiederholung*, $F(1, 44) = 134.1$, $p < .001$. Hat sich die Zielebene wiederholt, waren die Reaktionen schneller, als unter der Bedingung Ebenenwechsel (815 *ms* vs. 927 *ms*). Es fand sich eine Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *Zielebene*, $F(1, 44) = 53.0$, $p < .001$. Für die Zielebene Global waren die Reaktionen schneller, wenn der Reiz im LVF als im RVF präsentiert wurde (868 *ms* vs. 906 *ms*), während es sich für die Zielebene Lokal gegensätzlich verhielt (876 *ms* vs. 834 *ms*). Wichtig für unsere aktuelle Fragestellung ist die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Ebenenwiederholung*, *visuelles Feld* und *Zielebene*, $F(1, 44) = 17.9$, $p < .001$. Unter der Bedingung Ebenenwiederholung waren die VF-Effekte kleiner (Global: RVF 853 *ms* vs. LVF 822 *ms*; Lokal: RVF 781 *ms* vs. LVF 802 *ms*) als unter der Bedingung Ebenenwechsel (Global: RVF 959 *ms* vs. LVF 913 *ms*; Lokal: RVF 888 *ms* vs. LVF 949 *ms*). Siehe Abbildung 14. Weiterhin gab es eine dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Reiztyp*, *visuelles Feld* und *Zielebene*, $F(1, 44) = 13.4$, $p < .001$. Für die gefüllten Reize waren die VF-Effekte größer (Global: RVF 912 *ms* vs. LVF 862 *ms*; Lokal: RVF 821 *ms* vs. LVF 890 *ms*) als für die umrandeten Reize (Global: RVF 900 *ms* vs. LVF 873 *ms*; Lokal: RVF 848 *ms* vs. LVF 861 *ms*). Siehe Abbildung 15. Der Faktor Reiztypwiederholung hatte keinen Einfluss auf die VF-

Effekte, die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Reiztypwiederholung*, *visuelles Feld* und *Zielebene* war nicht signifikant, $F(1, 44) = 0.021$, $p = .886$.

## 4.3. DISKUSSION

In unserem dritten Experiment wollten wir, wie bereits in Experiment 2, in erster Linie überprüfen, ob die Faktoren Reiztyp, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung einen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene bei der Verarbeitung von hierarchischen Reizen haben. In allen drei Experimenten konnten wir die für inkongruente hierarchische Reize erwarteten Hirnasymmetrien beobachten. Auch hier zeigen die Ergebnisse, dass die Zielebene Global leichter und schneller in der RH (LVF) als in der LH (RVF) verarbeitet wird, während die Verarbeitung der Zielebene Lokal leichter und schneller in der LH (RVF) als in der RH (LVF) erfolgt. Ähnlich wie bereits in Experiment 2 zeigte die Reiztypwiederholung keinen Einfluss. Jedoch konnten in beiden Experimenten positive Effekte der Ebenenwiederholung gezeigt werden. Die Reaktionen der Probanden waren schneller und es traten weniger Fehler auf, wenn sich die Zielebene wiederholt hatte, als unter der Bedingung des Ebenenwechsels.

Unsere Veränderungen im Versuchsaufbau im Experiment 3 haben jedoch auch zu wichtigen Effekten geführt, welche wir in den Ergebnissen von Experiment 2 nicht finden konnten. Während wir in Experiment 1 und 2 noch einen deutlichen Unterschied der Ebenendominanz zwischen den beiden Reiztypen feststellen konnten, hat der Reiztyp in Experiment 3 keinen Einfluss auf einen Ebenenvorteil gehabt. In diesem Experiment haben wir die Zielebene jeweils über vier Blöcke konstant gehalten. Es ist anzunehmen, dass die unterschiedliche Ebenendominanz der beiden Reiztypen (umrandet vs. gefüllt) aufgrund dieser Änderung im Versuchsaufbau keinen Effekt mehr hatte. Interessant ist, dass sich hier jedoch zeigt, dass der Reiztyp des Hauptreizes sogar einen sehr wesentlichen Einfluss auf die VF-Effekte hatte. Sowohl in den Reaktionszeiten als auch für die Konjunktionsfehler waren die VF-Effekte für die gefüllten Reize größer als für die umrandeten. Dieses Ergebnis weist daraufhin, dass das Binden von Inhalt und Ebene leichter wurde, wenn der Hauptreiz ein umrandeter Reiz war (verglichen zu einem gefüllten Hauptreiz). Die Reiztypwiederholung hatte zwar einen positiven Effekt auf die Fehlerraten des Prime-Reizes, jedoch keinerlei Einfluss

auf die Reaktionen auf den Hauptreiz. Ganz wesentlich für unsere Zielsetzung war – wie bereits oben erwähnt – unter anderem die Frage, ob der Faktor Ebenenwiederholung einen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene haben kann. In den Ergebnissen erzeugt die Wiederholung der Zielebene (im Vergleich zum Ebenenwechsel) eine deutliche Reduktion der jeweiligen VF-Effekte (siehe Abbildung 14), dieses Ergebnis weist daraufhin, dass durch Ebenenwiederholung die Effizienz des Bindens von Inhalt und Ebene erhöht wird.

# 5. DISKUSSION VON STUDIE 1

Das Ziel dieser Studie war es, jenen Mechanismus zu untersuchen, der maßgebend ist für das Binden von Inhalten eines hierarchischen Objektes an ihre jeweilige Ebene. Hübner und Volberg haben 2005 ihre Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie vorgestellt, in der es heißt, dass in der frühen Phase der Verarbeitung hierarchischer Objekte die Inhalte zunächst separat von den Ebeneninformationen repräsentiert werden, sodass für die korrekte Repräsentation eines hierarchischen Objektes das Binden von Inhalt und Ebene notwendig ist. Sie konnten ihre Theorie stützen, indem sie zeigten, dass es bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung hierarchischer Objekte zu Fehlern beim Binden von Inhalt und Ebene kommt. Wurde beispielsweise ein hierarchischer Buchstabe nur kurz gezeigt und seine Verarbeitung durch eine Maske unterbrochen, so entstanden Konjunktionsfehler, d.h. der Buchstabe auf der nicht-Zielebene wurde fälschlicherweise an die Zielebene geknüpft. Da Konjunktionsfehler in der Regel in ihrer Proportion zu der Gesamtfehlerrate meist deutlich über 1/3 liegen, kann einfaches Raten ausgeschlossen werden. Auch in dieser Studie hatten die Konjunktionsfehler in allen drei Experimenten einen mehr als 50%igen Anteil an der Gesamtfehlerrate.

Ein weiteres wichtiges Charakteristikum der Verarbeitung hierarchischer Objekte besteht in der unterschiedlichen Kapazität der Hemisphären, Inhalte der einzelnen Ebenen zu verarbeiten. So konnte gezeigt werden, dass die RH schneller und leichter Inhalte an die Ebene Global bindet, während die LH effizienter Inhalte an die Ebene Lokal bindet. Hübner und Volberg (2005) konnten zusätzlich zeigen, dass die Hemisphären sich speziell bezüglich des

Bindens von Inhalt und Ebene unterscheiden und keine Unterschiede bei der Identifikation von Inhalten zeigen. Flevaris et al. (2010) haben diese spezielle Asymmetrie der Hemisphären, bezüglich ihrer Kapazitäten Inhalte an eine bestimmte Ebene zu binden, genutzt, um den Mechanismus des Bindens zu untersuchen. Sie konnten zeigen, dass das Kategorisieren der Orientierung von jenem Bestandteil eines zusammengesetzten sinusoidal Musters mit der niedrigen Raumfrequenz das Binden für die LH für die Zielebene Global bei der Bearbeitung von hierarchischen Buchstaben im Folgedurchgang erleichterte, während das Kategorisieren der Orientierung vom Bestandteil mit der hohen Raumfrequenz für die Zielebene Lokal das Binden für die RH erleichterte. Das heißt, dass das Beachten von hohen bzw. niedrigen Raumfrequenzen die VF-Effekte für die Zielebene Lokal bzw. Global reduzierte. Daraus haben Flevaris et al. (2010) geschlussfolgert, dass die aufmerksamkeits-gerichtete Selektion von Raumfrequenzen eine maßgebende Rolle für das Binden von Inhalt und Ebene spielt.

Durch diese Ergebnisse wurden wir angeregt, ebenfalls zu untersuchen, welche Faktoren das Binden von Inhalt und Ebene bei der Verarbeitung von hierarchischen Objekten beeinflussen können und was eine solche Manipulation über den Mechanismus des Bindens aussagen kann. Wir haben in unseren drei Experimenten den Einfluss von drei Faktoren auf das Binden von Inhalt und Ebene untersucht: Reiztyp, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung.

In allen Experimenten haben wir den Reiztyp variiert, indem wir gefüllte und umrandete hierarchische Buchstaben verwendet haben (siehe Abbildung 10). Die umrandeten Reize haben eine geringere spektrale Leistung im Bereich der niedrigen Raumfrequenzen als die gefüllten Reize, jedoch weisen sie eine höhere spektrale Leistung im Bereich der hohen Raumfrequenzen auf. Wenn also die Annahme besteht, dass die Selektion einer Raumfrequenz den Mechanismus des Bindens ausmacht, dann ist es möglich, dass unterschiedliche Zusammensetzungen von Raumfrequenzen in einem Reiz auch unterschiedliche Effekte auf das Binden von Inhalt und Ebene zeigen. Die spektrale Leistung in hohen und niedrigen Raumfrequenzbereichen eines Reizes bestimmt in der Regel die relative Salienz der einzelnen Ebenen des Reizes. Die relative Salienz wiederum bestimmt wie viel Aufmerksamkeit einer bestimmten Ebene automatisch zugewiesen wird. Wenn also der Grad der Aufmerksamkeit, die einer bestimmte Ebene zu geordnet wird, ausschlaggebend sein kann für die Effizienz, mit der ein Inhalt an diese Ebene gebunden wird, dann sollten die unterschiedlichen Reiztypen auch unterschiedliche VF-Effekte in den Konjunktionsfehlern aufzeigen.

Ziehen wir die Double-Filtering-by-Frequency-Theorie (DFF-Theorie) von Ivry und Robertson (1998) heran, so ist es auch denkbar, dass die spezielle Zusammensetzung unterschiedlicher Raumfrequenzen eines Reizes jeweils bestimmt, wie einfach sie in die relativ hohe und relativ niedrige Raumfrequenz aufgeteilt und entsprechend den Ebenen zugewiesen werden können. Je leichter die Analyse der Raumfrequenzen vorgenommen werden kann, desto effizienter müsste dann das Binden der Inhalte an die Ebenen erfolgen können. So müssten also unter dieser Annahme die unterschiedlichen Reiztypen unterschiedliche VF-Effekte in den Konjunktionsfehlern erzeugen. Wenn der Schweregrad für die Analyse der Raumfrequenzverteilung eines Reizes einen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene hat, dann ist auch anzunehmen, dass eine Reiztypwiederholung für die Verarbeitung von Vorteil sein müsste. Also müsste auch hier eine Reiztypwiederholung einen weiteren Einfluss auf die VF-Effekte der Konjunktionsfehler haben.

Schließlich wollten wir noch den Einfluss von Ebenenwiederholung untersuchen. Die Ergebnisse unterschiedlicher Studien legen nahe, dass durch Ebenenwiederholung die Leistungen verbessert werden (Hübner, 2000; Robertson, 1996). Wenn Ebenenwiederholung nicht nur die Leistung verbessert, sondern auch einen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene hat, dann müsste es sich auf die entsprechenden VF-Effekte der Konjunktionsfehler so auswirken, dass es diese reduziert.

In unserem ersten Experiment stand der Einfluss des Reiztypes auf das Binden von Inhalt und Ebene im Vordergrund. Wir haben den Faktor Reiztyp zwischen den Versuchsteilnehmern variiert, sodass einer Gruppe gefüllte Reize und der anderen umrandete Reize präsentiert wurden. Die Faktoren Zielebene und visuelles Feld waren jeweils randomisiert und alle Reize wurden maskiert. Die Datenanalyse konnte einen generellen Vorteil der Ebene Global zeigen. Während es für die gefüllten Reize keinen wesentlichen Unterschied in den Konjunktionsfehlern zwischen den Ebenen Global und Lokal gab, fiel für die umrandeten Reize ein wesentlicher Vorteil für die Ebene Global auf.

Auch in unserem zweiten Experiment konnte der Reiztyp zwar die relative Salienz der Ebenen modulieren, jedoch hatte er keinen Einfluss auf das Binden von Inhalt und Ebene, da er keine Modulation der VF-Effekte bewirken konnte. In Experiment 2 wurde der Reiztyp ebenfalls randomisiert dargeboten und zusätzlich wurden in der Datenanalyse die Ergebnisse auf Sequenzeffekte untersucht. Hier wollten wir überprüfen, ob die Faktoren Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung zu einer Erleichterung des Bindens von Inhalt und Ebene

führen können. Es konnte zwar eine generelle Verbesserung der Reaktionen unter der Bedingung Ebenenwiederholung vermerkt werden, jedoch zeigten beide Faktoren keine Modulation der VF-Effekte, sodass anzunehmen war, dass keines der von uns untersuchten Faktoren in diesem Versuchsaufbau einen Einfluss auf die Effizienz des Bindens von Inhalt und Ebene hatten.

Statt mit diesem Ergebnis zu schlussfolgern, dass weder Reiztyp oder Reiztypwiederholung noch Ebenenwiederholung einen Einfluss auf das Binden haben können, haben wir in Frage gestellt, ob es nicht an unserem Versuchsaufbau hat liegen können. So haben wir unser drittes Experiment mehr an das Experiment von Flevaris et al. (2010) angeglichen. Flevaris et al. (2010) hatten einen zentral präsentierten, unmaskierten Prime verwendet und den Faktor Zielebene geblockt. In Experiment 3 haben wir also zunächst einen zentral präsentierten, unmaskierten Prime-Reiz, der wie der Hauptreiz auch ein hierarchischer Buchstabe war, verwendet und darauffolgend wurde dann der maskierte Hauptreiz jeweils lateral präsentiert. Zusätzlich haben wir sowohl die Zielebene als auch die Faktoren (Prime- und Haupt-)Reiztyp, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung geblockt.

Diese Änderungen im Versuchsaufbau haben dann zu wesentlichen Unterschieden in den Ergebnissen geführt. Hat die Zielebene sich zwischen dem Prime-Reiz und dem Hauptreiz wiederholt, so hat das nicht nur die gesamte Fehlerrate der Konjunktionsfehler, sondern zusätzlich auch die jeweiligen VF-Effekte reduziert. Da wir mehrere Änderungen zwischen den Experimenten 2 und 3 vorgenommen haben, ist es schwer sicher zu bestimmen, welche Manipulation letztlich maßgebend war für diesen Effekt. Es ist möglich, dass der Effekt im Besonderen auf die zentrale und unmaskierte Präsentation des Prime-Reizes zurückzuführen ist. Zusammenfassend lässt sich jedoch bereits sagen, dass die Ergebnisse zumindest feststellen können, dass es unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist, das Binden von Inhalt und Ebene bei einem hierarchischen Reiz durch Ebenenwiederholung zu verbessern. Nehmen wir Experiment 2 und 3 zusammen, so ist zu beachten, dass die alleinige Anwesenheit eines insgesamt positiven Effektes der Ebenenwiederholung auf die Gesamtleistung noch nicht zwangsläufig auch bedeuten muss, dass das Binden von Inhalt und Ebene beeinflusst wurde.

Interessanterweise zeigten sich in den Ergebnissen von Experiment 3, dass obwohl es hier erneut (wie auch schon in Experiment 2) keine Effekte der Reiztypwiederholung gab, der Reiztyp im unserem letzten Experiment die VF-Effekte modulieren konnte. Im Vergleich zu den Experimenten 1 und 2 konnte das Vorgehen in Experiment 3 sowohl den generellen Vor-

teil der Zielebene Global als auch die Unterschiede in der relativen Ebenendominanz verhindern. Es ist anzunehmen, dass hier besonders das Blocken der wesentlichen Faktoren für die Ergebnisse verantwortlich ist. Die umrandeten Reize bewirkten wesentlich kleinere VF-Effekte als die gefüllten Reize, sodass anzunehmen ist, dass in diesem Versuchsaufbau die umrandeten Reize das Binden von Inhalt und Ebene erleichtert haben.

Anhand der drei Experimente lässt sich zeigen, dass das Binden von Inhalt und Ebene unter bestimmten Bedingungen von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst werden kann. Nun stellt sich uns nach wie vor die Frage, woraus der Mechanismus des Bindens besteht. Hierzu könnten wir unsere Ergebnisse und die Ergebnisse von Flevaris et al. (2010) in zweierleiweise interpretieren. Eine Interpretation könnte annehmen, dass die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion spezifischer Raumfrequenzen maßgebend ist für den Mechanismus des Bindens, wie es bereist Flevaris et al. (2010) vorschlagen. Unter dieser Annahme, wären die spezifischen Bedingungen in Experiment 3 für den Faktor Reiztyp maßgebend gewesen, damit die Analyse der Raumfrequenzen für die umrandeten Reize leichter erfolgte als für die gefüllten Reize (siehe dazu auch die DFF-Theorie, Ivry & Robertson, 1998) und dass diese Erleichterung das Binden von den Inhalten an ihre entsprechenden Ebenen verbesserte. Was in Experiment 3 genau ausschlaggebend sein könnte, dass die Analyse der umrandeten Reize im Vergleich zu den gefüllten Reizen erleichterte, können wir leider nicht bestimmen. Wir können nur Vermutungen anstellen. Es könnte sein, dass die Bandbreite der Raumfrequenzen eine Rolle spielt oder auch, dass die Maske unterschiedlich wirkt, wenn sie aus umrandeten oder gefüllten lokalen Reizen zusammengesetzt wird. Es ist also denkbar, dass die umrandete Maske beispielsweise eine schwächere Unterbrechungskraft für den Bindungsprozess hat als die gefüllte Maske.

Bleiben wir weiterhin bei der Interpretationsvariante, dass die Raumfrequenzen entscheidend sind, so könnte auch der Effekt der Ebenenwiederholung auf die VF-Effekte über die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion der Raumfrequenzen erklärt werden. Laut der DFF-Theorie (Ivry & Robertson, 1998) sind die beiden Faktoren Raumfrequenz und Ebenen eines hierarchischen Reizes eng verbunden und oftmals miteinander konfundiert. Eine Ebenenwiederholung würde somit auch immer eine Wiederholung der Raumfrequenzen bedeuten, so wären beide Faktoren nicht voneinander zu trennen. Verfolgt man diesen Gedanken, so ließen sich unsere Ergebnisse entsprechend der Ergebnisse von Felvaris et al. (2010)

interpretieren, hier würde dann das Priming einer Ebene gleichzeitig auch das Priming einer speziellen Raumfrequenz (bzw. einer relativen Raumfrequenzverteilung) bedeuten.

Eine Alternative zu der alleinigen Hauptrolle der Raumfrequenzen für den Mechanismus des Bindens bietet die Vorstellung, dass für die jeweilige Ebene eine abstrakte Kategorie herrscht, welche beispielsweise durch einen Prime voraktiviert werden kann. Eine solche Voraktivierung dieser abstrakten Ebenenkategorie könnte dann das Binden von Inhalten an diese Ebene erleichtern. Auch ist es denkbar, dass selbst zusammengesetzte sinusoidal Muster, wie sie von Flevaris et al. (2010) verwendet wurden, ebenfalls in der Lage sind, solche mental repräsentierten, abstrakten Ebenenkategorien anzusprechen und zu aktivieren. Somit ließe sich die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion einer spezifischen Raumfrequenz auch als Selektion einer bestimmten Ebene verstehen. Da Flevaris, Bentin und Robertson (2011) jüngst in einer Studie zeigen konnten, dass das Priming auch in die andere Richtung wirkt – d.h. von den Ebenen eines hierarchischen Buchstabens zu den Raumfrequenz-Bestandteilen eines zusammengesetzten sinusoidalen Musters – kann die Idee einer möglichen abstrakten Kategorie der Ebenen Global und Lokal durchaus die Ergebnisse erklären. Dabei sollte man jedoch bedenken, dass die Kategorien „Global“ und „Lokal“ wesentlich weiter verstanden werden müssen, als lediglich in ihrer Relation als Einzelteile zum Ganzen. Betrachtet man sie als weitgefasste abstrakte Kategorien, so ist es auch möglich sich vorzustellen, dass zwei sich zu einem Gitter überlagernde Raumfrequenzen mit diesen Kategorien in Zusammenhang stehen können. Um die Weite der abstrakten Ebenenkategorien zu untermalen, lässt sich die Studie von Hübner und Studer (2009) heranziehen. Sie haben Tiere mit unterschiedlichen Mustern als Reize verwendet. Die Aufgabe für die Zielebene Global war es, das Tier zu benennen, während die Zielebene Lokal nach dem Muster gefragt hat. Obwohl also die Tiere sich nicht aus den Mustern zusammengesetzt haben, sondern die Muster lediglich eine Eigenschaft der Tiere darstellten, weisen die Ergebnisse (bspw. VF-Effekte) auf eine typische Verarbeitung von hierarchischen Reizen (Global/Lokal).

Nun stellt sich die Frage, ob wir wirklich zwischen den beiden Interpretationsvarianten (Raumfrequenzanalyse vs. abstrakte Ebenenkategorien) entscheiden müssen. Vielmehr scheint es, dass keines der beiden Konzepte bei den Überlegungen zum Mechanismus des Bindens von Inhalten an Ebenen eines hierarchischen Objektes vernachlässigt werden sollte. Keines der beiden Konzepte könnte die wesentlichen Merkmale des anderen ersetzen oder ausfüllen. Schauen wir uns dazu die Unterschiede zwischen Raumfrequenzen und den Kate-

gorien der Ebenen Global und Lokal an. Während die Kategorien „Global“ und „Lokal“ abstrakt und klar umrissen sind und als Kategorien ein hierarchisches Objekt repräsentieren, sind Raumfrequenzen bereits auf der niedrigeren Warhnehmungsebene anzusiedeln und sind eine eher stetige und fließende physikalische Eigenschaft eines visuelles Reizes. Somit ist es beispielsweise nicht vorstellbar, wie die Identität eines Buchstabens getrennt repräsentiert sein sollte von ihrer spezifischen Raumfrequenz. Ziehen wir hier also die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie von Hübner und Volberg (2005) heran, so ist es notwendig die abstrakten Kategorien den Ebenen Global und Lokal hinzuzuziehen, um die getrennte Repräsentation von Inhalten und den Ebenen Global und Lokal in der frühen Phase der Verarbeitung eines hierarchischen Reizes zu verstehen.

Es ist hier also sinnvoll, sowohl die Ebenen-Bindungs-Theorie als auch die DFF-Theorie gleichzeitig zur Erklärung der Verarbeitung hierarchischer Buchstaben heranzuziehen. Da die Raumfrequenzen bereits auf der niedrigeren Wahrnehmungsstufe wirken, ist es denkbar, dass sie maßgebend sind für das Binden der Buchstabenidentitäten an die abstrakten Ebenen Global und Lokal. Es ist zu vermuten, dass unser visuelles System, um zu entscheiden, ob ein identifizierter Inhalt zu der Ebene Global oder Lokal eines hierarchischen Reizes gehört, überprüft, in welchem Frequenzbereich die zur Identifizierung herangezogene Raumfrequenz fällt. Dabei werden hohe Raumfrequenzen mit der Ebene Lokal und niedrige Raumfrequenzen mit der Ebene Global assoziiert. Die Güte, mit der eine solche Differenzierung zwischen den wahrgenommenen Raumfrequenzen stattfinden kann, hängt dann von dem jeweiligen Reiztyp ab.

Zusammenfassend und unter Einbezug unserer Ergebnisse kommen wir zu dem Schluss, dass anzunehmen ist, dass die Ebenen eines hierarchischen Buchstabens als abstrakte Kategorien repräsentiert werden und dass die Identitäten der Buchstaben an diese Ebenenkategorien durch ihre unterschiedlichen Raumfrequenzen gebunden werden. Der Prozess des Bindens kann zum einen durch eine Voraktivierung einer Ebenenkategorie durch Ebenenwiederholung und auch durch eine erleichterte Raumfrequenzanalyse verbessert werden.

# STUDIE 2: INTEGRATION VS. IDENTIFIKATION

## HEMISPHÄREN-UNTERSCHIEDE BEZÜGLICH IHRER KAPAZITÄTEN INHALTE AN EBENEN ZU BINDEN

## 1. EINLEITUNG

In Studie 1 haben wir untersucht, welchen Einfluss die Faktoren Reiztyp (Variation der Raumfrequenzen), Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung auf den Machanismus des Bindens von Inhalt und Ebene bei der Verarbeitung eines hierarchischen Reizes haben können. Wir konnten zeigen, dass sowohl die Voraktivierung einer Ebene (bspw. durch Ebenenwiederholung) als auch eine erleichterte Raumfrequenzanalyse des Reizes (abhängig vom Reiztyp) durchaus das Binden erleichtern können. Diese Schlussfolgerung konnte anhand der beobachteten Reduktion der Hemisphären-Unterschiede durch die jeweiligen Faktoren erfolgen. Unsere Daten ergänzen dabei die Ergebnisse von Flevaris, Bentin und Robertson (2010). Sie hatten sich bereits die Annahme zu Nutze gemacht, dass die Hirnhemisphären sich lediglich bezüglich ihrer Kapazität, Inhalte an die Ebenen Global und Lokal zu binden, unterscheiden (siehe auch Hübner und Volberg, 2005). Flevaris et al. (2010) konnten zeigen, dass ein Priming mit niedrigen und hohen Raumfrequenzen jeweils das Binden von Buchstaben an die Ebenen Global und Lokal bei der Verarbeitung von hierarchischen Buchstaben erleichtert. Die Voraussetzung für eine solche Interpretation der Daten, wie wir sie in Studie 1 und auch Flevaris et al. (2010) vorgenommen haben, ist die Annahme, dass die Hirnhemisphären sich nicht bezüglich ihrer Kapazitäten einen Inhalt zu identifizieren, sondern lediglich bezüglich ihrer Kapazitäten einen Inhalt an die entsprechende Ebene zu binden, unterscheiden.

In Studie 2 der vorliegenden Arbeit wollen wir die Hypothese der Exklusivität der Hemisphären-Asymmetrie für das Binden von Inhalt und Ebene in der Verarbeitung von hierarchischen Reizen überprüfen. Da der Prozess der Verarbeitung eines hierarchischen Reizes

sowohl die Identifikation als auch das Binden von Inhalt und Ebene beinhaltet, sind beide Faktoren bei der Interpretation der beobachteten Konjunktionsfehler (*conjunction errors*) zunächst konfundiert. Nur wenn gezeigt werden kann, dass die Asymmetrie der Hemisphären lediglich durch den Bindungsprozess erfolgt, kann eine Modulation der Hemisphären-Asymmetrie auch als Einfluss auf den Mechanismus des Bindens interpretiert werden.

Dass die linke Hemisphäre (LH) leichter die lokalen Bestandteile eines Objektes und die rechte Hemisphäre (RH) entsprechend leichter den globalen Aspekt eines Objektes verarbeitet, konnte bereits in unterschiedlichen Studien mit unterschiedlichen Paradigmen beobachtet werden (siehe bspw. Malinowski, Hübner, Keil, & Gruber, 2002; Volberg & Hübner, 2004; Delis, Robertson, & Efron, 1986; Van Kleeck, 1989). In den meisten Studien wurden hierarchische Buchstaben, wie wir sie auch in Studie 1 genutzt haben (siehe Abbildung 1), verwendet. Wenngleich ursprünglich die LH und die RH wie separate und spezialisierte Kanäle oder Spuren für die Verarbeitung und Weiterleitung von Informationen auf den Ebenen Lokal und Global gesehen wurden, haben bereits Hübner und Malinowski (2002) eine Verarbeitung in getrennten Kanälen in Frage gestellt. In ihrer Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (*content-level-binding theory*) gehen Hübner und Volberg (2005) von einem zweistufigen Verlauf in der Verarbeitung von hierarchischen Reizen aus. In der frühen Phase werden Inhalte und die Ebenen des hierarchischen Reizes zunächst voneinander unabhängig identifiziert und erst in einer späteren Phase werden die identifizierten Inhalte mit den jeweiligen Ebenen verbunden. Bezüglich der Asymmetrie der Hemisphären nehmen Hübner und Volberg (2005) an, dass die Hemisphären sich nicht bezüglich ihrer Identifikationskapazität unterscheiden, sondern lediglich in ihrer Effizienz Inhalte an die entsprechenden Ebenen zu binden. Die RH bindet leichter Inhalte an die Ebene Global und die LH kann effizienter Inhalte an die Ebene Lokal binden. Wie bereits in der allgemeinen Einführung aufgeführt, möchten wir auch hier diese Hypothese als *Bindungsasymmetrie-Hypothese* bezeichnen.

Um ihre Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie zu belegen, haben Hübner und Volberg (2005) in mehreren Experimenten Versuchspersonen die Aufgabe gegeben den Buchstaben auf der Zielebene (*target-level*) bei einem lateral dargebotenen und maskierten hierarchischen Reiz zu benennen. Die Maske hatte hierbei die Aufgabe den Bindungsprozess so zu stören, dass fehlerhafte Konjunktionen zwischen den Inhalten und Ebenen entstehen. So kam es auch, dass die Versuchspersonen häufig fälschlicherweise den Buchstaben auf der nicht-Zielebene (*nontarget-level*) genannt haben. Für die Ebene Lokal waren mehr Konjunktionsfehler für

Reize, die im linken visuellen Feld (LVF) präsentiert wurden, als für Reize, die im rechten visuellen Feld (RVF) gezeigt wurde, zu beobachten, während es sich gegensätzlich für die Ebene Global verhielt. Es stellt sich nun die wichtige Frage, welcher Prozess für diese Effekte des visuellen Feldes (VF-Effekt) verantwortlich ist.

Die Ergebnisse von Hübner und Volberg (2005) zeigen deutlich, dass die korrekte Repräsentation eines hierarchischen Reizes sowohl die Identifikation der Inhalte als auch das Binden von Inhalten an die jeweilige Ebene voraussetzt. Wenn wir uns nun aber für die Details des Bindungsprozesses interessieren, ist es schwierig anhand von Fehlerraten zu unterscheiden, ob ein Faktor die Identifikationseffizienz oder die Güte der Inhalt-Ebenen-Bindung beeinflusst hat. Die Rate der Konjunktionsfehler ist von beiden Prozessen abhängig, somit kann die Variation eines Faktors sowohl die Identifikation als auch die Effizienz des Bindens oder beides beeinflussen. Nur wenn die Bindungsasymmetrie-Hypothese belegt werden kann, können diese beiden Prozesse mit Hilfe der VF-Effekte auseinandergehalten werden. Leider gibt es bisher noch nicht ausreichend Studien, die die Bindungsasymmetrie-Hypothese unterstützen können. Es gibt einige Reaktionszeitstudien (z.B. Hübner, Volberg & Studer, 2007; Schlösser, Hübner & Studer, 2009) und elektrophysiologische Studien (z.B. Malinowski, Hübner, Keil, & Gruber, 2002; Volberg & Hübner, 2004), die zeigen konnten, dass bei inkongruenten Reizen eher Hemisphären-Unterschiede beobachtet werden können als bei kongruenten Reizen. Da nur bei inkongruenten Reizen das korrekte Binden von Inhalt und Ebene für eine richtige Antwort notwendig ist, entspricht dieses Ergebnis auch der Bindungsasymmetrie-Hypothese. Da kongruente oder neutrale Reize keinen Antwortkonflikt bewirken und damit das Binden gar nicht notwendig ist, reicht die alleinige Identifikation des Buchstabens, um die Aufgabe richtig zu bewältigen. Wenn also unter einer Bedingung, bei der lediglich die Identifikation der Identität notwendig ist, keine Hemisphären-Unterschiede gefunden werden und diese erst dann auftauchen, wenn das Binden von Inhalt und Ebene notwendig wird (wie bei inkongruenten Reizen), dann ist dies ein Indiz dafür, dass Hemisphären-Unterschiede ein spezifisches Charakteristikum des Bindungsprozesses sind.

Hübner und Volberg (2005) haben die Bindungsasymmetrie-Hypothese etwas direkter untersucht, indem sie in einem ihrer Experimente in einer Bedingung ein neutrales Symbol auf der nicht-Zielebene verwendeten. Somit hatten sie einen neutralen Reiz gebildet, der nur einen Buchstaben auf der Zielebene aufwies. In ihren Ergebnissen finden sich keine VF-Effekte in dieser Bedingung. Auch hier war lediglich die Identifikation des Buchstabens aus-

reichend für die Aufgabenbewältigung und es zeigte sich, dass die Hemisphären sich bezüglich ihrer Effizienz, einen Buchstaben zu identifizieren, nicht unterscheiden.

Zusammengefasst wurde die Bindungsasymmetrie-Hypothese lediglich durch indirekte Hinweise und den Ergebnissen von einer einzelnen Bedingung in einem Experiment von Hübner und Volberg (2005) unterstützt. In Anbetracht der Bedeutsamkeit dieser Hypothese für den aktuellen Forschungsstand zu der Verarbeitung von hierarchischen Reizen, haben wir es für notwendig erachtet, für mehr empirische Evidenz zu sorgen, um die Bindungsasymmetrie-Hypothese zu untermauern. Dazu haben wir Bedingungen geschaffen, zu denen das Binden nicht nur zwischen Inhalten und Ebenen, sondern zusätzlich auch zwischen Inhalten und räumlichen Positionen stattfinden musste. Wenn Hemisphären-Unterschiede lediglich das Binden von Inhalt und Ebene betreffen, dann sollten VF-Effekte exklusiv nur bei den Konjunktionsfehlern über die Ebenen hinweg zu beobachten sein. Die Bindungsasymmetrie-Hypothese sagt weiterhin voraus, dass die Hemisphären sich nicht bezüglich ihrer Identifikationskapazität und ihrer Effizienz, Inhalte an räumliche Positionen zu binden, unterscheiden, somit sollten hier auch keine VF-Effekte in den jeweiligen Konjunktionsfehlern zu finden sein.

Um diese Vorhersagen zu überprüfen, haben wir bilaterale Reize verwendet. Bei einem bilateralen Reiz werden ein hierarchischer Buchstabe im LVF und gleichzeitig ein hierarchischer Buchstabe im RVF präsentiert. Volberg und Hübner (2006) haben in ihrer Reaktionszeitstudie bereits einen bilateralen Reiz verwendet, dabei haben sie an zwei der möglichen vier Ebenen/VF-Positionen (Global-RVF, Lokal-RVF, Global-LVF, Lokal-LVF) Buchstaben eingesetzt und die beiden anderen Positionen mit neutralen Symbolen gefüllt. Da lediglich jeweils zwei Buchstaben präsentiert wurden, konnten die Buchstaben entweder über die visuellen Felder verteilt oder innerhalb eines hierarchischen Reizes aufgesetzt werden. Sie nahmen an, dass keine VF-Effekte für räumlich getrennte Buchstaben auftreten sollten, denn hier könnte ein Antwortkonflikt durch das Binden der Buchstaben an ihre räumlichen Positionen gelöst werden. Diese Annahme konnte durch ihre Ergebnisse belegt werden. Die charakteristischen VF-Effekte fanden sich nur dann, wenn die beiden Buchstaben einen inkongruenten hierarchischen Reiz gebildet hatten.

In unserer Studie haben wir die bilateral präsentierten Reize in das Maskierungsparadigma, wie wir es auch bereits in Studie 1 verwendet hatten, eingebunden. Wir haben jeweils

vier unterschiedliche Buchstaben gleichzeitig präsentiert, somit befand sich auf jeder Ebene/VF-Position ein Buchstabe. Beide Reize wurden mit einer Doppelmaske nach einem wechselnden Stimulus-Maskierungs-Intervall (SMI) maskiert. Auf die Zielebene wurde jeweils zu Beginn eines Durchganges hingewiesen und das Zielfeld (*target visual field*) wurde erst nach der Maske bezeichnet. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es, den Buchstaben auf der Zielebene im Zielfeld zu benennen. Weiterhin wurden die Versuchspersonen instruiert, zu raten, falls sie keines der vier präsentierten Buchstaben gesehen haben. Sollten sie jedoch einen Buchstaben auf der nicht-Zielebene oder im nicht-Zielfeld gesehen haben, dann sollten sie aus den noch übrigbleibenden Antwortalternativen raten.

In einem solchen Aufbau sind natürlich alle Fehler auch gleichzeitig Konjunktionsfehler, da ja alle Antwortalternativen in jedem Durchgang präsentiert werden. Um die Fehlerarten dennoch differenzieren zu können, haben wir sie in drei verschiedene Typen kategorisiert. Hat eine Versuchsperson fälschlicherweise den Buchstaben auf der nicht-Zielebene im Zielfeld genannt, so haben wir diesen Fehler als *Ebenenfehler* kategorisiert. Als *Positionsfehler* haben wir jene Antworten eingeordnet, bei denen die Versuchspersonen den Buchstaben auf der Zielebene im nicht-Zielfeld genannt haben. Zuletzt gibt es noch die Kategorie *Ebenen-Positionsfehler*, in die all jene Antworten eingereiht wurden, bei denen die Versuchspersonen den Buchstaben auf der nicht-Zielebene im nicht-Zielfeld genannt haben. Bei der Auswertung von Konjunktionsfehlern ist es immer wichtig zu beachten, dass Konjunktionsfehler auch durch das Raten von Antwortalternativen entstehen können. Auch hier, wie bereits in Studie 1 diskutiert, müssten also unter der Voraussetzung, dass Fehler nur dann gemacht wurden, wenn kein Buchstabe gesehen und eine Antwortalternative geraten wurde, alle Fehlertypen die selbe Proportion von 1/3 aufweisen. Folglich sind alle Proportionen die 1/3 signifikant übersteigen, so einzustufen, dass die Buchstaben zwar gesehen, jedoch fälschlich gebunden wurden. Weiterhin ist festzuhalten, dass ein einfaches Rateverhalten auch VF-Effekte ausschließen würde. Somit ist ein Befund mit VF-Effekten auch immer ein Hinweis, dass Konjunktionsfehler aufgetreten sind.

Die Bindungsasymmetrie-Hypothese sagt für unseren Versuch voraus, dass VF-Effekte lediglich für Konjunktionsfehler zwischen den Ebenen eines hierarchischen Reizes auftreten sollten. Für die Konjunktionsfehler, die das Binden von Buchstabe und räumlicher Position voraussetzen, sollten keine VF-Effekte gefunden werden.

# 2. EXPERIMENT 4 – BILATERALE PRÄSENTATION

## 2.1. METHODE

*Versuchsteilnehmer*

28 Studenten (Durchschnittsalter 22 Jahre; 4 männlich) der Universität Konstanz, Deutschland, haben an diesem Experiment teilgenommen. Alle Versuchsteilnehmer hatten normale oder zu-normal-korrigierte Sehkraft, waren laut Selbstaussage rechtshändig und haben jeweils 8 € für ihre Teilnahme erhalten.

*Versuchsaufbau und Reizmaterial*

Die Reize wurden auf einem 18“ Farbmonitor mit einer Auflösung von 1280 × 1024 Pixel und einer Bildwiederholfrequenz von 60 *Hz* präsentiert. Versuchsteilnehmer reagierten, indem sie auf eines der vier Tasten einer Computertastatur gedrückt haben. Sowohl die Reizpräsentation als auch die Antwortregistrierung wurde von demselben Personal Computer (PC) kontrolliert.

Wie in den Experimenten in Studie 1 wurde jeder hierarchische Buchstabe aus zwei unterschiedlichen aus vier Buchstaben „*A, S, H* oder *E*“ konstruiert. Auch hier hatten die globalen Buchstaben einen visuellen Winkel von 4.48° in der Breite und 5.72° in der Höhe. Der visuelle Winkel der lokalen Buchstaben betrug ebenfalls jeweils 0.72° × 1.08°. Alle Reize wurden jeweils in Weiß auf schwarzem Hintergrund entweder im linken visuellen Feld (LVF) oder im rechten visuellen Feld (RVF) mit einer Exzentrizität von 2.82° (von der Mittellinie des Bildschirms bis zum Zentrum des Reizes) präsentiert.

*Vorgehen*

Das Vorgehen in diesem Experiment ist dem Experiment 1 aus der Studie 1 sehr ähnlich. Auch hier wurden die Versuchsteilnehmer in einer Betrachtungsdistanz von etwa 60 *cm*

vor den Bildschirm gesetzt. Ein Durchgang begann mit der Präsentation eines ersten Hinweisreizes (der Buchstabe „*l*“ oder „*g*“ als Hinweis auf die jeweils zu beachtende Zielebene Lokal oder Global) im Zentrum des Bildschirms für 300 *ms*, daraufhin erschien ein Fixationskreuz für ebenfalls 300 *ms*. In diesem Experiment besteht der Reiz aus zwei hierarchischen Reizen, die jeweils im LVF und RVF für 32 *ms* präsentiert und innerhalb des Stimulus-Maskierungs-Intervalls (SMI) von entweder 32 *ms*, 64 *ms* oder 96 *ms* maskiert wurden. Simultan mit der Maske erschien auch der Hinweisreiz, welcher das Zielfeld spezifizierte (das Wort „links“ für das LVF und das Wort „rechts“ für das RVF). Die Wörter „links“ und „rechts“ standen jeweils direkt unter der Maske. Die Maske erschien in beiden visuellen Feldern und bestand bis zur Antwortregistrierung. Alle Durchgänge waren hinsichtlich der Faktoren *VF*, *Zielebene* und *SMI*s balanciert.

Die Aufgabe der Versuchsteilnehmer war es, den Buchstaben auf der pre-spezifizierten Ebene und dem post-spezifizierten VF anzugeben. Versuchsteilnehmer haben geantwortet, indem sie eines der vier Antworttasten der Tastatur (jede Taste wurde einem Buchstaben zugewiesen) gedrückt haben. Die Zuordnung von Buchstabe und Tastaturtaste wurde zwischen den Versuchspersonen variiert, um mögliche Vorteile auszuschließen. Die Probanden wurden angeleitet, ohne Zeitdruck zu antworten und zu beachten, dass alle vier Buchstaben in jedem Doppelreiz auftreten. Sie wurden gebeten, aus den Antwortalternativen zu raten, falls sie den Buchstaben auf der Zielebene im Zielfeld nicht gesehen haben. Weiterhin wurden sie angewiesen, einen auf der nicht-Zielebene oder dem nicht-Zielfeld erkannten Buchstaben nicht zu nennen, sondern aus den noch übrigen Buchstaben zu raten. Nach jedem Block wurde ein Bildschirm zur Rückmeldung präsentiert, auf dem die Versuchsteilnehmer über ihre Fehlerrate im vergangenen Block informiert wurden. Hatten sie eine Fehlerrate von über 50%, wurden sie angewiesen ihren Einsatz und ihre Konzentration zu erhöhen.

Nach 4 Übungsblöcken, bei denen die SMIs jeweils von 192 *ms* auf 96 *ms* und 64 *ms* abnahmen, mit jeweils 24 Durchgängen, durchlief jeder Versuchsteilnehmer 8 Testblöcke mit jeweils 72 Durchgängen in einer einzelnen einstündigen Session. Dieser Aufbau führte zu 48 Durchgängen pro Bedingung.

## 2.2. ERGEBNISSE

*Gesamtanalyse*

Die Gesamtfehlerrate betrug 34.9 %. Die Fehlerraten wurde in eine dreifaktorielle ANOVA mit den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *SMI* eingefügt (Ergebnisse sind in Abbildung 16 dargestellt).

Die Haupteffekte für die Faktoren *Zielebene*, $F(1, 27) = 4.87$, $p < .05$, *visuelles Feld*, $F(1, 27) = 41.7$, $p < .001$, und *SMI*, $F(2, 54) = 102$, $p < .001$, waren jeweils signifikant. Es traten mehr Fehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global auf (38.3 % vs. 31.5 %). Weiterhin gab es wesentlich mehr Fehler für Zielreize im RVF als für Zielreize im LVF (45.8 % vs. 24.0 %). Mit wachsendem SMI haben die Fehlerraten jeweils abgenommen (41.7 %, 33.8 %, 29.2 %). Weiterhin war die beidseitige Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene* und *visuelles Feld* signifikant, $F(1, 27) = 17.6$, $p < .001$. Für Zielreize im LVF traten mehr Fehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global auf (31.7 % vs. 16.4 %), während es sich für die Zielreize im RVF in einem nur geringen Ausmaß in die gegensätzliche Richtung verhielt (45.0 % vs. 46.6 %).

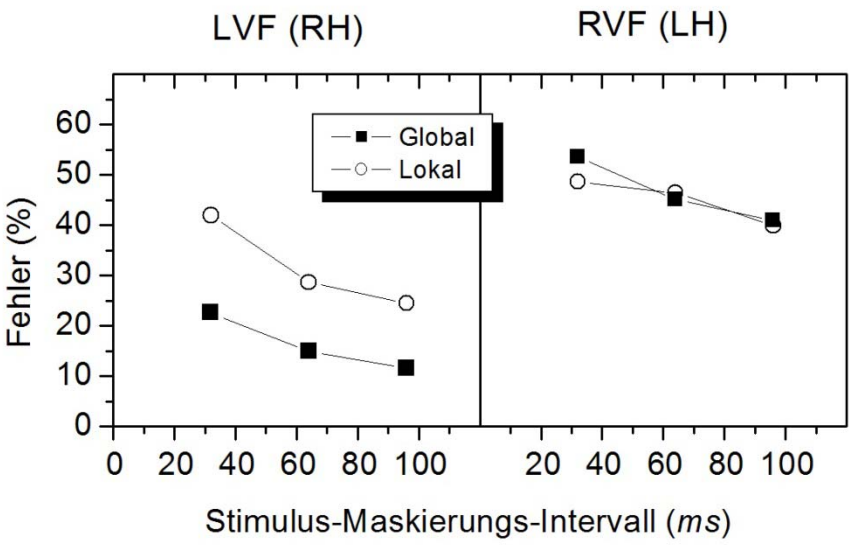


**Abbildung 16. Fehlerraten für die Zielebene Global und Lokal und die visuellen Felder (LVF = linkes visuelles Feld; RVF = rechtes visuelles Feld) in Experiment 4.**

Auch eine beidseitige Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *SMI* war signifikant, $F(2, 57) = 8.70$, $p < .001$. Diese Interaktion zeigt an, dass die Fehlerrate für die Zielreize im LVF stärker abnimmt von dem kurzen SMI zum mittleren SMI als von dem mitt-

leren SMI zum langen SMI (33.0 % vs. 22.6 % vs. 19.2 %), während die Fehlerraten für die Zielreize im RVF eher gleichmäßig mit wachsendem SMI abnehmen (52.2 % vs. 47.5 % vs. 41.8 %). Zuletzt gab es eine dreifache Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *SMI*, $F(2, 57) = 7.72$, $p < .01$. Diese zeigt an, dass die beschriebene Interaktion zwischen den Faktoren visuelles Feld und SMI deutlicher für die Zielebene Lokal (LVF: 42.0 %, 28 %, 24.4%; RVF: 48.7 %, 46.4 %, 39.9 %) ausfiel als für die Zielebene Global (LVF: 22.6 %, 15.0 %, 11.6 %; RVF: 53.7 %, 45.2 %, 41.0 %).

Um zu überprüfen, ob es Unterschiede zwischen den von uns kategorisierten drei Fehlertypen gibt, haben wir dieselbe Analyse mit dem zusätzlichen Faktor *Fehlertyp* (Ebenenfehler, Positionsfehler vs. Ebenen-Positionsfehler) durchgeführt. Der Haupteffekt *Fehlertyp* war signifikant, $F(2, 54) = 30.0$, $p < .001$. Die meisten Fehler waren Ebenenfehler (16.5 %), in der Mitte befindet sich die Rate der Ebenen-Positionsfehler (10.7 %) und die wenigsten Fehler waren Positionsfehler (7.35 %). Alle Paarvergleiche zeigten signifikante Unterschiede. Weiterhin wies die ANOVA auf eine dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Fehlertyp*, *Zielebene* und *visuelles Feld* hin, $F(2, 54) = 13.6$, $p < .001$. Um diese Interaktion detaillierter zu betrachten, haben wir die Fehlerraten der unterschiedlichen Fehlertypen in separaten dreifaktoriellen ANOVAs mit den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *SMI* eingefügt. Die Fehlerraten der unterschiedlichen Fehlertypen und Bedingungen sind in Abbildung 17 dargestellt.

*Ebenenfehler*

Als Ebenenfehler wurden jene Fehler kategorisiert, bei denen der genannte Buchstabe zwar im Zielfeld war, sich jedoch auf der nicht-Zielebene befand. Die Rate der Ebenenfehler betrug 16.5 %, welche signifikant größer ist, $F(1, 27) = 42.1$, $p < .001$, als die Zufallsrate von 11.6 %.

Der Haupteffekt *visuelles Feld* war signifikant, $F(1, 27) = 54.1$, $p < .001$. Es traten weniger Ebenenfehler für Zielreize im LVF als für Zielreize im RVF auf (11.2 % vs. 21.7 %). Auch gab es eine beidseitige Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *Zielebene*, $F(1, 27) = 18.0$, $p < .001$. Für die Zielreize im LVF traten mehr Ebenenfehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global auf (13.9 % vs. 8.49 %), während es sich gegensätzlich für Zielreize im RVF verhielt (18.8 % vs. 24.7%). In einem Vergleich waren die Unterschiede

sowohl für die Zielreize im LVF, $F(1, 27) = 12.6$, $p < .01$, als auch für die Zielreize im RVF, $F(1, 27) = 6.98$, $p < .05$, signifikant. Weiterhin war der Hauptfaktor *SMI* signifikant, $F(2, 54) = 35.4$, $p < .001$. Die Fehlerrate nahm ab mit steigendem SMI (19.1 %, 16. 4 %, 14.0 %).

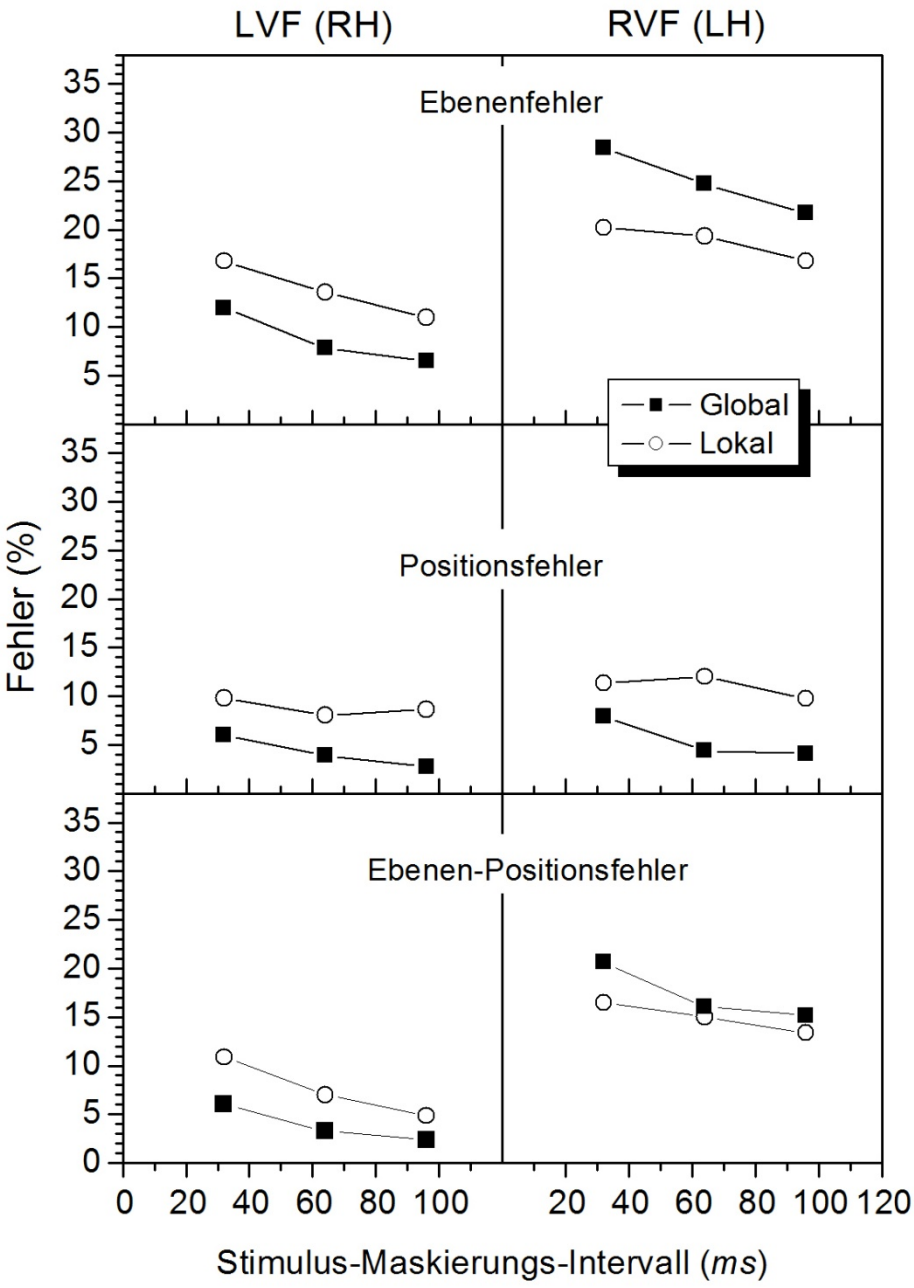


**Abbildung 17. Ergebnisse Experiment 4: Überblick über die Fehlerraten auf den Zielebenen Global und Lokal und den visuellen Feldern aufgeteilt auf die drei Fehlerkategorien (Ebenenfehler, Positionsfehler und Ebenen-Positionsfehler).**

*Positionsfehler*

Als Positionsfehler wurden jene Fehler eingeordnet, bei denen der genannte Buchstabe sich zwar auf der Zielebene jedoch im nicht-Zielfeld befand. Die Rate der Positionsfehler betrug 7.35 %, was signifikant kleiner ist, $F(1, 27) = 14.5$, $p < .001$, als die Rate von 11.6 %, die ein Rateverhalten vorhersagen würde.

Der Haupteffekt *Zielebene* war signifikant, $F(1, 27) = 8.15$, $p < .01$. Es traten mehr Positionsfehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global auf (10.1 % vs. 4.56 %). Der Haupteffekt *visuelles Feld* war ebenfalls signifikant, $F(1, 24) = 9.01$, $p < .01$. Es traten mehr Positionsfehler auf, wenn der Zielreiz sich im RVF im Vergleich zum LVF befand (8.16 % vs. 6.54 %). Weiterhin war auch der Haupteffekt *SMI* signifikant, $F(2, 54) = 7.65$, $p < .01$. Bei zunehmendem SMI nahmen die Positionsfehler ab.

*Ebenen-Positionsfehler*

Als Ebenen-Positionsfehler wurden jene Fehler eingeordnet, bei denen der genannte Buchstabe sich sowohl auf der nicht-Zielebene als auch im nicht-Zielfeld befand. Die Rate der Ebenen-Positionsfehler betrug 10.7%, was sich nicht signifikant von der Rate 11.6 % unterscheidet, die man bei einer Ratestrategie erwarten würde, $F(1, 27) = 1.51$, $p = .229$.

Der Haupteffekte *visuelles Feld*, $F(1, 27) = 42.3$, $p < .001$, und *SMI*, $F(2, 54) = 27.4$, $p < .001$, waren jeweils signifikant. Es traten mehr Ebenen-Positionsfehler für Zielreize im RVF als für Zielreize im LVF auf (15.9 % vs. 5.52 %) und die Fehlerrate nahm bei zunehmendem SMI ab. Weiterhin gab es eine beidseitige Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *Zielebene*, $F(1, 27) = 7.55$, $p < .05$. Für Zielreize im LVF traten mehr Ebenen-Positionsfehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global auf (7.25 % vs. 3.80 %), während es sich gegensätzlich für Zielreize im RVF verhielt (14.9 % vs. 16.9 %). Ein Vergleich zeigte, dass die Unterschiede lediglich für die Zielreize im LVF signifikant waren, $F(1,27) = 8.40$, $p < .01$.

Ein weiterer Vergleich zwischen den Ebenen-Positionsfehlern und den Ebenenfehlern zeigte, dass die VF-Effekte der Ebenen-Positionsfehler signifikant kleiner sind, als die VF-Effekte der Ebenenfehler, $F(1, 27) = 5.31$, $p < .05$.

# 3. DISKUSSION VON STUDIE 2

Das Ziel dieser Studie war es, die Bindungsasymmetrie-Hypothese von Hübner und Volberg (2005) zu überprüfen. Um unser Vorhaben zu realisieren, haben wir das Binden von Buchstaben an Ebenen (Hübner & Volberg, 2005) und an Positionen (Treisman & Schmidt, 1982) untersucht, indem wir die jeweils entstehenden Konjunktionsfehler innerhalb und zwischen unterschiedlichen hierarchischen Reizen verglichen haben. Dabei wurden zwei unterschiedliche hierarchische Buchstaben gleichzeitig sowohl im LVF als auch im RVF präsentiert. Der nur kurz gezeigte Reiz wurde innerhalb eines von drei unterschiedlichen Stimulus-Maskierungs-Intervallen (SMI) maskiert und die Aufgabe der Versuchspersonen war es, den Buchstaben auf der vorher spezifizierten Ebene und dem nachher spezifizierten VF zu benennen.

Die Gesamtanalyse zeigt, dass die Fehlerraten mit zunehmendem SMI abnahmen und dass diese Abnahme zusätzlich von dem visuellen Feld und der Zielebene variiert wurde. Auffällig war ein allgemeiner Vorteil des LVF, welches sich auf beide Zielebenen ausgewirkt hat. Wir vermuten, dass dieser Vorteil des LVF durch eine Lesestrategie der Versuchspersonen entstanden ist. Da auf das VF, in dem sich der gefragte Buchstabe befand, erst nach der Reizpräsentation hingewiesen wurde, ist es denkbar, dass die Versuchspersonen versucht haben, die Informationen in beiden hierarchischen Reizen aufzunehmen, und dabei wie bei einem Lesevorgang (von links nach rechts) vorgegangen sind. Interessanterweise haben Reize, die im LVF präsentiert wurden, mehr von einem zunehmenden SMI profitiert (besonders, wenn man die Fehlerabnahme zwischen dem kurzen und mittleren SMI betrachtet) als Reize, die im RVF dargeboten wurden. Dieses Ergebnis kann entweder bedeuten, dass die Versuchspersonen besondere Anstrengungen für das LVF vorgenommen haben oder auch, dass sie mit ihrem Aufmerksamkeitsfokus zwischen den Stimuli hin und her gewechselt haben. Dabei ist es für das mittlere SMI wahrscheinlich, dass die Versuchspersonen noch Zeit hatten zum linken Stimulus zurückzukehren und dadurch dann der stärkere Profit der Reize im LVF im mittleren SMI entstand. Beide Möglichkeiten und auch eine Mischung aus diesen sind denkbar.

Für Reize, die im LVF präsentiert wurden, ist trotz des allgemeinen Vorteils für beide Ebenen nach wie vor der größere Vorteil für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal vorhanden. Wenn man den generellen Vorteil des LVF aus den gesamten Daten bereinigt, findet sich die erwartete Asymmetrie der Hemisphären, bei der Reize, die im LVF präsentiert

wurden, einen Vorteil für die Zielebene Global und Reize, die im RVF dargeboten wurden, einen Vorteil für die Zielebene Lokal zeigen. Da wir im Folgenden die unterschiedlichen Fehlertypen innerhalb eines VF vergleichen werden, wird es nicht nötig sein, die Daten von dem allgemeinen Vorteil des LVF zu bereinigen.

Die zwei hierarchischen Reize bestanden aus allen vier möglichen Buchstabenalternativen. Da also in jedem Durchgang alle Buchstaben präsentiert wurden, konnte jede Antwort zugeordnet werden. Für die Fehler haben wir zwischen *Ebenenfehlern*, *Positionsfehlern* und *Ebenen-Positionsfehlern* unterschieden. Dass die Gesamtfehlerrate bei 35 % lag, zeigt, dass die von uns verwendete Maske durchaus in der Lage war, den Verarbeitungsprozess der Reize effektiv zu unterbrechen. Sollte die Maske auch jegliche Identifikation oder jegliches Binden von Buchstaben an Ebenen oder Positionen verhindert haben, so ist davon auszugehen, dass alle Fehler aus einem Rateverhalten der Versuchspersonen entstanden seien. In einem solchen Fall wäre eine Proportion von etwa 11.6 % für jeden Fehlertyp zu erwarten. Unsere Analyse zeigte jedoch wesentliche Unterschiede zwischen den drei Fehlertypen, sodass wir ausschließen, dass die Fehler ausschließlich aus einem Rateverhalten resultieren.

Die signifikant größere Proportion der Ebenenfehler von 1/3 weist daraufhin, dass Konjunktionsfehler gemacht wurden. In diesem Fall wurde fälschlicherweise der Buchstabe von der nicht-Zielebene im Zielfeld häufig genannt. Somit wurde häufig ein Buchstabe zwischen den Ebenen innerhalb eines Reizes vertauscht. Dieses fälschliche Binden war seltener für Reize, die im LVF präsentiert wurden, im Vergleich zu den Reizen, die im RVF dargeboten wurden. Auch hier ist zu vermuten, dass dieser Unterschied durch die Lesestrategie zustande kam. Es fand sich eine signifikante Interaktion zwischen VF und Zielebene. Im LVF wurden weniger Konjunktionsfehler für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal gemacht, während es sich für das RVF andersherum verhielt. Hier war also die typische Asymmetrie der Hemisphären für das Binden von Inhalten an die entsprechenden Ebenen zu finden (Hübner & Volberg, 2005). Soweit uns bekannt ist, ist diese Studie die erste, die VF-Effekte für die Verarbeitung der Ebenen Global und Lokal für bilaterale Reize aufführen kann. Zusammenfassend ist also festzuhalten, dass sowohl die hohe Rate der Ebenenfehler als auch das Auftreten von VF-Effekten deutlich machen, dass die Buchstaben innerhalb eines Reizes häufig fälschlich an die Ebenen gebunden wurden.

Während die Ebenenfehler eine hohe Fehlerrate und das typische Muster von Konjunktionsfehlern innerhalb hierarchischer Reize (Hübner & Volberg, 2005) aufwiesen,

war die Fehlerrate der Positionsfehler signifikant kleiner als 1/3 der Gesamtfehler. Diese sehr geringe Fehlerrate lässt vermuten, dass die Zuordnung von Buchstabe zu Position meist erfolgreich sein musste. Es ist anzunehmen, dass im Falle dessen, dass der Buchstabe auf der Zielebene im Zielfeld nicht gesehen wurde, der Buchstabe auf der Zielebene im nicht-Zielfeld jedoch identifiziert und an die entsprechende Position gebunden wurde. Dabei wäre es nicht unbedingt wichtig, ob dieser auch an die richtige Ebene geknüpft ist oder nicht, wenngleich es durchaus denkbar ist, dass er an die korrekte Ebene gebunden wurde.

Wenn man bedenkt, dass der Hinweis auf das VF, in dem sich der gefragte Buchstabe befindet, erst nach der Reizpräsentation gegeben wurde, ist es erstaunlich, wie gut das Binden von Buchstabe zu Position funktionieren konnte. Möglicherweise ist die Strategie, die Buchstaben von links nach rechts zu lesen, eine hilfreiche Strategie, um die Buchstaben an ihre Position oder zumindest an ihr jeweiliges VF zu binden. Auffällig ist, dass der Haupteffekt für den Faktor VF wesentlich kleiner ist als bei den beiden anderen Fehlertypen (siehe Abbildung 17) und zusätzlich auch das zunehmende SMI einen schwächeren Effekt hatte. Dies könnte bedeuten, dass es bereits zur Identifizierung und zum Binden der beiden Buchstaben auf der Zielebene an ihre Positionen bzw. visuellen Felder ausreichend war, wenn die Aufmerksamkeit lediglich einmal vom linken zum rechten Reiz fuhr.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der Positionsfehler ist das Ausbleiben der VF-Effekte. Da hier davon auszugehen ist, dass die Probanden die beiden Buchstaben auf der Zielebene identifiziert haben, unterstützten die Ergebnisse, dass die beiden Hemisphären sich bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte auf den Ebenen Global und Lokal zu identifizieren, nicht unterscheiden. Lediglich, wenn es um das Binden von Inhalten an die entsprechenden Ebenen geht, können Hemisphären-Unterschiede beobachtet werden (siehe Ebenenfehler).

Die Proportion der Ebenen-Positionsfehler hat sich nicht signifikant von 1/3 der Gesamtfehlerrate unterschieden. Da sich die Fehlerrate der Ebenen-Positionsfehler somit auch aus einem reinen Rateverhalten erklären lassen würde, können wir hier nicht von Konjunktionsfehlern ausgehen. Wenngleich es eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren VF und Zielebene gab, war diese jedoch signifikant schwächer als die Interaktion der beiden Faktoren bei den Ebenenfehlern. Zusammengefasst gehen wir davon aus, dass es eher unwahrscheinlich ist, dass der Buchstabe auf der nicht-Zielebene im nicht-Zielfeld fälschlicherweise an die Zielebene im Zielfeld gebunden wurde. Es ist hier eher anzunehmen,

dass die Fehlerrate der Ebenen-Positionsfehler hauptsächlich aus einem Rateverhalten resultiert.

Unsere Daten zeigen, dass das Binden von Buchstaben an die Ebenen eines hierarchischen Reizes sich von dem Binden von Buchstaben an ihre Position unterscheidet. Obwohl die Zielebene bereits vor der Präsentation des Reizes bezeichnet wurde und der Hinweis auf das Zielfeld erst mit der Maske erschien, war das Binden von Buchstaben an ihre jeweilige Position effektiver als das Binden von Buchstaben an ihre Ebenen. Da die Fehlerrate der Ebenenfehler deutlich hoch ist, können wir sagen, dass zwischen den Buchstaben und Ebenen innerhalb des hierarchischen Reizes im Zielfeld mit hoher Wahrscheinlichkeit Konjunktionsfehler gemacht wurden. Auch die hier deutlichen VF-Effekte in den Ebenenfehlern unterstützen diese Annahme. Weiterhin können wir mit hoher Wahrscheinlichkeit annehmen, dass es sich bei den Positionsfehlern nicht um Konjunktionsfehler gehandelt hat. Zum einen ist die Fehlerrate der Positionsfehler sehr niedrig und zusätzlich finden sich keine VF-Effekte für diesen Fehlertyp. Was die Ebenen-Positionsfehler betrifft, so ist es nicht ganz offenkundig, jedoch vermuten wir, dass es sich bei diesen Fehlern eher nicht um Konjunktionsfehler handelt, da die Fehlerrate sich wie im Falle des Ratens verhält und die VF-Effekt sehr schwach ausgeprägt sind.

Betrachtet man beispielsweise die Studie von Treisman und Schmidt (1982), so finden sich in ihren Ergebnissen Konjunktionsfehler zwischen Inhalten und Positionen. Unser Versuchsaufbau unterscheidet sich jedoch besonders darin, dass die Versuchspersonen ihren Aufmerksamkeitsfokus auf die beiden hierarchischen Reizen hatten und nicht – wie in den meisten Studien, in denen Konjunktionsfehler zwischen Positionen gefunden wurden – abgelenkt von den Testreizen. In unserem Fall haben die Versuchspersonen vermutlich die Lesestrategie (das Lesen der Buchstaben von links nach rechts) angewendet und dies hat mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer erheblichen Erleichterung des Bindens von Inhalt und Position geführt. Wenngleich wir nicht mit Sicherheit sagen können, was der genaue Grund für das Ausbleiben der Konjunktionsfehler für die Positionsfehler in unserer Studie sein kann, so ist es dennoch gerechtfertigt zu Schlussfolgern, dass das Binden von Buchstaben an ihre Ebenen schwieriger ist, als das Binden von Buchstaben an ihre räumliche Position.

Was bedeuten unsere Ergebnisse für die Bindungsasymmetrie-Hypothese und für unsere Ergebnisse aus Studie 1? Die Analyse der Positionsfehler macht deutlich, dass die Hemisphären sich bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte zu identifizieren, nicht unterscheiden. Da durch

die Lesestrategie der Probanden ein Binden der Buchstaben an die Positionen so erleichtert wurde, dass es keinen kritischen Einfluss auf die Ergebnisse mehr hatte, liefern die Daten eher Aufschluss über die Kapazitäten der Hemisphären Inhalte zu Identifizieren. Auch die Bindungsasymmetrie-Hypothese sagt voraus, dass die Hemisphären sich bezüglich ihrer Identifikationskapazitäten nicht unterscheiden.

Die Ebenenfehler hingegen weisen deutliche VF-Effekte auf. Aufgrund der Datenlage gehen wir mit hoher Wahrscheinlichkeit davon aus, dass es sich bei den Ebenenfehlern um Konjunktionsfehler zwischen den Buchstaben und den Ebenen des hierarchischen Reizes im Zielfeld handelt. Hier ist also das aktive Binden der Buchstaben an ihre jeweilige Ebene notwendig. Die Bindungsasymmetrie-Hypothese sagt für die Hemisphären voraus, dass sie sich bezüglich ihrer Effizienz, Inhalte an die Ebenen Global und Lokal zu binden, unterscheiden. Auch hier entsprechen unsere Ergebnisse den Vorhersagen der Bindungsasymmetrie-Hypothese.

Die Interpretation der Ergebnisse der Studie 1 der vorliegenden Arbeit – aber auch der Studie von Flevaris, Bentin und Robertson (2010) – setzt die Bindungsasymmetrie-Hypothese voraus. Da die Datenlage in der bisherigen Forschung zur Bindungsasymmetrie-Hypothese noch schwach war, hatten wir beschlossen, mit dieser Studie einen wesentlichen Beitrag zu leisten, um die Annahme, dass die Hemisphären sich bezüglich ihrer Effizienz, Inhalte an die Ebenen Global und Lokal zu binden, und nicht bezüglich ihrer Identifikationskapazitäten unterscheiden, zu untermauern. Zusammenfassend unterstützen unsere Ergebnisse die Bindungsasymmetrie-Hypothese und gleichzeitig auch das Vorgehen und die Interpretation in unserer Studie 1 und in der Studie von Flevaris et al. (2010).

# STUDIE 3: GRÖßENKONSISTENZEFFEKT

## DER EINFLUSS DES GRÖßENKONSISTENZEFFEKTES AUF DAS BINDEN VON ZIFFERN AN DIE EBENEN GLOBAL UND LOKAL

## 1. EINLEITUNG

Wie wir bereits in den vorangegangenen Studien der vorliegenden Arbeit gesehen haben, ist zwar weitgehend bekannt, dass die Verarbeitung hierarchischer Reize zunächst die Identifikation der Inhalte und dann das Binden der identifizierten Inhalte mit ihren jeweiligen hierarchischen Ebenen Global und Lokal erfordert (Hübner & Volberg, 2005), jedoch sind die Vermutungen rund um den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene und auch den möglichen Einflussfaktoren auf den Bindungsprozess noch eher vage. In Studie 1 haben wir uns mit der Frage auseinandergesetzt, welche Bedingungen das Binden von Inhalt und Ebene erleichtern und beschleunigen können. Wir konnten zeigen, dass sowohl das vorherige Aktivieren der abstrakten Ebenenkategorie als auch eine Erleichterung der Analyse der Raumfrequenzen eines Reizes zu einem effizienteren Binden von Inhalt und Ebene führen.

Um uns dem Mechanismus des Bindens zu nähern, haben wir uns bereits in den Studien 1 und 2 der sehr effektiven Methode, Konjunktionsfehler (*conjunction errors*) durch eine Unterbrechung des Verarbeitungsprozesses mittels Maskierung zu erheben, bedient. Dabei haben wir hierarchische Buchstaben verwendet, die aus zwei unterschiedlichen Buchstaben zusammengesetzt wurden. Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (*content-level-binding theory*; Hübner & Volberg, 2005) sagt voraus, dass die Inhalte auf den beiden Ebenen Global und Lokal in der frühen Phase der Verarbeitung zunächst separat und unabhängig von den Ebenen identifiziert werden. Erst in einer späteren Phase erfolgt das aktive Binden von Inhalten an ihre entsprechenden Ebenen. Wird also dieser Verarbeitungsprozess vor dem erfolgreichen Binden der Inhalte an ihre Ebenen durch eine Maske unterbrochen, so häufen sich fälschliche Vertauschungen, bei denen der Buchstabe auf der nicht-Zielebene (*nontarget-level*) an die Zielebene (*target*) gebunden wird. Diese Fehler werden als Konjunktionsfehler eingeordnet. In den Er-

gebnissen der Studien 1 und 2 konnten wir jeweils die Asymmetrie der Hemisphären bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte an die jeweiligen Ebenen zu binden, erfolgreich zeigen. Es ist ein für die Hemisphären typisches Phänomen, dass bei Reizen, die im linken visuellen Feld (LVF – rechte Hemisphäre, RH) präsentiert wurden, weniger Konjunktionsfehler gemacht werden für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal. Andersherum werden weniger Konjunktionsfehler bei Reizen, die im rechten visuellen Feld (RVF – linke Hemisphäre, LH) dargeboten wurden, für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global gemacht. Dieser Effekt des visuellen Feldes (VF-Effekt) gilt als charakteristisches Merkmal für das Stattfinden von einem aktiven Binden von Inhalten an ihre Ebenen (siehe auch Hübner & Volberg, 2005). Wie wir in Studie 2 zeigen konnten, findet sich eine Asymmetrie der Hemisphären lediglich bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte an die Ebenen Global und Lokal zu binden, und nicht bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte auf den jeweiligen Ebenen zu identifizieren. Dies ist ein wichtiger Befund für die Interpretation von VF-Effekten. Finden sich allgemeine Veränderungen der Konjunktionsfehler über beide visuellen Felder hinweg, so ist davon auszugehen, dass der Bindungsprozess nicht moduliert wurde. Findet sich jedoch beispielsweise eine Reduktion der VF-Effekte durch den Einfluss eines Faktors, so kann der Schluss gezogen werden, dass der Bindungsprozess erleichtert wurde. Trotz der weiterführenden Erkenntnisse aus Studie 1 und 2 bleiben noch viele Fragen rund um den Bindungsprozess offen. Durch die 2010 erschienene Studie von Goldfarb und Treisman wurden wir auf eine weitere Frage aufmerksam gemacht: Wenn der Verarbeitungsprozess vor dem erfolgreichen Binden der Inhalte an die entsprechenden Ebenen unterbrochen wird und die Inhalte noch ungebunden sind, ist die Zuordnung der Inhalte an die Ebenen Global und Lokal dann zufällig oder unterliegt sie bestimmten Regeln? In der vorliegenden Studie wollen wir uns mit eben dieser Frage beschäftigen.

Wie wir bereits in Abschnitt 4.1 ausführlich besprochen haben, konnten Treisman und Gelade (1980) zeigen, dass für Reize mit mehreren Merkmalen (*features*) auf unterschiedlichen Merkmalsdimensionen (*dimensions*) wie Farbe, Größe oder Orientierung eine zunächst automatische und parallele Registrierung der Merkmale stattfindet, die in der frühen Phase zunächst noch ungebunden und frei flottieren. Erst Mittels gerichteter Aufmerksamkeit (*focal attention*) werden die Merkmale gebunden. Während Treisman und Gelade (1980) noch davon ausgingen, dass die noch frei flottierenden Merkmale im Falle einer frühzeitigen Unterbrechung des Verarbeitungsprozesses rein zufällig gebunden werden, haben Goldfarb und

Treisman (2010) eben diese Hypothese einer zufälligen Bindung der Merkmale bezweifelt. Sie wollten wissen, ob Konjunktionsfehler lediglich ein Ergebnis eines randomisierten Bindens zwischen den Merkmalen sind oder ob eine Regel diese Bindungen leitet.

Goldfarb und Treisman (2010) postulierten den *Bindungskonsistenzeffekt* (*binding congruency effect*), welcher besagt, dass das Binden von inkonsistenten Merkmalen (*incongruent features*) eines Objektes zu einer höheren Fehlerrate führt und dass inkonsistente Merkmale häufiger ersetzt werden durch Merkmale, die den Reiz konsistent machen, als andersherum. Die Annahme, dass der Konsistenzeffekt (*congruency effect*) einen Einfluss auf das Binden von Merkmalen hat, ist neu, wohingegen Interferenzen durch für die Aufgabe irrelevante Informationen wie bei dem Stroop-Effekt (Stroop, 1935) bereits lange bekannt sind.

Mittlerweile konnten viele Interferenzen zwischen unterschiedlichen Eigenschaften von Reizen festgestellt werden. Beispielsweise konnten Moyer und Landauer (1967) zeigen, dass nach Präsentation von zwei unterschiedlichen Ziffern die Reaktionszeiten und Fehlerraten der Probanden mit steigender Distanz zwischen den numerischen Größen der Ziffern sinken (*numerical distance effect*). Interessant ist auch der *SNARC-Effekt* (*spatial numerical association of response codes*; Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993). Dieser beschreibt die räumliche Assoziation mit der numerischen Größe. Die Reaktionen der Versuchspersonen auf die Aufgabe der gerade/ungerade-Parität für die Ziffer „3“ (und anderen kleinen Zahlen) waren schneller mit der linken Hand und die Reaktionen für die Ziffer „8“ (und anderen größere Zahlen) erfolgten schneller mit der rechten Hand. Diese starke Reiz-Reaktions-Zuordnung ist vermutlich erlernt durch die häufig von links nach rechts verlaufende Anordnung von Klein und Groß in unserer alltäglichen Welt (siehe dazu Fitousi, Shaki, & Algom, 2009). Auch eine in beide Richtungen mögliche Interferenz zwischen der physischen Größe einer Ziffer und ihrer numerischen Größe (Henik & Tzelgov, 1983; Dehaene & Akhavein, 1995; Henik & Tzelgov, 1982) wurde mehrfach empirisch belegt. Die schnellere und akkuratere Verarbeitung von einem bezüglich physischer Größe und numerischer Größe konsistentem Reiz wird *Größenkonsistenzeffekt* (*SCE, size congruity effect*) genannt. Bei einer Paarpräsentation von Ziffern, bei denen eine Ziffer groß und die andere klein gedruckt wurde, finden sich schnellere Reaktionszeiten für konsistente Paare (große „8“ mit kleiner „2“) als für inkonsistente Paare (kleine „8“ mit großer „2“) (Fitousi & Algom, 2006). Auch bei Einzelpräsentationen, bei denen beispielsweise eine große „8“ oder eine große „2“ dargeboten wurden, reagierten Ver-

suchspersonen schneller auf konsistente als auf inkonsistente Reize (Algom, Dekel, & Pansky, 1996).

Wie kommt es, dass die Verarbeitung einer aufgaben-relevanten Information durch eine aufgaben-irrelevante Information gestört werden kann? Es wird davon ausgegangen, dass die unterschiedlichen Merkmale eines Reizes automatisch verarbeitet werden. Daher können auch aufgaben-irrelevante Informationen nicht komplett ignoriert werden und sind somit in der Lage die Reaktion in einem bestimmten Grad zu beeinflussen. Der Einfluss einer aufgaben-irrelevanten Information hängt von den relativen Zeitverläufen der Informationsverarbeitung der involvierten Merkmale ab (*relative speed account*, Schwarz & Ischebeck, 2003). Auch für das Global/Lokal-Paradigma gilt, dass bei der Verarbeitung der Information auf der Zielebene die Information auf der nicht-Zielebene nicht vollständig ignoriert werden kann (vgl. Abschnitt 2.1).

Hat die automatische Verarbeitung eines Reizmerkmals immer dieselbe Geschwindigkeit? Kann diese beispielsweise durch Aufmerksamkeit beeinflusst werden? Ein automatischer Prozess ist schnell, unbeabsichtigt und verbraucht keine wesentlichen Kapazitäten (Posner, 1978). Khaneman und Treisman (1984) differenzieren noch weiter zwischen unterschiedlichen Abstufungen einer automatischen Verarbeitung. Während stark-automatische Prozesse gänzlich immun gegen Aufmerksamkeitseffekte sind, können teilweise-automatische Prozesse durch Aufmerksamkeit beschleunigt werden, wenngleich sie auch ohne Aufmerksamkeit verlaufen können. Die Salienz der Eigenschaften „numerische Größe“ und „physische Größe“ einer Ziffer konnten Pansky und Algom (1999) durch eine experimentelle Variation des Versuchsaufbaus beeinflussen. Die Manipulation des Versuchsaufbaus ermöglichte ihnen eine kontrollierte Erzeugung von Interaktionen zwischen den beiden Reizeigenschaften. Auch die Salienz der Ebenen Global und Lokal eines hierarchischen Reizes kann manipuliert und so die Verarbeitungsvorsprünge moduliert werden (vgl. Abschnitt 2).

Goldfarb und Treisman (2010) haben in Experiment 1 ihrer Studie vier Ziffern („1“, „2“, „8“ und „9“) (oder vier Buchstaben, „C“, „S“, „T“ und „X“) in unterschiedlichen physikalischen Größen (klein vs. groß) (oder in den Farben rot vs. grün) auf dem Bildschirm arrangiert und seitlich jeweils entweder ein Dreieck oder Kreis präsentiert (siehe auch Abschnitt 4.1). In den Testbedingungen wurden jeweils entweder die beiden Ziffern „1“ und „2“ oder die beiden Ziffern „8“ und „9“ in großer Schrift und die anderen beiden Ziffern in kleiner Schrift präsentiert. In einer der Kontrollbedingungen wurden jeweils zwei Ziffern in rot und

zwei Ziffern in grün präsentiert und als weitere Kontrollbedingungen wurden die Ziffern durch Buchstaben ersetzt. Die Ziffern wurden, wie in Abbildung 3 dargestellt, gleich weit vom Bildschirmzentrum angeordnet und der Testbildschirm wurde nach kurzer Präsentationsdauer maskiert. Versuchspersonen wurden instruiert, als erstes ihre Aufmerksamkeit auf die äußeren Symbole zu richten. Dabei sollten sie eine gleich/ungleich-Beurteilung (Kreis-Kreis vs. Dreieck-Kreis vs. Dreieck-Dreieck) vornehmen. Als zweite Aufgabe sollten sie ihre Aufmerksamkeit auf die Ziffern und ihre Schriftgrößen richten. Eine in großer Schrift geschriebene „1“ oder „2“ oder eine in kleiner Schrift geschriebene „8“ oder „9“ wurden jeweils als *inkonsistente Reize* (*incongruent stimuli*) eingestuft, während die Ziffern „1“ und „2“ in kleiner Schrift so wie „8“ und „9“ in großer Schrift also *konsistente Reize* (*congruent stimuli*) kategorisiert wurden. Die erste Frage, die den Versuchspersonen nach der Präsentation der Maske gestellt wurde, betraf die Kategorisierung einer bestimmten Ziffer (oder eines bestimmten Buchstabens) nach Größe (oder Farbe) (bspw. „Wurde die Ziffer 2 in großer Schrift dargestellt?“). Versuchspersonen konnten durch das Drücken eines der beiden Tasten einer Computertastatur mit „Ja“ oder „Nein“ antworten. Als Nächstes wurden sie aufgefordert, ihre Antwortzuversicht für diesen Durchgang auf einer Skala von 1 (sicher) bis 3 (geraten) einzustufen. Schließlich wurden sie gefragt, ob die beiden seitlich erschienenen Symbole identisch waren, auch hier konnten sie durch das Drücken eines der beiden Tasten auf der Tastatur mit „Ja“ oder „Nein“ antworten. Die Analyse der Ergebnisse zeigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor Konsistenz, der anzeigte, dass wesentlich mehr Fehler für inkonsistente Reize als für konsistente Reize ermittelt wurden. Um auszuschließen, dass der Konsistenzeffekt auf das Raten von Antworten und nicht auf das Binden von noch ungebundenen Inhalten zurückzuführen war, haben sie zusätzlich die Ergebnisse für die als „geraten“ eingestuften Durchgänge analysiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Analyse der Durchgänge, in denen die Versuchspersonen angaben, geraten zu haben, keinen Haupteffekt für den Faktor Konsistenz aufwies. Somit nahmen Goldfarb und Treisman (2010) an, dass es sich bei den von ihnen erhobenen Daten, um reine Konjunktionsfehler handelte. Weiterhin konnten sie den Bindungskonsistenzeffekt auch für Farbnamen und Schriftfarben zeigen. Zusammengefasst stellten sie heraus, dass immer dann, wenn Probanden ein Reiz mit inkonsistenten Merkmalen dargeboten wurde, die Fehlerrate der Konjunktionsfehler stieg und dass Probanden eher dazu neigten, Merkmale so zu ersetzen (bzw. Konjunktionsfehler zu machen), um eine mentale Repräsentation eines konsistenten Reizes zu erzeugen.

Das Ziel dieser Studie war es, zu prüfen, ob das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal eines hierarchischen Reizes auch dem Bindungskonsistenzeffekt unterliegt. Wenn der Bindungskonsistenzeffekt auch auf das Binden von hierarchischen Reizen übertragbar wäre, dann müsste beispielsweise der Größenkonsistenzeffekt die Konjunktionsfehlerraten so beeinflussen, dass mehr Konjunktionsfehler für inkonsistente als für konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen gemacht werden und dass Konjunktionsfehler gemacht werden, um inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen des Reizes zu einer mental konsistenten Inhalt-Ebenen-Bindung zu überführen. Die Möglichkeit, dass der Größenkonsistenzeffekt einen Einfluss auf das Binden von Inhalten an ihre hierarchischen Ebenen haben könnte, scheint denkbar zu sein, da die Ebenen Global und Lokal eines hierarchischen Reizes sich auch in ihrer physikalischen Größe unterscheiden.

Um unsere Fragestellung zu prüfen, haben wir hierarchische Ziffern konstruiert, die jeweils aus zwei unterschiedlichen von vier möglichen Ziffern (*2, 5, 6* und *9*) zusammengesetzt sind (siehe Abbildung 18). Da sich die Elemente der Ebenen Global und Lokal ebenfalls in ihrer physischen Größe unterscheiden, entstand die Variation der physischen Größe allein durch die Zuordnung der Ziffern zu den Ebenen Global (groß) und Lokal (klein). Eine „2“ auf der Ebene Lokal (physikalisch klein) und eine „9“ auf der Ebene Global (physikalisch groß) wurden als *konsistent* und entsprechend wurden eine „2“ auf der Ebene Global sowie eine „9“ auf der Ebene Lokal als *inkonsistent* eingestuft. Die Ziffern „5“ und „6“ bildeten die neutrale Mitte in der Skala der numerischen Größe und wurden entsprechend auch als *neutral* eingestuft.

Wendet man die Bindungskonsistenzhypothese auf hierarchische Reize an, so sagt diese für die Zielebene voraus, dass inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen der Zielebene mehr Konjunktionsfehler generieren als konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen. Da – wie oben erwähnt – bei der Verarbeitung hierarchischer Reize, die Informationsverarbeitung der nicht-Zielebene mit der Informationsverarbeitung der Zielebene interferiert, ist die Konsistenz der Inhalt-Ebenen-Zuordnung der nicht-Zielebene ebenfalls zu beachten. Was den Einfluss der nicht-Zielebene betrifft, so ist laut der Bindungskonsistenz-Hypothese zu erwarten, dass illusorische Konjunktionen erzeugt werden, um inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen der nicht-Zielebene eines Reizes in konsistente mentale Inhalt-Ebenen-Bindungen der Zielebene zu überführen. Treffen diese beiden Hypothesen zu, so sollten zum Einen für die inkonsistenten Inhalt-Ebenen-Zuordnungen „2“-Global und „9“-Lokal der Zielebene mehr

Konjunktionsfehler gemacht werden als für die konsistenten Inhalt-Ebenen-Zuordnungen „2“-Lokal und „9“-Global der Zielebene, und zum Anderen sollten immer dann, wenn die Zielebene Lokal gefragt ist, mehr Konjunktionsfehler entstehen, wenn statt auf der Zielebene Lokal auf der nicht-Zielebene Global die Ziffer „2“ zur Verfügung steht. Andersherum sollten ebenfalls mehr Konjunktionsfehler für die Zielebene Global gemacht werden, wenn die Ziffer „9“ auf der nicht-Zielebene zur Verfügung steht.

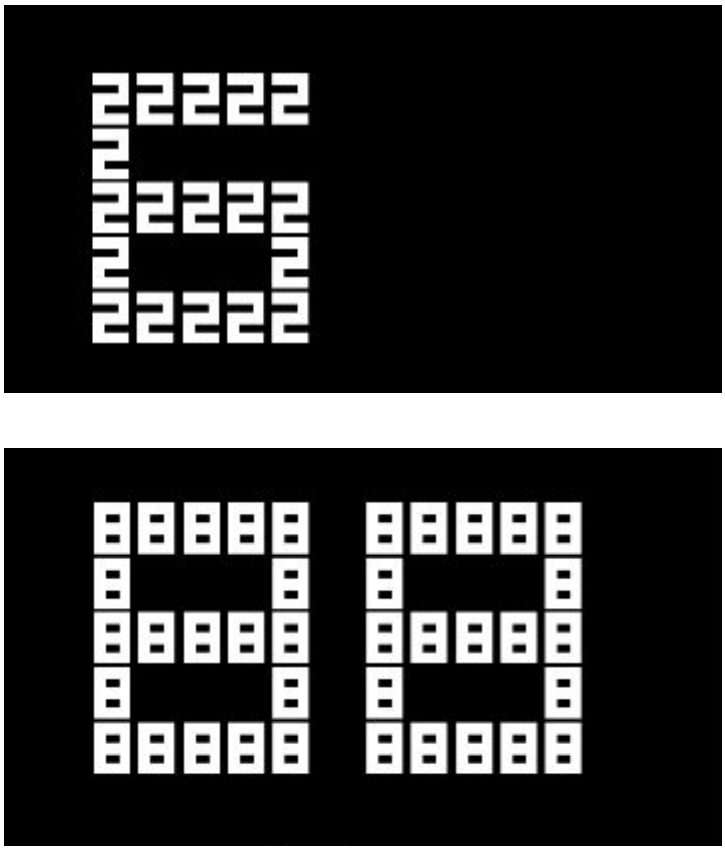

**Abbildung 18. Oben: Beispiel für eine hierarchische Zahl. Unter: Beispiel für eine Maske wie sie in Experiment 5a und 5b verwendet wurde.**

In beiden Experimenten dieser Studie haben wir das Maskierungsparadigma verwendet (Hübner & Volberg, 2005). Eine hierarchische Ziffer wurde präsentiert und innerhalb eines variierenden Stimulus-Maskierungs-Intervalls (SMI) maskiert. Es gab vier unterschiedliche Ziffern, aus denen jeweils zwei unterschiedliche Ziffern einen hierarchischen Reiz gebildet haben. Um eine systematische Konfundierung des oben beschriebenen SNARC-Effekts auszuschließen, haben wir das Ziffer-Tasten-Mapping zwischen den Versuchspersonen variiert. Die Versuchspersonen wurden instruiert, die Ziffer auf der vorher-spezifizierten Zielebene zu nennen. In Experiment 5a wurden sie aufgefordert, aus den vier Alternativen zu raten, wenn

sie sowohl die Ziffer auf der Zielebene als auch die Ziffer auf der nicht-Zielebene nicht gesehen haben. Haben sie jedoch nur die Ziffer auf der nicht-Zielebene gesehen, so sollten sie diese nicht nennen und aus den drei verbleibenden Alternativen raten. In Experiment 5b haben wir die Antwortmöglichkeit „?“ hinzugefügt. Die Versuchspersonen erhielten die Instruktion, nur dann die Taste „?“ zu verwenden, wenn sie sicher die Ziffer auf der Zielebene nicht gesehen haben und raten müssten.

Haben die Probanden fälschlicherweise die Ziffer auf der nicht-Zielebene genannt, dann wurde ihre Antwort als *Konjunktionsfehler* kategorisiert. Wurde eines der beiden nicht präsenten Ziffern genannt, so wurde diese Antwort als *Merkmalsfehler* kategorisiert. Da die Merkmalsfehler in Hinblick auf unsere Fragestellung keine Rolle spielen, werden wir sie in der Datenanalyse nicht besprechen. Würden alle Fehler allein durch ein Rateverhalten entstehen, so müssten die Konjunktionsfehler einen Anteil von 1/3 der Gesamtfehlerrate haben, sollte die Proportion der Konjunktionsfehler jedoch signifikant größer sein als 1/3, so ist davon auszugehen, dass tatsächlich illusorische Konjunktionen stattgefunden haben.

## 2. EXPERIMENT 5A – HIERARCHISCHE ZIFFERN

In unserem ersten Experiment mit hierarchischen Ziffern wollten wir prüfen, ob die Bindungskonsistenz-Hypothese auch für das Binden von Ziffern mit unterschiedlicher numerischer Größe an die Ebenen Global und Lokal zutrifft. Wie bereits erwähnt, haben Goldfarb und Treismann (2010) Hinweise ermittelt, die vorschlagen, dass Reize mit inkonsistenten Merkmalen mehr illusorische Konjunktionen generieren, damit statt einer inkonsistenten Bindung eine konsistente Bindung eingegangen werden kann. In ihrer Studie verwendeten Goldfarb und Treisman (2010) ebenfalls das Maskierungsparadigma. In ihrer Testbedingung wurden vier Ziffern in jeweils unterschiedlichen physikalischen Größen (zwei Ziffern in großer Schrift vs. zwei Ziffern in kleiner Schrift) auf einem Bildschirm dargeboten. Weiterhin wurden zwei Symbole (Kreis vs. Dreieck) an den jeweiligen Seiten des Bildschirms präsentiert. Die Aufmerksamkeit der Probanden wurde verteilt, indem sie die Instruktion erhielten, als erstes eine gleich/ungleich-Beurteilung der Symbole vorzunehmen und erst danach die Ziffern inklusive ihrer physikalischen Größe zu beachten.

In unserem Experiment wurden für jeden Durchgang nur zwei Ziffern, die zusammen eine hierarchische Ziffer bilden, dargeboten, die Darbietungszeit und das SMI waren bei unserem Experiment deutlich kürzer gewählt, sodass eine Aufmerksamkeitsverteilung nicht notwendig war, um Konjunktionsfehler zu erzeugen.

Um die Bindungskongruenz-Hypothese zu testen, verwendeten wir die Ziffern „2“ und „9“ als kritische Ziffern. Die vier Kombinationen aus den zwei kritischen Ziffern und den Ebenen bilden zwei konsistente und zwei inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen. „2“-Lokal und „9“-Global sind *konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen*, während „2“-Global und „9“-Lokal die *inkonsistenten Inhalt-Ebenen-Zuordnungen* darstellen. In diesem Experiment wollten wir zur Prüfung des Bindungskonsistenzeffektes bei hierarchischen Ziffern folgende Hypothesen testen: Zum Einen sagt die Bindungskonsistenz für die Zielebene voraus, dass konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen der Zielebene weniger Konjunktionsfehler erzeugen als inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen der Zielebene. Die Ziffer „2“ sollte auf der Zielebene Global (inkonsistent) mehr Konjunktionsfehler erzeugen als auf der Zielebene Lokal (konsistent), während es für die Ziffer „9“ andersherum sein sollte. Die zweite Hypothese, die wir testen möchten, betrifft den Einfluss der Ziffer auf der nicht-Zielebene. Auch hier ist zu erwarten, dass Konjunktionsfehler häufiger generiert werden, um eine inkonsistente Inhalt-Ebenen-Bindung zu vermeiden. Ist die Zielebene Lokal und befindet sich auf der nicht-Zielebene die Ziffer „2“ (inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung der nicht-Zielebene), dann ist anzunehmen, dass häufiger eine illusorische Konjunktion generiert wird, damit die „2“ eine konsistente Bindung mit der Ebene Lokal eingehen kann, um eine konsistente mentale Repräsentation zu erzeugen. Andersherum gilt für die Zielebene Global die Anwesenheit der „9“ auf der nicht-Zielebene Lokal (inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung der nicht-Zielebene) als Anlass, häufiger illusorische Konjunktionen zu generieren, damit die „9“ eine konsistente Bindung mit der Ebene Global eingehen kann, um auch hier eine konsistente mentale Repräsentation zu erzeugen. Für die beiden neutralen Ziffern „5“ und „6“ haben wir keine systematischen Effekte erwartet.

Ein weiterer Unterschied unseres Versuchsaufbaus zu den Experimenten von Goldfarb und Treisman (2010) bestand in der lateralen Präsentation der Reize. Die Variation des visuellen Feldes, in dem die Reize dargeboten wurden, erlaubte es in den Daten ablesen zu können, ob ein Binden von Inhalt und Ebene erfolgt war und ob die VF-Effekte mit der Konsistenz zwischen Ziffer (numerischer Größe) und Ebene (physikalische Größe) interagierten (siehe

zur Interpretation der VF-Effekte auch Studie 1 und 2). Bezüglich der VF-Effekte erwarteten wir die typischen Muster für Reize, bei denen das Binden von Inhalt und Ebene notwendig war. Somit sollten für die Zielebene Lokal mehr Konjunktionsfehler auftreten, wenn der Reiz im linken visuellen Feld (LVF) präsentiert wurde, als wenn er im rechten visuellen Feld (RVF) dargeboten wurde. Wohingegen es sich für die Zielebene Global andersherum verhalten sollte (Hübner & Volberg, 2005). Sollten die inkonsistenten Inhalt-Ebenen-Zuordnungen („2"-Global und „9"-Lokal) eines Reizes auf den Mechanismus des Bindens störend eingewirkt haben, so müsste sich dies in einer Vergrößerung der VF-Effekte in diesen Bedingungen zeigen. Weiterhin gingen wir auch hier, wie bei den vorherigen Studien, von einer allgemeinen Abnahme der Konjunktionsfehler mit zunehmendem SMI aus.

## 2.1. METHODE

*Versuchsteilnehmer*

42 Studenten (Durchschnittsalter 23.2 Jahre; 8 männlich) der Universität Konstanz, Deutschland, haben an diesem Experiment teilgenommen. Alle Versuchsteilnehmer hatten normale oder zu-normal-korrigierte Sehkraft, waren laut Selbstaussage rechtshändig und haben jeweils 8 € für ihre Teilnahme erhalten.

*Versuchsaufbau und Reizmaterial*

Die Reize wurden auf einem 18" Farbmonitor mit einer Auflösung von 1280 × 1024 Pixel und einer Bildwiederholfrequenz von 60 *Hz* präsentiert. Versuchsteilnehmer reagierten, indem sie auf eines der vier Tasten einer Computertastatur gedrückt haben. Sowohl die Reizpräsentation als auch die Antwortregistrierung wurde von demselben Personal Computer (PC) kontrolliert.

Die verwendeten Reize waren hierarchische Ziffern (siehe Abbildung 18). Jede hierarchische Ziffer wurde aus zwei unterschiedlichen aus vier Ziffern (*2, 5, 6* oder *9*) konstruiert. Die globalen Ziffern hatten einen visuellen Winkel von 4.48° in der Breite und 5.72° in der Höhe. Der visuelle Winkel der lokalen Ziffern betrug jeweils 0.72° × 1.08°. Alle Reize wurden jeweils in Weiß auf schwarzem Hintergrund entweder im LVF oder im RVF mit einer

Exzentrizität von 2.82° (von der Mittellinie des Bildschirms bis zum Zentrum des Reizes) präsentiert.

*Vorgehen*

Die Versuchsteilnehmer wurden in einer Betrachtungsdistanz von etwa 60 *cm* vor den Bildschirm gesetzt. Ein Durchgang begann mit der Präsentation eines Hinweisreizes (der Buchstabe *l* oder *g* als Hinweis auf die jeweils zu beachtende Zielebene Lokal oder Global) im Zentrum des Bildschirms für 300 *ms*, daraufhin erschien ein Fixationskreuz für ebenfalls 300 *ms*. Dann wurde der Reiz für 32 *ms* entweder im LVF oder im RVF präsentiert und innerhalb eines SMIs (32 *ms*, 64 *ms* oder 96 *ms*) maskiert. Alle Durchgänge waren hinsichtlich der Faktoren *VF*, *Zielebene* und *SMI*s balanciert. Die Maske erschien in beiden visuellen Feldern und bestand bis zur Antwortregistrierung (siehe Abbildung 19).

Die Aufgabe der Versuchsteilnehmer war es, die Ziffer auf der Ebene anzugeben, welche vorher vom Hinweisreiz spezifiziert wurde. Versuchsteilnehmer haben geantwortet, indem sie eines der vier Antworttasten der Tastatur (jede Taste wurde einer Ziffer zugewiesen) gedrückt haben. Die Zuordnung von Ziffer und Tastaturtaste wurde zwischen den Versuchspersonen variiert, um mögliche Vorteile auszuschließen. Die Probanden wurden angeleitet, ohne Zeitdruck zu antworten und zu beachten, dass jeder Reiz aus zwei unterschiedlichen Ziffern konstruiert wurde und dass, wenn sie sicher die Ziffer auf der nicht-Zielebene erkannt haben, sie diese nicht nennen, sondern aus den noch übrigen drei Ziffern raten sollten. Nach jedem Block wurde ein Bildschirm zur Rückmeldung präsentiert, auf dem die Versuchsteilnehmer über ihre Fehlerrate im vergangenen Block informiert wurden. Hatten sie eine Fehlerrate von über 50 %, wurden sie angewiesen ihren Einsatz und ihre Konzentration zu erhöhen.

Nach 3 Übungsblöcken, bei denen die SMIs jeweils von 192 *ms* auf 96 *ms* und 64 *ms* abnahmen, mit jeweils 24 Durchgängen, durchlief jeder Versuchsteilnehmer 8 Testblöcke mit jeweils 72 Durchgängen in einer einzelnen einstündigen Sitzung. Dieser Aufbau führte zu 12 Durchgängen pro Bedingung.

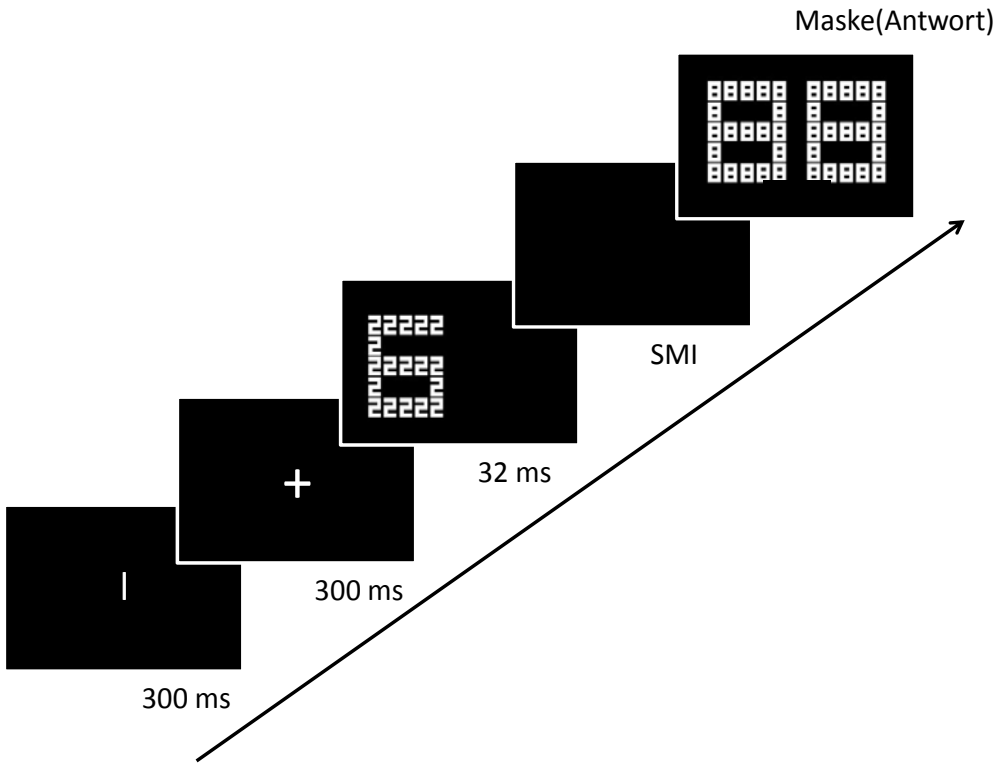


**Abbildung 19. Schematische Darstellung des Zeitverlaufs eines Durchganges in Experiment 5a und 5b.**

## 2.2. ERGEBNISSE

Der durchschnittliche Anteil der Konjunktionsfehler an der Gesamtfehlerrate betrug 47.6 %, welcher signifikant größer ist als der Anteil an Fehlern von 33.3 %, wenn man von einem Rateverhalten ausginge, $F(1, 41) = 71.42$, $p < .001$.

Da für unsere Fragestellung eine Analyse der Merkmalsfehler keine Bedeutung hat, wurden hier nur die Raten der Konjunktionsfehler in zwei vierfaktoriellen ANOVAs ausgewertet. Für die Analyse der Konjunktionsfehler zum Einfluss der Ziffer auf der Zielebene wurde eine ANOVA mit den Faktoren *Zielebene* (Global vs. Lokal), *visuelles Feld* (LVF vs. RVF), *SMI* (kurz vs. medium vs. lang) und *Ziffer auf der Zielebene* (ZZ-2 vs. ZZ-5 vs. ZZ-6 vs. ZZ-9) ausgewertet.

Für die Analyse der Konjunktionsfehler zum Einfluss der Ziffer auf der nicht-Zielebene wurde eine ANOVA mit den Faktoren *Zielebene* (Global vs. Lokal), *visuelles Feld* (LVF vs. RVF), *SMI* (kurz vs. medium vs. lang) und *Ziffer auf der nicht-Zielebene* (ZNZ-2 vs. ZNZ-5 vs. ZNZ-6 vs. ZNZ-9) ausgewertet. Die Ergebnisse wurden in Abbildung 20 dargestellt.

*Konjunktionsfehler (allgemein)*

Der Haupteffekt des Faktors *SMI* war signifikant, $F(2, 82) = 94.5$, $p < .001$. Dieser besagt, dass die Konjunktionsfehler mit steigendem SMI abnahmen (18.5 %, 15.9 %, 11.8 %).

Der Faktor *Zielebene* hat mit dem Faktor *visuelles Feld* interagiert, $F(1, 41) = 34.33$, $p < .001$. Diese Interaktion wies auf den typischen Befund, dass für die Zielebene Global mehr Konjunktionsfehler entstehen, wenn der Reiz im RVF statt im LVF (19.3 % vs. 12.9 %) präsentiert wurde, während das gegensätzliche Muster für die Zielebene Lokal (11.7 % vs. 17.7 %) auffällt.

***Einfluss der Ziffern auf der Zielebene (ZZ)***

Der Haupteffekt des Faktors *ZZ* war signifikant, $F(3, 123) = 48.75$, $p < .001$. Probanden machten die meisten Fehler, wenn auf der Zielebene die Ziffer „5“ vorkam (22.7 %) und vergleichsweise die wenigsten, wenn auf der Zielebene die Ziffer „2“ vorkam (10.1 %). Die Fehlerraten für ZZ-9 und ZZ-6 liegen im mittleren Bereich (14.6 % und 14.3 %).

Die Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *ZZ* wurde signifikant, $F(3, 123) = 15.25$, $p < .001$. Während für die ZZ-9 mehr Fehler im LVF als im RVF beobachtet wurden (16.3 % vs. 12.8 %), war die Fehlerrate für die ZZ-6 im LVF kleiner als im RVF (11 % vs. 17.6 %). Für die ZZ-5 und ZZ-2 gab es keine wesentlichen Unterschiede in den Fehlerraten zwischen den visuellen Feldern (ZZ-5: 23 % vs. 22.3 %; ZZ-2: 10.8 % vs. 9.4 %).

Weiterhin war die Interaktion zwischen den Faktoren *SMI* und *ZZ* signifikant, $F(6, 246) = 4.05$, $p < .001$. Während die Fehlerraten für die ZZ-5 von dem kurzen über das mittlere bis zum langen SMI stärker abnahmen (27.6 %, 23.5 %, 16.9 %) als für die ZZ-9 und ZZ-6 (ZZ-9: 17.2 %, 15.2 %, 11.3 %; ZZ-6: 17.3 %, 14.9 %, 10.7 %), nahm die Fehlerrate für die ZZ-2 zwischen dem mittleren und längerem SMI geringer ab (12.1 %, 10 %, 8.2 %).

*Interaktion: Zielebene × ZZ*

Für unsere Fragestellung besonders wichtig ist die Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene* und *ZZ*, $F(3, 123) = 4.58$, $p < .01$. Diese zeigt, dass für die ZZ-9 weniger Fehler für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal gemacht wurden (13.5 % vs. 15.6 %), während für die ZZ-2 kein wesentlicher Unterschied zwischen den Zielebenen war (9.8 % vs. 10.4 %). Sowohl für die ZZ-6 als auch für die ZZ-5 fanden sich mehr Konjunktionsfehler für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal (ZZ-6: 15.5 % vs. 13.1 %; ZZ-5: 25.5 % vs. 19.8 %) (siehe Abbildung 20).

*Interaktion: Zielebene × visuelles Feld × ZZ*

Die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *ZZ* wurde ebenfalls signifikant, $F(3, 123) = 3.99$, $p < .01$. Während sich für die ZZ-5 und für die ZZ-2 für die Zielebenen Global und Lokal die typischen VF-Effekte zeigten (ZZ-5, Global: LVF 21.8 % < RVF 29.3, Lokal: LVF 24.3 % > RVF 15.4 %; ZZ-2, Global: LVF 8.5 % < 11.1 %, Lokal: LVF 13 % > RVF 7.7 %), waren keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Hemisphären für die ZZ-9 und die Zielebene Global und für die ZZ-6 und die Zielebene Lokal zu beobachten (ZZ-9, Global: LVF 13 % ≈ RVF 14 %, Lokal: LVF 19.6 % > RVF 11.6 %; ZZ-6: Global: LVF 8.1 % < 22.9 %, Lokal: LVF 13.8 % ≈ 12.3 %).

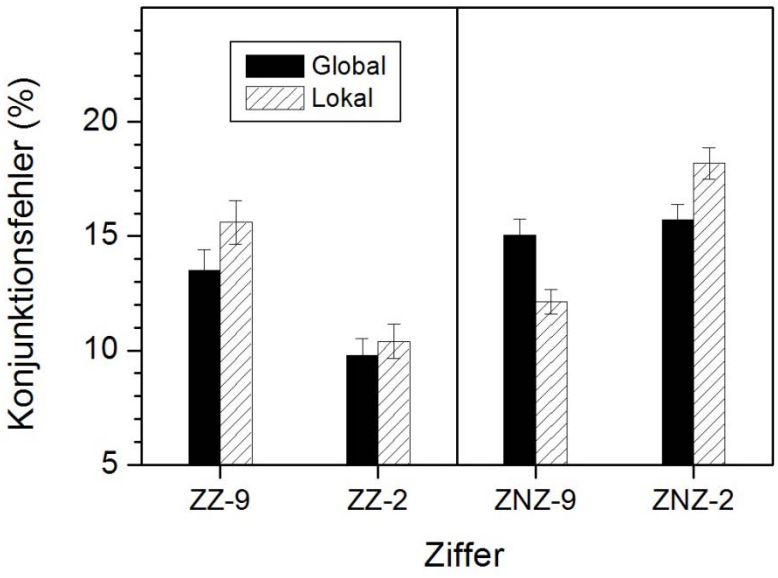


**Abbildung 20. Konjunktionsfehler der Ziffern auf der Zielebene (ZZ-9 und ZZ-2) und der Ziffern auf der nicht-Zielebene (ZNZ-9 und ZNZ-2) in Experiment 5a. Für ZZ sind die Zuordnungen ZZ-9/Global und ZZ-2/Lokal konsistent und ZZ-9/Lokal und ZZ-2/Global inkonsistent. Andersherum verhält es sich für ZNZ: ZNZ-9/Lokal und ZNZ-2/Global sind konsistente Zuordnungen und ZNZ-9/Lokal und ZNZ-2/Global sind inkonsistente Zuordnungen.**

***Einfluss der Ziffern auf der nicht-Zielebene (ZNZ)***

Der Haupteffekt des Faktors *ZNZ* war signifikant, $F(3, 123) = 7.57$, $p < .001$. Probanden machten die meisten Fehler, wenn auf der nicht-Zielebene die Ziffer „2“ vorkam (17.9 %) und vergleichsweise die wenigsten, wenn auf der nicht-Zielebene die Ziffer „9“ vorkam (12.9 %). Die Fehlerraten für ZNZ-5 und ZNZ-6 liegen im mittleren Bereich (14.5 % und 16.3 %).

Die Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *ZNZ* wurde signifikant, $F(3, 123) = 13.75$, $p < .001$. Während für die ZNZ-9 weniger Fehler im LVF als im RVF beobachtet wurden (10.4 % vs. 15.3 %), war die Fehlerrate für die ZNZ-6 im LVF größer als im RVF (19.7 % vs. 13 %). Für die ZNZ-5 und ZNZ-2 gab es keine wesentlichen Unterschiede in den Fehlerraten zwischen den visuellen Feldern (ZNZ-5: 13.8 % vs. 15.3 %; ZNZ-2: 17.3 % vs. 18.6 %).

*Interaktion: Zielebene × ZZ*

Für unsere Fragestellung besonders wichtig ist die Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene* und *ZNZ*, $F(3, 123) = 5.44$, $p < .01$. Diese zeigte, dass für die ZNZ-9 mehr Fehler für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal gemacht wurden (15.1 % vs. 10.7 %), während es sich für die ZNZ-2 andersherum verhielt (16.1 % vs. 19.8 %). Auch für die ZNZ-5 fanden sich mehr Konjunktionsfehler für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal (16.8 % vs. 12.3 %), während es für die ZNZ-6 keinen wesentlichen Unterschied zwischen den beiden Zielebenen gab (16.5 % vs. 16.2 %). (Siehe Abbildung 20)

*Interaktion: Zielebene × visuelles Feld × ZNZ*

Die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *ZNZ* wurde nicht signifikant, $F(3, 123) = 1.91$, $p = .132$.

## 2.3. DISKUSSION

Die Ergebnisse zeigen, dass die hier verwendete Methode erfolgreich eine hohe Rate an Konjunktionsfehlern generieren konnte. Zusätzlich finden sich in den Konjunktionsfehlern auch VF-Effekte in die jeweils erwartete Richtung. Dieser Befund bestätigt die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (Hübner & Volberg, 2005). Die identifizierten Inhalte sind in der

frühen Phase der Verarbeitung zunächst noch ungebunden und erst durch das aktive Binden an die Ebenen wird die mentale Repräsentation des hierarchischen Reizes ermöglicht. Weiterhin sagt die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie auch die Asymmetrie der Hemisphären voraus, welche anzeigen, dass für die erfolgreiche Bewältigung der Aufgabe das Binden von Inhalt und Ebene notwendig war. Auch in diesen Ergebnissen (wie in den Studien 1 und 2) fand sich die zu erwartende Abnahme der Konjunktionsfehler mit zunehmendem SMI.

Die Analyse der Daten zeigt, dass sowohl der Faktor „Ziffer auf der Zielebene“ (ZZ) als auch der Faktor „Ziffer auf der nicht-Zielebene“ (ZNZ) sowohl einen Haupteffekt als auch eine Interaktion mit dem Faktor VF aufweisen. Wurde die Ziffer „5“ auf der Zielebene dargeboten, so haben die Probanden wesentlich mehr Konjunktionsfehler gemacht, wohingegen sie im Vergleich zu den Ziffern „9“ und „6“ weniger Konjunktionsfehler gemacht haben, wenn die Ziffer „2“ auf der Zielebene war. Betrachtet man den Einfluss der Ziffern auf der nicht-Zielebene, so findet sich die höchste Fehlerrate für die Ziffer „2“ und die niedrigste für die Ziffer „9“. Diese deutlichen Divergenzen in den Konjunktionsfehlern für die ZZ und ZNZ sind vermutlich auf eine unterschiedlich gute Erkennbarkeit der Ziffern auf dem Bildschirm zurückzuführen. Da wir für die hier verwendete Darstellung die Ziffern vereinfacht haben, sodass keine Bögen mehr existieren, sondern nur noch horizontale und vertikale Linien die Ziffern bilden, werden sie möglicherweise unterschiedlich gut erkannt. Während die Ziffer „5“ eher schlecht erkannt wurde und daher auch viele Fehler gemacht wurden, wenn sie auf der Zielebene präsentiert wurde, ist zu vermuten, dass die Ziffer „2“ vergleichsweise gut erkannt wurde und somit sowohl weniger Fehler auf der Zielebene generiert hat, als auch häufiger genannt wurde, wenn sie auf der nicht-Zielebene erschien.

Weiterhin weist sowohl die Interaktion zwischen den Faktoren ZZ und VF als auch die Interaktion zwischen Faktoren ZNZ und VF für die beiden Ziffern „9“ und „6“ auf eine unterschiedliche Erkennbarkeit in den jeweiligen visuellen Feldern hin (für die Ziffern „2“ und „5“ waren keine Unterschiede in den Fehlerraten zwischen dem RVF und LVF zu beobachten). Wurde der Reiz im RVF präsentiert, haben die Probanden weniger Konjunktionsfehler gemacht für ZZ-9 im Vergleich zur Präsentation des Reizes im LVF. Für ZZ-6 verhielt es sich andersherum. Des Weiteren haben die Probanden weniger Konjunktionsfehler gemacht für ZNZ-9, wenn der Reiz im LVF präsentiert wurde im Vergleich zu einer Präsentation im RVF und auch hier verhielt es sich für ZNZ-6 andersherum. So ist anzunehmen, dass die Ziffer „9“ im Aufmerksamkeitsfokus besser im RVF als im LVF erkannt wird und in der Aufmerksam-

keitsperipherie wird sie besser im LVF als im RVF erkannt – für die Ziffer „6“ scheint es sich genau andersherum zu verhalten. Da lediglich die Ziffern „9“ und „6“ mit den visuellen Feldern interagieren, ist anzunehmen, dass dieser Effekt mit der geschlossenen Seite der beiden Ziffern zusammenhängt. Die Ziffern „5“ und „2“ verfügen über eine geschlossene Seite. Die Ziffer „9“ ist rechts-geschlossen und die Ziffer „6“ ist links-geschlossen, diese durchgehende, senkrechte Linie scheint prägnant zu sein und die Erkennbarkeit der Ziffer je nach VF und Aufmerksamkeitsfokus stark zu beeinflussen.

Da die Ziffern vermutlich aufgrund mehrerer Aspekte eine unterschiedliche Salienz aufweisen, ist es sinnvoll die Fehlerraten sowohl für die Interaktion zwischen den Faktoren Zielebene und ZZ als auch für die Interaktion zwischen den Faktoren Zielebene und ZNZ für jede Ziffer getrennt zu betrachten.

Wurde die Ziffer „9“ auf der Zielebene Global präsentiert (konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung), so haben die Versuchspersonen weniger Konjunktionsfehler gemacht, als wenn die Ziffer „9“ auf der Zielebene Lokal dargeboten wurde (inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung). Für ZZ-2 fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den hierarchischen Ebenen (siehe Abbildung 20). Ein Grund für das Fehlen eines Effektes für die ZZ-2 kann die allgemein sehr niedrige Fehlerrate für die Ziffer „2“ auf der Zielebene (ca. 10 %) sein. In der Analyse der Ziffern auf der nicht-Zielebene wurden mehr Fehler für die Ziffer „2“ auf der nicht-Zielebene gemacht. Hier zeigte sich in der Interaktion zwischen den Faktoren ZNZ und Zielebene, dass wesentlich mehr Konjunktionsfehler zu beobachten sind, wenn die Ziffer „2“ auf der nicht-Zielebene Global (inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung) zur Verfügung stand und nach der Zielebene Lokal gefragt wurde, im Vergleich zu der Darbietung der Ziffer „2“ auf der nicht-Zielebene Lokal (konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung) und der Frage nach der Zielebene Global. Für die ZNZ-9 verhielt es sich andersherum, Versuchspersonen haben wesentlich mehr Konjunktionsfehler gemacht, wenn die Ziffer „9“ auf der nicht-Zielebene Lokal zur Verfügung stand und nach der Zielebene Global gefragt wurde, im Vergleich zu der Darbietung der Ziffer „9“ auf der nicht-Zielebene Global und der Frage nach der Zielebene Lokal (siehe Abbildung 20).

Die Ergebnisse der Analyse für die ZZ und die ZNZ weisen daraufhin, dass der Größenkonsistenzeffekt einen Einfluss auf die Verarbeitung von hierarchischen Zahlen hat. Für die beiden kritischen Ziffern „2“ und „9“ lässt sich der Bindungskonsistenzeffekt zwischen

numerischer Größe und hierarchischer Ebene bestätigen. Eine numerisch kleinere Zahl (wie die Zahl „2“) wird bevorzugt an die Ebene Lokal (welche in der Regel auch physikalisch kleiner ist) gebunden, im Vergleich zu einer Bindung an die Ebene Global. Andersherum verhält es sich mit numerisch größeren Zahlen (wie die Zahl „9“), eine Bindung mit der Ebene Global (welche in der Regel auch physikalisch größer ist) wird hier bevorzugt vor einer Bindung mit der Ebene Lokal eines hierarchischen Reizes. Diese Bindungskonsistenz ließ sich besonders deutlich an der Interferenz der Information auf der nicht-Zielebene mit der Information auf der Zielebene ablesen, so war zu beobachten, dass mehr Konjunktionsfehler gemacht wurden, wenn bspw. die Ziffer „9“ auf der nicht-Zielebene Lokal als auf der nicht-Zielebene Global war. Wurde die Ziffer „9“ auf der nicht-Zielebene Lokal präsentiert, so provozierte diese inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung („9“-Lokal) das fälschliche Binden der Ziffer „9“ an die Ebene Global, um eine konsistente Inhalt-Ebenen-Bindung zu schaffen. Im Falle einer Präsentation der Ziffer „9“ auf der nicht-Zielebene Global wurden wesentlich weniger fälschliche Bindungen der Ziffer „9“ an die Ebene Lokal eingegangen. Befand sich die Ziffer „2“ auf der nicht-Zielebene, konnte ebenfalls eine Interferenz beobachtet werden. Es wurden mehr Konjunktionsfehler gemacht, wenn die Ziffer „2“ auf der nicht-Zielebene Global als auf der nicht-Zielebene Lokal dargeboten wurde. So wurden häufiger fälschliche Inhalt-Ebenen-Bindungen gemacht, damit die Ziffer „2“ an die Ebene Lokal gebunden wird, als für den Fall, dass die Ziffer „2“ eine Bindung mit der Ebene Global einginge. Dieser Befund zeigt, dass der Größenkonsistenzeffekt einen Einfluss auf das Binden von Ziffern mit unterschiedlichen numerischen Größen an die hierarchischen Ebenen Global und Lokal hat.

Jedoch zeigte die Präsenz einer inkonsistenten Bindung auf der nicht-Zielebene („2“-Global oder „9“-Lokal) keinen Einfluss auf den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene. Es konnte keine Modulation der VF-Effekte durch den Faktor ZNZ festgestellt werden. Somit führt der Bindungskonsistenzeffekt weder zu einem erleichterten noch zu einem erschwerten Binden von Inhalt und Ebene. Die beobachtete dreifach Interaktion zwischen den Faktoren Zielebene, visuelles Feld und ZZ, bezieht sich lediglich auf den Einfluss der unterschiedlichen Erkennbarkeit der beiden Ziffern „9“ und „6“ in den unterschiedlichen visuellen Feldern (siehe oben). Wie bereits erwähnt, konnten die Versuchspersonen die Ziffer „9“ im Aufmerksamkeitsfokus leichter im RVF erkennen als im LVF. In dem Muster eines typischen VF-Effektes für die Verarbeitung hierarchischer Reize zeigt sich für die Zielebene Global in der Regel ein deutlicher Vorteil der rechten Hemisphäre (RH-LVF), wohingegen in der linken

Hemisphäre (LH-RVF) mehr Konjunktionsfehler beobachtet werden. Da die Ziffer „9“ im RVF leichter zu erkennen war, hat dieser Umstand die Fehlerrate für ZZ-9 für die Zielebene Global im RVF gesenkt. Ähnlich hat es sich für die Ziffer „6“ verhalten. Dort lässt sich im Vergleich zu dem typischen Muster eines VF-Effektes eine Reduzierung der Konjunktionsfehler im LVF beobachten, was sich besonders für die Zielebene Lokal bemerkbar macht, da für die Verarbeitung der Zielebene Lokal in der Regel die RH (LVF) weniger Kapazitäten hat als die LH (RVF).

Zusammengefasst unterstützen die Ergebnisse dieses Experimentes die Idee, dass die von Goldfarb und Treisman (2010) postulierte Bindungskonsistenzhypothese auch für das Binden von Ziffern an hierarchische Ebenen zutrifft. Da wir uns hier jedoch ausschließlich mit den Konjunktionsfehlern beschäftigen, ist das Ausschließen von einer systematischen Verzerrung der Ergebnisse durch ein Rateverhalten unbedingt wichtig. Obwohl sowohl die hohe Rate an Konjunktionsfehlern als auch die Anwesenheit von für das Binden von Inhalt und Ebene charakteristischen VF-Effekten bereits die tatsächliche Existenz von Konjunktionsfehlern bestätigt, haben wir ein weiteres Experiment konstruiert, um die Durchgänge, in denen geraten wurde, herausfiltern zu können. Goldfarb und Treisman (2010) haben zur Kontrolle von Durchgängen, in denen geraten wurde, für jeden Durchgang eine Abfrage der Antwortzuversicht durchgeführt. In dem zweiten Experiment dieser Studie werden diese kritischen Durchgänge mit der Taste „?“ abgefangen.

# 3. EXPERIMENT 5B – HIERARCHISCHE ZIFFERN (MIT „?“-TASTE)

## 3.1. METHODE

*Versuchsteilnehmer*

14 Studenten (Durchschnittsalter 22 Jahre; 4 männlich) der Universität Konstanz, Deutschland, haben an diesem Experiment teilgenommen. Alle Versuchsteilnehmer hatten

normale oder zu-normal-korrigierte Sehkraft, waren laut Selbstaussage rechtshändig und haben jeweils 8 € für ihre Teilnahme erhalten.

*Versuchsaufbau, Reizmaterial und Vorgehen*

Der Versuchsaufbau in Experiment 5b entspricht dem vorherigen Experiment 5a. Auch hier wurden dieselben hierarchischen Ziffern (siehe Abbildung 18) in einem Maskierungsparadigma verwendet. Auch der zeitliche Verlauf eines Durchganges blieb bestehen (siehe Abbildung 19).

Es wurde in diesem Experiment jedoch die Taste „?“ eingeführt. Diese sollte immer dann verwendet werden, wenn die Versuchspersonen sicher waren, dass sie die Ziffer auf der Zielebene nicht gesehen haben. Die Aufgabe der Versuchsteilnehmer war es auch hier, die Ziffer auf der Ebene anzugeben, welche vorher vom Hinweisreiz spezifiziert wurde. Versuchsteilnehmer haben geantwortet, indem sie eines der fünf Antworttasten der Tastatur (vier Tasten wurden wie zuvor jeweils einer Ziffer zugewiesen und eine Taste dem „?“) gedrückt haben. Die Zuordnung von Ziffer bzw. „?“ und Tastaturtaste wurde zwischen den Versuchspersonen variiert, um mögliche Vorteile auszuschließen. Die Probanden wurden angeleitet, ohne Zeitdruck zu antworten und zu beachten, dass jeder Reiz aus zwei unterschiedlichen Ziffern konstruiert wurde. Sie wurden instruiert, die „?“ nur dann zu verwenden, wenn sie sicher waren, die Ziffer auf der Zielebene nicht gesehen zu haben. Nach jedem Block wurde ein Bildschirm zur Rückmeldung präsentiert, auf dem die Versuchsteilnehmer über ihre Fehlerrate im vergangenen Block informiert wurden. Hatten sie eine Fehlerrate von über 50 %, wurden sie angewiesen ihren Einsatz und ihre Konzentration zu erhöhen.

Nach 3 Übungsblöcken, bei denen die SMIs jeweils von 192 *ms* auf 96 *ms* und 64 *ms* abnahmen, mit jeweils 24 Durchgängen, durchlief jeder Versuchsteilnehmer 8 Testblöcke mit jeweils 72 Durchgängen in einer einzelnen einstündigen Sitzung. Dieser Aufbau führte zu 12 Durchgängen pro Bedingung.

## 3.2. ERGEBNISSE

Der durchschnittliche Anteil der Konjunktionsfehler an der Gesamtfehlerrate betrug 39.3 %, welcher signifikant größer ist als der Anteil an Fehlern von 33.3 %, wenn man von einem Rateverhalten ausginge, $F(1, 13) = 14.75$, $p < .01$. Die „?"-Taste wurde durchschnittlich in 3.5 % aller Durchgänge verwendet.

Da für unsere Fragestellung eine Analyse der Merkmalsfehler keine Bedeutung hat, wurden hier nur die Raten der Konjunktionsfehler in zwei vierfaktoriellen ANOVAs ausgewertet. Für die Analyse der Konjunktionsfehler zum Einfluss der Ziffer auf der Zielebene wurde eine ANOVA mit den Faktoren *Zielebene* (Global vs. Lokal), *visuelles Feld* (LVF vs. RVF), *SMI* (kurz vs. medium vs. lang) und *Ziffer auf der Zielebene* (ZZ-2 vs. ZZ-5 vs. ZZ-6 vs. ZZ-9) ausgewertet.

Für die Analyse der Konjunktionsfehler zum Einfluss der Ziffer auf der nicht-Zielebene wurde eine ANOVA mit den Faktoren *Zielebene* (Global vs. Lokal), *visuelles Feld* (LVF vs. RVF), *SMI* (kurz vs. medium vs. lang) und *Ziffer auf der nicht-Zielebene* (ZNZ-2 vs. ZNZ-5 vs. ZNZ-6 vs. ZNZ-9) ausgewertet Die Ergebnisse wurden in Abbildung 21 dargestellt.

*Konjunktionsfehler (allgemein)*

Der Haupteffekt des Faktors *SMI* war signifikant, $F(2, 26) = 20.39$, $p < .001$. Dieser besagt, dass die Konjunktionsfehler mit steigendem SMI abnahmen (16.1 %, 14.4 %, 10.8 %).

Der Faktor *Zielebene* hat mit dem Faktor *visuelles Feld* interagiert, $F(1, 13) = 8.18$, $p < .01$. Diese Interaktion wies auf den typischen Befund, dass für die Zielebene Global mehr Konjunktionsfehler entstehen, wenn der Reiz im RVF statt im LVF (19.1 % vs. 15.2 %) präsentiert wurde, während das gegensätzliche Muster für die Zielebene Lokal (8.1 % vs. 12.6 %) auffällt.

***Einfluss der Ziffern auf der Zielebene (ZZ)***

Der Haupteffekt des Faktors *ZZ* war signifikant, $F(3, 42) = 3.36$, $p < .05$. Die meisten Konjunktionsfehler wurden gemacht, wenn die Ziffer „5" auf der Zielebene präsentiert wurde (21.1 %), während die wenigsten Fehler gemacht wurden, wenn die Ziffer „2" auf der Zielebene dargeboten wurde (8.6 %). Auch die Fehlerrate der Konjunktiosfehler für die ZZ-6 war eher niedrig (10 %) und die Fehlerrate für die ZZ-9 lag eher im mittleren Bereich (14.4 %).

Die Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *ZZ* war signifikant, $F(3, 39) = 4.98$, $p < .01$. Wurde der Reiz im RVF präsentiert, wurden für die ZZ-9 weniger Konjunktionsfehler gemacht, als wenn der Reiz im LVF dargeboten wurde (12 % vs. 16.9 %). Für die ZZ-6 verhielt es sich andersherum (RVF 13.7 vs. LVF 8 %). Für die ZZ-5 und die ZZ-2 zeigten sich kaum Unterschiede zwischen den Fehlerraten der unterschiedlichen visuellen Felder (ZZ-5: RVF 21.7 % vs. LVF 20.5 %; ZZ-2: RVF 7 % vs. LVF 10.2 %).

Weiterhin war die Interaktion zwischen den Faktoren *ZZ* und *SMI* signifikant, $F(6, 78) = 3.3$, $p < .01$. Für die ZZ-5 zeigte sich eine stärkere Reduktion der Konjunktionsfehler über die SMIs hinweg im Vergleich zu den drei anderen ZZ (ZZ-5: 27.1 %, 21.9 %, 14.4 %; ZZ-9: 15.8 %, 15.6 %, 11.9 %; ZZ-6: 11.6 %, 11.6 %, 9.4 %; ZZ-2: 10 %, 8.5 %, 7.4 %).

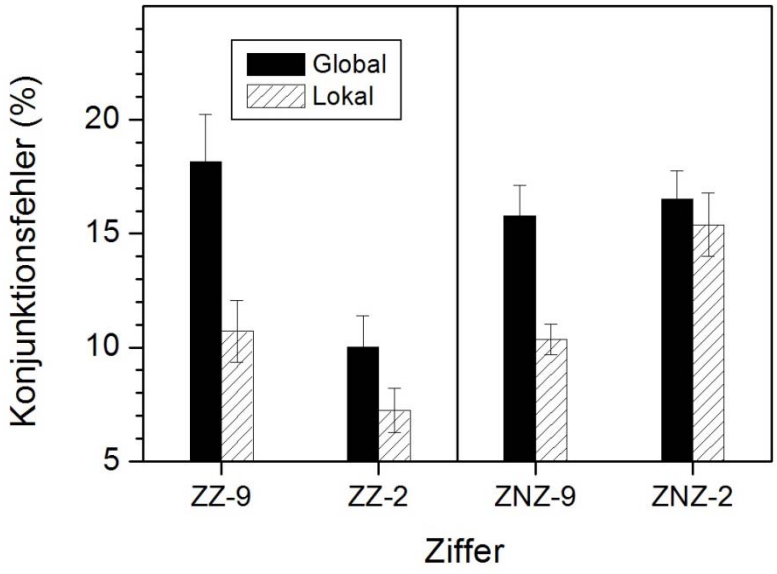


**Abbildung 21. Konjunktionsfehler der Ziffern auf der Zielebene (ZZ-9 und ZZ-2) und der Ziffern auf der nicht-Zielebene (ZNZ-9 und ZNZ-2) in Experiment 5b. Für ZZ sind die Zuordnungen ZZ-9/Global und ZZ-2/Lokal konsistent und ZZ-9/Lokal und ZZ-2/Global inkonsistent. Andersherum verhält es sich für ZNZ: ZNZ-9/Lokal und ZNZ-2/Global sind konsistente Zuordnungen und ZNZ-9/Lokal und ZNZ-2/Global sind inkonsistente Zuordnungen.**

*Interaktion: Zielebene × ZZ*

Die Interaktion zwischen den Faktor *Zielebene* und *ZZ* war nicht signifikant, $F(3, 39) = 0.85$, $p = .475$. Für alle ZZ war zu beobachten, dass tendenziell mehr Konjunktionsfehler auf der Ebene Global als auf der Ebene Lokal gemacht wurden (ZZ-9: Global 18.2 % vs. Lokal 10.1 %; ZZ-6: Global 14.4 % vs. Lokal 7.3 %; ZZ-5: Global 26.1 % vs. Lokal 16.2 %; ZZ-2: Global 10 % vs. Lokal 7.2 %).

*Interaktion: Zielebene × visuelles Feld × ZZ*

Die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *ZZ* war signifikant, $F(3, 39) = 5.56$, $p < .01$. Während sich sowohl für die ZZ-5 als auch für die ZZ-2 die typischen VF-Effekte für die Zielebenen Global und Lokal zeigten (ZZ-5, Global: LVF 22 % < RVF 30.2 %, Lokal: LVF 19 % > RVF 13.3 %; ZZ-2, Global: LVF 11.5 % < RVF 8.5 %, Lokal: LVF 8.9 % > RVF 5.6 %), gab es für die ZZ-9 auf der Zielebene Global und die ZZ-6 auf der Zielebene Lokal jeweils eine Reduktion der VF-Effekte (ZZ-9, Global: LVF 19 % ≈ RVF 17.3 %, Lokal: LVF 14.7 % > RVF 6.7 %; ZZ-6, Global: LVF 8.1 % < 20.6 %, Lokal: LVF 7.9 % ≈ RVF 6.7 %).

***Einfluss der Ziffern auf der nicht-Zielebene (ZNZ)***

Die Interaktion zwischen den Faktoren *visuelles Feld* und *ZNZ* war signifikant, $F(3, 39) = 7.48$, $p < .001$. Wurde die Ziffer „9“ auf der nicht-Zielebene präsentiert, machten die Versuchspersonen weniger Konjunktionsfehler für Reize im LVF als für Reize im RVF (9.1 % vs. 15.1 %), wurde die Ziffer „6“ auf der nicht-Zielebene präsentiert, so verhielt es sich andersherum (19.6 % vs. 9.6 %). Für die ZNZ-2 und ZNZ-5 gab es zwischen den visuellen Feldern keine wesentlichen Unterschiede (ZNZ-5: LVF 11.1 % vs. RVF 12.8 %; ZNZ-2: LVF 15.9 % vs. RVF 16.9 %).

Weiterhin war die Interaktion zwischen den Faktoren *ZNZ* und *SMI* signifikant, $F(6, 78) = 5.92$, $p < .001$. Diese zeigte an, dass die ZNZ-9 und die ZNZ-6 beide jeweils eine gleichmäßige Reduktion der Konjunktionsfehler mit zunehmendem SMI aufwiesen (ZNZ-9: 16.4 %, 12.1 %, 7.9 %; ZNZ-6: 19.8 %, 15.0 %, 9.1 %). Für die ZNZ-2 zeigte sich zunächst keine Reduktion und erst mit dem langen SMI nahmen die Konjunktionsfehler ab (17.9 %, 17.9 %, 13.5 %). Überraschenderweise fand sich für die ZNZ-5 eine leichte Zunahme der Konjunktionsfehler mit zunehmendem SMI (10.4 %, 12.6 %, 12.6 %).

*Interaktion: Zielebene × ZNZ*

Die Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene* und *ZNZ* war nicht signifikant, $F(3, 39) = 1.91$, $p = .145$. Für alle ZNZ war zu beobachten, dass tendenziell mehr Konjunktionsfehler auf der Ebene Global als auf der Ebene Lokal gemacht wurden (ZNZ-9:

Global 16.2 % vs. Lokal 8 %; ZNZ-6: Global 17.5 % vs. Lokal 11.8 %; ZNZ-5: Global 17.8 % vs. Lokal 6.1 %; ZNZ-2: Global 17.3 % vs. Lokal 15.6 %).

*Interaktion: Zielebene × visuelles Feld × ZNZ*

Auch die dreifach Interaktion zwischen den Faktoren *Zielebene*, *visuelles Feld* und *ZNZ* war nicht signifikant, $F(3, 39) = 2.53$, $p = .071$.

## 3.3. DISKUSSION

In Experiment 5b haben wir bis auf die Erweiterung der Antwortmöglichkeiten mit der „?"-Taste denselben Versuchsaufbau wie in Experiment 5a verwendet. Versuchspersonen wurden instruiert, die „?"-Taste zu verwenden, wenn sie sicher waren, dass sie die Ziffer auf der Zielebene nicht gesehen hatten. Mit dieser Änderung wollten wir die Durchgänge, in denen die Versuchspersonen geraten haben, herausfiltern und überprüfen, ob die beobachteten Effekte aus Experiment 5a weiterhin Bestand haben.

Allgemein lässt sich aus den Ergebnissen ablesen, dass durch das hier verwendete Verfahren wieder erfolgreich eine hohe Rate an Konjunktionsfehlern erzeugt werden konnte. Auch die beobachteten VF-Effekte in den Konjunktionsfehlern weisen das typische Muster der Hemisphären-Asymmetrie bei der Verarbeitung hierarchischer Reize auf. Weiterhin fand sich die typische Abnahme der Konjunktionsfehler bei steigendem SMI ähnlich wie in Experiment 5a.

Bei genauerer Betrachtung der Daten sind dieselben Hinweise auf unterschiedliche Erkennbarkeit der einzelnen Ziffern (siehe Diskussion Experiment 5a) abzulesen. So stieg beispielsweise die Fehlerrate, wenn die Ziffer „9" auf der Zielebene im LVF (im Vergleich zur Präsentation im RVF) dargeboten wurde. Für die Ziffer „6" verhielt es sich andersherum. Ähnlich wie in Experiment 5a drehte sich dieses Muster um, wenn man die Ziffern auf der nicht-Zielebene beobachtet. Wurde die Ziffer „9" auf der nicht-Zielebene präsentiert, so machten die Versuchspersonen wesentlich mehr Fehler, wenn der Reiz im RVF (im Vergleich zu einer Präsentation im LVF) dargeboten wurde. Auch hier verhielt es sich genau andersherum für die Ziffer „6". Es ist anzunehmen, dass die Erkennbarkeit der Ziffern „9" und „6" zusätzlich vom Aufmerksamkeitsfokus abhängt. Innerhalb des Aufmerksamkeitsfokus (Zielebene) war die Ziffer „9" leichter im RVF als im LVF zu erkennen und außerhalb des Auf-

merksamkeitsfokus kehrte sich der Erkennbarkeitsvorteil um, so dass die Ziffer „9“ auf der nicht-Zielebene leichter im LVF als im RVF zu erkennen war. Für die Ziffer „6“ verhielt es sich gegensätzlich. Wir nehmen an, dass hier tatsächlich die geschlossene Seite für die lateralen Vorteile eine wichtige Rolle spielt und so auch die Asymmetrie in der Erkennbarkeit erzeugt. Weiterhin konnte beobachtet werden, dass die Versuchspersonen insgesamt deutlich die meisten Fehler machten, wenn die Ziffer „5“ erkannt werden sollte und die wenigsten, wenn die Ziffer „2“ zu erkennen war. Auch hier deuten die Ergebnisse auf eine allgemein eher schlechte Erkennbarkeit der Ziffer „5“ und eine allgemein eher leichtere Erkennbarkeit der Ziffer „2“ hin.

Die für unsere Hauptfragestellung relevanten Interaktionen (die Interaktion zwischen den Faktoren Zielebene und ZZ und die Interaktion zwischen den Faktoren Zielebene und ZNZ) waren nicht signifikant. Hier scheint das Binden der Inhalte an die hierarchischen Ebenen Global und Lokal unbeeinflusst zu sein von der aufgaben-irrelevanten Information der numerischen Größe der Ziffern.

An Experiment 5b haben lediglich 14 Versuchspersonen teilgenommen, somit ist die statistische Power von Experiment 5b wesentlich geringer als von Experiment 5a (mit 42 Versuchspersonen). Die einzige Änderung im Versuchsaufbau zwischen den Experimenten 5a und 5b liegt in der Einführung der „?“-Taste. Diese sollte die Funktion erfüllen, alle Durchgänge, in denen die Versuchspersonen geraten haben, herauszufiltern und somit die dann verbleibenden Konjunktionsfehler von Ratedurchgängen zu bereinigen.

Nun stellt sich die wichtige Frage: Warum konnte der Bindungskonsistenzeffekt in Experiment 5b nicht bestätigt werden? Welche Faktoren können hier eine wichtige Rolle gespielt haben?

Betrachten wir zunächst den Gedanken einer mangelnden statistischen Power aufgrund nur weniger Versuchsteilnehmer. Wäre allein der Umstand, dass nicht ausreichend viele Versuchsteilnehmer untersucht worden seien, ausschlaggebend für die nicht-signifikanten Interaktionen zwischen den Faktoren Zielebene und ZZ und den Faktoren Zielebene und ZNZ, dann müssten die Ergebnisse zumindest in die Richtung der in Experiment 5a gefundenen Datenmuster gehen. Was die relevanten Interaktionen betrifft, so gehen die Ergebnisse von Experiment 5b nicht in die Richtung der Ergebnisse von Experiment 5a. Sowohl für alle ZZ als auch für alle ZNZ machten die Versuchspersonen durchgehend eher mehr Konjunktionsfehler auf der Zielebene Global als auf der Zielebene Lokal. Wir halten es daher

für unwahrscheinlich, dass die reduzierte statistische Power im Experiment 5b ausschlaggebend war für das Verschwinden des Bindungskonsistenzeffektes.

Vielmehr scheint uns der gewichtige Unterschied zwischen den beiden Experimenten in der Einführung der „?“-Taste zu liegen. Die Funktion dieser Taste bestand darin, die erhobenen Konjunktionsfehler von möglichen Effekten der Durchgänge, in denen Versuchspersonen geraten haben, zu bereinigen. Die „?“-Taste wurde von uns bewusst entweder auf die Tastaturtaste „P“ bzw. „Q“ (je nach Mapping) gelegt. Da die Testziffern „2, 5, 6, 9“ auf den Tasturtasten „D, F, J, K“ lagen (die Zuweisungen wurden je nach Mapping variiert), konnten die Testziffern komfortabel mit den Zeigefingern und Mittelfingern der beiden Hände bedient werden, wohingegen die Verwendung der „?“-Taste („P“ oder „Q“) immer zu einem Rhythmusbruch der Bearbeitung geführt hat. Mit dieser Methode sollte vermieden werden, dass Versuchspersonen die „?“-Taste aus Bequemlichkeit verwenden, vielmehr sollten die Versuchspersonen eher ihre Aufmerksamkeitskontrolle erhöhen, um so möglichst wenig Gebrauch von der „?“-Taste machen zu müssen. Die eher geringe Verwendungsrate der „?“-Taste (3.5 %) bestätigt, dass die Versuchspersonen tatsächlich sehr selten die „?“-Taste verwendet haben.

Unsere Ergebnisse können auf zweierlei Weise erklärt werden. Es ist denkbar, dass der Größenkonsistenzeffekt eben in diesen Rate-Durchgängen steckte, die durch die „?“-Taste herausgefiltert werden sollten. D.h. immer dann wenn die Versuchspersonen den Reiz nicht gesehen haben und zwischen den Antwortalternativen raten mussten, haben sie für die Zielebene Global eher auf die Ziffer „9“ und für die Zielebene Lokal eher auf die Ziffer „2“ getippt. Somit wäre der Größenkonsistenzeffekt ein Bias im Rateverhalten gewesen. In einem solchen Fall wäre davon auszugehen, dass der Größenkonsistenzeffekt keinen Einfluss auf das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal hat. Ein Bindungskonsistenzeffekt, wie ihn Goldfarb und Treisman (2010) dargestellt haben, wäre somit nicht übertragbar auf das Global/Lokal-Paradigma. Dieser Erklärungsansatz kann jedoch nicht erklären, warum der Anteil der Konjunktionsfehler an den Gesamtfehlern im Vergleich zu den Ergebnissen in Experiment 5a gesunken ist. Würde man nämlich die Durchgänge, in denen die Versuchspersonen die „?“-Taste verwendet haben, wieder in die Ergebnisse mit einbeziehen, so würden sich die Durchgänge gleichmäßig über alle Antwortalternativen verteilen und der Anteil der Konjunktionsfehler bliebe unverändert.

Als weitere Erklärungsalternative ist es denkbar, dass die Einführung der „?“-Taste auch zu einer veränderten Informationsverarbeitung geführt hat. Goldfarb und Treisman (2010) hatten in ihrem Experiment die Frage nach der Antwortzuversicht getrennt nach der Testfrage gestellt. So konnten die Versuchspersonen zunächst spontan und direkt auf den Testreiz antworten und erst in einem nächsten, zeitlich getrennten Schritt ihre Antwort auf einer Skala von 1 (sicher) bis 3 (geraten) einstufen. In unserem Experiment mussten die Versuchspersonen die beiden Fragen („Habe ich die Ziffer auf der Zielebene gesehen?“ und „Welche Ziffer wurde auf der Zielebene dargeboten?“) gleichzeitig beantworten. Sie sollten somit nicht nur die Ziffer auf der Zielebene erkennen und angeben (wie in Experiment 5a), sondern zusätzlich gleichzeitig überprüfen, ob sie eine Ziffer gesehen haben oder ob sie raten müssen. Berücksichtigt man die Wahrnehmungs-Belastungstheorie (*perceptual load theory*) (Lavie, 1995; Lavie, 2010) so wurde mit der Einführung der „?“-Taste die Aufgabenschwierigkeit erhöht und somit auch die kognitive Belastung (*cognitive load*) verstärkt. Da bei einer höheren kognitiven Belastung mit einer verminderten Aufmerksamkeitskontrolle (*attention control*) zu rechnen ist, sagt eine höhere kognitive Belastung eine höhere Interferenz mit aufgaben-irrelevanten Informationen voraus. Je mehr das Arbeitsgedächtnis (*working-memory*) bei der Aufgabenbewältigung belastet ist, desto geringer ist die Aufmerksamkeitskontrolle, die Folge ist, dass aufgaben-irrelevante Informationen ungehemmt und ungefiltert mitverarbeitet werden und somit eine höhere Interferenz mit aufgaben-irrelevanten Informationen zu erwarten ist (Kane & Engle, 2003).

Da unsere Ergebnisse jedoch eine geringere Interferenz mit der aufgaben-irrelevanten Information „numerische Größe“ aufzeigen, ist anzunehmen, dass die Versuchspersonen eine Vermeidungsstrategie angewendet haben. Wie bereits oben erwähnt, hatten wir das Mapping der „?“-Taste so ausgewählt, dass ihre Nutzung möglichst unkomfortabel sein sollte, damit diese Taste nicht übermäßig häufig verwendet wird. Um die „?“-Taste zu bedienen, müsste die einzelne Versuchsperson ihren Bearbeitungsrhythmus motorisch unterbrechen. Die Versuchspersonen hatten in der Regel ihre Zeigefinger auf den Tastaturtasten „F“ und „J“ und ihre Mittelfinger auf den Tastaturtasten „D“ und „K“ liegen. Um auf eine der vier Ziffern zu reagieren, war lediglich das Drücken mit einer dieser Finger notwendig. Die „?“-Taste, welche auf der Tastaturtaste „P“ (bzw. „Q“) lag, haben die meisten Versuchspersonen ebenfalls Zeigefinger oder Mittelfinger ihrer rechten (bzw. linken) Hand bedient, wofür die meisten Versuchspersonen ihren Blick vom Monitor abgewendet haben und auf die Tastatur geschaut

haben. Es ist anzunehmen, dass Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeitskontrolle gesteigert und so möglichst viel Wahrnehmungskapazität auf die Ziffer auf der Zielebene gerichtet haben, um die „?“-Taste zu meiden. Eine optimale Ausrichtung aller Wahrnehmungskapazität auf die Ziffer auf der Zielebene war sowohl kognitiv als auch motorisch ökonomisch. Zum Einen brauchte die Versuchsperson sich nicht bei jedem Durchgang zu fragen, ob sie die Ziffer gesehen hat, weil sie sie mit einer hohen Wahrscheinlichkeit gesehen hatte, und zum Anderen kann sie ihre Finger auf den Tasten ruhen lassen, die für die Testziffern angelegt waren. Wenn also durch eine gesteigerte Aufmerksamkeitskontrolle eine hohe Wahrnehmungsbelastung lediglich für die Verarbeitung der Ziffer auf der Zielebene zur Verfügung gestellt wurde, blieb nur noch wenig Wahrnehmungskapazität für aufgaben-irrelevante Informationen. In diesem Fall müsste sowohl die Rate der Konjunktionsfehler (welche ja auch eine Interferenz mit der aufgaben-irrelevanten Information auf der nicht-Zielebene ist) sinken, als auch der Größenkonsistenzeffekt reduziert werden. Genau diesen Fall finden wir in den Ergebnissen von Experiment 5b vor. Der Anteil der Konjunktionsfehler war im Vergleich zu Experiment 5a gesunken (47.6 % vs. 39.3 %) und der Größenkonsistenzeffekt war nicht mehr zu beobachten (keine Interaktion zwischen den Faktoren Zielebene und ZZ bzw. ZNZ).

Vergleichen wir die zwei unterschiedlichen Erklärungsansätze für das Fehlen der Größenkonsistenzeffekte und die Reduktion des Anteils der Konjunktionsfehler an der Gesamtfehlerrate, so kann der Ansatz der Vermeidungsstrategie der „?“-Taste seitens der Versuchspersonen die Ergebnisse besser erklären.

# 4. DISKUSSION VON STUDIE 3

Das Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, ob das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal eines hierarchischen Reizes im Falle einer frühzeitigen Störung der Verarbeitung bestimmten Regeln unterliegt. In der von Hübner und Volberg (2005) vorgestellten Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie heißt es, dass die Inhalte der hierarchischen Ebenen eines hierarchischen Objektes in der frühen Phase der Verarbeitung zunächst separat von ihren Ebeneninformationen repräsentiert werden. Für eine korrekte Repräsentation eines hierarchischen Objektes ist das Binden von Inhalt und Ebene notwendig. Ihre Theorie haben sie

empirisch gestützt, indem sie zeigten, dass es bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung hierarchischer Objekte häufig zu einer Vertauschung beim Binden der Inhalte an die Ebenen kommt. Wurde beispielsweise ein hierarchischer Buchstabe nur kurz gezeigt und seine Verarbeitung durch eine Maske unterbrochen, so entstanden Konjunktionsfehler, d.h. der Buchstabe auf der nicht-Zielebene wurde fälschlicherweise an die Zielebene gebunden. Ein einfaches Raten kann dann ausgeschlossen werden, wenn die Konjunktionsfehler in ihrer Proportion zu der Gesamtfehlerrate meist deutlich über 1/3 liegen. Auch in dieser Studie hatten die Konjunktionsfehler in beiden Experimenten einen signifikant höheren Anteil an der Gesamtfehlerrate als 1/3.

Auch konnten wir in den Ergebnissen beider Experimente das typische Muster der Effekte des visuellen Feldes vorfinden, welche durch die unterschiedlichen Kapazitäten der Hemisphären, Inhalte der einzelnen Ebenen zu verarbeiten, entstehen. So konnte gezeigt werden, dass die RH schneller und leichter Inhalte an die Ebene Global bindet, während die LH effizienter Inhalte an die Ebene Lokal bindet. Hübner und Volberg (2005) konnten zusätzlich zeigen, dass die Hemisphären sich lediglich bezüglich des Bindens von Inhalten an die entsprechenden Ebenen unterscheiden und keine Hemisphären-Unterschiede für die Identifikation der Inhalte festzustellen sind. Wie wir in Studie 1 bereits ausführlich besprochen haben, kann diese spezielle Asymmetrie der Hemisphären verwendet werden, um Einflüsse von unterschiedlichen Faktoren auf den Prozess des Bindens von Inhalt und Ebene zu untersuchen. Kann die experimentelle Variation einer Variablen zu einer Reduktion der VF-Effekte führen, so kann geschlussfolgert werden, dass dieser Faktor den Mechanismus des Bindens moduliert. In keinem der beiden Experimente dieser Studie konnte eine Manipulation der VF-Effekte beobachtet werden.

Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie von Hübner und Volberg (2005) wurde ursprünglich angeregt durch die Merkmalsintegrationstheorie von Treisman und Gelade (1980). Treisman und Gelade (1980) konnten zeigen, dass die unterschiedlichen Merkmale eines Reizes in der frühen Phase der Verarbeitung zunächst noch ungebunden und frei flottierend sind und erst mittels gerichteter Aufmerksamkeit gebunden werden. Goldfarb und Treisman (2010) haben untersucht, ob im Falle einer frühzeitigen Störung des Verarbeitungsprozesses das Binden der Merkmale einer Regel unterliegt. Dazu untersuchten sie in ihrem Experiment 1, ob der Größenkonsistenzeffekt zwischen den beiden Reizmerkmalen „numerische Größe“ und „Schriftgröße“, der für die Verarbeitung von Ziffern bereits bekannt ist, einen Einfluss auf das

Binden von Merkmalen hat. Sie konnten zeigen, dass das Binden von inkonsistenten Merkmalen eines Objektes zu einer höheren Fehlerrate führt und dass inkonsistente Merkmale häufiger ersetzt werden durch Merkmale, die die mentale Repräsentation des Reizes konsistent machen als andersherum. Daraus haben Goldfarb und Treisman (2010) geschlussfolgert, dass im Falle einer frühzeitigen Störung der Verarbeitung von Reizen mit mehreren Merkmalen, die noch ungebundenen Merkmale nach der Regel der Konsistenz gebunden werden (Bindungskonsistenzeffekt).

Durch diese Ergebnisse wurden wir angeregt, zu untersuchen, ob im Falle einer frühzeitigen Störung der Verarbeitung von hierarchischen Reizen, die noch ungebundenen Inhalte ebenfalls nach der Regel der Konsistenz an die Ebenen gebunden werden. Wir haben in beiden Experimenten dieser Studie untersucht, ob die Größen-Konsistenz bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung von hierarchischen Ziffern das Binden der Ziffern an die Ebenen Global und Lokal moduliert.

In beiden Experimenten erfolgte die Variation der Schriftgröße allein durch die Ebenenzugehörigkeit. Die Ziffer auf der Ebene Lokal war physikalisch kleiner als die Ziffer auf der Ebene Global (siehe Abbildung 18). Die numerische Größe wurde in beiden Experimenten variiert, indem wir die Ziffer „2“ und die Ziffer „9“ verwendet haben. Wenn also bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung von hierarchischen Ziffern das Binden der Ziffer an die Ebenen Global und Lokal dem Größenkonsistenzeffekt unterliegt, dann sollten die Konjunktionsfehlerraten vergleichsweise höher sein, wenn inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen (sowohl für die Zielebene als auch für die nicht-Zielebene) vorliegen.

Sowohl in Experiment 5a als auch in Experiment 5b waren die Faktoren Zielebene, Ziffer auf der Zielebene (ZZ) bzw. Ziffer auf der nicht-Zielebene (ZNZ), visuelles Feld und SMI jeweils randomisiert und alle Reize wurden maskiert. Für die Datenanalyse wurden jeweils zwei getrennte ANOVAs (eine mit den Faktoren Zielebene, ZZ, visuelles Feld und SMI und die zweite mit den Faktoren Zielebene, ZNZ, visuelles Feld und SMI) durchgeführt.

In unserem ersten Experiment wiesen die Ergebnisse der Datenanalyse daraufhin, dass der Größenkonsistenzeffekt bei frühzeitiger Störung der Reizverarbeitung durch eine Maske das Binden von Ziffern an die hierarchischen Ebenen Global und Lokal moduliert. Die signifikanten Interaktionen zwischen den Faktoren Zielebene und ZZ und den Faktoren Zielebene und ZNZ zeigten beide, dass die Konjunktionsfehlerraten höher waren, wenn inkonsistente

Inhalt-Ebenen-Zuordnungen vorlagen, als wenn konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen dargeboten wurden. Befand sich die Ziffer „9“ (große numerische Größe) auf der nicht-Zielebene, so machten die Versuchspersonen mehr Konjunktionsfehler für die Zielebene Global als für die Zielebene Lokal. Andersherum machten die Versuchspersonen mehr Kojunktionsfehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global, wenn die Ziffer „2“ (kleine numerische Größe) auf der nicht-Zielebene dargeboten wurde. Wurde die Ziffer „9“ auf der Zielebene präsentiert, so haben Probanden mehr Konjunktionsfehler für die Zielebene Lokal als für die Zielebene Global gemacht. Für die Ziffer „2“ auf der Zielebene gab es keine wesentlichen Unterschiede in den Konjunktionsfehlern zwischen den Zielebenen Global und Lokal. Es ist zu vermuten, dass dieser geringe Unterschied mit der insgesamt sehr geringen Fehlerrate für die Ziffer „2“ auf der Zielebene erklärt werden muss. Es ist denkbar, dass die Ziffer „2“ auf der Zielebene besonders gut erkannt werden konnte und so ein Bodeneffekt in dieser Bedingung entstanden ist, durch den keine weiteren Differenzierungen mehr möglich sind.

In unserem zweiten Experiment wollten wir unsere Ergebnisse aus Experiment 5a replizieren und zusätzlich mit der Einführung einer zusätzlichen Antwortalternative „?“ jene Durchgänge herausfiltern, in denen die Versuchspersonen die Ziffer auf der Zielebene nicht gesehen und deshalb geraten haben. Mit dieser Erweiterung der Antwortalternativen wollten wir zusätzlich unseren Versuchsaufbau mehr an das Experiment von Goldfarb und Treisman (2010) angleichen. Die Versuchspersonen sollten in dem Experiment 1 von Goldfarb und Treisman (2010) nachdem sie mit einer Ja/Nein-Antwort auf die Testfrage reagiert hatten, ihre Antwort auf einer Skala von 1 (sicher) bis 3 (geraten) einstufen. Damit war es möglich jene Durchgänge, in denen die Probanden geraten hatten, aus der Datenanalyse auszuschließen. Durch die Einführung der „?“-Taste als zusätzliche Antwortalternative zu den vier möglichen Ziffern hatten die Versuchspersonen in unserem Experiment 5b die Möglichkeit, immer dann, wenn sie die Ziffer auf der Zielebene nicht gesehen hatten, mit der „?“-Taste zu reagieren, so dass die Durchgänge, in denen die Probanden geraten haben, aus der Datenanalyse ausgeschlossen wurden. Im Unterschied zu dem Versuchsablauf in dem Experiment von Goldfarb und Treisman (2010) mussten die Versuchspersonen in unserem Experiment 5b somit die Ziffer auf der Zielebene nennen und gleichzeitig einstufen, ob sie sie wirklich gesehen haben.

Überraschenderweise hatte diese Änderung im Versuchsaufbau dann zu wesentlichen Unterschieden in den Ergebnissen geführt. Zunächst zeigte sich in der Datenanalyse, dass der

Anteil der Konjunktionsfehler an der Gesamtfehlerrate im Vergleich zu Experiment 5a geringer war. Weiterhin konnten keine Bindungskonsistenzeffekte mehr beobachtet werden. Das Fehlen der Bindungskonsistenzeffekte kann nicht mit der im Vergleich zu Experiment 5a kleineren statistischen Power von Experiment 5b erklärt werden, da die Ergebnisse nicht ansatzweise in dieselbe Richtung gehen.

Wir halten zwei Erklärungsalternativen für möglich. Es ist möglich, dass nicht das Binden von Inhalt und Ebene bei hierarchischen Ziffern bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung nach den Regeln der Größenkonsistenz moduliert wird, sondern dass das Raten von Antwortalternativen für die Ebenen von hierarchischen Ziffern nach den Regeln der Größenkonsistenz verteilt ist. In diesem Fall würden Probanden, immer dann, wenn sie die Ziffer auf der Zielebene nicht gesehen haben, für die Zielebene Global eher auf die Ziffer „9“ und für die Zielebene Lokal eher auf die Ziffer „2“ tippen. Mit diesem Ansatz können wir jedoch nicht sicher bestimmen, warum der Anteil der Konjunktionsfehler an der Gesamtfehlerrate gesunken ist.

Eine weitere Erklärungsalternative beschäftigt sich mit der Wirkung der Einführung der „?“-Taste. Aufgrund der für die Versuchspersonen schwierigeren Bedienung der „?“-Taste vermuten wir eine Vermeidungsstrategie der „?“-Taste seitens der Versuchspersonen. So ist es denkbar, dass Versuchspersonen ihre Aufmerksamkeitskontrolle gesteigert und mehr Wahrnehmungskapazität für das Erkennen der Ziffer auf der Zielebene aufgewendet haben, um die Nutzung der „?“-Taste zu vermeiden. Durch diese hohe Belastung der Wahrnehmungskapazität für die Bewältigung der Aufgabe, die Ziffer auf der Zielebene zu benennen, blieb nur noch wenig Wahrnehmungskapazität für aufgaben-irrelevante Informationen übrig. Diese verminderte Interferenzmöglichkeit durch die aufgaben-irrelevanten Informationen zeigt sich sowohl an der geringeren Interferenz mit der Information auf der nicht-Zielebene (weniger Konjunktionsfehler) als auch an dem Ausfall der Interferenz mit der Information über die numerische Größe. Da die aufgaben-irrelevante Information der nicht-Zielebene dennoch leicht interferierte, während die aufgaben-irrelevante Information der numerischen Größe keine Effekte mehr zeigte, lässt sich vermuten, dass trotz großer Bemühungen alle Wahrnehmungskapazität auf die Zielebene zu fokussieren, die nicht-Zielebene bei hierarchischen Reizen nicht komplett ignoriert werden konnte, während für die Verarbeitung der Information über die numerische Größe keine restliche Kapazität mehr zur Verfügung stand. Wir halten diese zweite Erklärungsalternative für wahrscheinlicher, da sie die Ergebnisse umfangreicher erklären kann.

Zusammenfassend lässt sich jedoch sagen, dass die Ergebnisse zumindest feststellen können, dass unter bestimmten Voraussetzungen, das Binden von Inhalten an die Ebenen hierarchischer Reize bei frühzeitiger Störung der Verarbeitung durch die Regeln der Bindungskonsistenz moduliert werden kann.

Denn selbst wenn wir annehmen, dass (wie in der ersten Erklärungsalternative beschrieben) die Größenkonsistenzeffekte, die wir in den Ergebnissen von Experiment 5a zeigen konnten, lediglich für die Durchgänge gelten würden, in denen die Versuchspersonen geraten haben, bietet auch das Rateverhalten der Versuchspersonen einen Hinweis auf die Bindungsdynamik zwischen Inhalten und Ebenen hierarchischer Reize. Es würde sich doch die Frage stellen: Warum neigen Versuchspersonen dazu, immer dann, wenn sie keine Ziffer gesehen haben und raten müssen, die Ziffern mit der kleinen numerischen Größe der Ebene Lokal und die Ziffern mit der größeren numerischen Größe der Ebene Global zuzuordnen? Auch hier würde man mit der Neigung zur Bindungskonsistenz, wie sie Goldfarb und Treisman (2010) postuliert haben, argumentieren. Denn ein systematisches Rateverhalten welches die Tendenz zur Erzeugung von konsistenten Inhalt-Ebenen-Bindungen aufweisen würde, wäre ebenfalls ein wichtiger Hinweis auf den Mechanismus des Bindens.

So kommen wir unter Einbezug der Ergebnisse und Überlegungen zu dem Schluss, dass anzunehmen ist, dass bei der Verarbeitung von hierarchischen Reizen je nach Ausrichtung der Aufmerksamkeit bzw. Wahrnehmungskapazitäten aufgaben-irrelevante Informationen das Binden von Inhalten an die hierarchischen Ebenen Global und Lokal beeinflussen können. Dabei ist es wahrscheinlich, dass eine Bindungskonsistenz im Sinne von Goldfarb und Treisman (2010) bevorzugt wird und daher häufiger Konjunktionsfehler erzeugt werden, um inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen zu konsistenten mentalen Inhalt-Ebenen-Bindungen zu überführen.

# GESAMTDISKUSSION

Die vorliegende Arbeit untersuchte mögliche Einflussfaktoren auf den Bindungsprozess von Inhalten und den Ebenen Global und Lokal bei der Verarbeitung hierarchischer Reize. Im Global/Lokal-Paradigma ist die Idee, dass für die Verarbeitung von hierarchischen Reizen das aktive Binden von in der frühen Phase identifizierten Inhalten an die Ebenen Global und Lokal notwendig ist, bereits weitverbreitet und anerkannt. Ein weiterer zentraler Bereich im Global/Lokal-Paradigma beschäftigt sich mit der Asymmetrie der Hemisphären bezüglich ihrer Kapazitäten Inhalte auf den Ebenen Global und Lokal zu verarbeiten. Das Vorliegen der für die Verarbeitung hierarchischer Reize typischen Hemisphären-Asymmetrie wird oft als Bestätigung und Charakteristikum für das Stattfinden des Bindungsprozesses von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal angesehen. Dabei beschreibt die Bindungsasymmetrie-Hypothese, dass diese typische Hemisphären-Asymmetrie nicht für die Identifikation von Inhalten, sondern exklusiv nur für den Bindungsprozess gilt.

Zunächst wurde der Fragestellung nachgegangen, ob Variationen der Faktoren Reiztyp (bzw. spezifische Raumfrequenzverteilung), Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung eine Modulation des Mechanismus des Bindens von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal bewirken können. Dabei wurde eine Modulation der Hemisphären-Unterschiede als Hinweis auf eine Einwirkung auf den Mechanismus des Bindens verstanden. Fasst man die Ergebnisse der drei Experimente aus Studie 1 zusammen, so konnte gezeigt werden, dass es unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist, das Binden von Inhalt und Ebene bei einem hierarchischen Reiz durch Ebenenwiederholung oder durch Variation des Reiztypes (bzw. spezifische Raumfrequenzverteilung) zu verbessern. Es ist anzunehmen, dass die Ebenen eines hierarchischen Reizes als abstrakte Kategorien repräsentiert werden und dass die Identitäten der Inhalte an diese Ebenenkategorien durch ihre unterschiedlichen Raumfrequenzen gebunden werden. Der Prozess des Bindens kann somit sowohl durch eine Voraktivierung einer Ebenenkategorie (durch Ebenenwiederholung) als auch durch eine erleichterte Raumfrequenzanalyse (abhängig vom Reiztyp) verbessert werden.

Da die Bindungsasymmetrie-Hypothese nur durch geringe empirische Evidenz getragen wurde, beschäftigte sich die zweite Fragestellung der vorliegenden Arbeit mit der Frage, ob

die durch die Hemisphären-Unterschiede entstehenden VF-Effekte nur dann beobachtbar sind, wenn das Binden von Inhalt und Ebene stattfindet, oder ob sie auch durch die Identifikation der Inhalte entstehen können. Die Ergebnisse zeigten, dass jene Konjunktionsfehler, die durch die Vertauschung der Inhalte zwischen den Ebenen eines hierarchischen Reizes entstanden (Ebenenfehler), VF-Effekte aufwiesen, wohingegen jene Fehler, die durch eine Verwechslung der in unterschiedlichen VF bzw. Reizen identifizierten Inhalte entstanden waren (Positionsfehler), keine VF-Effekte beobachten ließen. Zusammenfassend konnten unsere Ergebnisse die Bindungsasymmetrie-Hypothese unterstützen.

Die dritte Fragestellung der vorliegenden Arbeit beschäftigte sich mit der Frage, ob der Größenkonsistenzeffekt Auswirkungen auf das Binden von Inhalt und Ebene haben kann. Dem Bindungskonsistenzeffekt zufolge erzeugen inkonsistente Zusammensetzungen von Merkmalen eines Reizes mehr Fehler als konsistente Zusammensetzungen, sodass häufiger Konjunktionsfehler gemacht werden, um konsistente Bindungen zwischen Merkmalen zu erzeugen. Wird dieser Gedanke in das Global/Lokal-Paradigma übertragen, so ist zu erwarten, dass eine inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung mehr Fehler provoziert als eine konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnung. Die Ergebnisse im ersten Experiment der dritten Studie waren durchaus mit dem Gedanken vereinbar, dass der Größenkonsistenzeffekt zwischen numerischer Größe und physikalischer Größe durchaus auf das Binden von Inhalt und Ebene bei frühzeitiger Störung des Verarbeitungsprozesses wirkt. Denn die Fehlerrate bei inkonsistenten Inhalt-Ebenen-Zuordnungen – sowohl für die Zielebene als auch für die nicht-Zielebene – waren höher als für konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen. Da die Ergebnisse des Folgeexperiments keine Auswirkungen des Größenkonsistenzeffektes auf das Binden von Inhalt und Ebene zeigen konnten, ist anzunehmen, dass der Bindungskonsistenzeffekt nur unter bestimmten Voraussetzungen im Global/Lokal-Paradigma aufzufinden ist. So können bei der Verarbeitung von hierarchischen Reizen je nach Ausrichtung der Aufmerksamkeit bzw. Wahrnehmungskapazitäten aufgaben-irrelevante Informationen (wie bspw. die numerische Größe einer Ziffer) nur begrenzt das Binden von Inhalt und Ebene beeinflussen.

# 1. DIE GRÖßE DER HIRNASYMMETRIE ALS MAß FÜR DIE INHALT-EBENEN-BINDUNG

Die mittlerweile weitverbreitete und anerkannte Inhalt-Ebenen-Bindungs-Theorie von Hübner und Volberg (2005) beschreibt, dass in der frühen Phase der Verarbeitung hierarchischer Reize die Inhalte noch nicht an den Ebenen Global und Lokal gebunden sind und erst in einer späteren Verarbeitungsphase aneinander gebunden werden. Die bisherigen Überlegungen zu dem Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene waren bisher jedoch eher vage.

Flevaris, Bentin und Robertson (2010) haben sich die Bindungsasymmetrie-Hypothese, die besagt, dass die Hemisphären sich bezüglich ihrer Kapazitäten Inhalte an die jeweiligen Ebenen zu binden, unterscheiden, zu Nutze gemacht und diese Hirnasymmetrie als Maß für den Erfolg der Inhalt-Ebenen-Bindung herangezogen. Es ist bekannt, dass die rechte Hemisphäre (RH) schneller und leichter Inhalte an die Ebene Global und die linke Hemisphäre effizienter Inhalte an die Ebene Lokal bindet. Flevaris et al. (2010) folgten der Annahme, dass im Falle einer Erleichterung des Bindens von Inhalt und Ebene durch einen bestimmten Faktor mit einer Reduktion der Hemisphären-Unterschiede zu rechnen ist. Dieser Gedanke wurde fortgesetzt mit der Vorstellung, dass ein Einflussfaktor, der in der Lage ist, das Binden von Inhalt und Ebene zu erleichtern, den Mechanismus des Bindens auch maßgebend moduliert.

Nach dem DFF-Modell (Ivry & Robertson, 1998) stehen die Hemisphären-Unterschiede in einem engen Zusammenhang mit der Verarbeitung der Raumfrequenzen eines Reizes. Ein erster Filter wählt die aufgaben-relevante Spannbreite der Raumfrequenzen, während der zweite Filter durch die unterschiedlichen Spezialisierungen der Hemisphären entsteht. Dabei werden die Informationen der hohen Raumfrequenzen von der LH und die niedrigen Raumfrequenzen von der RH weiterverarbeitet. Das DFF-Modell basiert auf der Vorstellung, dass Raumfrequenzen eine bedeutende Rolle bei der Verarbeitung von hierarchischen Reizen spielen. Flevaris et al. (2010) konnten zeigen, dass das Kategorisieren von niedrigen Raumfrequenzen zu einer Reduktion der Hemisphären-Unterschiede für die Verarbeitung von Informationen auf der Ebene Global im Folgedurchgang führte und das Kategorisieren von hohen Raumfrequenzen eine Reduktion der Hemisphären-Unterschiede für die Verarbeitung von Informationen auf der Ebene Lokal im Folgedurchgang erzielte. D.h. die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion niedriger Raumfrequenzen erleichterte das Binden von Inhalten an die Ebene

Global für die LH und aufmerksamkeitsgeleitete Selektion hoher Raumfrequenzen erleichterte das Binden von Inhalten an die Ebene Lokal für die RH. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde spekuliert, ob die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von Raumfrequenzen nicht maßgebend ist für den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene.

In Studie 1 wurde untersucht, ob die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von Raumfrequenzen oder aber von abstrakten Ebenenkategorien den Prozess des Bindens moduliert. Dazu wurde der Einfluss der Faktoren Reiztyp (Raumfrequenzverteilung), Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung auf die Hemisphären-Unterschiede beobachtet. Zunächst stand der Einfluss des Reiztypes (Experiment 1) im Vordergrund und dann wurden die beiden Faktoren Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung zusätzlich integriert (Experiment 2 und 3). Dabei wurde (wie in allen Experimenten der Arbeit) ein Maskierungsparadigma verwendet, das stark an Hübner und Volberg (2005) angelehnt war. Es wurden hierarchische Buchstaben verwendet, die nach kurzer Darbietungsdauer maskiert wurden. Der Reiztyp wurde variiert, indem gefüllte und umrandete Buchstaben verwendet wurden. Zunächst wurde der Reiztyp zwischen den Versuchspersonen variiert (Experiment 1), später wurde der Reiztyp randomisiert dargeboten und die Sequenzeffekte aus der Datenanalyse erhoben (Experiment 2). Schließlich entwickelte sich der Versuchsaufbau dahingehen, dass ein zentral-dargebotener, nicht-maskierter hierarchischer Buchstabe als Prime verwendet wurde, bei dem ebenfalls der Buchstabe auf der Zielebene genannt werden sollte (Experiment 3). Hier wurden die Bedingungen für Prime und Testaufgabe geblockt. Die Frage war, ob eines oder mehrere der drei Faktoren Reiztyp (bzw. spezifische Raumfrequenzverteilung), Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung einen Einfluss auf die Hemisphären-Unterschiede zeigen würde, was einen Rückschluss auf ihre Rolle für den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene erlauben würde.

Sowohl in Experiment 1 als auch in Experiment 2 zeigten sich keine Effekte der Faktoren Reiztyp, Reiztypwiederholung und Ebenenwiederholung auf die Hemisphären-Unterschiede für die Verarbeitung der Ebenen Global und Lokal. Es zeigte sich in Experiment 2 lediglich eine allgemeine Verbesserung der Reaktion unter der Bedingung, dass die Zielebene zwischen zwei Durchgängen wiederholt wurde. Die Änderungen im Versuchsaufbau für das Experiment 3 haben dann zu wesentlichen Unterschieden in den Ergebnisse geführt. Sowohl der Reiztyp als auch die Ebenenwiederholung zeigten einen Einfluss auf die Hemisphären-Unterschiede. Die umrandeten Reize bewirkten eine Reduktion der Hemisphären-

Unterschiede im Vergleich zu den gefüllten Reizen. Hat sich die Zielebene zwischen Prime-Reiz und Hauptreiz wiederholt, so war ebenfalls ein (im Vergleich zu einem Wechsel der Zielebene zwischen Prime-Reiz und Hauptreiz) reduzierter Hemisphären-Unterschied zu beobachten. Die Reduktion der Hemisphären-Unterschiede lässt jeweils auf eine Erleichterung des Bindens von Inhalt und Ebene schließen.

Anhand der drei Experimente lässt sich spekulieren, dass das Binden von Inhalt und Ebene unter spezifischen Bedingungen durchaus von Faktoren wie Reiztyp und Ebenenwiederholung moduliert werden kann. Es ist sinnvoll, sowohl die Inhalt-Ebenen-Bindungs-Theorie (Hübner & Volberg, 2005) als auch die DFF-Theorie (Ivry & Robertson, 1998) zur Erklärung heranzuziehen. Insgesamt lässt der Befund darauf hinweisen, dass die Ebenen eines hierarchischen Reizes als abstrakte Kategorien repräsentiert werden und dass die Identitäten der Inhalte mittels spezifischer Raumfrequenzen (relativ hohe vs. relativ niedrige) an diese Ebenenkategorien gebunden werden. Der Prozess des Bindens kann daher sowohl durch eine Voraktivierung einer Ebenenkategorie durch Ebenenwiederholung als auch durch eine erleichterte Raumfrequenzanalyse verbessert werden.

## 2. DIE DIFFERENZIERUNG ZWISCHEN INTEGRATION UND IDENTIFIKATION

Nach der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie (Hübner & Volberg, 2005) setzt die korrekte Repräsentation eines hierarchischen Reizes sowohl die Identifikation der Inhalte als auch die Integration bzw. das Binden der Inhalte voraus. Somit sind die Effekte dieser beiden Prozesse in den Ergebnissen der Untersuchungen zunächst konfundiert. Der Bindungsasymmetrie-Hypothese (Hübner & Volberg, 2005) zufolge, lassen sich diese beiden Prozesse anhand der Hemisphären-Asymmetrie unterscheiden. Dabei wird angenommen, dass die Hemisphären sich ausschließlich bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte an die Ebenen Global und Lokal zu binden, unterscheiden und keine Unterschiede in ihrer jeweiligen Identifikationskapazität aufweisen. Eine indirekte Evidenz für diese Annahme lässt sich aus einigen Reaktionszeitstu-

dien (z.B. Hübner, Volberg & Studer, 2007; Schlösser, Hübner & Studer, 2009) und elektrophysiologischen Studien (z.B. Malinowski, Hübner, Keil & Gruber, 2002; Volberg & Hübner, 2004) ablesen. Es konnte jeweils gezeigt werden, dass bei inkongruenten Reizen eher Hemisphären-Unterschiede beobachtet werden konnten als bei kongruenten oder neutralen Reizen. Dabei wird angenommen, dass für die Verarbeitung von kongruenten oder neutralen Reizen kein Binden von Inhalt und Ebene notwendig ist, da kein Antwortkonflikt entsteht. Hier reicht somit die alleinige Identifikation des Inhaltes aus, um eine korrekte Repräsentation des Reizes zu erzeugen. Im Kontrast dazu, erzeugen inkongruente Reize einen Antwortkonflikt, der das Binden von Inhalt und Ebene notwendig macht. Das alleinige Auftauchen der Hemisphären-Unterschiede für die inkongruenten Reize ist somit ein Indiz dafür, dass die Hemisphären-Asymmetrie ein spezifisches Charakteristikum des Bindungsprozesses ist.

In Studie 2 sollten die Unterschiede der beiden Prozesse Identifikation und Integration (bzw. Binden) direkt untersucht werden und gleichzeitig sollte damit auch die Bindungsasymmetrie-Hypothese überprüft werden. Dazu wurden bilateral präsentierte hierarchische Reize in das Maskierungsparadigma (so wie in Studie 1) eingebunden. Laut der Bindungsasymmetrie-Hypothese sollten lediglich für die Konjunktionsfehler zwischen den Ebenen eines hierarchischen Reizes (Ebenenfehler) VF-Effekte auftreten. Für Fehler, bei denen Inhalte an falsche Positionen auf selber Ebene zugeordnet wurden (Positionsfehler), sollten keine VF-Effekte gefunden werden. Insgesamt weisen die Ergebnisse daraufhin, dass das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal schwieriger ist, als das Binden von Inhalten an ihre räumlichen Positionen. Weiterhin konnten die Ergebnisse die Bindungsasymmetrie-Hypothese bestätigen. Es fanden sich die charakteristischen Hemisphären-Unterschiede für die Konjunktionsfehler zwischen den Inhalten und Ebenen innerhalb eines hierarchischen Reizes, wohingegen die Analyse der Positionsfehler verdeutlichte, dass die Hemisphären sich bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte zu identifizieren, nicht unterscheiden.

# 3. AUSWIRKUNGEN DER GRÖßENKONSISTENZ AUF DIE INHALT-EBENEN-BINDUNG

Für Reize mit mehreren Merkmalen konnte gezeigt werden, dass inkonsistente Merkmalszusammensetzungen eines Reizes häufiger zu Konjunktionsfehlern führen, bei denen konsistente Bindungen zwischen Merkmalen bevorzugt werden. Dieser Bindungskonsistenzeffekt konnte unter anderem für die Konsistenz zwischen den Merkmalseigenschaften „physikalische Größe“ und „numerische Größe“ von Ziffern gezeigt werden (Goldfarb & Treisman, 2010). Für hierarchische Ziffern gilt, dass die physikalische Größe allein durch die Zugehörigkeit einer Ziffer zu einer der beiden hierarchischen Ebenen variiert wird. Hier lag es nahe, zu überprüfen, ob der Größenkonsistenzeffekt zwischen „physikalischer Größe“ und „numerischer Größe“ von Ziffern auch Auswirkungen auf das Binden von Inhalt und Ebene bei hierarchischen Reizen hat.

In Studie 3 haben wir untersucht, ob das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal eines hierarchischen Reizes im Falle einer frühzeitigen Störung der Verarbeitung durch den Größenkonsistenzeffekt bestimmt wird. Dazu wurden hierarchische Buchstaben im Maskierungsparadigma untersucht. Die beiden Experimente in Studie 3 haben sich lediglich in der in Experiment 5b erweiterten Antwortoption der „?“-Taste unterschieden. Überraschenderweise führte diese Änderung des Versuchsaufbaus zu wesentlichen Unterschieden in den Ergebnissen. Während die Ergebnisse von Experiment 5a einen Einfluss des Größenkonsistenzeffektes auf das Binden von Inhalt und Ebene vermuten ließen, war dieses Datenmuster in den Ergebnissen von Experiment 5b nicht mehr zu finden.

In Experiment 5a fanden sich höhere Konjunktionsfehlerraten für die Verarbeitung inkonsistenter Inhalt-Ebenen-Zuordnungen im Vergleich zu konsistenten Inhalt-Ebenen-Zuordnungen. Somit spielte die Konsistenz zwischen den Faktoren „physikalischer Größe“ und „numerischer Größe“ eine entscheidende Rolle bei der Verarbeitung der hierarchischen Ziffern. War eine numerisch große Ziffer auf der Zielebene Lokal, erzeugte das mehr Konjunktionsfehler, als wenn diese sich auf der Zielebene Global befand. Zusätzlich erzeugten auch inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen der nicht-Zielebene höhere Konjunktionsfehlerraten als konsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen.

Dass die Ergebnisse von Experiment 5a nach der Änderung im Versuchsaufbau in Experiment 5b nicht repliziert werden konnten, könnte zweierlei Gründe haben. Zum einen ist es möglich, dass der Effekt der Größenkonsistenz in erster Linie im Rateverhalten, welches durch die „?"-Taste in Experiment 5b herausgefiltert wurde, beobachtet wurde. Verfolgt man diesen Gedanken, so wäre davon auszugehen, dass immer dann, wenn keine Ziffer identifiziert wurde, die Tendenz bestand, aus den möglichen Antwortalternativen eine Ziffer zu wählen, die eine konsistente Inhalt-Ebenen-Bindung erzeugen konnte. Hier wäre auch zu überlegen, ob nicht die Dynamik des Rateverhaltens auch eine Aussage über Strukturen oder Tendenzen des Bindungsprozesses von Inhalt und Ebene leisten kann. Alternativ könnte auch angenommen werden, dass aus ökonomischen Gründen eine Vermeidungsstrategie der „?"-Taste genutzt wurde. Eine solche Vermeidungsstrategie könnte darin bestanden haben, dass die Aufmerksamkeitskontrolle wesentlich gesteigert wurde und ein mögliches Maximum an Wahrnehmungskapazität für das Erkennen der Ziffer auf der Zielebene aufgewendet wurde. In diesem Fall wäre zu vermuten, dass dann nur noch wenig bis keine Wahrnehmungskapazität mehr für die Verarbeitung von aufgaben-irrelevanten Informationen wie die „numerische Größe" bleibt. Auch die aufgaben-irrelevante Information der nicht-Zielebene würde damit weniger mit den Informationen der Zielebene interferieren können. Die Ergebnisse weisen auch auf eine Reduktion des Anteils der Konjunktionsfehler an der Gesamtfehlerrate hin, was so die Annahme einer Vermeidungsstrategie der „?"-Taste stützt. Folgt man der Annahme der Vermeidungsstrategie der „?"-Taste, so ließe sich schlussfolgern, dass Auswirkungen des Größenkonsistenzeffektes auf das Binden von Inhalt und Ebene nur unter der Bedingung zu beobachten sind, dass neben der für die Verarbeitung der aufgaben-relevanten Information genutzten Informationsverarbeitungskapazität noch ausreichend Ressourcen zur Verfügung stehen, damit die aufgaben-irrelevante Informationen überhaupt zu einer Interferenz führen können.

Zusammenfassend lassen die Ergebnisse von Studie 3 die Annahme zu, dass unter der Voraussetzung, dass aufgaben-irrelevante Informationen (wie die einzelnen Eigenschaften der Inhalte) mitverarbeitet werden, es wahrscheinlich ist, dass eine Bindungskonsistenz im Sinne von Goldfarb und Treisman (2010) bevorzugt wird und so häufiger Konjunktionsfehler erzeugt werden, um inkonsistente Inhalt-Ebenen-Zuordnungen zu konsistenten mentalen Inhalt-Ebenen-Bindungen zu überführen.

# 4. DER MECHANISMUS DER INHALT-EBENEN-BINDUNG

Die Vorstellung, dass für die Verarbeitung von hierarchischen Reizen das Binden von Inhalten an die Ebenen zentral ist (Hübner & Volberg, 2005), ist relativ jung im Global/Lokal-Paradigma. Somit sind entsprechende Vermutungen und Untersuchungen rund um den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene noch eher rar. Flevaris, Bentin und Robertson (2010) haben aus ihren Ergebnissen geschlussfolgert, dass die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion von Raumfrequenzen den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene maßgebend moduliert. Die Ergebnisse aus Studie 1 der vorliegenden Arbeit unterstützen die Vorstellung, dass Raumfrequenzen für die Effizienz des Bindungsprozesses eine wichtige Rolle spielen können. Insgesamt ist zu vermuten, dass der Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene so effizient und optimiert ist, dass Faktoren wie Reiztyp und Ebenenwiederholung nur dann einen Effekt zeigen, wenn sie geblockt über mehrere Durchgänge wirken können. Da der Reiztyp zu einem insgesamt schnelleren und effizienteren Binden von Inhalt und Ebene geführt hat und die Ebenenwiederholung jeweils nur das Binden an die entsprechend voraktivierte abstrakte Ebenenkategorie verbesserte (siehe Ergebnisse der Studie 1), lässt sich schlussfolgern, dass die Analyse der Raumfrequenzen eines Reizes für den Bindungsprozess beider Ebenen eines hierarchischen Reizes maßgebend ist, während die spezifische Voraktivierung einer bestimmten abstrakten Ebenenkategorie das Binden von Inhalten an diese bestimmte Ebene erleichtert. Da relativ hohe und relativ niedrige Raumfrequenzen eng mit den abstrakten Ebenenkategorien assoziiert sind, ist es vorstellbar, dass die abstrakten Ebenenkategorien auch durch die aufmerksamkeitsgeleitete Selektion spezifischer Raumfrequenzen voraktiviert werden können (Flevaris, Bentin & Robertson, 2010) und auch andersherum (Flevaris, Bentin & Robertson, 2011).

Ein weiteres Argument, das für den engen Zusammenhang zwischen Raumfrequenzen und den Ebenenkategorien Global und Lokal liegt, ergibt sich aus der Bindungsasymmetrie-Hypothese. Dabei wird die bei der Verarbeitung von hierarchischen Reizen häufig vorgefundene Hemisphären-Asymmetrie als Charakteristikum für das Binden von Inhalten an die Ebenen Global und Lokal betrachtet und gleichzeitig als Mittel zur Differenzierung zwischen den Prozessen Identifikation und Integration herangezogen. Da nun die Verarbeitung von hohen und niedrigen Raumfrequenzen dieselben VF-Effekte erzeugen, wie sie für das Binden für

Inhalte an die hierarchischen Ebenen typisch sind (siehe Ivry & Robertson, 1998), verstärkt dieser Umstand die Vorstellung von einem engen Zusammenhang zwischen spezifischen Raumfrequenzen und den abstrakten Ebenenkategorien Global und Lokal.

In Studie 3 wurde untersucht, inwiefern Konsistenzeffekte einen Einfluss auf den Bindungsmechanismus haben könnten. Es zeigte sich, dass selbst dann, wenn Konsistenzeffekte die Rate der Konjunktionsfehler beeinflussen konnten, sie dennoch keinen Einfluss auf den Mechanismus des Bindens hinterließen. An dieser Stelle sollte allerdings daran erinnert werden, dass in den ersten beiden Experimenten der Studie 1 dieser Arbeit die Faktoren Reiztyp und Ebenenwiederholung zunächst auch keine Auswirkungen auf den Mechanismus des Bindens gezeigt hatten (siehe Experiment 2). Erst nach der zentralen und unmaskierten Präsentation eines Primes und dem Umstand, dass die wesentlichen Faktoren geblockt waren, wurde der Effekt beobachtbar (siehe Experiment 3). Hier wäre also noch Forschungsbedarf, um den Einfluss von Konsistenzeffekten auf das Binden von Inhalt und Ebene genauer untersuchen zu können.

Zusammenfassend unterstützen unsere Ergebnisse, die Vorstellung, dass der Prozess des Bindens wahrscheinlich maßgeblich durch die Raumfrequenzanalyse moduliert wird. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der Umstand, dass die Voraktivierung einer abstrakten Ebenenkategorie ebenfalls den Prozess des Bindens von Inhalten an diese bestimmte Ebene verbessern kann, ein Hinweis auf die Bedeutsamkeit der Dynamik der abstrakten Ebenenkategorien Global und Lokal für den Prozess des Bindens von Inhalten an diese Ebenen ist.

# 5. MODELLE DER INHALT-EBENEN-BINDUNG

Die Annahme, dass das Binden von zunächst noch ungebundenen, in der frühen Phase identifizierten Inhalten an die Ebenen Global und Lokal der zentrale Moment im Verarbeitungsprozess von hierarchischen Reizen ist, konnte mittlerweile durch eine Vielzahl von Un-

tersuchungen (z.B. Hübner & Volberg, 2005; Hübner & Studer, 2009; Flevaris, Bentin, Robertson, 2010) unterstützt werden.

Die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie hat die traditionelle Sicht, zwei getrennte Kanäle oder Spuren für die Verarbeitung der Informationen auf den Ebenen Global und Lokal anzunehmen, in Frage gestellt. Vielmehr transferierte sie die Idee der Merkmalsintegrationtheorie (Treisman & Gelade, 1980) in das Global/Lokal-Paradigma. Sie postuliert, dass der Verarbeitungsprozess hierarchischer Reize von zwei Phasen gekennzeichnet ist. In der frühen Phase werden die Inhalte auf den Ebenen identifiziert und noch von den Ebenen getrennt repräsentiert. Für die Identifikation der Inhalte zeigen die Hemisphären keine Unterschiede in ihren Verarbeitungskapazitäten. Erst in einer späteren Phase werden die identifizierten und ungebundenen Inhalte an die Ebenen Global und Lokal gebunden. Die Hemisphären zeigen hier deutliche Unterschiede bezüglich ihrer Kapazitäten einen Inhalt an eine bestimmte Ebene zu binden. Während die LH Vorteile bei der Verarbeitung der Informationen auf der Ebene Lokal zeigt, verarbeitet die RH Informationen auf der Ebene Global effizienter. Das Inhalt-Ebenen-Bindungs-Modell von Hübner und Volberg (2005) kann die Befundlage der Literatur zum Global/Lokal-Paradigma bisher am besten erklären. Auch die in ihr enthaltene Bindungsasymmetrie-Hypothese ist ganz entscheidend für das Verständnis über die Verarbeitung von hierarchischen Reizen. Trotz der starken Evidenz für die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie gibt es noch Erklärungslücken. Besonders über den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene macht sie keine Aussagen.

Auf der Suche nach dem Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene wenden die jüngst von Flevaris et al. (2010, 2011) erhobenen Ergebnisse und auch die in Studie 1 dieser Arbeit aufgefallenen Befunde die Aufmerksamkeit auf die Rolle der Raumfrequenzen bei der Verarbeitung hierarchischer Reize. Mit der DFF-Theorie hatten Ivry und Robertson (1998) bereits auf den engen Zusammenhang zwischen der Verarbeitung von Raumfrequenzen und der Verarbeitung der hierarchischen Ebenen Global und Lokal hingewiesen. Der zentrale Schwachpunkt der DFF-Theorie, weshalb sie auch nicht in der Lage ist, die Verarbeitung hierarchischer Reize umfassend zu erklären, liegt darin, dass sie die abstrakten Ebenenkategorien und den Prozess des Bindens von Inhalt und Ebene nicht berücksichtigt.

Es erscheint sinnvoll die Überlegungen über die Ergebnisse der Studien der vorliegenden Arbeit und die Annahmen der DFF-Theorie über die Rolle der Raumfrequenzen bei dem

Prozess des Bindens von Inhalt und Ebene in die Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie zu integrieren. Während Hübner und Volberg (2005) in der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie für die Wahrscheinlichkeiten, dass ein identifizierter Inhalt an die entsprechende Ebene gebunden wird, lediglich die Faktoren Zeit (SMI) und visuelles Feld berücksichtigen, ist nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zu vermuten, dass die beiden Faktoren Raumfrequenzverteilung und Aktivierung der Ebenenkategorie ebenfalls für die Wahrscheinlichkeiten, mit der die Inhalte an die Ebenen gebunden werden, zu berücksichtigen sind.

Dennoch bleiben die Überlegungen zu der Rolle der Raumfrequenzen für den Prozess des Bindens von Inhalt und Ebene noch vage. Es ist denkbar, dass spezifische Raumfrequenzen zu einer direkten Aktivierung der abstrakten Ebenenkategorie führen. Gleichzeitig scheint aber auch die Effizienz, mit der die Zusammensetzung der Raumfrequenzen eines Reizes analysiert werden kann, eine Rolle für den Prozess des Bindens zu spielen. Inwiefern diese beiden Faktoren konfundiert sind oder getrennt bzw. spezifisch wirken, bleibt noch ungewiss. Weiterhin sind auch die Spekulationen zu den Gewichtungen dieser Faktoren und auch zu der Frage, inwiefern noch weitere Faktoren den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene bestimmen, noch vage. Es bleibt zu hoffen, dass zukünftige Untersuchungen zur Klärung dieser Fragen beitragen.

# 6. AUSBLICK

Da für das Verständnis über den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene noch viele Erklärungslücken vorherrschen, sollte in zukünftigen Experimenten möglichst aus unterschiedlichen Richtungen Licht in diesen Bereich gebracht werden. Dabei sind aktuell drei Fragen von besonderem Interesse: Wie wirken Raumfrequenzen bei der Verarbeitung hierarchischer Reize? Wie wirken die abstrakten Ebenenkategorien? Welchen Einfluss können Konsistenzeffekte auf den Prozess des Bindens haben?

Was die Raumfrequenzen betrifft, so ist es für das Verständnis über ihr Wirken wichtig, zu untersuchen, ob tatsächlich spezifische Zusammensetzungen von Raumfrequenzen (z.B.

die Differenz zwischen den hohen und niedrigen Raumfrequenzen im Reiz) oder eher die jeweiligen spezifischen Raumfrequenzen selbst für eine Erleichterung des Bindens von Inhalt und Ebene ausschlaggebend sind. Dabei sollte ein Experiment angelegt werden, bei der die Effekte unterschiedlicher Reiztypen (z.B. hohe vs. mittlere vs. niedrige Differenz zwischen hohen und niedrigen Raumfrequenzen eines Reizes) auf den Prozess des Bindens untersucht werden, und eine weiteres Experimenten bei dem die verwendeten Frequenzbereiche variiert werden (die Differenz zwischen den relativ hohen und relativ niedrigen bleibt dabei jeweils gleich). Alle Experimente sollten mit dem von Hübner und Volberg (2005) und auch in dieser Arbeit verwendeten Maskierungsparadigma untersucht werden, dabei empfiehlt es sich den Versuchsaufbau an das Experiment 3 von Studie 1 anzugleichen, da sich in Studie 1 gezeigt hat, dass diese Methode erfolgreich den möglichen Einfluss eines Faktors auf den Prozess des Bindens von Inhalt und Ebene beobachtbar machen kann.

Was die abstrakten Ebenenkategorien betrifft, so wäre es hilfreich, zu untersuchen, inwieweit diese von den Raumfrequenzen getrennt zu beachten sind. Dabei wäre es sinnvoll Untersuchungen zu gestalten, bei denen die abstrakten Ebenenkategorien Global und Lokal nicht durch die Relation von Einzelteilen zum Ganzen dargestellt werden, sondern wie beispielsweise bei der Studie von Hübner und Studer (2009) Tiere mit unterschiedlichen Mustern als Reize verwendet werden. Hier wäre es also interessant, zu überprüfen, ob ebenfalls Effekte der Ebenenwiederholung auf das Binden der Inhalte an die Ebenen zu beobachten wären.

Betrachtet man die drei Experimente in Studie 1 dieser Arbeit, so ist zu beobachten, dass die Effekte der Faktoren Reiztyp und Ebenenwiederholung auf den Prozess des Bindens erst durch den Versuchsaufbau in Experiment 3 sichtbar wurden. Da die Ergebnisse aus Studie 3 einen Hinweis auf den Einfluss von Konsistenzeffekten auf die Rate der Konjunktionsfehler zeigten, wäre es zu prüfen, ob Konsistenzeffekte in einem veränderten Versuchsaufbau einen Einfluss auf den Prozess des Bindens zeigen können. Dabei wäre es beispielsweise möglich, erneut hierarchische Ziffern zu untersuchen. Der Versuchsaufbau in Experiment 3 würde dann dahingehend verändert werden, dass die Variation des Reiztypes durch den Faktor Konsistenz ersetzt würde. Dabei kämen dann konsistente vs. inkonsistente hierarchische Ziffern zur Verwendung. Es wäre dann zu überprüfen, ob der Faktor Konsistenz einen Einfluss auf die VF-Effekte zeigt. Ein solcher Einfluss wäre dann mit dem Einfluss der Konsistenz auf den Prozess des Bindens von Inhalt und Ebene zu interpretieren.

Auch wäre die formale Integration der Erkenntnisse in das multinomiale Pfaddiagramm der Inhalt-Ebenen-Bindungstheorie ein vielversprechender Ansatz, um den Mechanismus des Bindens von Inhalt und Ebene besser zu verstehen.

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Arbeit, dass die Verarbeitung von hierarchischen Reizen, sowohl den Prozess der Identifikation als auch das aktive Binden der identifizierten Inhalte an die Ebenen Global und Lokal beinhaltet. Weiterhin sind die Ergebnisse mit der Annahme vereinbar, dass sich die Hemisphären nicht bezüglich ihrer Identifikationsleistung, sondern ausschließlich bezüglich ihrer Kapazitäten, Inhalte an die entsprechende Ebene zu binden, unterscheiden. Diese für den Bindungsprozess spezifische Hemisphären-Asymmetrie gibt Gelegenheit den Mechanismus des Bindens näher zu untersuchen. Auch hier konnten die Ergebnisse die besondere Rolle der Raumfrequenzen für den Bindungsprozess, wie sie auch Flevaris et al. (2010) herausstellten, unterstützen, zusätzlich zeigte sich, dass eine Aktivierung der abstrakten Ebenenkategorien ebenfalls den Mechanismus des Bindens modulieren kann. Schließlich konnte gezeigt werden, dass der von Goldfarb und Treisman (2010) postulierte Bindungskonsistenzeffekt unter bestimmten Voraussetzungen auch auf das Global/Lokal-Paradigma übertragbar ist.

# LITERATURVERZEICHNIS


Algom, D., Dekel, A., & Pansky, A. (1996). The perception of number from the separability of the stimulus: The Stroop effect revisited. *Memory & Cognition, 24*, 557-572.

Ashby, F. G., Prinzmetal, W., Ivry, R., & Maddox, W. T. (1996). A formal theory of feature binding in object perception. *Psychological Review, 103*, 165-192.

Breitmeyer, B. G., Ögmen, H. (2006). *Visual masking: Time slices through conscious and unconscious vision*, New York: Oxford University Press.

Broadbent, D. E. (1977). The hidden preattentive processes. *American Psychologist, 32*, 109-118.

Campbell, D. T., (1974). Evolutionary Epistemology. In P. A. Shilpp (Eds.): *The Philosophy of Karl Popper*, 413-463. LaSalle, IL: Open Court.

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General, 122*, 371-396.

Dehaene, S., & Akhavein, R. (1995). Attention, automaticity, and levels of representation in numerical processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 21*, 314-326.

Delis, D. C., Robertson, L. C., & Efron, R. (1986). Hemispheric specialization of memory for visual hierarchical stimuli. *Neuropsychologia, 24,* 205-214.

Donk, M. (1999). Illusory conjunctions are an illusion: The effects of target-nontarget similarity on conjunction and feature errors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 25*, 1207-1233.

Eriksen, C. W., & Hoffman, J. E. (1972). Temporal and spatial characteristics of selective encoding from visual displays. *Perception & Psychophysics, 12*, 201-204.

Eriksen, C.W., & St. James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics, 40,* 225-240.

Eriksen, C. W., & Webb, J. M. (1989). Shifting of attention focus within and about a visual display. *Perception & Psychophysics, 45*, 175-183.

Eriksen, C. W., & Yeh, Y. Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 11*, 583-597.

Fink, G. R., Halligan, P. W., Marchall, J. C., Firth, C. D., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1996). Where in the brain does visual attention select the forest and the trees? *Nature, 382*, 626-628.

Fitousi, D., & Algom, D. (2006). Size congruity effects with two-digit numbers: Expanding the number line? *Memory & Cognition, 34*, 445-457.

Fitousi, D., Shaki, S., & Algom, D. (2009). The role of parity, physical size, and magnitude in numerical cognition: The SNARC effect revisited. *Attention, Perception & Psychophysics, 71,* 143-155.

Flevaris, A. V., Bentin, S., & Robertson, L. C. (2010). Local or global? Attentional selection of spatial frequencies binds shapes to hierarchical level. *Psychological Science, 21*, 424-431.

Flevaris, A. V., Bentin, S., & Robertson, L. C. (2011). Attention to hierarchical level influences attentional selection of spatial scale. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 37*, 12-22.

Francis, G., & Cho, Y. S. (2008). Effects of temporal integration on the shape of visual backward masking functions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 34*, 1116-1128.

Garner, W. R. (1974). T*he processing of information and structure*. Potomac, MD: Erlbaum.

Garner, W. R. (1978). Selective attention to attribute and to stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General, 107*, 287-308.

Goldfarb, L., & Treisman, A. (2010). Are some features easier to bind than others? The congruency effect. *Psychological Science, 20*, 1-6.

Goldstein, E. B. (2002). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg: Spektrum.

Henderson, J. M. (1992). Object identification in context: the visual processing of natural scenes. *Canadian Journal of Psychology, 46*, 319-341.

Heinze, H. J., Hinrichs, H., Scholz, M., Burchert, W., & Mangun, G. R. (1998). Neural mechanisms of global and local processing: A combined PET and ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 10*, 485-498.

Henik, A., & Tzelgov, J. (1982). Is there greater than five: The relation between physical and semantic size in numerical comparison. *Memory & Cognition, 10*, 389-395.

Henik, A., & Tzelgov, J. (1983). On the recognition of words with inverted letters. *Canadian Journal of Psychology, 37*, 233-242.

Hermens, F., Luksys, G., Gerstner, W., Herzog, M. H., & Ernst, U. (2008). Modeling spatial and temporal aspects of visual backward masking. *Psychological Review, 115(1)*, 83-100.

Hoffman, J. E. (1980). Interaction between global and local levels of a form. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 6*, 222-234.

Hübner, R. (1997). The effect of spatial frequency on global precedence and hemispheric differences. *Perception & Psychophysics, 59*, 187-201.

Hübner, R. (2000). Attention shifting between global and local target levels: the persistence of level-repetition effects. *Visual Cognition, 7,* 465-484.

Hübner, R., & Malinowski, P. (2002). The effect of response competition on functional hemispheric asymmetries for global/local processing. *Perception & Psychophysics, 64*, 1290-1300.

Hübner, R., & Studer, T. (2009). Functional hemispheric differences for the categorization of global and local information in naturalistic stimuli. *Brain Cognition, 69*, 11-18.

Hübner, R., & Volberg, G. (2005). The integration of object levels and their content: a theory of global/local processing and related hemispheric differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*, 520-541.

Hübner, R., Volberg, G., & Studer, T. (2007). Hemispheric differences for global/local processing in divided attention tasks: further evidence for the integration theory. *Perception Psychophysics, 69*, 413-421.

Ivry, R. B., & Robertson, L. C. (1998). *The two sides of perception*. Cambridge, MA: MIT Press.

Jonides, J. (1981). *Voluntary versus automatic control over the mind's eye movement*. In M. I. Posner & O. S. Martin (Eds.), Perception & Performance XI. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Jonides, J. (1983). Further toward a model of the mind's eye's movement. *Bulletin of the Psychonomic Society, 21*, 247-250.

Kahneman, D., & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.), *Varieties of Attention* (pp. 234-255). Orlando, Fl: Academic.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop Interference. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*, 47-70.

Keita, L., & Bedoin, N. (2010). Hemispheric asymmetries in hierarchical stimuli processing are modulated by stimulus categories and their predictability. *Laterality, 16(3)*, 333-355.

Kim, N., Ivry, R.B., & Robertson, L. C. (1999). Sequential priming in hierarchically organized figures: Effects of target level and target resolution. Journal of Experimental Psychology: *Human Perception and Performance, 25*, 715-729.

Kimchi, R., & Palmer, S. E. (1982). Form and texture in hierarchically constructed patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 8*, 521-535.

Kinchla, R. A., & Wolfe, J. M. (1979). The order of visual processing: "Top-down", "bottom-up" or "middle-out". *Perception & Psychophysics, 25*, 225-231.

Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. New York: Harcourt, Brace & World.

Lamb, M. R., & Robertson, L. C. (1988). The processing of hierarchical stimuli: Effects of retinal locus, locational uncertainty and stimulus identity. *Perception & Psychophysics, 44*, 172-181.

Lamb, M. R., Robertson, L. C., & Knight, R. T. (1989). Attention and interference in the processing of global and local information: Effects of unilateral temporal-pareital junction lesions. *Neuropsychologia, 4,* 471-483.

Lamb, M. R., & Yund, E. W. (1996). Spatial frequency and attention: Effects of level-, target-, and location-repetition on the processing of global and local forms. *Perception & Psychophysics, 58*, 363-373.

Lamb, M. R., Yund, E. W., & Pond, H. M. (1999). Is attentional selection to different levels of hierarchical structure based on spatial frequency? *Journal of Experimental Psychology: General, 128*, 88-94.

Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 21*, 451-468.

Lavie, N. (2010). Attetion, distraction, and cognitive control under load. *Current Directions in Psychological Science, 19*, 143-148.

Lovegrove, W. J., & Pepper, K. (1994). The influence of low-level processing in the global precedence effect. In S. Ballesteros (Eds.), *Cognitive approaches to human perception*. Hillsdale: Erlbaum.

Luna, D., Merino, J. M., & Marcos-Ruiz, R. (1990). Processing dominance of global and local information in visual patterns. Acta Psychologica, 73, 131-143.

Malinowski, P., Hübner, R., Keil, A., & Gruber, T. (2002). The influence of response competition on cerebral asymmetries for processing hierarchical stimuli revealed by ERP recordings. *Experimental Brain Research, 144*, 136-139.

Martin, M. (1979). Hemispheric specialization for local and global processing. *Neuropsychologia, 17*, 33-40.

May, J. G., Gutierrez, C., & Harsin, C. A. (1995). The time-course of global precedence and consistency effects. *International Journal of Neuroscience, 80*, 237-245.

Metzger, W. (1936). *Gesetze des Sehens*. Frankfurt/M.: Kramer; 3. Aufl., 1975.

Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgments of numerical inequality. *Nature, 215*, 1519-1520.

Navon, D. (1977). Forest before the trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology, 9,* 353-393.

Oxbury, J. M., Campbell, D. C., & Oxbury, S. M. (1974). Unilateral spatial neglect and impairments of spatial analysis and visual perception. *Brain, 97*, 551-564.

Pansky, A., & Algom, D. (1999). Stroop and Garner effects in comparative judgment of numerals: The role of attention. Journal of Experimental Psychology. *Human Perception & Performance, 25*, 39-58.

Paquet, L., & Merikle, P. M. (1988). Global precedence in attended and nonattended objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 14*, 89-100.

Pomerantz, J. R. (1983). Global and local precedence: Selective attention in form and motion perception. *Journal of Experimental Psychology: General, 112*, 516-540.

Pomerantz, J. R., & Portillo, M. C. (2011). Grouping and emergent features in vision: Toward a theory of basic Gestalts. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 37*, 1331-1349.

Pomerantz, J. R., & Sager, L. C. (1975). Asymmetric integrality with dimensions of visual pattern. *Perception and Psychophysics, 18*, 460-466.

Posner, M. I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Prinzmetal, W., Diedrichsen, J., & Ivry, R. B. (2001). Illusory conjunctions are alive and well: A reply to Donk (1999). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27*, 538-541.

Prinzmetal, W., Ivry, R. B., Beck, D., & Schimizu, N. (2002). A measurement theory of illusory conjunctions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 28*, 251-269.

Robertson, L. C. (1996). Attentional persistence for features of hierarchical patterns. *Journal of Experimental Psychology: General, 125*, 227-249.

Robertson, L. C., Egly, R., Lamb, M. R., & Kerth, L. (1993). Spatial attention and cuing to global and local levels of hierarchical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 19*, 471-487.

Robertson, L. C., Lamb, M. R., & Knight, R. T. (1991). Normal global-local analysis in patients with dorsolateral frontal lobe lesions. *Neuropsychologia, 29*, 959-967.

Robertson, L. C., Lamb, M. R., & Zaidel, E. (1993). Interhemispheric relations in processing hierarchical patterns: Evidence from normal and commissurotomized subjects. *Neuropsychologia, 7*, 325-342.

Sachs, M. B., Nachmias, J., & Robson, J. G. (1971). Spatial-frequency channels in human vision. *Journal of the Optical Society of America, 61*, 1176-1186.

Schlösser, J., Hübner, R., & Studer, T. (2009). The effect of element spacing on hemispheric asymmetries for global/local processing. *Experimental Psychology, 56*, 321-328.

Schwarz, W., & Ischebeck, A. (2003). On the relative speed account of number-size interference in comparative judgments of numerals. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 29*, 507-522.

Stromeyer, C. F. III, & Klein, S. (1974). Spatial frequency channels in human vision as asymmetric mechanisms. *Vision Research, 14*, 1409-1420.

Stroop, J. R. (1935). Studies in interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18*, 643-661.

Titchener, E. B. (1909). *A text-book of psychology.* New York: Macmillan.

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12*, 97-136.

Treisman, A., & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology, 14*, 107-141.

Van Kleeck, M. H. (1989). Hemispheric differences in global versus local processing of hierarchical visual stimuli by normal subjects: New data and a meta-analysis of previous studies. *Neurophychologia, 27*, 1165-1178.

Volberg, G., & Hübner, R. (2004). On the role of response conflicts and stimulus position for hemispheric differences in global/local processing: An ERP study. *Neuropsychologia, 42*, 1805-1813.

Volberg, G., & Hübner, R. (2007). Deconfounding the effects of congruency and task difficulty on hemispheric differences in global/local processing. *Experimental Psychology, 54*, 83-88.

Weissman, D. H., & Banich, M. T. (1999). Global-Local interference modulated by communication between the hemispheres. *Journal of Experimental Psychology: General, 128*, 283-308.

Wertheimer, M. (1922). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. I. Prinzipielle Bemerkungen. *Psychologische Forschungen, 1*, 47-58.

Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. *Psychologische Forschungen, 4*, 301-350.

Yovel, G., Yovel, I., & Levy, J. (2001). Hemispheric asymmetries for global and local visual perception: Effects of stimulus and task factors. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27*, 1369-1385.