

**VERSCHIEDENE STRATEGIEN DER
OBJEKTKATEGORISIERUNG: EVIDENZ DURCH
FUNKTIONELLE GEHIRNASYMMETRIEN**

Dissertation

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

an der Universität Konstanz
Mathematisch-naturwissenschaftliche Sektion
Fachbereich Psychologie

vorgelegt von
Tobias Studer
im Mai 2008

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Juli 2008

1. Referent: Prof. Dr. Ronald Hübner
2. Referent: PD Dr. Markus Kiefer

DANKSAGUNG

Zahlreiche Personen haben mich während der Entstehung dieser Arbeit inhaltlich und persönlich unterstützt. Ihnen möchte ich an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank aussprechen:

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. Ronald Hübner für die persönliche Betreuung dieser Arbeit und die fachliche Unterstützung.

Danken möchte ich außerdem Herrn PD Dr. Markus Kiefer für die Übernahme der Zweitbegutachtung.

Für hilfreiche Diskussionen, Anregungen und Ermunterungen danke ich meinen Kolleginnen und Kollegen der AG Kognitive Psychologie an der Universität Konstanz, ganz besonders meinem Kollegen und Freund Dr. Michel D. Druey.

Vielen Dank auch den zahlreichen studentischen Hilfskräften, die mich tatkräftig bei der Datenerhebung unterstützt haben: Daria Antonenko, Maddalena Brunetti, Patrick Kleiner, Laura Mehrfeld, Carmen Pfiffner und Jan Schlösser.

Ein besonderer Dank gebührt Guido Bauer für seine Geduld und Zuwendung, sowie allen Freunden, die mich auf ihre jeweils eigene Art immer wieder ermuntert und angespornt haben, vor allem Andrea Bäßler, Friedemann Buddensiek, Charly Gaul, Barbara Grimpe, Eva Schatz, sowie in besonderem Maß Michael Ketzer.

Mein aufrichtiger Dank gilt nicht zuletzt meinen Eltern, Theresia und Friedrich Studer, sowie meiner Schwester Kerstin und ihrer Familie, für ihre bedingungslose und uneingeschränkte Unterstützung in allen Phasen der Entstehung dieser Arbeit.

Zusammenfassung

Objekte können sowohl auf der basalen (z.B. ‚Tier‘) als auch der untergeordneten Ebene (z.B. ‚Dalmatiner‘) kategorisiert werden. Sowohl Ansätze aus der Kategorisierungsforschung als auch aus der Forschung zur Objektwahrnehmung postulieren jeweils funktionelle Gehirnasymmetrien für diese Aufgabe, allerdings in genau entgegengesetzter Richtung: Die Forschung zur Kategorisierung nimmt einen Vorteil der LH für basale Kategorisierungen an und einen Vorteil der RH für untergeordnete Kategorisierung (*Repräsentationshypothese*; z.B. Laeng & al., 2003), die Forschung zur Objektwahrnehmung postuliert das entgegengesetzte Muster (*Merkmalshypothese*; z.B. Hübner & Studer, im Druck; Large & McMullen, 2006). Für beide Annahmen gibt es empirische Evidenz. Ziel der Arbeit war es daher, diesen Widerspruch aufzulösen und damit die grundlegenden Mechanismen für die Objektkategorisierung auf der basalen und untergeordneten Ebene näher zu untersuchen.

Eine Ursache für diesen Widerspruch wurde darin vermutet, dass die Repräsentations- und die Merkmalshypothese bislang mit verschiedenen Paradigmen untersucht wurden – einerseits mit Vergleichsaufgaben, andererseits mit Identifikationsaufgaben. In Studie I konnte gezeigt werden, dass tatsächlich die spezifische Aufgabe determiniert, ob Gehirnasymmetrien im Sinne der einen oder der anderen Hypothese auftreten. Dieser Befund impliziert, dass in den beiden Aufgabentypen unterschiedliche Strategien für die Objektkategorisierung angewandt wurden.

Ziel der Studie II war es, die spezifischen Eigenschaften von Kategorisierungsaufgaben genauer zu analysieren und zu untersuchen, inwieweit diese Einfluss auf das Muster von Gehirnasymmetrien ausüben. Es zeigte sich zunächst, dass in einer Benennaufgabe grundsätzlich beide Muster von Gehirnasymmetrien vorkommen können (Experiment 1). Jedoch lässt sich durch eine Variation des Aufgabenkontextes eine klare Kategorisierungsstrategie und damit ein bestimmtes Muster von Gehirnasymmetrien induzieren: Eine Erhöhung der Zahl der verwendeten Kategorien (Experiment 2) als auch ein Wechsel von einer Vergleichs- zu einer Benennaufgabe (Experiment 3) führten zu einer Kategorisierungsstrategie, die sich in Gehirnasymmetrien im Sinne der Merkmalshypothese niederschlägt.

Die Experimente belegen damit, dass das Muster von Gehirnasymmetrien bei der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene stark aufgabenabhängig ist. Außerdem unterstützen sie Theorien, die von multiplen Strategien der Objektkategorisierung ausgehen (z.B. Smith & Allen, 1998).

Summary

Objects can be categorized at a basic level (e.g. ,dog') as well as at a subordinate level of categorization (e.g. ,Dalmatian'). Research on categorization as well as on object perception claim functional hemispheric asymmetries for this task, each, however, in different direction: Categorization research assumes an advantage of the LH for categorizations at the basic level and an advantage of the RH for those at the subordinate level (*representation hypothesis*; e.g. Laeng & al., 2003). Research on object perception suggests a pattern which is opposite (*feature hypothesis*; e.g. Hübner & Studer, in press; Large & McMullen, 2006). There is evidence, however, for both accounts. Therefore, the aim of the present studies was to solve these contradictory results and to further analyze the specific mechanisms that underlie the categorization at the basic and the subordinate level.

One reason for these contradictions might be that the representation and the feature hypothesis have been investigated with different kinds of experimental paradigms – on the one hand with matching tasks, on the other hand with identification tasks. It was shown in Study I that the specific task indeed determines whether the observed hemispheric differences are as predicted by the one or the other hypothesis. This finding implies that different categorization strategies have been used in the two tasks.

The aim of Study II was to further analyze the specific properties of categorization tasks and to investigate in which way these properties influence the pattern of hemispheric asymmetries that can be observed. First, it could be shown that in a naming task both patterns of brain asymmetries can be found with equal probability (Experiment 1). However, a certain pattern of hemispheric asymmetries can be induced by manipulations of the task context: Raising the number of categories (Experiment 2) as well as changing the task from matching to naming (Experiment 3) lead both to hemispheric asymmetries as predicted by the feature hypothesis.

Thus, the experiments show that the specific pattern of hemispheric asymmetries for categorizing objects at the basic and the subordinate level depends heavily on the specific task. Further, the results in general support theories that postulate multiple strategies of categorization (e.g. Smith & Allen, 1998).

Inhaltsverzeichnis

ALLGEMEINE EINLEITUNG	1
1 Kategorisierung auf Ebenen unterschiedlicher Spezifität und funktionelle Gehirnasymmetrien	3
2 Kategorisierung via Repräsentationen	10
2.1 Die Dissociable-Subsystems-Theorie von Marsolek	12
2.1.1 Das abstrakte Visuelle Form-System	14
2.1.2 Das spezifische Visuelle Form-System	15
2.2 Befunde zur Existenz eines abstrakten und eines spezifischen Visuellen Form-Systems in der LH und RH	17
2.2.1 Untersuchungsmethoden	17
2.2.2 Verhaltensexperimente mit visueller Halbfeldpräsentation	19
2.2.3 Neuropsychologische Studien	21
2.2.4 EKP-Studien und Studien mit bildgebende Verfahren	22
2.3 Die Repräsentationshypothese	24
2.3.1 Neuropsychologische Studien	25
2.3.2 Verhaltensexperimente mit visueller Halbfeldpräsentation	27
2.3.3 Zusammenfassung	29
3 Kategorisierung via diagnostische Merkmale	29
3.1 Globale und lokale Verarbeitung bei der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene	33
3.2 Gehirnasymmetrien für die Verarbeitung globaler und lokaler Merkmale	36
3.2.1 Befunde für hierarchische Buchstaben und abstrakte Formen	37
3.2.2 Befunde für natürliche Objekte	40
3.2.3 Abweichende Befunde	41
3.2.4 Mechanismen der Global-/Lokal-Gehirnasymmetrien	43
3.3 Die Merkmalshypothese	47
3.3.1 Lateralisierung der Objekterkennung	48
3.3.2 Lateralisierung holistischer und analytischer Verarbeitungsprozesse in der Objektwahrnehmung	52
3.3.3 Lateralisierung holistischer und analytischer Verarbeitungsprozesse in der Gesichterwahrnehmung	53
3.3.4 Zusammenfassung	56
4 Zusammenfassung und Ausblick auf die Studien	57
STUDIE I: FUNKTIONELLE GEHIRNASYMMETRIEN FÜR DIE OBJEKTKATEGORISIERUNG AUF DER BASALEN UND DER UNTERGEORDNETEN EBENE	61
1 Einleitung	63
2 Experiment 1	66
2.1 Methode	68

2.2	Ergebnisse.....	70
2.2.1	',Gleich'-Antworten	71
2.2.2	',Verschieden'-Antworten	72
2.2.3	Subanalyse der ',verschieden'-Antworten auf der untergeordneten Ebene	73
2.3	Diskussion	75
3	Experiment 2	77
3.1	Methode.....	78
3.2	Ergebnisse.....	81
3.2.1	Vergleich von Experiment 1 und 2	83
3.3	Diskussion	84
4	Zwischendiskussion.....	85

STUDIE II: VERSCHIEDENE STRATEGIEN DER OBJEKTKATEGORISIERUNG: EVIDENZ DURCH
 FUNKTIONELLE GEHIRNASYMMETRIEN 93

1	Einleitung	95
2	Experiment 1	103
2.1	Methode.....	105
2.2	Ergebnisse.....	106
2.2.1	Gesamtanalyse	107
2.2.2	Analyse der post-hoc zugewiesenen Subgruppen	108
2.3	Diskussion	111
3	Experiment 2	114
3.1	Methode.....	117
3.2	Ergebnisse.....	119
3.2.1	Gesamtanalyse	119
3.2.2	Analyse der post-hoc zugewiesenen Subgruppen	122
3.2.3	VF-Effekte im Zeitverlauf	124
3.3	Diskussion	127
4	Experiment 3	133
4.1	Methode.....	135
4.2	Ergebnisse.....	138
4.2.1	Wort-Bild-Vergleichsaufgabe	138
4.2.2	Benennaufgabe	143
4.2.3	Vergleich der Vergleichs- und Benennaufgabe	145
4.3	Diskussion	146
5	Zwischendiskussion.....	149

GESAMTDISKUSSION 155

LITERATURVERZEICHNIS 173

ALLGEMEINE EINLEITUNG

Die Objekte, Personen und Ereignisse, denen man im Alltag begegnet, sind ungeheuer vielfältig und unüberschaubar. Um dieser Vielfältigkeit Herr zu werden, werden Objekte zu Kategorien zusammengefasst. Von einer Kategorie wird dann gesprochen, wenn zwei oder mehr unterscheidbare Objekte, Ereignisse oder Lebewesen als äquivalent betrachtet und behandelt werden (Eysenck, 2001). Kategorisierung hat vielfältige Vorteile. Dass sich eine Vielzahl von Instanzen zu einer Kategorie zusammenfassen lassen, erlaubt kognitive Ökonomie, da nicht jedes einzelne Objekt isoliert behandelt werden muss. Es ist ein großer Vorteil, wenn Objekte nicht differenziert werden müssen, deren Differenzierung für ein aktuelles Ziel irrelevant ist. Die Bildung und Anwendung von Kategorien erlaubt zudem erst, Situationen überhaupt zu verstehen, da auch mit neuen, bisher unbekanntem Objekten korrekt und sinnvoll umgegangen werden kann. Meist sind die Dinge, selbst wenn man sie vorher noch nie gesehen hat, den Kategorien ähnlich, die man bereits kennt. Selbst wenn man einen bestimmten Apfel noch nie vorher gesehen hat, kann man schließen, dass er den Äpfeln ähnlich ist, die bereits bekannt sind und daher beispielsweise auch essbar ist.

Jedes Objekt, dem wir in unserer Umwelt begegnen, ist jedoch in der Regel nicht nur einer einzigen Kategorie zugeordnet, sondern gleichzeitig Element mehrerer Kategorien. Ein Hund kann beispielsweise als Hund betrachtet werden, aber genauso als Haustier, Freund, Wächter, Spielkamerad oder auch einfach als Lebewesen. Eine Kategorie, die ein Objekt bezeichnet, ist dabei nicht zwangsläufig besser oder schlechter geeignet. Verschiedene Kategorien sind für ein Individuum in Abhängigkeit seiner Ziele und Anforderungen des Kontexts mehr oder weniger relevant. Auch wenn es sich bei diesem Phänomen um eine alltägliche, meist unbewusst ausgeführte Funktion handelt, ist sie nicht trivial. Für die Frage der visuellen Kategorisierung ist die visuelle Information, die der jeweiligen Kategorisierung zu Grunde liegt, immer gleich. Daraus ergibt sich die wichtige Frage, wie diese Kategorien im Gedächtnis gespeichert sind und wie der Prozess der Kategorisierung koordiniert ist.

1 Kategorisierung auf Ebenen unterschiedlicher Spezifität und funktionelle Gehirnasymmetrien

Eine besondere Form der Organisation von Kategorien ist die hierarchische Struktur. Gemeint ist, dass ein und dasselbe Objekt, also z.B. ein Hund, in Kategorien unterschiedlicher Spezifität eingeordnet werden kann. So kann man beispielsweise einen Hund relativ

allgemein gefasst als ‚Tier‘ bezeichnen, aber auch sehr spezifisch als ‚Golden Retriever‘. Eine solche hierarchische Anordnung von Kategorien unterschiedlicher Spezifität bezeichnet man auch als *Taxonomie* (siehe Abb. I-1). Diese Art der Einordnung von Objekten in Kategorien verschiedener Spezifitätsebenen scheint gegenüber anderen Kategorisierungen eine besondere Rolle zu spielen. Denn gibt man Probanden (Pbn) keine weitere Anweisung als die, ein gezeigtes Objekt spontan zu kategorisieren, so wird in der Regel eine Kategorie aus einer Taxonomie gewählt (Murphy, 2001, 2002). Das heißt, ein Hund wird spontan eher als ‚Hund‘ oder ‚Golden Retriever‘ bezeichnet als als ‚Spielkamerad‘. Außerdem treten hierarchische Kategoriestructuren in allen Kulturen auf (Malt, 1995).

Kategorisierung auf Ebenen unterschiedlicher Spezifität

In der Literatur zur hierarchischen Struktur von Konzepten werden in der Regel drei Kategorisierungsebenen unterschiedlicher Spezifität unterschieden. Diejenige Ebene, auf der Objekte meist spontan kategorisiert werden (z.B. ein Hund als ‚Hund‘ oder ein Stuhl als ‚Stuhl‘), wird als *basale Ebene* bezeichnet. Sie bildet ein mittleres Niveau in der Taxonomie. In bestimmten Kontexten ist allerdings eine weniger spezifische, abstrakte Kategorisierung ausreichend, z.B. wenn man einen Hund lediglich als ‚Tier‘ bezeichnet. Dies entspricht in der wissenschaftlichen Terminologie einer Kategorisierung auf der *übergeordneten Ebene*. Auf der anderen Seite gibt es Situationen, in denen eine spezifischere Klassifikation eines Objekts hilfreich ist, z.B. die genauere Bezeichnung einer Hunderasse als ‚Golden Retriever‘. Diese Ebene bezeichnet man als *untergeordnete Ebene*. Diese dreiteilige Hierarchie ist in der Wissenschaft gebräuchlich, allerdings nicht erschöpfend. Auch innerhalb der Golden Retriever lassen sich natürlich noch spezifischere Unterkategorien bilden. Ein Extremfall der untergeordneten Kategorisierung wäre, wenn man sich auf ein konkretes Individuum bezieht, also z.B. den Golden Retriever ‚Whiskey‘ des Nachbarn.

Im Gegensatz zu anderen Kategoriestructuren, weisen Taxonomien besondere Eigenschaften auf, die vermutlich ihre herausragende Stellung im alltäglichen Kategorisieren begründen. Wesentliches Kennzeichen solcher Taxonomien ist, dass alle untergeordneten Kategorien vollständig in den übergeordneten enthalten sind. Dies bezeichnet man als *Klasseninklusion*. Zum Beispiel sind alle Golden Retriever gleichzeitig immer auch Hunde, genauso wie alle Hunde gleichzeitig Tiere sind. Dieses Inklusionsprinzip gilt damit ebenfalls für die jeweiligen Eigenschaften, die mit den Exemplaren einer Kategorie assoziiert sind: Alle

Eigenschaften, die für Hunde gültig sind (z.B. dass sie bellen und ein Fell besitzen), sind ebenfalls für Golden Retriever gültig. Diese Beziehung ist weiterhin *transitiv* über mehrere Ebenen der Spezifität. Wenn alle Golden Retriever Hunde sind, und alle Hunde sind Tiere, dann gilt ebenfalls der Schluss: Alle Golden Retriever sind auch Tiere. Auch dieser Effekt gilt dann wiederum für die jeweiligen Eigenschaften, die mit den Kategorien assoziiert sind (Wenn alle Tiere Blut im Körper besitzen, so tun dies auch Golden Retriever). Dieses Prinzip verdeutlicht die enorme Bedeutung, die eine solche Kategoriestructur für den Menschen innehat. Sobald ein Objekt an einer Stelle einer Hierarchie eingeordnet werden kann, können sehr viele Eigenschaften über dieses Objekt rückgeschlossen werden. Selbst wenn man es nur sehr grob (z.B. als Tier) identifiziert hat, weiß man bereits einiges über dieses Objekt, was für einen spezifischen Kontext völlig ausreichend sein kann.

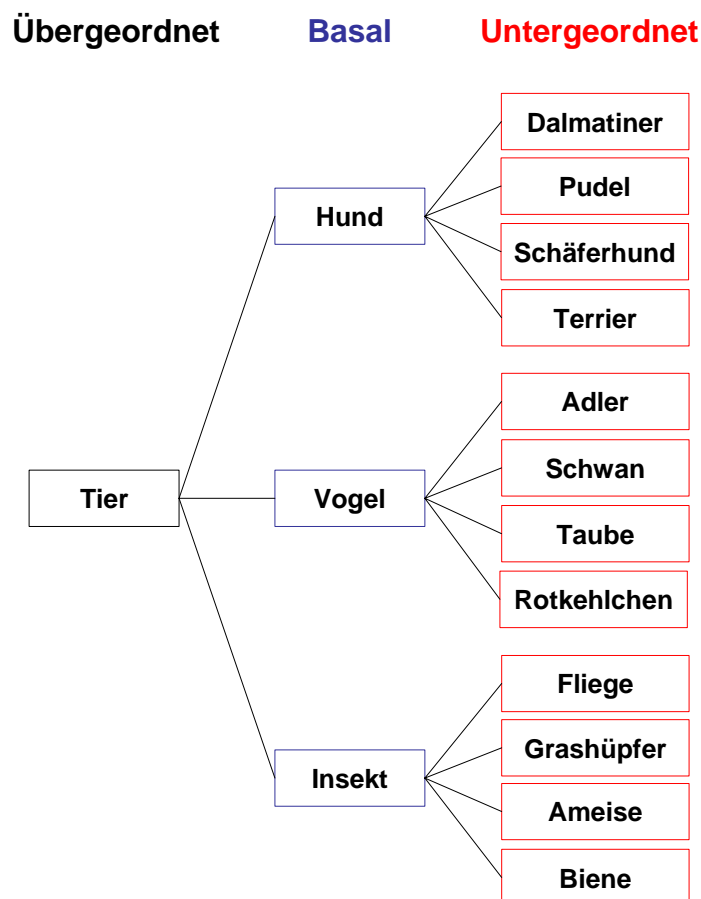


Abbildung I-1: Beispiel für eine Taxonomie (nach Collin & McMullen, 2005).

Die basale und die untergeordnete Ebene

Einige Studien haben gezeigt, dass allgemein bei der hierarchischen Kategorisierung qualitativ unterschiedliche Prozesse relevant sind, je nachdem auf welcher Ebene kategorisiert wird (z.B. Kosslyn, Alpert, & Thompson, 1995; Tanaka, Luu, Weisbrod, & Kiefer, 1999): Kategorisierungen auf der übergeordneten Ebene werden demnach in den meisten Fällen über semantisches Schlussfolgern erreicht und setzen eine vorherige Erkennung des Objekts auf der basalen Ebene voraus. Das heißt, ein dargebotenes Objekt wird z.B. zunächst als Hund identifiziert. Dann wird im semantischen Netzwerk gesucht, zu welcher übergeordneten Kategorie, in diesem Fall ‚Tiere‘, das Objekt gehört. Wird ein Objekt dagegen auf der basalen oder der untergeordneten Ebene kategorisiert, sind die Prozesse hauptsächlich perzeptueller Natur. Um einen Hund z.B. als Golden Retriever zu identifizieren, hilft es meist nicht weiter, im semantischen Gedächtnis zu suchen, sondern das Objekt muss perzeptuell tiefer verarbeitet werden, so dass die charakteristischen Kennzeichen eines Golden Retrievers (möglicherweise besonders diejenigen, die ihn von anderen Hunden unterscheiden) wahrgenommen werden. In der vorliegenden Studie geht es um Fragen der visuellen Prozesse und Gehirnasymmetrien für die visuelle Verarbeitung, insofern beziehe ich mich in den folgenden Ausführungen ausschließlich auf Kategorisierungen auf der basalen und der untergeordneten Ebene.

Eine herausragende Rolle in der menschlichen Kategorisierung nimmt die *basale* Ebene ein. Sie gilt als die Ebene, in der automatisch und spontan kategorisiert wird. Das zeigt sich u.a. darin, dass die Klassifikation von Objekten auf der basalen Ebene im Allgemeinen schneller erfolgt als auf der untergeordneten Ebene (Jolicoeur, Gluck, & Kosslyn, 1984; Lin, Murphy, & Shoben, 1997; Murphy & Brownell, 1985; Murphy & Smith, 1982; Rosch, Mervis, Gray, Johnson, & Boyes-Braem, 1976; Smith, Balzano, & Walker, 1978; Tanaka & Taylor, 1991) und dass neue basale Kategorien leichter zu lernen sind als Kategorien auf anderen Ebenen (Horton & Markman, 1980). Außerdem konnte vielfach gezeigt werden, dass im freien Benennen Begriffe bevorzugt werden, die der basalen Ebene entsprechen (Lin et al., 1997; Rosch et al., 1976; Tanaka & Taylor, 1991). Die basale Ebene weist vermutlich deshalb eine solch herausragende Stellung auf, weil sie einen idealen Kompromiss zwischen Informationsgehalt und Differenzierbarkeit darstellt (Murphy & Brownell, 1985; Murphy & Smith, 1982; Rosch et al., 1976). Das heißt, sobald ein Objekt beispielsweise als ‚Hund‘ klassifiziert werden kann, erhält man bereits eine ausreichende Menge an Information über

dieses Objekt, um Alltagsinteraktionen meistern zu können. Gleichzeitig sind Objekte auf der basalen Ebene relativ gut zu differenzieren (Rosch et al., 1976).

Klassifikationen auf der *untergeordneten* Ebene werden im Alltag seltener gebraucht. In der Regel ist das der Fall, wenn es um eine Differenzierung innerhalb einer basalen Kategorie geht, d.h. wenn z.B. mehrere Exemplare einer Kategorie vorhanden sind, man sich jedoch auf ein spezifisches beziehen möchte (Cruse, 1977; Murphy & Brownell, 1985). Damit wird ersichtlich, dass Klassifikationen auf der basalen und untergeordneten Ebene im Normalfall unterschiedliche Funktionen erfüllen. Eine Klassifikation auf der untergeordneten Ebene erfolgt meist dann, wenn spezifische Besonderheiten von Objekten in einer Situation relevant sind. Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene haben aber im Vergleich zu denen auf der basalen Ebene einen deutlich höheren Informationsgehalt, d.h. die Schlussfolgerungen, die aus einer solchen Kategorisierung abgeleitet werden können, sind spezifischer. Gleichzeitig ist jedoch die Differenzierbarkeit zwischen untergeordneten Kategorien schwieriger (Murphy & Brownell, 1985; Murphy & Smith, 1982; Rosch et al., 1976). Da in den meisten Alltagssituationen eine genaue Differenzierung nicht unbedingt nötig und gleichzeitig relativ schwierig ist, werden solche Kategorisierungen weniger häufig vorgenommen.

Fragestellung und Ausblick

Die Kategorisierung von Objekten auf den verschiedenen Ebenen der Spezifität ist eine wesentliche Fähigkeit und Strukturmerkmal unseres kognitiven Systems. Obwohl bestimmte Eigenschaften des hierarchischen Kategorisierens (z.B. die herausragende Stellung der basalen Ebene) durchaus intensiv untersucht wurden, sind bis heute wesentliche Aspekte ungeklärt. Ein bedeutendes Problem besteht darin, dass die Einordnung identischer visueller Information in Kategorien unterschiedlicher Spezifität sehr unterschiedliche, wenn nicht gar widersprüchliche Anforderungen an das kognitive System stellt. Im Falle der Kategorisierung auf der basalen Ebene müssen Objekte, die sich durchaus relativ stark unterscheiden können, in ein und dieselbe Kategorie eingeordnet werden. In einem Extrembeispiel müssen also ein Schäferhund und ein Pekinese in die gleiche Kategorie ‚Hund‘ eingeordnet werden. Verlangt wird also eine Generalisierung über eine Gruppe von Objekten, die bezüglich ihrer Merkmale eine relativ hohe Varianz aufweisen können. Im Falle der Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene dagegen geht es darum, Objekte, die sich relativ ähnlich sind, in

verschiedene Kategorien einzuordnen. So müssen z.B. die relativ ähnlich aussehenden Golden Retriever und Schäferhunde in ihre jeweiligen Kategorien eingeordnet werden. Hier müssen folglich Objekte differenziert werden, obwohl sie bezüglich ihrer Merkmale eher eine geringe Varianz aufweisen. Es stellt sich nun die Frage, wie unser kognitives System diese komplexe Aufgabe vollbringt.

Die Fragestellung ist an der Schnittstelle der Forschung zur *Kategorisierung* und der *Objektwahrnehmung* angesiedelt. Die Forschung zur Kategorisierung beschäftigt sich naturgemäß mit Kategorien und dem Prozess der Kategorisierung. Daher ist auch die hierarchische Kategorisierung ein Thema für diesen Forschungsbereich. Der Fokus liegt hier allerdings meist weniger auf der perzeptuellen Verarbeitung, sondern vielmehr bei der Frage, wie Kategorien im Gedächtnis repräsentiert sind und wie diese Repräsentationen genutzt werden, um Objekte zu kategorisieren. Im Fokus der Forschung zur Objektwahrnehmung steht, wie visuell dargebotene Objekte verarbeitet und erkannt werden. Das Erkennen von Objekten entspricht einer Kategorisierung der visuellen Information und kann daher auch auf unterschiedlichen Ebenen der Spezifität untersucht werden. Im Fokus dieses Forschungsbereichs stehen insbesondere die visuellen Verarbeitungsprozesse, die erfolgen müssen, damit ein Objekt wahrgenommen und erkannt bzw. klassifiziert werden kann. Der unterschiedliche Fokus der beiden Forschungsbereiche hat dazu geführt, dass sich grundsätzlich zwei Klassen von Lösungen für das Problem der hierarchischen Kategorisierung durchgesetzt haben (vgl. Palmeri & Gauthier, 2004). Inspiriert durch die Forschung zur Repräsentation von Kategorien wurden auf der einen Seite Modelle entwickelt, die zwei mehr oder weniger unabhängige Kategorisierungssysteme beinhalten, die dann jeweils entweder für basale oder für untergeordnete Kategorisierungen zuständig sind (z.B. Marsolek, 1999). Die Grundannahme ist, dass es sich bei basaler und untergeordneter Kategorisierung um widersprüchliche Ziele handelt, die entsprechend unterschiedliche Repräsentationssysteme erfordern (z.B. Biederman, 1987; Marr, 1982). Traditionell widmet man sich in dieser Forschungsrichtung daher vordergründig um die Form der Repräsentation von Objekten und Kategorien. Die Forschung zur Objektwahrnehmung auf der anderen Seite bevorzugt Modelle, bei denen ein und dasselbe System in der Lage ist, Kategorisierungen auf mehreren Ebenen zu ermöglichen. Traditionell spielt in diesen Modellen die Form der Repräsentation eine untergeordnete Rolle, stattdessen stehen Verarbeitungsprozesse im Vordergrund. Es wird angenommen, dass insbesondere die selektive Aufmerksamkeit auf

bestimmte diagnostische Dimensionen oder Eigenschaften des Stimulus ermöglicht, je nach gewünschter Zielkategorie (also z.B. auch basal oder untergeordnet) zu kategorisieren (z.B. Kruschke, 1992; Nosofsky, 1986; Schyns, 1998).

Interessanterweise spielen in beiden Modellen funktionelle Gehirnasymmetrien eine wesentliche Rolle. Wie später gezeigt werden wird, besteht für die Modelle, die zwei Repräsentationssysteme der Kategorisierung annehmen, die Annahme, dass die Systeme in unterschiedlichen Bereichen des Gehirns lokalisiert sind. Ein System agiert hauptsächlich in der linken Hemisphäre (LH), das andere System dagegen in der rechten Hemisphäre (RH; z.B. Marsolek, 1999). Für Modelle, die ein einziges Kategorisierungssystem annehmen, lassen sich ebenfalls Gehirnasymmetrien ableiten, da hier angenommen wird, dass Kategorisierung über die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf bestimmte diagnostische Merkmale erfolgt. Entsprechend sollten sich in diesem Fall Gehirnasymmetrien nachweisen lassen, wenn die Verarbeitung der jeweiligen Merkmale lateralisiert ist. Wie später gezeigt wird, machen die beiden Modelle unterschiedliche Vorhersagen bezüglich des spezifischen Musters von Gehirnasymmetrien, das bei der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene beobachtbar sein sollte.

Gegenstand der in dieser Arbeit behandelten Studien ist die Untersuchung, welches Muster von Gehirnasymmetrien nun tatsächlich bei der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene zu beobachten ist bzw. unter welchen Bedingungen welches Muster auftritt. Auf diese Weise sollen auch die der hierarchischen Kategorisierung zu Grunde liegenden Mechanismen weiter verstanden werden. Die gegenübergestellten Forschungsrichtungen arbeiten traditionell mit unterschiedlichen experimentellen Methoden. In Studie I wurde daher untersucht, ob die spezifische experimentelle Aufgabe einen Einfluss auf das Muster der beobachteten Gehirnasymmetrien hat. Ist dies tatsächlich der Fall, bleibt allerdings offen, welche Eigenschaften der jeweiligen Aufgabe für unterschiedliche Verarbeitungsmechanismen und damit für unterschiedliche Muster von Gehirnasymmetrien verantwortlich sind. Daher wurden in Studie II die spezifischen Bedingungen näher beleuchtet, unter denen das eine oder das andere Muster von Gehirnasymmetrien auftritt.

Bevor die Studien und ihre Ergebnisse vorgestellt werden, wird jedoch zunächst ein Überblick über die beiden Ansätze und ihre jeweilige Evidenz gegeben. Abschließend wird

der Forschungsstand zusammengefasst und es werden Fragestellungen für die anschließend berichteten Experimente formuliert.

2 Kategorisierung via Repräsentationen

Der Fokus der Forschung zur *Objekterkennung und -kategorisierung* liegt spätestens seit der Arbeit von David Marr (1982) bei der Frage, in welcher Form die Objekte der Außenwelt mental repräsentiert sind, so dass die Erkennung dieser Objekte ermöglicht wird. Der Prozess der Objekterkennung – und damit auch der Kategorisierung – wird i.d.R. in der Weise verstanden, dass ein Abgleich einer aus der aktuellen visuellen Information extrahierten Repräsentation mit einer im Gedächtnis gespeicherten Repräsentation stattfindet (Humphreys & Bruce, 1989). Eine zentrale Fragestellung ist daher, welcher Art die gespeicherte Repräsentation eines bestimmten Objekts ist, so dass dessen Erkennung unter verschiedenen Bedingungen und in verschiedenen Kontexten möglich ist.

Objekterkennung ist eine spezielle Form der perzeptuellen Kategorisierung und kann grundsätzlich auf verschiedenen Ebenen der Abstraktion stattfinden. Ein Objekt kann als ‚Hund‘ erkannt werden (d.h. auf der sog. basalen Ebene), genauso gut aber auch als ‚Dalmatiner‘ (untergeordnete Ebene). Diese Problemstellung wurde in der Forschung zur Objekterkennung allerdings meist vernachlässigt. Fast immer wird von vorneherein auf eine einzige Ebene der Spezifität fokussiert und ein entsprechendes Modell entwickelt, das die Erkennung von Objekten auf genau dieser Ebene erklären kann (z.B. Biederman, 1987; Marr, 1982; Marr & Nishihara, 1978; Tarr & Bülthoff, 1998). Entsprechend gibt es sowohl Modelle zur Repräsentation von Objekten auf der basalen Ebene (z.B. Biederman & Gerhardstein, 1993, 1995), sowie solche für die Erkennung spezifischer Objekte bzw. der Erkennung auf der untergeordneten Ebene (z.B. Tarr & Bülthoff, 1995). Die Erklärung der Erkennung auf der jeweils anderen Ebene ist für diese Art von Theorien meist nicht ohne mehr oder weniger plausible Zusatzannahmen zu lösen (vgl. Tarr & Bülthoff, 1998).

Ein Hauptproblem, das sich aus der Tatsache ergibt, dass Objekterkennung auf Ebenen unterschiedlicher Spezifität erreicht werden kann und muss, besteht darin, dass an die jeweiligen Repräsentationen unterschiedliche, sogar genau entgegengesetzte Anforderungen gestellt werden. Für die Kategorisierung auf der basalen Ebene müssen Repräsentationen einer Art sein, dass sie ein großes Maß an Variation im spezifischen visuellen Input

akzeptieren, um ein und dieselbe Output-Kategorie zu aktivieren. Neben der Variation des visuellen Inputs, die unter anderem durch den Blickpunkt des Betrachters bedingt ist, muss hier auch Variation akzeptiert werden, die auf Unterschiede in spezifischen Instanzen der basalen Kategorie zurückzuführen ist. Hier bedarf es also generell einer Repräsentation, die weitreichend tolerant gegenüber Variation im visuellen Input ist. Für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene muss eine Repräsentation dagegen derart gestaltet sein, dass spezifische Variationen im retinalen Abbild unterschieden werden können, die durch verschiedene Exemplare einer Kategorie verursacht werden. Es braucht daher in diesem Fall eine Repräsentation, die für spezifische Variation sensibel ist und entsprechend nur bestimmte visuelle Inputs akzeptiert, um spezifische Output-Kategorien zu aktivieren.

Aus diesen Überlegungen heraus und unter der Berücksichtigung der enormen Vielfältigkeit menschlicher Leistung im Bereich Objekterkennung und visueller Wahrnehmung ist in einzelnen Fällen die Hypothese formuliert worden, dass grundsätzlich mehrere Repräsentationssysteme parallel existieren könnten, die Objekte auf verschiedene Weise repräsentieren und damit auch unterschiedliche Aufgaben erfüllen können (z.B. Humphreys & Riddoch, 1984). So schreiben beispielsweise Bruce, Green und Georgeson (2003):

“Different kinds of representation are needed for different kinds of visual tasks. Even within the task of object recognition it is possible that flexible representational systems are used depending on task demands (...)” (S.288) .

Erst in jüngster Zeit kam es jedoch zu ernsthaften Ausarbeitungen theoretischer Modelle, denen zufolge unterschiedliche Repräsentationsformate die Kategorisierung auf verschiedenen Hierarchieebenen unterstützen. Insbesondere Chad J. Marsolek, der in den 1990er Jahren ein konkretes Modell formulierte, nimmt explizit an, dass verschiedene Repräsentationssysteme einerseits relativ abstrakte und andererseits relativ spezifische Objekterkennung ermöglichen. Außerdem – und insbesondere deshalb ist sein Modell für die vorliegende Arbeit besonders interessant – postuliert er, dass diese beiden Repräsentationssysteme unterschiedlich effizient in der LH bzw. RH arbeiten (z.B. Marsolek, 1999). Darüber hinaus ermöglicht vor allem auch dieser letzte Aspekt überhaupt, dieses Modell empirisch zu überprüfen.

In den folgenden Abschnitten soll nun zunächst die *Dissociable-Subsystems-Theorie* von Marsolek (z.B. 1999) im Detail vorgestellt werden. Dieses Modell nimmt einerseits ein abstraktes, v.a. in der LH dominantes Repräsentationssystem an und andererseits ein spezifisches, v.a. in der RH vorherrschendes Repräsentationssystem. Dieses Modell wird mittlerweile durch die Befunde aus einigen neuropsychologischen Studien (z.B. Beerli, Vakil, Adonsky, & Levenkron, 2004; Vaidya, Gabrieli, Verfaellie, Fleischman, & Askari, 1998), die entsprechende funktionelle Dissoziationen zeigen, durch eine ganze Reihe von Verhaltensexperimenten (z.B. Marsolek, 1999), die über perzeptuelles Priming die Existenz dieser zwei Repräsentationsformate belegen, sowie durch einige wenige bildgebende Studien unterstützt (z.B. Koutstaal et al., 2001). Aus der Existenz dieser beiden Repräsentationssysteme und ihrer Beschaffenheit lässt sich ableiten, dass diese auch differenziell der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene zu Grunde liegen könnten. Die abstrakten Repräsentationen von Objekten könnten für Kategorisierungen auf der basalen Ebene verwendet werden und die spezifischen Repräsentationen scheinen für Differenzierungen auf der untergeordneten Ebene gut geeignet. Diese Annahme bezeichne ich als *Repräsentationshypothese*. Ob diese Systeme tatsächlich bei der Kategorisierung auf der basalen und untergeordneten Ebene differenziell beteiligt sind und ob entsprechende Gehirnasymmetrien dann auch bei der Kategorisierung auftreten, bleibt noch genauer zu klären und ist ein Ziel dieser Studie. Bislang gibt es hierfür nur wenige empirische Belege, die abschließend referiert werden.

2.1 Die Dissociable-Subsystems-Theorie von Marsolek

Die neuere Gedächtnisforschung hat gezeigt, dass im extrastriären, temporoparietalen Bereich des Gehirns ein Modul existiert, welches Informationen über visuelle Formen speichert. Dieses System wird z.B. als *Structural Description System* (Riddoch & Humphreys, 1987; Schacter, 1994), als *Object Recognition System* (Moscovitch, 1994) oder auch als *Visual Form System* (Marsolek, 1995) bezeichnet. Dieses System ist Teil des impliziten Gedächtnisses und manifestiert sich insbesondere in Priming-Experimenten. Darüber hinaus ist es domänen- und modalitätsspezifisch, repräsentiert also ausschließlich perzeptuelle Information über Objekte, das heißt Information über deren visuell-räumliche Struktur (vgl. Schacter, 1994). Dass ein solches Repräsentationssystem tatsächlich existiert, wird besonders bei der Untersuchung neuropsychologischer Patienten deutlich. So konnte gezeigt werden,

dass bestimmte amnestische Patienten ihr explizites Gedächtnis für Objekte verloren haben, d.h. sie sind weder in der Lage, visuell dargebotene Objekte zu benennen, noch können sie Auskunft darüber geben, zu welchem Zweck bestimmte Objekte dienen. Indes verfügen diese Patienten über intakten Zugang zu perzeptuellem, visuell-räumlichem Wissen über diese Objekte. Sie können z.B. noch gut zwischen räumlich möglichen und unmöglichen Objekten unterscheiden sowie verschiedene Ansichten ein und desselben Objekts als vom gleichen Objekt stammend erkennen (z.B. Riddoch & Humphreys, 1987; Sartori & Job, 1988; Warrington & Taylor, 1978).

Das Modell von Marsolek bezieht sich genau auf dieses Visuelle Form-System. Aus der Überlegung heraus, dass Objekte manchmal nur auf einer relativ abstrakten Ebene erkannt werden müssen (z.B. als ‚Hund‘), mitunter aber auch auf der Ebene spezifischer Instanzen einer Kategorie (z.B. als ‚Dalmatiner‘) hat Marsolek eine genauere Ausdifferenzierung dieses Systems vorgeschlagen (Marsolek, 2003; Marsolek & Burgund, 1997, 2003). Er geht von der bereits in der Einleitung thematisierten Problematik aus, dass ein und dieselbe Repräsentation nicht ausreicht, um jeweils eine Antwort auf einer eher abstrakten und auf einer spezifischen Ebene zu liefern. Marsolek schlägt daher vor, dass es zwei Subsysteme dieses Visuellen Form-Systems gibt: ein *abstraktes* und ein *spezifisches* Visuelles Form-System. Das abstrakte System speichert visuelle Inputs (z.B. ein Bild von einem Objekt) in der Art, dass aus dem visuellen Input diejenigen Informationen enkodiert und gespeichert werden, die über mehrere Exemplare (und Ansichten von Exemplaren) invariant sind (Burgund & Marsolek, 2000; Marsolek, 1995, 1999; Marsolek & Burgund, 1997). Ein solches System akzeptiert daher verschiedene Inputs (z.B. verschiedene Exemplare von Hunden) und liefert für diese jeweils den gleichen Output (z.B. die Repräsentation der Kategorie ‚Hund‘). Das spezifische System dagegen speichert visuelle Inputs so, dass diejenige Information enkodiert und gespeichert wird, die für ein konkretes Exemplar spezifisch ist (Burgund & Marsolek, 1997, 2000; Marsolek, 1995, 1999; Marsolek & Burgund, 2005; Marsolek, Kosslyn, & Squire, 1992; Marsolek, Schacter, & Nicholas, 1996; Marsolek, Squire, Kosslyn, & Lulenski, 1994). Entsprechend liefert dieses spezifische System für jeden individuellen visuellen Input (z.B. eine bestimmte Hunderasse) auch nur einen bestimmten spezifischen Output (z.B. die spezifische Kategorie ‚Dalmatiner‘). Beide Systeme arbeiten parallel nebeneinander und sind weitestgehend dissoziiert.

Ein wesentlicher, für die vorliegende Arbeit zentraler Aspekt ist nun die zusätzliche Annahme, dass die beiden Systeme in den beiden zerebralen Hemisphären mit unterschiedlicher Effizienz arbeiten. Marsolek geht davon aus, dass Objekte in der LH bevorzugt in einem abstrakten, in der RH dagegen in einem spezifischen Format gespeichert werden. Im Folgenden sollen die beiden Systeme etwas genauer spezifiziert werden.

2.1.1 Das abstrakte Visuelle Form-System

Wie bereits geschildert, nimmt Marsolek an, dass im abstrakten Visuellen Form-System Objekte in einer Repräsentationsform gespeichert sind, die visuelle Information akzeptiert, die über eine relativ große Variation verfügen darf, und die dennoch die gleiche Kategorie als Ergebnis liefert (Marsolek, 1999; Marsolek & Burgund, 1997, 2003). So sehen beispielsweise ein Schäferhund und ein Pudel sehr verschieden aus, beide Objekte können aber ohne Probleme als Hund kategorisiert werden. Wie kann dies durch ein abstraktes Form-System gelöst werden?

Marsolek nimmt an, dass ein solches System über die Zeit lernt, Eigenschaften zu repräsentieren, die über verschiedene Exemplare einer Kategorie hinweg invariant ist. Zu den invarianten Eigenschaften der Kategorie ‚Hund‘ könnten z.B. gehören: hat 4 Beine, besitzt Fell, besitzt eine spitze Schnauze, usw. (Marsolek & Burgund, 2003). Diese Vorstellung weist deutliche Überlappung mit Modellen auf, die davon ausgehen, dass Objektkategorien in Form von Prototypen gespeichert sind (z.B. Hampton, 1979; Rosch & Mervis, 1975; Smith & Medin, 1981). Auch hier ist die Annahme, dass aus den Erfahrungen mit spezifischen Exemplaren diejenige Information abstrahiert wird, die mit gewisser Zuverlässigkeit in den jeweiligen Exemplaren einer Kategorie präsent ist. Man kann daher auch von prototypischen Repräsentationen im abstrakten Visuellen Form-System sprechen (Marsolek, 1995).

Marsolek nimmt weiter an, dass diese invariante Information in unabhängigen Merkmalen der Objekte enthalten ist, so dass die entsprechenden abstrakten Repräsentationen aus der Speicherung voneinander unabhängiger Merkmale oder auch Objektteile besteht (Marsolek & Burgund, 1997, 2003). Als Merkmal für die Kategorie ‚Klaviere‘ könnte somit gespeichert sein, dass jedes Exemplar üblicherweise eine Tastatur aufweist. Wo genau sich aber die Tastatur befindet, ist unwesentlich (bei einem aufrechten Klavier z.B. horizontal zum Korpus, beim Flügel dagegen parallel dazu). Folglich sind die Eigenschaften auch weitgehend unabhängig voneinander repräsentiert. Die Aktivierung eines Merkmals geht nicht

automatisch mit der Aktivierung anderer Merkmale einher. Das heißt auch, dass für eine abstrakte Repräsentation unerheblich ist, durch welche spezifischen Merkmale sie aktiviert wird.

Auf neuronaler Ebene soll diese Form der Repräsentation durch sog. *sparse coding* oder *local coding* erreicht werden (Marsolek & Burgund, 2003). Die Neuronenpopulation, die eine abstrakte Kategorie repräsentiert, ist so gestaltet, dass einzelne Neurone (oder kleinere Neuronengruppen) mit sehr hoher Aktivität auf ein bestimmtes Merkmal oder einen bestimmten Teil des Objekts reagieren, dafür aber gar nicht oder mit geringer Aktivität auf andere Merkmale oder Objektteile. Somit würden verschiedenen Neurone verschiedene Teile oder Eigenschaften des Objekts repräsentieren. Außerdem stehen auf diese Weise die Neurone, die verschiedene Teile des Objekts repräsentieren, kaum in Zusammenhang. Wenn also das Neuron, das die Eigenschaft ‚4 Beine‘ repräsentiert, aktiviert wird, wird direkt die Output-Kategorie ‚Hund‘ aktiviert. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Neurone, die andere Eigenschaften repräsentieren, z.B. das Neuron, das Fell repräsentiert.

Der Vorgang der Objektkategorisierung würde im abstrakten Visuellen Form-System also folgendermaßen ablaufen: Ein visueller Stimulus wird dargeboten, der bestimmte Merkmale aufweist. Die Neurone, die die diagnostische Information repräsentieren, reagieren mit Aktivität. Information, die exemplarspezifisch und nicht in der Repräsentation enthalten ist, wird ignoriert. Verfügt der Reiz über eine ausreichende Menge an diagnostischen Merkmalen, erreicht die Aktivierung der Kategorie ‚Hund‘ einen kritischen Grenzwert, sodass das Objekt erfolgreich kategorisiert werden kann.

2.1.2 Das spezifische Visuelle Form-System

Das Gegenstück zum abstrakten ist das spezifische Visuelle Form-System. Marsolek geht davon aus, dass in diesem System Objekte in einer Repräsentationsform gespeichert sind, die erlaubt, dass relativ kleine Variationen zwischen Exemplaren auch verschiedene Kategorien als Ergebnis liefern (z.B. Marsolek, 1999). In diesem Fall sollten z.B. ein Schäferhund und ein Pudel, die die gleichen invarianten Eigenschaften des Hundes aufweisen, dennoch als verschiedenen Subkategorien zugehörig erkannt werden. Das eine Objekt sollte als Schäferhund und das andere als Pudel erkannt werden. Wie wird dies durch ein spezifisches im Gegensatz zu einem abstrakten Form-System gelöst?

Um diese Leistung zu erbringen, braucht es nach Ansicht Marsoleks Repräsentationen, die nicht nur die invariante Kerninformation abstrahieren, sondern die auch komplexere, spezifische Reizeigenschaften beinhalten. Die Information, die es braucht, um z.B. einen Schäferhund von einem Pudel zu unterscheiden, liegt nach Ansicht Marsoleks meist im Zusammenspiel mehrerer Eigenschaften (Marsolek & Burgund, 1997), z.B. darin, dass die Beine im Verhältnis zum Körper beim Pudel kurz, beim Schäferhund jedoch lang sind. Die Merkmale sind also nicht unabhängig voneinander repräsentiert, sondern in Relation zueinander. Möglicherweise sind diese Relationen sogar exakt metrisch beschrieben (Marsolek & Burgund, 1997, 2003). Es lässt sich an dieser Stelle gut erkennen, dass diese Konzeption wiederum große Überschneidung mit theoretischen Modellen aufweist, die sich die Repräsentation von Kategorien als Sammlungen spezifischer Einzelexemplare einer Kategorie vorstellen (z.B. Medin & Schaffer, 1978). Daher spricht Marsolek hier ebenfalls von Exemplar-Repräsentationen (Marsolek, 1995).

Generell ergibt sich aus dieser Annahme, dass auf neuronaler Ebene die Eigenschaften der Objekte bzw. Kategorien nicht durch einzelne unabhängige Neurone oder kleinere Neuronenpopulationen repräsentiert sein können. Im Gegensatz zu den abstrakten Repräsentationen wird daher angenommen, dass die spezifischen Repräsentationen durch sog. *distributed coding* erreicht werden (Marsolek, 2003). Bei dieser Form der neuronalen Kodierung bestehen mehr oder weniger starke Überlappungen zwischen den Repräsentationsbereichen der Neuronen. Eine Neuronenpopulation ist an der Repräsentation des gesamten Reizes oder eines großen Teils des Reizes beteiligt und die Aktivierung eines Neurons führt automatisch zu Mitaktivierungen anderer Neurone. Die Beschreibung des Objekts bzw. der Kategorie liegt dann im Gesamtmuster aller beteiligten Neurone. Leichte Variationen durch verschiedene Exemplare spiegeln sich in Unterschieden im Gesamtaktivierungsmuster der Neuronenpopulation wider. Im Gegensatz zum *sparse coding* sind die Eigenschaften der Objekte also nicht unabhängig repräsentiert.

Der Vorgang der Objektkategorisierung würde im spezifischen Visuellen Form-System also folgendermaßen ablaufen: Ein visueller Stimulus wird dargeboten, der bestimmte Merkmale aufweist. Eine übergreifende Neuronenpopulation reagiert mit einem spezifischen Muster an Aktivität, das alle relevante Information des Stimulus als Ganzes repräsentiert. Entspricht das Muster der Repräsentation der Kategorie ‚Pudel‘, wird das Objekt erfolgreich auf der untergeordneten, d.h. spezifischen Ebene kategorisiert.

2.2 Befunde zur Existenz eines abstrakten und eines spezifischen Visuellen Form-Systems in der LH und RH

Marsolek war einer der ersten, die explizit den Gedanken formulierten, dass es ein abstraktes Form-System in der LH und ein spezifisches Form-System in der RH geben könnte. Die meisten Belege für diese Hypothese stammen daher auch aus Verhaltensexperimenten, die von seiner eigenen Arbeitsgruppe durchgeführt wurden. Es gibt aber auch einzelne neuere Befunde einerseits aus Untersuchungen mit neuropsychologischen Patienten, andererseits aus Untersuchungen mit elektrophysiologischen und bildgebenden Verfahren, die einen Hinweis für die Existenz dieser zwei Systeme in den beiden Gehirnhälften geben. Im Folgenden sollen die bisherigen Befunde für die Existenz der zwei Systeme referiert werden.

2.2.1 Untersuchungsmethoden

Die meisten Studien zur Existenz eines abstrakten und eines spezifischen Visuellen Form-Systems verwendeten als Stimuli Wortformen (z.B. Burgund & Marsolek, 1997; Marsolek, 2004; Marsolek et al., 1992; Marsolek et al., 1994). Die Annahme dabei ist, dass auch Wörter zunächst in einem rein visuellen Form-System analysiert werden, bevor sie in semantischen und linguistischen Arealen weiterverarbeitet werden. Denn auch für Wörter gilt die Annahme, dass einerseits in den meisten Fällen die abstrakte Information – also das Wort selbst – relevant ist, in manchen Fällen aber auch eine spezifische Form, z.B. die spezifische Schriftart, in der das Wort geschrieben wurde. Aber auch mit Abbildungen von Objekten wurden entsprechende Studien durchgeführt (Marsolek, 1999; Marsolek & Burgund, 2003). Da die Studien für beide Stimulusarten vergleichbare Ergebnisse brachten, werden sie im Folgenden gemeinsam dargestellt. Zwar bleibt umstritten, ob Wortformen und Objektformen tatsächlich in identischen Arealen repräsentiert sind. Selbst für den Fall jedoch, dass es sich um zwei verschiedene Systeme handeln sollte, kann man davon ausgehen, dass sie nach einem identischen Prinzip funktionieren und sich lediglich bezüglich des bevorzugten spezifischen Inhalts unterscheiden.

In fast allen Studien, in denen versucht wurde, die Existenz eines rein visuellen, präsemantischen Form-Systems nachzuweisen, wurde perzeptuelles Priming als experimentelle Methode verwendet. In einer Enkodierphase werden zunächst spezifische Exemplare von Wörtern oder Objekten dargeboten und somit als Prime etabliert. Bei Wörtern heißt dies in der Regel, dass diese in einer bestimmten Schriftart oder in Groß- oder

Kleinbuchstaben präsentiert werden. Bei Objekten ist das Bild eines spezifischen Exemplars gemeint. Um Primingeffekte nachzuweisen, werden in der anschließenden Testphase einerseits bereits gezeigte oder neue Stimuli präsentiert. Die Differenz in Reaktionszeiten und / oder Fehlerraten zwischen neuen und bereits bekannten Stimuli ergibt den grundsätzlichen Primingeffekt. Um abstraktes und spezifisches Priming unterscheiden zu können, werden von den bereits bekannten Stimuli einerseits die identischen Exemplare der Enkodierphase gezeigt, andererseits andere Exemplare aus der gleichen abstrakten Kategorie. Bei Worten werden z.B. entweder die gleichen Wörter in gleicher Schriftart oder in anderer Schriftart gezeigt. Bei Objekten werden entweder die gleichen Exemplare präsentiert oder andere Exemplare, die aber der gleichen abstrakten Kategorie angehören. Als Testaufgabe, um Primingeffekte bei Wörtern nachzuweisen, ist Wortstammergänzung die klassische Methode. Hier wird in der Testphase nur ein Teil eines Wortes dargeboten (z.B. ‚Pu‘) und die Aufgabe der Versuchspersonen (Vpn) ist es, dieses spontan zu vervollständigen (z.B. ‚Pudel‘). Ausgewertet wird, in welchem Ausmaß die Vpn für die Wortstammerngänzung Worte verwenden, die in der Enkodierphase bereits gezeigt wurden. Bei Objekten besteht die Aufgabe dagegen meist in der Identifikation derselben unter ungünstigen Darbietungsbedingungen (z.B. bei sehr kurzer Präsentationszeit). Die Reize der Testphase werden entweder im rechten visuellen Feld (RVF) oder im linken visuellen Feld (LVF) präsentiert. Da die Sehbahnen der beiden visuellen Felder (VF) vollständig gekreuzt sind, bedeutet dies, dass alle visuelle Information aus dem RVF zunächst ausschließlich in die LH projiziert wird, alle Information aus dem LVF dagegen in die RH. Wird ein Prozess besonders gut von einer Hemisphäre geleistet, so sollte eine Projektion der visuellen Information in diese Hemisphäre zu einem Leistungsvorteil, in die andere Hemisphäre dagegen zu einem Leistungsnachteil führen. Wird die Testaufgabe also der LH (im RVF) präsentiert, in der das abstrakte System effizient arbeitet, so sollte die spezifische Schriftart keinen Unterschied für den Primingeffekt haben bzw. der Primingeffekt sollte unabhängig davon sein, ob es sich um das gleiche oder ein anderes Objektexemplar handelt. Wird die Testaufgabe dagegen in der RH (dem LVF) präsentiert, in der das spezifische System effizienter arbeitet, so sollte es einen starken Primingeffekt geben, wenn das Wort in der gleichen Schriftart dargeboten wird wie in der Primingphase oder das gleiche Exemplar gezeigt wird. Wenn dagegen das Wort in einer anderen Schrift präsentiert wird oder ein anderes Exemplar der Kategorie gezeigt wird, sollte der Primingeffekt geringer sein.

2.2.2 Verhaltensexperimente mit visueller Halbfeldpräsentation

Marsolek und seine Kollegen führten eine ganze Reihe von Experimenten nach dem oben beschriebenen Prinzip durch. In den meisten der Studien wurde mit Wörtern und Nicht-Wörtern gearbeitet, die in gleicher oder unterschiedlicher Schriftart dargeboten wurden. Tatsächlich fanden sich regelmäßig die erwarteten Effekte, wenn die Aufgabe besonders das implizite Gedächtnis beteiligte, wie es z.B. bei der Wortstammergänzung der Fall ist (Burgund & Marsolek, 1997; Marsolek, 2004; Marsolek et al., 1992; Marsolek et al., 1994).

Interessant ist allerdings die Frage, ob mit natürlichen Objekten ähnliche Effekte erzielt werden können. Dazu führte Marsolek ein ähnliches Experiment mit Strichzeichnungen von Alltagsobjekten durch. Hier wurden in der Enkodierphase zentral Zeichnungen von verschiedenen Objekten präsentiert. In der anschließenden Testphase wurden dann entweder die gleichen Exemplare oder verschiedene Exemplare der gleichen Kategorie sehr kurz entweder im RVF/LH oder im LVF/RH präsentiert und die Erkennungsrate ermittelt. Wie bei den Experimenten mit Wörtern zeigte sich, dass bei Präsentationen im RVF/LH Priming unabhängig von der Spezifität des Exemplars stattfand, d.h. es gab einen generellen Primingeffekt für die Kategorie. Bei Präsentationen im LVF/RH dagegen gab es nur einen deutlichen Primingeffekt, wenn in der Testphase das gleiche Exemplar gezeigt wurde wie in der Enkodierphase. Der Effekt war deutlich geringer, wenn in der Enkodier- und Testphase zwar die gleiche Kategorie vorkam, jedoch unterschiedliche Exemplare. Eine zusätzliche Bedingung, in der in der Enkodierphase ausgeschriebene Wörter als Primes dargeboten wurden, zeigte deutlich geringere Primingeffekte, bei denen es auch keine VF-Effekte gab. Dies belegt, dass in der Aufgabe tatsächlich perzeptuelles (und kein semantisches) Priming stattfand. Die beobachteten VF-Effekte sind also auf perzeptuelle Prozesse zurückzuführen (Marsolek, 1999).

Ob und in welchem Ausmaß das abstrakte oder das spezifische Form-System an den Primingeffekten beteiligt sind, hängt jedoch durchaus von der Art der Stimuli und den Anforderungen der Aufgabe ab. VF-Effekte sind v.a. dann zu beobachten, wenn für die Reizverarbeitung perzeptuelle Mechanismen von zentraler Bedeutung sind (also z.B. in einer Primingaufgabe oder beim Einsatz von Maskierung; Marsolek & Andresen, 2005). VF-Effekte sind dagegen nicht immer zu beobachten, wenn explizite Erinnerung an Stimuli

verlangt wird oder die Aufgaben eine tiefe semantische Verarbeitung erfordert (z.B. Burgund & Marsolek, 1997).

In den bislang berichteten Primingexperimente konnte grundsätzlich gezeigt werden, dass Priming in der LH eher abstrakter Art ist, Priming in der RH dagegen spezifisch. Die Überlegungen Marsoleks schließen aber weiter ein, welcher Art die jeweiligen Repräsentationen sind. Seine Annahme ist, dass die Repräsentationen der LH unabhängige Teile oder Merkmale eines Objekts beinhalten, während die Repräsentationen der RH holistischen Charakter haben (Marsolek & Burgund, 1997, 2003). Um dies zu belegen, führten Marsolek und Kollegen (1996) zunächst ein interessantes Experiment durch, das die klassische Untersuchungsmethodik erweitert. Hier wurden in der Enkodierphase nicht einzelne Wörter, sondern Wortpaare gezeigt, d.h. es gab immer ein Zielwort und ein Kontextwort. In der anschließenden Testphase wurde dann die klassische Wortstamm-ergänzung durchgeführt. Allerdings wurde nicht nur der Wortstamm, sondern wiederum zusätzlich ein Kontextwort dargeboten. Dieses Kontextwort konnte nun bereits in der Enkodierphase verwendet worden oder völlig neu sein. Interessanterweise zeigte sich ein Vorteil der RH für die Wortstamm-ergänzung ausschließlich dann, wenn der Wortstamm zusammen mit dem identischen Kontextwort dargeboten wurde, das bereits in der Enkodierphase zusammen mit dem Wort gezeigt worden war. Diese Studie belegt, dass die Repräsentationen der RH offensichtlich den gesamten visuellen Kontext der Enkodierphase enthalten. Auch mit Bildern von Objekten konnte die postulierte Art der Repräsentationen belegt werden. In einem Experiment untersuchten Burgund und Marsolek (2000) das Phänomen, dass die Erkennensleistung von Objekten manchmal unabhängig vom spezifischen Blickwinkel des Betrachters ist, manchmal aber auch mit dem Betrachterblickwinkel variiert. Nach Marsoleks Modell sollte dieses Phänomen über die unterschiedliche Beteiligung der Hemisphären erklärbar sein. Da die LH Objekte in der Form speichert, dass invariante Merkmale unabhängig voneinander repräsentiert werden, sollte für die LH der Blickwinkel keine Rolle spielen, da aus den meisten Blickwinkeln diese invarianten Merkmale gleich gut sichtbar sind und weil für die Aktivierung der Repräsentation der Zielkategorie irrelevant ist, durch welche spezifischen Merkmale sie aktiviert wird. Dies gilt aber nicht für die Relation von Merkmalen untereinander. Diese verändert sich, wenn sich der Blickwinkel verändert. Daher sollte die RH, die die spezifische Konfiguration von Objektmerkmalen speichert, sensitiv für Variationen im spezifischen Blickwinkel sein. Diese Hypothese überprüften

Burgund und Marsolek (2000), indem sie in der Enkodierphase Objekte zeigten, die aus einem spezifischen Blickwinkel dargestellt wurden. In der anschließenden Testphase wurden die gleichen Objekte dann entweder aus der gleichen oder aus einer anderen Perspektive entweder im LVF/RH oder im RVF/LH gezeigt. Tatsächlich fanden die Autoren, dass bei Darbietungen im RVF/LH die spezifische Perspektive keine Rolle spielt, d.h. die Primingeffekte waren für Objekte in gleicher oder unterschiedlicher Perspektive gleich. Bei Darbietungen im LVF/RH dagegen gab es deutlichere Primingeffekte, wenn das Objekt in der Enkodier- und der Testphase in der gleichen Perspektive dargeboten wurde im Vergleich zur Darbietung in unterschiedlicher Perspektive. Das gleiche Phänomen fanden Marsolek und Burgund (2003) für Bilder von Objekten, in denen unterschiedliche Merkmale der Objekte nicht aufgrund eines Perspektivenwechsels sichtbar waren, sondern weil Teile des Bildes abgedeckt wurden. Auch hier fand sich, dass bei Präsentationen im RVF/LH die Primingeffekte identisch sind, egal welche Teile eines Bildes sichtbar sind. Bei Präsentationen im LVF/RH gibt es jedoch nur dann klare Primingeffekte, wenn in der Testphase und in der Enkodierphase die identischen Bildversionen verwendet werden.

Die Verhaltensexperimente legen also nahe, dass die Repräsentationen der LH eher einen abstrakten, prototypischen Charakter haben, die der RH dagegen einen eher spezifischen Exemplarcharakter. Gleichzeitig gibt es Hinweise, dass die Abstraktion in der LH dadurch erreicht wird, dass relativ invariante Information unabhängig voneinander repräsentiert wird, während die Spezifität der RH dadurch geprägt ist, dass die Merkmale in Relation zueinander beschrieben sind

2.2.3 Neuropsychologische Studien

Wenn die Ergebnisse der Verhaltensexperimente valide sind, so sollte sich für neuropsychologische Patienten, die Schädigungen in den entsprechenden posterioren und inferotemporalen Gehirnarealen aufweisen, ebenfalls unterschiedliche Defizite nachweisen lassen, je nachdem ob die LH oder die RH betroffen ist. Tatsächlich finden sich Belege für diese Annahme aus zwei Patientenstudien.

In einer Studie von Vaidya et al. (1998) wurde eine Gruppe von Patienten mit verschiedenen Störungsursachen, die zu globaler Amnesie geführt hatten, mit einem Patienten verglichen, der eine Verletzung im rechten okzipitalen Kortex aufwies. Alle Patienten führten u.a. eine Primingaufgabe mit Wörtern durch. Auch hier wurden in einer Enkodierphase

Wörter in bestimmter Schriftart dargeboten und in einer Testphase eine Wortstammerngänzung verlangt. Die Patienten mit globaler Amnesie konnten sich an die Wörter der Enkodierphase nicht explizit erinnern, sie zeigten jedoch spezifische perzeptuelle Primingeffekte: Während die amnestischen Patienten generell eher ein schriftartenspezifisches Priming zeigten, zeigte der Patient mit Schädigung in der RH ausschließlich abstraktes Priming, das unabhängig von der spezifischen Schriftart war.

An der Studie von Beeri et al. (2004) nahmen neuropsychologische Patienten sowohl mit Schädigungen in posterioren Arealen der LH als auch der RH teil. Die Autoren verwendeten in dieser Studie Bildmaterial zur Untersuchung der Primingeffekte. In der Enkodierphase wurden den Patienten Bilder von Objekten gezeigt, die sie benennen sollten. In der Testphase wurden dieselben Bilder, Bilder mit den gleichen Objekten in leicht abgewandelter Form und völlig neue Bilder gezeigt, deren visuelle Qualität jeweils verringert worden war. Diese visuelle Verzerrung wurde so lange reduziert bis die Patienten das Bild erkennen konnten. Als abhängiges Maß diente das prozentuale Ausmaß der Verzerrung, ab der das Bild erkannt wurde. Patienten mit Schädigung der RH benötigten im Falle der spezifischen Primingbedingung ein geringeres Maß an Verzerrung, um die Objekte erkennen zu können, gegenüber Patienten mit Schädigung der LH und Kontrollpatienten ohne entsprechende Schädigung. Der Effekt für Patienten mit Schädigung der LH war nicht so deutlich. Es zeigte sich aber ein deutlicher Trend dahingehend, dass diese einen geringeren Effekt für abstraktes Priming aufwiesen als für spezifisches.

2.2.4 EKP-Studien und Studien mit bildgebenden Verfahren

Es gibt zwar einige Studien, in denen mit elektrophysiologischen oder bildgebenden Verfahren perzeptuelles Priming untersucht wurden, allerdings nur wenige, in denen explizit unterschiedliche Lokalisationen und Zeitverläufe für abstraktes und spezifisches Priming betrachtet wurden.

Eine Studie, in der dieser Aspekt mit Hilfe der Untersuchung ereigniskorrelierter Potenziale (EKP) genauer analysiert wurde, stammt von Pickering und Schweinberger (2003). Im Rahmen einer Primingstudie mit Wortformen als Stimuli boten sie in einer Enkodierphase Namen berühmter Persönlichkeiten dar. In der anschließenden Testphase wurden entweder die gleichen oder andere Namen dargeboten, um Primingeffekte zu untersuchen. Von den bekannten Namen war die Hälfte in der gleichen Schriftart wie in der Enkodierphase, die

andere Hälfte war in einer anderen Schriftart. Die Aufgabe in der Testphase bestand darin zu beurteilen, ob der angegebene Name ein berühmter oder nicht berühmter Name war. Die Autoren fanden zum einen eine Negativierung im Zeitbereich um 200 ms (N200) über posterioren Arealen. Diese Negativierung unterschied sich signifikant für abstraktes und spezifisches Priming. Allerdings war diese Negativierung in beiden Gehirnhälften sichtbar, also nicht deutlich lateralisiert. Im Zeitbereich um 250 ms (N250r) über temporalen Arealen fand sich ebenfalls ein Unterschied in den Kurven für geprimete und neue Objekte, der aber unabhängig von der spezifischen Schriftart war. Diese Komponente, die daher vermutlich abstraktes Priming repräsentiert, war deutlicher in der LH ausgeprägt. Die Ergebnisse bestätigen damit, dass es grundsätzlich dissoziierte Zeitverläufe und Lokalisationen für abstraktes und spezifisches Priming gibt. Ebenfalls gezeigt wurde, dass das abstrakte Priming in der LH dominanter ist als in der RH. Überraschenderweise zeigte sich aber keine Lateralisierung für spezifisches Priming. Die Autoren selbst führen dieses Ergebnis auf methodische Probleme zurück: Die Aufgabe zu beurteilen, ob ein Name berühmt ist oder nicht, die die Vpn in der Testphase zu erfüllen hatten, förderte vermutlich generell eher abstraktes Priming, da die Schriftart für die Aufgabe völlig irrelevant war. Für eine Wortstammerngänzung ist die Schriftart relevanter, da sie ein deutlicher Hinweisreiz für die Vervollständigung der Teststimuli ist.

Mit natürlichen Alltagsobjekten als Reizen und funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT) als bildgebende Methode führten Koutstaal et al. (2001) eine Primingstudie durch. In einer Enkodierphase wurden den Teilnehmern Bilder von Objekten gezeigt, deren Größe sie bestimmen sollten. In der Testphase hatten die Vpn die gleiche Aufgabe. Hier wurden ihnen aber sowohl völlig neue, als auch bereits vertraute Objekte gezeigt. Letztere konnten entweder identisch zu den früher dargebotenen Exemplaren sein oder es konnte sich um ein anderes Exemplar aus der gleichen abstrakten Kategorie handeln. Entsprechend der Erwartung fand sich während der Testphase im okzipitotemporalen Kortex der RH (insbesondere im fusiformen Gyrus) ein deutlich stärkerer Primingeffekt, wenn es sich um identische Objekte in der Enkodier- und Testphase handelte als wenn zwei verschiedene Exemplare der gleichen abstrakten Kategorie gezeigt wurden. In der LH war die Aktivitätsreduktion durch wiederholte Darbietung dagegen für identische und verschiedene Exemplare der gleichen Kategorie gleich groß.

Die Studien mit elektrophysiologischen und bildgebenden Verfahren runden das Bild somit ab. Auch hier gibt es Hinweise dafür, dass die Repräsentationen, die dem impliziten Formgedächtnis und den daraus resultierenden perzeptuellen Primingeffekten zu Grunde liegen, in der RH spezifisch, in der LH dagegen abstrakt sind.

2.3 Die Repräsentationshypothese

Die bislang vorgestellten Studien belegen, dass es einerseits Formrepräsentationen gibt, die relativ abstrakt und vorwiegend in der LH gespeichert sind und andererseits solche, die sehr spezifisch und vorwiegend in der RH gespeichert sind. Es liegt nun nahe, anzunehmen, dass die abstrakten Repräsentationen von Objekten der visuellen Kategorisierung auf der basalen Ebene zu Grunde liegen könnten, während die spezifischen Repräsentationen Eigenschaften aufweisen, die ermöglichen sollten, dass Objekte auf der untergeordneten Ebene klassifiziert werden. In Bezug auf Hemisphärenasymmetrien bei der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene heißt das: Da Objekte in abstrakter Form eher in der LH gespeichert werden, sollte sich für Kategorisierungen von Objekten auf der basalen Ebene ein Vorteil der LH zeigen. Da in der RH Objekte vorwiegend in einem spezifischen Format repräsentiert sind, sollte sich für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene ein Vorteil der RH zeigen (vgl. Laeng, Zarrinpar, & Kosslyn, 2003). Diese Annahme wird im Folgenden als *Repräsentationshypothese* bezeichnet.

Marsolek selbst macht aber eine deutliche Unterscheidung zwischen der Existenz von abstrakten und spezifischen Repräsentationen und der Kategorisierung auf der basalen und untergeordneten Ebene (Marsolek, 1999). Die angenommenen Speicherungsformate gehören dem impliziten Gedächtnis an und ihre differenzielle Beteiligung in der perzeptuellen Verarbeitung wird vor allem in Primingexperimenten sichtbar. Die bisher berichteten Primingstudien verdeutlichen nämlich auch, dass VF-Effekte nicht immer auftreten, sondern von der spezifischen Aufgabe abhängen können. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass die VF-Effekte in Aufgaben, in denen explizite Gedächtnisformen involviert sind, mit geringerer Wahrscheinlichkeit sichtbar werden (Burgund & Marsolek, 1997; Marsolek, 2004; Marsolek et al., 1992; Marsolek et al., 1994). Daraus ergibt sich die berechtigte Frage, ob die entsprechenden lateralisierten Repräsentationen auch tatsächlich in Aufgaben zur Anwendung kommen (und sich in entsprechenden Gehirnasymmetrien manifestieren), in denen tatsächlich auf verschiedenen Ebenen der Spezifität kategorisiert werden muss. Es wäre durchaus

denkbar, dass die in Primingexperimenten nachgewiesenen Repräsentationsformate auch ausschließlich für Priming zuständig sind. Der Prozess der Kategorisierung auf mehreren Abstraktionsebenen könnte dagegen auf anderen Repräsentationen und Prozessen beruhen. Zu dieser Frage gibt es bislang allerdings kaum Untersuchungen.

Eine Ausnahme bilden lediglich einzelne neuropsychologische Studien aus den 1970er und 1980er Jahren, die Gehirnasymmetrien für basale und untergeordnete Kategorisierungen nachgewiesen haben. So zeigte sich, dass bei unilateral geschädigten Patienten selektiv die eine oder die andere Fähigkeit gestört sein kann (z.B. Humphreys & Riddoch, 1984; Warrington & Taylor, 1978). Gleichzeitig war man jedoch in diesen älteren Studien nicht so sehr an der Kategorisierung interessiert, sondern vielmehr an der grundsätzlichen Tatsache, dass es verschiedene Repräsentationsformate für Objekte geben kann. Die Ergebnisse lassen sich aber im Theorierahmen des Dissociable-Subsystems-Modells von Marsolek gut erklären, weshalb sie im Folgenden zuerst kurz referiert werden sollen. Einzelne neuere Verhaltensexperimente untersuchen dann explizit die Tatsache, dass die LH eher basale Kategorisierungen unterstützt, während die RH untergeordnete Kategorisierungen bzw. Exemplarererkennung ermöglicht. Die Ergebnisse werden im Anschluss berichtet.

2.3.1 Neuropsychologische Studien

Warrington und Taylor (1978) führten eine groß angelegte Studie mit 81 Patienten durch, die Gehirnerkrankungen in verschiedenen für Objektwahrnehmung und -erkennung relevanten Bereichen aufwiesen (okzipital, parietal, temporal, temporoparietal und okzipitoparietal). Bei der verwendeten Aufgabe handelte es sich um eine visuelle Vergleichsaufgabe. In einem ersten Teil der Aufgabe wurden Bilder von Objekten aus verschiedenen Perspektiven dargeboten und die Teilnehmer sollten entscheiden, ob es sich um dasselbe Objekt handelt (*identity matching*). In einem zweiten Teil wurde zunächst ein Objektpaar gezeigt, dessen Elemente jeweils einer anderen Kategorie angehörten, die sich perzeptuell jedoch ähnlich waren (z.B. ein Rollstuhl und ein Liegestuhl). Anschließend wurde den Vpn ein Zielobjekt (z.B. ein anderer Liegestuhl) dargeboten und sie sollten entscheiden, mit welchem der beiden Referenzobjekte es in der Funktion übereinstimmt (*functional identity matching*). Erfasst wurden die Kategorisierungsfehler. Es ging also um die Gegenüberstellung der Leistung in einer Aufgabe, bei der die Kategorisierung spezifischer Exemplare relevant war (*identity matching*) und in einer Aufgabe, bei der abstraktere

Kategorisierung verlangt war (*functional identity matching*). Die Autoren fanden eine doppelte Dissoziation für diese beiden Aufgaben. Patienten mit einer Verletzung in der RH waren vor allem in der spezifischeren *identity matching* Aufgabe gestört. Patienten mit einer Verletzung in der LH zeigten dagegen vor allem Beeinträchtigungen in der abstrakteren *functional identity matching* Aufgabe. Dieser Befund lässt sich gut mit der Vorstellung vereinbaren, dass die RH für die Erkennung spezifischer Instanzen zuständig ist, die LH dagegen für die abstraktere Kategorisierung. Über die genaue Lokalisation der hierfür relevanten Gehirnareale gibt diese Studie jedoch keinen Aufschluss, so dass auch keine weitgehenden Schlussfolgerungen hinsichtlich der spezifischen Mechanismen gezogen werden können.

Nur wenige Jahre später bestätigten Humphreys und Riddoch (1984) den Befund anhand einer etwas anderen Aufgabe. Hier wurde den untersuchten Patienten zunächst immer ein Objekt in prototypischer Ansicht gezeigt und anschließend ein zweites Objekt. Die Teilnehmer sollten angeben, ob es sich bei den beiden Stimuli um das gleiche Objekt handelte oder nicht. Variiert wurde jeweils die spezifische Ansicht des Testobjekts. In einem Teil der Testbilder wurde das Bild aus einer völlig anderen Perspektive gezeigt, die die Hauptachse des Objekts aber erkennbar ließ, dafür jedoch die salienten Merkmale der Stimuli schwerer zu erkennen machte (z.B. die Löcher eines Salzstreuers; *foreshortened condition*). In einem zweiten Teil der Testbilder wurden die Objekte aus einer Perspektive gezeigt, in der die Hauptachse des Objekts nicht erkennbar und damit die holistische Struktur des Objekts schwer rekonstruierbar war, in der aber die salienten, diagnostischen Merkmale nach wie vor gut erkennbar waren (*minimal feature condition*). Alle Patienten, die eine Verletzung in der RH aufwiesen, zeigten insgesamt schlechtere Leistungen in der *foreshortened condition*, d.h. sie hatten Schwierigkeiten, zwei Ansichten des gleichen Objekts als dem gleichen Objekt zugehörig zu kategorisieren, wenn die Rotation dafür sorgte, dass die Hauptachse in der rotierten Version nicht mehr rekonstruierbar war. Dagegen wies ein Patient mit einer bilateralen Verletzung im parietal-okzipitalen Bereich in dieser Aufgabe keine Probleme auf, war aber in der *minimal feature condition* gestört, in der die salienten Merkmale in der Testversion des Objekts nicht mehr zu erkennen waren. Eine Folgeuntersuchung von Riddoch und Humphreys (1986) bestätigte dieses Ergebnis.

Eine umfassendere Analyse neuropsychologischer Befundmuster lieferte Farah in ihren Arbeiten (z.B. Farah, 1991, 1992; Farah & Hammond, 1988). Sie stellte in einer Analyse

neuropsychologischer Befundmuster fest, dass eine doppelte Dissoziation der Erkennung für Objekte aus verschiedenen Domänen besteht. Einerseits gibt es Patienten, die gedruckte Worte nicht lesen können (*Alexie*), die aber Gesichter unterscheiden können und nur teilweise in der Erkennung alltäglicher Objekte gestört sind. Viele dieser Patienten weisen Verletzungen in der LH auf. Umgekehrt gibt es Patienten, die selektiv Gesichter nicht erkennen können (*Prosopagnosie*), die aber gedruckte Worte lesen können und ebenfalls teilweise in der Erkennung alltäglicher Objekte gestört sind. Hierbei handelt es sich meist um Patienten mit Verletzungen in der RH. Alexie und Prosopagnosie traten in ihren Untersuchungen also so gut wie nie bei den gleichen Patienten auf (vgl. Farah, 1991). Aus dieser doppelten Dissoziation schloss Farah, dass es zwei Arten von Objektrepräsentationen geben muss, weil es unterschiedliche Arten von Reizen gibt, deren Erkennung unterschiedliche Repräsentationsformate verlangen. Beim Lesen von Wörtern ist die Zerlegung in einzelne Buchstaben relevant, da diese konstituierende Bestandteile von gesamten Worten sind. Beim Unterscheiden von Gesichtern dagegen steht die spezifische Konfiguration bestimmter Einzelteile im Vordergrund, da die Bestandteile allein nicht diagnostisch sind. Diese Befundmuster entsprechen aber auch völlig dem Ansatz von Marsolek in Bezug auf basale und untergeordnete Kategorisierung: Bei der Differenzierung von Gesichtern handelt es sich meist um eine Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene (vgl. Gauthier, Tarr, Moylan, Skudlarski et al., 2000), da spezifische Personen differenziert werden müssen. Die Wahrnehmung von Wörtern entspricht dagegen in den meisten Fällen einer Kategorisierung auf der basalen Ebene, da hier lediglich die abstrakte Information wichtig ist. Die Differenzierung bestimmter Schriftarten ist meist unbedeutend.

2.3.2 Verhaltensexperimente mit visueller Halbfeldpräsentation

In einem Experiment, das wiederum von Marsolek durchgeführt wurde (Marsolek, 1995), sollten die Vpn bedeutungslose Formen kategorisieren. Das Prinzip orientiert sich an klassischen Experimenten zur Prototypabstraktion von Posner und Keele (1968). Diese hatten Stimuli eingeführt, bei denen zunächst ein bedeutungsloses Punktmuster als Prototyp deklariert wird. Aus diesem Prototyp werden dann durch metrische Verschiebung einzelner Punkte verschiedene Exemplare generiert. Der metrische Durchschnitt aus allen geschaffenen Exemplaren ergibt den Prototypen, d.h. der Prototyp enthält die abstrahierte Information aus allen Exemplaren. Marsolek übernahm dieses Prinzip, um mit einer Kategorisierungsaufgabe

nachzuweisen, dass Objekte in der LH als abstrakte und in der RH als spezifische Repräsentationen gespeichert werden. Den Vpn wurden zunächst in einer Lernphase einige der verzerrten Exemplare von jeweils acht Kategorien (also von acht Prototypen) zentral dargeboten. Aufgabe der Vpn war es, die Zuordnungen der Exemplare zu den acht Kategorien zu lernen. Die Annahme war, dass die Vpn dadurch in der LH einen Prototypen abstrahieren sollten und in der RH die spezifische Exemplarinformation speichern sollten. In der anschließenden Testphase wurden verschiedene Formen kurz im RVF/LH oder im LVF/RH präsentiert. Dabei wurde entweder der Prototyp (der vorher noch nie gezeigt worden war), ein bekanntes Exemplar oder ein bislang noch nicht gezeigtes Exemplar präsentiert. Aufgabe der Vpn war es, zu benennen, in welche Kategorie die jeweiligen Exemplare gehören. Im Einklang mit der Repräsentationshypothese zeigte sich, dass Prototypen deutlich schneller kategorisiert wurden, wenn sie im RVF/LH gezeigt wurden als wenn sie im LVF/RH gezeigt wurden. Bereits bekannte Exemplare wurden dagegen schneller kategorisiert, wenn sie im LVF/RH präsentiert wurden als wenn sie im RVF/LH gezeigt wurden. Dies gilt allerdings nur dann, wenn diese bekannten Exemplare in der Lernphase nicht zu oft präsentiert wurden.

Nach einem ähnlichen Prinzip und ebenfalls mit artifiziellen Reizen wurde von Marsolek und Burgund (2008) erst kürzlich eine Studie durchgeführt, in der sie eine perzeptuelle Vergleichsaufgabe verwendeten. Dazu präsentierten sie dreidimensionale, artifizielle Objekte, die zunächst als Prototypen deklariert wurden. Durch Hinzufügen weiterer Komponenten wurden daraus verschiedene Exemplare der jeweiligen Kategorie kreiert. Die Vpn hatten nun eine sequentielle perzeptuelle Vergleichsaufgabe zu bearbeiten, d.h. zunächst wurde ein Objekt visuell dargeboten und anschließend ein zweites. In der Kategorisierungsaufgabe sollten die Vpn lediglich angeben, ob die beiden Objekte der gleichen Kategorie entstammen (also dem gleichen Prototypen entstammten). In der Exemplarvergleichsaufgabe dagegen sollte angegeben werden, ob es sich bei den dargebotenen Objekten um das gleiche Exemplar handelt. Die beiden Aufgaben wurden jeweils geblockt durchgeführt. Es zeigte sich tatsächlich eine bessere Leistung für die Kategorisierungsaufgabe, wenn die Reize im RVF/LH dargeboten wurden, und eine bessere Leistung für die Exemplarvergleichsaufgabe, wenn die Reize im LVF/RH gezeigt wurden.

Beide berichteten Experimente haben den Vorteil, dass durch die Verwendung künstlicher Stimuli gewährleistet wird, dass die beobachteten Phänomene perzeptuellen und nicht semantischen Ursprungs sind. Gleichzeitig sind jedoch die jeweiligen Situationen sehr

künstlich: Zum einen werden völlig artifizielle Stimuli verwendet, bei denen nicht feststeht, ob natürliche Objekte tatsächlich vergleichbare Eigenschaften aufweisen. Zum anderen stellt insbesondere die perzeptuelle Vergleichsaufgabe von Marsolek (2008) eher eine Zwischenform zwischen Priming und Kategorisierung dar. Es stellt sich folglich die Frage, ob hier tatsächlich Kategorisierungsprozesse abgebildet werden. Relativiert werden diese Einwände jedoch angesichts einer Studie von Laeng et al. (2003), die die gleiche Fragestellung unter Verwendung vergleichsweise natürlicher Stimuli (schwarz-weiß Zeichnungen von Tieren und Artefakten, sowie schwarz-weiß Fotos von Gesichtern berühmter Persönlichkeiten) untersuchten. Die Aufgabe der Vpn bestand in einer Bild-Wort-Vergleichsaufgabe. Die Bilder wurden für kurze Zeit lateralisiert im RVF/LH oder im LVF/RH dargeboten. Anschließend wurde akustisch ein Wort dargeboten, das das Objekt entweder auf der basalen oder der untergeordneten Ebene beschrieb. Aufgabe der Vpn war es, anzugeben, ob Bild und Wort korrespondieren oder nicht. Die Autoren fanden tatsächlich für alle drei Stimulustypen einen Vorteil für Darbietungen im RVF/LH, wenn Bild und Wort auf der basalen Ebene verglichen wurden und einen Vorteil für Darbietungen im LVF/RH, wenn Bild und Wort auf der untergeordneten Ebene verglichen wurden.

2.3.3 Zusammenfassung

Die Tatsache, dass Objekte in der LH bevorzugt in abstrakter Form, in der RH dagegen in spezifischer Form repräsentiert werden, legt die Vorhersagen für die *Repräsentationshypothese* nahe. Dementsprechend sollte sich ein Vorteil der LH für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein Vorteil der RH für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene ergeben. Die Evidenz für diese Hypothese ist noch relativ dürftig und beruht fast ausschließlich auf Experimenten, in denen Vergleichsaufgaben verwendet wurden. Zumindest in diesen Experimenten konnten jedoch bereits entsprechende Lateralisierungen belegt werden.

3 Kategorisierung via diagnostische Merkmale

Im vorangegangenen Kapitel wurde eine Möglichkeit beschrieben, wie das Problem gelöst werden kann, dass gleiche Objekte sowohl in basale als auch in untergeordnete Kategorien eingeordnet werden können. Entsprechend dieses durch Forschung im Bereich Objekterkennung bzw. –kategorisierung motivierten Ansatzes werden Objekte in

verschiedenen Repräsentationsformen im Langzeitgedächtnis gespeichert. Für die Kategorisierung auf der basalen Ebene wird die visuelle Information mit abstrakten Repräsentationen abgeglichen, für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene dagegen mit spezifischeren Repräsentationen (Marsolek, 1999). Der Fokus dieses Ansatzes liegt daher auf der Frage, welche Eigenschaften diese Objektrepräsentationen aufweisen. Die genauen Mechanismen, wie und welche visuelle Information analysiert und mit diesen Repräsentationen abgeglichen wird und wie es letztlich zur Entscheidung über die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Kategorie kommt, werden dagegen vernachlässigt (Palmeri & Gauthier, 2004). Genau um diese Mechanismen, also die visuellen Verarbeitungsprozesse, die während und mit dem Ziel einer Kategorisierung stattfinden, geht es in einem alternativen Lösungsansatz für dieses Problem. Dieser Ansatz ist durch Forschung zur *Objekt- und Szenenwahrnehmung* motiviert. Die Frage, wie Objekte repräsentiert sind, wird hier häufig ignoriert bzw. es wird von sehr vereinfachten Annahmen ausgegangen. Im Fokus stehen dagegen die Verarbeitungsprozesse, die bei der Kategorisierung ablaufen (Palmeri & Gauthier, 2004).

In Bezug auf die Frage, wie ein- und dasselbe Objekte gleichzeitig in mehrere Kategorien eingeordnet werden kann, kommt in entsprechenden Modellen der selektiven Aufmerksamkeit auf diagnostische Dimensionen der jeweiligen Kategorie eine zentrale Rolle zu (z.B. Kruschke, 1992; Nosofsky, 1986). Das heißt, der Kerngedanke, wie ein Objekt in mehrere Kategorien eingeordnet werden kann, besteht darin, dass die Aufmerksamkeit auf unterschiedliche Merkmale bzw. Merkmalsdimensionen des Objekts gerichtet wird. Meist werden hier allerdings sehr einfache Stimuli gewählt, die auf einer begrenzten Zahl von Dimensionen klar definiert sind (z.B. Farbe und Form). Ein Objekt kann dann entsprechend seiner jeweils spezifischen Ausprägung auf den Dimensionen ‚Farbe‘ und ‚Form‘ definiert werden (z.B. ‚blau‘ und ‚Quadrat‘). Sollen die Objekte dann nach einer der Dimensionen klassifiziert werden (also entweder als Quadrat oder als blaues Objekt), so wird angenommen, dass die selektive Aufmerksamkeit auf die jeweilige diagnostische Dimension (Farbe bzw. Form) gerichtet wird. Die Stimuli würden dann je nach Aufgabe entweder entsprechend ihrer Form oder ihrer Farbe differenziert und entsprechend klassifiziert (vgl. Kruschke, 1992; Nosofsky, 1986). In allen diesen Kategorisierungsmodellen (vgl. Murphy, 2002) bleibt allerdings offen: Welche perzeptuellen Eigenschaften und Dimensionen eines natürlichen Objektes sind tatsächlich für eine Kategorisierung diagnostisch relevant?

Überraschenderweise hat man sich erst in jüngerer Zeit diese Frage gestellt – vermutlich ein Ergebnis der neueren Bestrebungen, die Forschungsergebnisse von Wahrnehmung und Kategorisierung verstärkt in Einklang zu bringen (Palmeri & Gauthier, 2004). Schyns (1998) geht beispielsweise davon aus, dass die Kategorisierung eines Objekts das Ergebnis einer Interaktion zwischen der spezifischen *Aufgabe* und der *Verfügbarkeit* der visuellen Information ist. So kann beim Kategorisieren von Gesichtern die Aufgabe darin bestehen, die Identität der Person zu erkennen, das Geschlecht zu bestimmen oder den emotionalen Ausdruck zu benennen. Je nachdem, welches Ziel mit der Kategorisierung erreicht werden soll, sind nach Auffassung Schyns' unterschiedliche Merkmale diagnostisch. Das heißt, unterschiedliche Merkmale enthalten die Information, die tatsächlich nötig ist, um die Aufgabe erfolgreich lösen zu können. Er spricht daher in Bezug auf seine Vorstellungen von einem *Diagnostic Recognition* Ansatz. Auf der anderen Seite stehen dem aber Beschränkungen gegenüber, die die Verfügbarkeit visueller Information betreffen. Nicht jede Art visueller Information ist in gleich guter Qualität und gleich schnell für das visuelle System verfügbar. So sind beispielsweise große, gut kontrastierte Merkmale leichter zu erkennen als schwer differenzierbare Details. Der Ansatz verdeutlicht insofern, dass die visuelle Verarbeitung von Objekten sehr flexibel gehandhabt werden kann, in Abhängigkeit davon, mit welchem Ziel kategorisiert werden soll, welche visuelle Information verfügbar ist und wie viel Zeit vorhanden ist, um diese zu analysieren.

Veranschaulichen lässt sich dies sehr schön an folgender Studie: Um die Frage zu klären, welche Stimulusmerkmale für bestimmte Kategorisierungsaufgaben diagnostisch sind, konstruierten Schyns und Oliva (1999) mit Hilfe computergestützter Bildbearbeitung sog. hybride Stimuli. Diese Stimuli sind insofern hybrid, als dass die fein-skalierte Information (enthalten in den hohen Ortsfrequenzen) aus einem Bild stammt, die grob-skalierte Information (enthalten in den niedrigen Ortsfrequenzen) dagegen aus einem anderen Bild. So kann ein hybrider Stimulus z.B. gleichzeitig zwei verschiedene Personen darstellen – im hohen Frequenzbereich einen Mann und im niedrigen Frequenzbereich eine Frau. Da die hybriden Bilder im hohen und niedrigen Ortsfrequenzbereich unterschiedliche Information enthalten, erlaubt die erfolgte Kategorisierung durch die Pbn Rückschlüsse darauf, welche Ortsfrequenzbereiche für eine bestimmte Kategorisierungsaufgabe verwendet wurden. In einem Experiment (Schyns & Oliva, 1999) sollten nun verschiedene Pbngruppen mit diesen Bildern unterschiedliche Kategorisierungsaufgaben lösen. So mussten die Bilder entweder

hinsichtlich des Geschlechts oder hinsichtlich des Gesichtsausdrucks (emotional oder neutral) kategorisiert werden. Es zeigte sich, dass für verschiedene Kategorisierungsaufgaben unterschiedliche Aspekte des hybriden Stimulusmaterials analysiert wurden. Für die Beurteilung, ob ein Gesicht einen emotionalen Ausdruck aufweist oder nicht, wurde von den Pbn v.a. der hohe Frequenzbereich zu Grunde gelegt, also die sehr fein skalierte Information analysiert. Sollte der Ausdruck dagegen spezifisch kategorisiert werden (also z.B. ‚grimmig‘ oder ‚fröhlich‘), so wurde meist die grobe Information aus den niedrigen Ortsfrequenzen analysiert. Bei der Beurteilung des Geschlechts wiederum wurde die grobe und die feine Information gleich häufig für ein Urteil herangezogen. Wichtig ist anzumerken, dass die Vpn nicht bemerkten, dass ihnen hybride Bilder gezeigt wurden, d.h. sie nahmen immer nur entweder das eine oder das andere Bild wahr. Deshalb zeigt dieses Experiment deutlich, dass allein die Aufgabenstellung (z.B. Beurteilung des emotionalen Ausdrucks) beeinflusst, auf welche Information des Stimulus die Aufmerksamkeit gerichtet wird, die für die Beurteilung diagnostisch ist. Dies weist gleichzeitig auf zwei weitere wichtige Aspekte hin: Zum einen zeigt sich, dass verschiedene Aufgabenstellungen zu einer Analyse unterschiedlicher visueller Information aus einem Stimulus führen können. Zum anderen wird die besondere Rolle relativ grober, globaler und relativ feiner, lokaler Information für verschiedene Kategorisierungsaufgaben deutlich.¹

Es ist nun eine naheliegende Annahme, dass auch die Kategorisierung eines visuell dargebotenen Objekts auf der basalen und der untergeordneten Ebene anhand unterschiedlicher Information in verschiedenen Ortsfrequenzbereichen vorgenommen wird. Für eine Kategorisierung auf der basalen Ebene könnte relativ grobe, globale Information ausreichend sein. Für eine Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene dagegen dürfte feiner aufgelöste, lokale Information relevant sein (Oliva & Schyns, 1997; Schyns & Oliva, 1999). Das Problem, ein und denselben visuellen Input einmal auf der basalen und einmal auf der untergeordneten Ebene klassifizieren zu müssen, könnte folglich dadurch gelöst werden,

¹ Im Folgenden werden die Begriffe ‚global‘ und ‚lokal‘ bzw. ‚niedrige‘ und ‚hohe Ortsfrequenzen‘ gleichbedeutend gebraucht und es wird kein Unterschied zwischen Studien gemacht, die globale und lokale Verarbeitung bzw. die Verarbeitung hoher und niedriger Ortsfrequenzen im Rahmen der Objektkategorisierung betrachten. Dies erscheint legitim, da die jeweiligen Manipulationen immer sowohl das Spektrum an Ortsfrequenzen als auch die globale und lokale Merkmalsebene betreffen. Es sei jedoch angemerkt, dass die Begriffe nicht völlig identisch sind, d.h. die globale Information eines Stimulus muss z.B. nicht zwangsläufig ausschließlich niedrige Ortsfrequenzen enthalten (z.B. Morrison & Schyns, 2001).

dass die Aufmerksamkeit jeweils auf unterschiedliche Aspekte des Stimulus gerichtet wird – auf die eher globale Information für basale Kategorien und auf die eher lokale Information für untergeordnete Kategorien.

Im Folgenden werden nun zunächst Belege dafür angeführt, dass globale und lokale Merkmale tatsächlich eine differenzielle Rolle für die visuelle Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene spielen. Weiter wird gezeigt, dass die Verarbeitung globaler und lokaler Merkmale jeweils in der RH und LH lateralisiert ist. Nimmt man die Befunde aus diesen beiden Bereichen zusammen, ergibt sich daraus die von mir so bezeichnete *Merkmalshypothese*: Kategorisierungen auf der basalen Ebene sollten besser von der RH geleistet werden, Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene dagegen von der LH. Diese Hypothese ist meines Wissens bislang noch nicht explizit untersucht wurden. Es gibt allerdings einige Studien, die generell Lateralisierung im Rahmen der Objektwahrnehmung und –erkennung untersucht haben und deshalb die Merkmalshypothese zumindest indirekt stützen. Diese werden abschließend berichtet.

3.1 Globale und lokale Verarbeitung bei der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene

Dass v.a. die globale Form für die Differenzierung basaler Kategorien diagnostisch sein könnte, wurde schon lange vermutet. Bereits die frühen Arbeiten von Eleanor Rosch (z.B. Rosch et al., 1976), die als Pionierarbeiten im Bereich kognitionspsychologischer Kategorisierungsforschung bezeichnet werden können, haben dies gezeigt. Die globale Form eines Hundes unterscheidet sich z.B. stark von der eines Vogels, die globalen Formen verschiedener Hunde- oder Vogelexemplare unterscheiden sich dagegen nur geringfügig. Rosch et al. (1976) zeigten dies mit verschiedenen anschaulichen Experimenten. So gestalteten die Autoren beispielsweise Stimuli, bei denen Abbildungen von verschiedenen Exemplaren einer Kategorie übereinander gelegt wurden. Diese Prozedur führten sie mit Kategorien der basalen, der untergeordneten und der übergeordneten Ebene durch. Dabei wurde zunächst festgestellt, dass die Überlappungsbereiche der Exemplare bei basalen Kategorien sehr groß sind. Legt man beispielsweise die Abbildungen von einem Schäferhund und einem Golden Retriever übereinander, so decken sie in etwa die gleiche Fläche ab. Bei übergeordneten Kategorien ist die Überlappung dagegen sehr gering. Die Flächen, die ein Vogel und ein Hund abdecken, sind sehr unterschiedlich. Weiter wurde untersucht, inwieweit

Stimuli noch zu erkennen sind, wenn man ausschließlich die Flächen zeigt, die bei den verschiedenen Exemplaren überlappen. Solche Durchschnittsformen aus jeweils zwei Objekten einer Kategorie waren immer noch gut zu erkennen, wenn es sich um zwei Exemplare einer basalen Kategorie handelte (z.B. zwei verschiedene Hunde). Durchschnittsformen aus Exemplaren aus untergeordneten Kategorien oder übergeordneten Kategorien können auf der jeweiligen Ebene weniger gut differenziert werden.

Die experimentellen Methoden von Eleanor Rosch sind allerdings eher deskriptiv und lassen keine eindeutige Interpretation der Ergebnisse zu. Zum Beispiel verwendete sie einfache Strichzeichnungen von Objekten, die zudem, bevor sie übereinander gelegt werden konnten, zunächst skaliert und in eine bestimmte Ansicht gebracht wurden. Auch Aspekte wie Vertrautheit mit dem Stimulusmaterial und dessen visuelle Komplexität wurden nicht kontrolliert (vgl. Rosch et al., 1976). Es ist daher fraglich, ob es sich bei diesen Experimenten tatsächlich um eine relativ natürliche Objekterkennungssituation handelt.

Zumindest widersprechen die Ergebnisse nicht der Annahme, dass die globale Form für die Differenzierung von Kategorien auf der basalen Ebene diagnostisch ist. Gleichzeitig wurden Roschs Befunde mittlerweile in einigen Arbeiten aus den letzten Jahren wieder aufgegriffen und unter Verwendung neuerer experimenteller Methoden bestätigt. Hayward (1998) zeigte beispielsweise, dass insbesondere die Umrisslinie wesentlich für die Objekterkennung (d.h. die Kategorisierung auf der basalen Ebene) ist. In einer perzeptuellen Vergleichsaufgabe, in der jeweils zwei Bilder von Objekten verglichen werden mussten, fand er, dass die Erkennensleistung kaum davon abhing, ob ein vollständiges, schattiertes dreidimensionales Bild verwendet wurde oder lediglich dessen Silhouette. Manipulationen hingegen, die die Silhouette veränderten, hatten einen sehr deutlichen Effekt auf die Kategorisierungsleistung auf der basalen Ebene. Gerlach (2001) untersuchte die gleiche Fragestellung mit Hilfe einer Aufgabe, in der ein dargebotener Stimulus als ein tatsächlich existierendes Objekt oder Nicht-Objekt erkannt werden musste. Dazu präsentierte er die Objekte unter Bedingungen reduzierter visueller Qualität, d.h. sehr kurz und in der Peripherie des Gesichtsfeldes. Bei einer solchen Darbietung lässt sich lediglich die globale Form gut erkennen. Entsprechend fand er, dass Lebewesen tatsächlich noch gut erkannt werden konnten.

In den bislang genannten Studien konnte also gezeigt werden, dass die globale Form am ehesten eine Differenzierung basaler Kategorien erlaubt. Dieser Befund konnte in einigen weiteren Studien repliziert werden, in denen darüber hinaus aber auch deutlich wird, dass feiner-skalierte, lokale Information für die Differenzierung von Objekten auf der untergeordneten Ebene notwendig ist. So verwendeten Archambault, Gosselin und Schyns (2000) eine perzeptuelle Vergleichsaufgabe, in der zwei dreidimensionale, grau-skalierte Bilder von natürlichen Objekten gezeigt wurden. Die Pbn sollten jeweils entscheiden, ob die gezeigten Objekte zur selben basalen oder untergeordneten Kategorie gehörten oder nicht. Variiert wurde jeweils die Stimulusgröße. Es zeigte sich, dass die Größenvariation die Kategorisierung auf der basalen Ebene kaum beeinträchtigte, sehr wohl aber die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene. Daraus wurde geschlossen, dass für die basale Kategorisierung diagnostische Information herangezogen wird, die von der Skalierung unabhängig ist. Die Autoren nahmen an, dass insbesondere die Umrisse der Reize diese Eigenschaft aufweisen könnten. Die Differenzierung auf der untergeordneten Ebene verlangt dagegen Detailinformation, die bei Verringerung der visuellen Qualität nicht mehr gut differenzierbar ist.

Collin und McMullen (2005) verwendeten ebenfalls dreidimensionale, schattierte Bilder von natürlichen Objekten und konnten in einer Wort-Bild-Vergleichsaufgabe zeigen, dass die Eliminierung der hohen Raumfrequenzen von Tierbildern (was der Eliminierung der feinen Details des Bildes entspricht) die Klassifikation auf der basalen Ebene nicht beeinflusste, die Leistung der Klassifizierung auf der untergeordneten Ebene aber erheblich beeinträchtigte. Dies bestätigt, dass die grobe Information der globalen Form der Objekte für eine Klassifikation auf der basalen Ebene ausreicht und dass insbesondere die lokalen Details diagnostisch für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene sind. Collin (2006) replizierte den Befund in einem Experiment, in dem die Schwellen der Ortsfrequenzen jeweils für die Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene ermittelt wurden.

Damit konnte gezeigt werden, dass tatsächlich globale und lokale Information für die Kategorisierung auf der basalen bzw. der untergeordneten Ebene diagnostisch ist. Wird jedoch auch tatsächlich die Aufmerksamkeit auf diese diagnostischen Informationen gerichtet, wenn Objekte kategorisiert werden müssen? Large und McMullen (2006) wählten eine raffinierte Methode, die es erlaubt, auf direkterem Weg nachzuweisen, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf globale und lokale Merkmale mit der Kategorisierung auf der

basalen und der untergeordneten Ebene in Zusammenhang steht. In ihren Experimenten identifizierten ihre Pbn zunächst in einem ersten Durchgang einen Buchstaben oder eine Zahl, der oder die entweder auf der globalen oder der lokalen Ebene eines hierarchischen Stimulus (eine große Form, die aus mehreren kleinen Formen zusammengesetzt ist) erscheinen konnte. Auf diese Weise wurde die Aufmerksamkeit entweder auf der globalen oder der lokalen Ebene geprimet (ein Phänomen das als *Level Repetition Priming* bezeichnet wird (z.B. Hübner, 1997; Lamb & Yund, 1996)). Im direkt darauf folgenden Durchgang sollten die Pbn dann ein Zielobjekt unter gleichzeitiger Darbietung eines Distraktorobjekts identifizieren, und zwar entweder auf der basalen oder der untergeordneten Ebene. Es konnte gezeigt werden, dass die Pbn die Objekte schneller auf der basalen Ebene diskriminieren konnten, wenn die Aufmerksamkeit im vorhergehenden Durchgang auf der globalen Ebene geprimet worden war. Dagegen konnten sie die Objekte schneller auf der untergeordneten Ebene diskriminieren, wenn die Aufmerksamkeit auf der lokalen Ebene geprimet worden war. Eine vorherige Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf die jeweils diagnostische Ebene erleichterte also jeweils die entsprechende Kategorisierungsleistung.

Insgesamt zeigen die methodisch sehr unterschiedlichen Studien klar, dass zumindest für die Domäne der Lebewesen die globale Form als diagnostisches Merkmal zur Kategorisierung auf der basalen Ebene herangezogen wird, während für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene vor allem lokale Details nötig sind.²

3.2 Gehirnasymmetrien für die Verarbeitung globaler und lokaler Merkmale

Im vorangehenden Abschnitt wurde gezeigt, dass die Verarbeitung globaler und lokaler Merkmale eine zentrale Rolle bei der Kategorisierung natürlicher Objekte auf der basalen und untergeordneten Ebene spielt. Ein wesentlicher Aspekt im Kontext der vorliegenden Arbeit besteht darin, dass für die globale und lokale Verarbeitung Gehirnasymmetrien angenommen werden. Es wird postuliert, dass die RH einen Vorteil bei der Verarbeitung der globalen Form eines Stimulus aufweist, während die LH einen Vorteil für die Verarbeitung lokaler Details

² Die meisten dieser Arbeiten verwenden Lebewesen als Stimulusmaterial. Für diese Stimulusklasse ist diese Hypothese daher mittlerweile gut bestätigt worden. Für Artefakte gibt es weniger Befunde, die zudem darauf hinweisen, dass die Annahme für diese Stimulusklasse möglicherweise nicht zutreffend ist (z.B. Gerlach, 2001; Thomas & Forde, 2006).

zeigt (z.B. Martin, 1979). Zum Nachweis von Gehirnasymmetrien für die Verarbeitung globaler und lokaler Objektmerkmale wurden zahlreiche Untersuchungen mit unterschiedlichen methodischen Zugangsweisen durchgeführt. Dazu gehören Untersuchungen an Patienten mit unilateralen Gehirnläsionen, Experimente mit elektrophysiologischen und bildgebenden Verfahren sowie Reaktionszeitexperimente.

3.2.1 Befunde für hierarchische Buchstaben und abstrakte Formen

In den meisten Arbeiten, in denen Gehirnasymmetrien für die Verarbeitung globaler und lokaler Aspekte eines Stimulus untersucht wurden, wurden hierarchische Buchstaben als Stimuli verwendet (siehe Abb. I-2). Dabei handelt es sich um große Buchstaben, die wiederum aus kleineren Buchstaben zusammengesetzt sind. Die globale Aufgabe entspricht dann der Identifikation des großen Buchstabens und die lokale der der kleinen Buchstaben. Eingesetzt wurden diese Stimuli erstmals von Navon (1977) zur Untersuchung der relativen Verarbeitungsgeschwindigkeit bzw. -reihenfolge globaler und lokaler Stimuluseigenschaften. Lediglich in einigen wenigen Studien wurden auch einfache geometrische Formen verwendet.

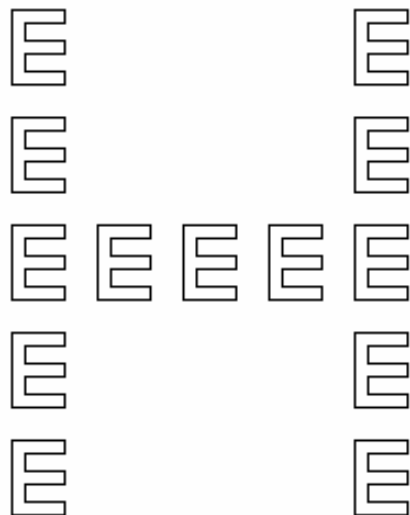


Abbildung I-2: Beispiel für einen hierarchischen Buchstaben, d.h. einen großen Buchstaben, der aus kleineren Buchstaben zusammengesetzt ist.

Patientenstudien

Die frühesten und gleichzeitig deutlichsten Belege für die Lateralisierung globaler und lokaler Verarbeitung finden sich in Studien, die mit unilateral hirngeschädigten Patienten durchgeführt wurden (z.B. Delis, Robertson, & Efron, 1986; Robertson & Delis, 1986; Robertson & Lamb, 1991; Robertson, Lamb, & Knight, 1988). In einer als klassisch zu bezeichnenden Studien zeigten Delis et al. (1986) Patienten hierarchisch strukturierte Reize (Buchstaben und Formen). Anschließend sollten die Patienten die Figuren aus dem Gedächtnis nachzeichnen. Patienten mit einer Schädigung der LH waren gut in der Lage, die globale Reizform zu reproduzieren, hatten jedoch Schwierigkeiten, die lokalen konstituierenden Elemente wiederzugeben. Patienten mit einer Schädigung der RH hingegen konnten die lokalen Formen korrekt erinnern, hatten aber Schwierigkeiten, die korrekte globale Form zu reproduzieren. Die Studie belegt eindrücklich die untersuchte Asymmetrie für globale und lokale Formen. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Läsionen der Patienten nur sehr ungenau lokalisiert waren und die verwendete Methode zudem keine Quantifizierung der Beeinträchtigung erlaubte.

Jedoch konnten die Ergebnisse in anderen, besser kontrollierten Studien bestätigt werden. Lamb, Robertson und Knight (1990; vgl. auch Robertson et al., 1988) führten eine Studie mit Patienten durch, die eine Schädigung entweder des linken oder rechten superioren Temporallappens aufwiesen. Aufgabe der Patienten war es, eine definierte Zielform zu identifizieren, die auf der globalen oder lokalen Ebene eines hierarchischen Reizes erscheinen konnte. Patienten mit Schädigungen der LH zeigten einen generellen Vorteil für die Identifikation auf der globalen Ebene, während Patienten mit Schädigungen der RH einen Vorteil für die lokale Ebene hatten. Auch in Einzelfallstudien, in denen Patienten mit Schädigung der RH oder der LH untersucht wurden, konnten entsprechende Befunde immer wieder und z.T. recht eindrücklich bestätigt werden (Doricchi & Incoccia, 1998; Filoteo, Friedrich, & Stricker, 2001; Lassonde et al., 1999). Insgesamt zeigen die Ergebnisse aus Patientenstudien, dass die entsprechenden klassifikationsrelevanten Areale hauptsächlich im (superioren) temporalen Kortex (Doyon & Milner, 1991; Lamb et al., 1990) sowie dem inferioren Teil des Parietallappens, dem die Aufgabe zugeschrieben wird, die Aufmerksamkeit kontrolliert auf die eine oder andere Ebene zu richten (Lamb et al., 1990; Robertson & Lamb, 1991; Robertson et al., 1988), lokalisiert sind.

Elektrophysiologische und bildgebende Verfahren

Gehirnasymmetrien für die globale und lokale Verarbeitung wurden auch in einer Reihe von Studien mit elektrophysiologischen Maßen und bildgebenden Verfahren nachgewiesen. In elektrophysiologischen Studien werden hierarchische Reize meist zentral, manchmal auch lateralisiert im linken oder rechten Gesichtsfeld, präsentiert und die EKPs über den relevanten Gehirnarealen aufgezeichnet und zwischen den Hemisphären verglichen. Tatsächlich fand sich in einer großen Anzahl von Studien die erwartete Lateralisierung (Han, Fan, Chen, & Zhuo, 1999; Heinze, Hinrichs, Scholz, Burchert, & Mangun, 1998; Heinze, Johannes, Münte, & Mangun, 1994; Heinze & Münte, 1993; Malinowski, Hübner, Keil, & Gruber, 2002; Proverbio, Minniti, & Zani, 1998; Volberg & Hübner, 2004; Yamaguchi, Yamagata, & Kobayashi, 2000). In den meisten Studien fand sich eine Differenzierung zwischen den Hemisphären im Bereich der N2 (z.B. Heinze et al., 1998), z.T. aber auch später bei der P3 (Malinowski et al., 2002). Die zeitlichen Variationen sind vermutlich aufgabenabhängig, z.B. je nachdem ob ein Reiz tatsächlich identifiziert oder eine Zielform lediglich detektiert werden muss (vgl. Malinowski et al., 2002). In Übereinstimmung mit den Läsionsstudien fanden sich die entsprechenden Effekte vorwiegend in temporo-parietalen Bereichen. Bestätigt wurden die Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung auch in Studien mit bildgebenden Verfahren, bei denen die Stimuli i.d.R. ebenfalls im zentralen Gesichtsfeld präsentiert werden und die Differenz an regionalem Blutfluss in den relevanten Gehirnarealen zwischen den Hemisphären verglichen wird. Auch in solchen Studien konnten die erwarteten Gehirnasymmetrien nachgewiesen werden (z.B. Fink et al., 1996; Fink, Marshall, Halligan, & Dolan, 1999; Han et al., 2002; Heinze et al., 1998; Martinez et al., 1997; Weber, Schwarz, Kneifel, Treyer, & Buck, 2000).

Reaktionszeitstudien

Bei den meisten Arbeiten, in denen Gehirnasymmetrien für die globale und lokale Verarbeitung untersucht wurden, handelt es sich um Reaktionszeitstudien. Hier macht man sich zunutze, dass die menschliche Sehbahn vollständig gekreuzt ist, so dass alle Information, die sich im LVF befindet in die RH projiziert wird, während alle visuelle Information, die sich im RVF befindet in die LH projiziert wird. Gibt es nun einen Vorteil z.B. der RH für die Verarbeitung der globalen Form, so sollte diese besonders schnell erkannt werden, wenn der Reiz im LVF erscheint, da er dann direkt in die RH projiziert wird. Umgekehrt gilt gleiches

für die LH und lokale Formen. Tatsächlich gibt es eine ganze Reihe von Studien, die solche VF-Effekte tatsächlich fanden (Blanca, Zalabardo, Garcia-Criado, & Siles, 1994; Christman & Weiner, 1997; Evert & Kmen, 2003; Hübner, 1997, 1998; Hübner & Malinowski, 2002; Hübner & Volberg, 2005; Hübner, Volberg, & Studer, 2007; Kimchi & Merhav, 1991; Martin, 1979; Sergent, 1982; Yovel, Yovel, & Levy, 2001).

3.2.2 Befunde für natürliche Objekte

Hemisphärenasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung wurden hauptsächlich unter Verwendung von hierarchischen Buchstaben und / oder hierarchischen Formen nachgewiesen. Diese Stimuli weisen aber sehr spezifische Merkmale auf und kommen in unserer natürlichen Umgebung überhaupt nicht vor. Es stellt sich daher die Frage, ob man die entsprechenden Lateralisierungen auch für natürliche Objekte findet.

Tatsächlich wurden nur in sehr wenige Studien Formen in den Stimuli verwendet, die unserer natürlichen Umwelt entsprechen. In den meisten dieser Arbeiten fanden sich Gehirnasymmetrien. So fanden zum Beispiel Weber et al. (2000) in einer fMRT-Studie die erwarteten asymmetrischen Aktivierungsmuster sowohl für hierarchische Buchstaben als auch für Formen, die aus kleineren Formen zusammengesetzt waren. Zum gleichen Ergebnis kamen Brown und Kosslyn (1995), die die erwarteten Asymmetrien in einer Reaktionszeitstudie ausschließlich bei den natürlichen Objekt-Stimuli fand. Als Reize wurden Hemden verwendet, die mit kleineren Hemden bedruckt waren. Lediglich Fink et al. (1997) fanden in ihrer Studie unter Verwendung der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) nicht die erwarteten Gehirnasymmetrien. Bei all diesen Studien ist aber anzumerken, dass die Reize in der Regel genauso strukturiert waren wie die hierarchischen Buchstaben, d.h. die verwendeten Inhalte konnten austauschbar auf beiden Ebenen erscheinen - ein Phänomen, das man in der Natur üblicherweise nicht findet. Vielmehr sind hier Ebene und Inhalt in der Regel gekoppelt (z.B. sind die Beine eines Tieres immer lokal, die Tierform selbst immer global).

Aktuell existiert meines Wissens nur eine Studie, die Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung mit Stimuli untersucht hat, die insoweit natürlich sind, als dass sie die Beziehung von Inhalten und Ebenen bewahren und zumindest in diesem Sinne natürlich sind. Diese Studie wurde von Hübner & Studer (im Druck) durchgeführt. Da diese Arbeit auch eine Grundlage für die später vorzustellenden Experimente bildet, soll sie ein wenig ausführlicher behandelt werden. In dieser Reaktionszeitstudie wurden den Pbn

dreidimensionale Bilder von Tieren (z.B. Hunde und Katzen; für Beispiele siehe Abb. II-1, S.66) entweder im LVF/RH oder im RVF/LH präsentiert. Diese Tiere konnten zudem verschiedene Arten von Fellmustern aufweisen (z.B. Punkte und Streifen). Die Tierformen und Muster wurden orthogonal variiert, so dass jedes Tier kombiniert mit jedem Muster vorkommen konnte. Ein Hinweisreiz vor jedem Durchgang gab an, ob die globale Tierform oder das lokale Muster identifiziert werden sollte. Die Antwort gaben die Pbn durch das Drücken einer entsprechenden Maustaste, wobei immer eine globale Tierform und ein Muster der gleichen Antworttaste zugeordnet waren. Die Autoren fanden die erwarteten VF-Effekte. Für Reize, die im LVF/RH gezeigt wurden, fand sich ein Vorteil für die Erkennung der globalen Tierform, für Reize, die im RVF/LH präsentiert wurden, dagegen ein Vorteil für die Identifikation des lokalen Musters.

3.2.3 Abweichende Befunde

Wie aus der bisherigen Darstellung ersichtlich, werden die postulierten Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung durch eine Vielzahl von Experimenten belegt. Allerdings steht diesen Befunden eine durchaus nennenswerte Zahl von Arbeiten gegenüber, die keine Gehirnasymmetrien bzw. VF-Effekte fanden. Obwohl z.B. in den meisten Studien mit Patienten mit unilateralen Hirnschäden die erwarteten Defizite nachweisbar waren, gibt es auch einige Fälle, bei denen sich keine Beeinträchtigung der Verarbeitung globaler und lokaler Formen feststellen ließ (z.B. Polster & Rapcsak, 1994; Schatz, Craft, Koby, & DeBaun, 2004). Die Läsionsstudien sind in dieser Hinsicht allerdings auch schwer zu interpretieren. Zum einen unterscheiden sich oft das Ausmaß und die exakte Lokalisation der Gehirnschädigung. Darüber hinaus muss man möglicherweise die enorme Plastizität des menschlichen Gehirns berücksichtigen sowie die Tatsache, dass grundsätzlich beide Hemisphären in der Lage sind, globale und lokale Aspekte zu verarbeiten, wenn auch mit unterschiedlicher Effizienz.

Während sich einige Gegenbefunde vermutlich auf spezifische methodische Besonderheiten zurückführen lassen (z.B. Han, Fan, Chen, & Zhuo, 1997; Han, He, Yund, & Woods, 2001; Johannes, Wieringa, Matzke, & Münte, 1996), lassen sich allerdings nicht alle abweichenden Befunde durch solche offensichtlichen Unterschiede erklären. Aus den vielfältigen empirischen Ergebnissen muss man schließen, dass Hemisphärenasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung zwar nachweisbar sind, dass diese aber offensichtlich nur

unter bestimmten Bedingungen auftreten. Zum Beispiel findet man generell konsistentere Befunde, wenn die Stimuli im zentralen Gesichtsfeld präsentiert werden (was nur in bildgebenden und elektrophysiologischen Studien möglich ist) als wenn sie lateralisiert dargeboten werden (z.B. Han et al., 2002; Han, Yund, & Woods, 2003). In diese Richtung geht auch der Befund, dass sich ein Effekt der Exzentrizität für das Auftreten von Gehirnasymmetrien nachweisen lässt. Je geringer die Exzentrizität der Stimuli, desto größer die Wahrscheinlichkeit, dass Gehirnasymmetrien gefunden werden. In Arbeiten, in denen die Stimuli eine außergewöhnlich große Exzentrizität aufwiesen, fanden sich in der Regel keine VF-Effekte (Alisivos & Wilding, 1982; Blanca-Mena, 1992; Boles, 1984; Boles & Karner, 1996). Auch der Aufgabenkontext scheint eine wesentliche Rolle zu spielen. Heinze et al. (1998) fanden die erwarteten Gehirnasymmetrien nur in Aufgaben, die eine Teilung der Aufmerksamkeit erforderten und nicht in solchen, in denen die Aufmerksamkeit selektiv auf bestimmte Reizmerkmale gerichtet werden musste (vgl. auch Hübner et al., 2007). In Aufgaben, in denen die Aufmerksamkeit geteilt werden muss, müssen die Pbn eine vorher definierte Zielform identifizieren, die entweder auf der globalen oder der lokalen Ebene erscheinen kann. In Aufgaben, die selektive Aufmerksamkeit erfordern, wird dagegen vorher angekündigt, welche Ebene relevant ist, und die dort erscheinende Form muss erkannt werden. Weiterhin finden sich Hemisphärenasymmetrien eher dann, wenn die Salienz der globalen und lokalen Ebene vergleichbar ist (z.B. Yovel et al., 2001), sowie wenn die Aufmerksamkeit zufällig wechselnd auf die globale oder lokale Ebene gerichtet werden muss (z.B. Hübner & Malinowski, 2002).

Ein häufig untersuchter Faktor schließlich betrifft die Kongruenzbeziehung zwischen den Informationen auf den beiden Ebenen. Bereits van Kleeck (1989) hatte in einer Meta-Analyse festgestellt, dass Hemisphärenasymmetrien eher auftreten, wenn die globale und lokale Ebeneninformation konfliktieren. Systematisch untersucht wurde dies von Hübner und Kollegen (Hübner & Malinowski, 2002; Hübner & Volberg, 2005; Volberg & Hübner, 2004). Sie zeigten, dass Hemisphärenasymmetrien bei der Verarbeitung hierarchischer Buchstaben zuverlässig nur bei inkongruenten Reizen auftreten, also bei Reizen, bei denen die Information auf der irrelevanten Ebene eine andere Antwort verlangt als die Information der Zielebene, nicht aber in kongruenten Situationen, in denen beide Ebenen die gleiche Antwort verlangen.

Zusammenfassend ergibt sich also, dass die traditionelle und relativ grobe Auffassung, wonach die globale und lokale Verarbeitung generell lateralisiert sei, nicht haltbar ist. Vielmehr treten entsprechende Gehirnasymmetrien nur unter bestimmten Bedingungen auf. Die Tatsache, dass die globale und lokale Verarbeitung nicht generell lateralisiert ist, hat Einfluss auf die Frage, wie sich diese Befunde erklären lassen, d.h. welche Mechanismen diesen differenzierten Befundmustern zu Grunde liegen. Die aktuell am meisten diskutierten Theorieansätze sollen im folgenden Abschnitt kurz umrissen werden.

3.2.4 Mechanismen der Global-/Lokal-Gehirnasymmetrien

Zur Erklärung der Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung lassen sich zwei grundsätzliche theoretische Zugangsweisen unterscheiden. Einer ersten Gruppe von Theorien liegt die Annahme zu Grunde, dass die Lateralisierung von Anfang an oder zumindest sehr frühzeitig unterschiedlich verläuft. Typische Vertreter für diese Theorieklasse sind die *Ortsfrequenzhypothese* (z.B. Sergent, 1982) bzw. deren Weiterentwicklung, die *Double Filtering by Frequency Hypothese* (Ivry & Robertson, 1998). Demgegenüber steht eine zweite Gruppe von Theorien, entsprechend derer die perzeptuellen Verarbeitungskapazitäten der beiden Hemisphären prinzipiell gleich effizient sind, die aber davon ausgehen, dass es Unterschiede in späteren Verarbeitungsprozessen, z.B. in der Antwortselektion, gibt (z.B. Hübner & Malinowski, 2002; Hübner & Volberg, 2005).

Ortsfrequenzhypothese und Double Filtering by Frequency Theorie

Ein Ansatz zur Erklärung von Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung ist die *Ortsfrequenzhypothese* (Sergent, 1982). Diese basiert auf dem Befund, dass Neurone im visuellen Kortex durch die differenzielle Größe ihrer rezeptiven Felder eine unterschiedliche Auflösung visueller Information liefern und somit auf die Verarbeitung unterschiedlicher Ortsfrequenzen spezialisiert sind (z.B. De Valois & De Valois, 1980). Zur Erklärung von Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung wird nun angenommen, dass die RH besser auf Informationen aus neuronalen Kanälen zugreifen kann, die Informationen aus niedrigen Frequenzbereichen verarbeiten, während die LH besser auf Informationen aus Kanälen zugreifen kann, die hohe Ortsfrequenzen verarbeiten (Sergent, 1982). Da die globale Form eines Stimulus v.a. durch das niedrige Spektrum der Ortsfrequenzen definiert ist und die lokalen Formen durch das hohe Spektrum, erklären sich

entsprechende Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung direkt aus der Spezialisierung der Gehirnhälften für tiefe und hohe Ortsfrequenzen.

Die klassische Ortsfrequenzhypothese wurde allerdings später erweitert, da sich herausstellte, dass die Hemisphären keineswegs für absolute Frequenzbereiche spezialisiert sind, sondern vielmehr für relative. Christman, Kitterle und Hellige (1991) verwendeten in ihrer Untersuchung z.B. Sinuswellengitter unterschiedlicher Ortsfrequenzen. Die Aufgabe der Pbn bestand darin, auf ein bestimmtes Sinuswellengitter zu reagieren, nämlich dasjenige, das aus zwei Kontrastwechseln pro Sehwinkelgrad bestand. Variiert wurde der Kontext, in dem das Gitter mit dieser Frequenz auftrat. Wenn der Stimulus zusätzlich Sinuswellen aus höheren Frequenzbereichen enthielt, zeigte sich ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli. Gab es dagegen zusätzlich Sinuswellen aus niedrigeren Frequenzbereichen, ergab sich ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli. Eine Spezialisierung der Gehirnhälften zeigte sich also nicht für eine im absoluten Sinn hohe oder niedrige Ortsfrequenz, sondern vielmehr für relativ niedrige und hohe Ortsfrequenzen in Bezug auf den Frequenzbereich des gesamten Stimulus. Um solche Befunde zu erklären wurde die Ortsfrequenzhypothese zur *Double Filtering by Frequency* – Theorie erweitert (Ivry & Robertson, 1998). Im Rahmen dieser Theorie werden zwei Filterstufen angenommen. Zunächst wird aus dem Stimulus derjenige Frequenzbereich herausgefiltert, der überhaupt für die Lösung der Aufgabe relevant ist. Der Output dieser ersten Filterung durchläuft nun eine zweite Filterstufe. Hier wird angenommen, dass die RH die relativ höheren Ortsfrequenzen abschwächt und wie ein Tiefpassfilter arbeitet. Die LH schwächt dagegen wie ein Hochpassfilter die relativ niedrigen Ortsfrequenzen ab. Daraus ergeben sich die beobachteten Gehirnasymmetrien für die Verarbeitung relativ hoher und relativ niedriger Ortsfrequenzen.

Obwohl die Ortsfrequenzhypothese bzw. die *Double Filtering by Frequency* - Theorie häufig als Erklärungsansatz herangezogen werden (z.B. Christman & Weiner, 1997; Han et al., 2002; Heinze et al., 1998; Sergent, 1982), wurde sie nur selten für die Verarbeitung hierarchischer Stimuli direkt untersucht. Die wenigen Studien, in denen dies versucht wurde, fanden wenig Evidenz für die entsprechende Annahme. Hübner (1997) führte Reaktionszeitexperimente zur globalen und lokalen Verarbeitung mit hierarchischen Buchstaben durch, bei denen die hohen Ortsfrequenzen herausgefiltert wurden. Nach der Ortsfrequenzhypothese sollten hier keine VF-Effekte auftreten. Es zeigten sich jedoch trotz der Filterung VF-Effekte. Han et al. (2003) verglichen in einer Reaktionszeit- und EKP-

Studie hierarchische Buchstaben, bei denen die niedrigen Ortsfrequenzen entfernt wurden, mit gewöhnlichen, ungefilterten Stimuli. Auch sie fanden keinen moderierenden Effekt dieser Filterprozedur. Auch in einer fMRT-Studie mit den gleichen Stimuli fanden die Autoren Gehirnasymmetrien mit beiden Stimulusarten (Han et al., 2002). Entsprechend bieten die Daten nur wenig Evidenz für die Ortsfrequenzhypothese bzw. die Double Filtering by Frequency – Theorie zur Erklärung von Gehirnasymmetrien für die globale und lokale Verarbeitung.

Neben diesen Experimenten, in denen direkt die Auswirkungen der Filterung bestimmter Ortsfrequenzen auf Gehirnasymmetrien untersucht wurden, spricht aber auch die gesamte Befundlage gegen einen frühen, rein perzeptuellen Mechanismus. Vor allem die Tatsache, dass Gehirnasymmetrien bei gleichem Reizmaterial aber unter verschiedenen Aufgabenbedingungen manchmal auftreten und manchmal nicht, legt nahe, dass es sich nicht bzw. nicht ausschließlich um perzeptuelle Mechanismen handeln kann, sondern dass Mechanismen in späteren Verarbeitungsstufen eine entscheidende Rolle spielen. Eine solche Erklärung bietet die Integrationstheorie von Hübner und Kollegen (Hübner & Malinowski, 2002; Hübner & Volberg, 2005), die die den Gehirnasymmetrien zu Grunde liegenden Mechanismen auf der Stufe der Antwortselektion vermuten.

Integrationstheorie

Im Rahmen der Integrationstheorie (Hübner & Malinowski, 2002; Hübner & Volberg, 2005) wird davon ausgegangen, dass sich die beiden Hemisphären nicht in der perzeptuellen Verarbeitungskapazität für globale und lokale Information unterscheiden. Allerdings unterscheiden sich die Gehirnhälften in ihrer Fähigkeit, Inhalte an eine bestimmte Ebene zu binden. Die RH hat einen Vorteil, wenn Inhalte an die globale Ebene gebunden werden müssen, während die LH einen Vorteil hat, wenn Inhalte an die lokale Ebene zu binden sind. In Bezug auf die Kongruenzbeziehung der Informationen zwischen den beiden Ebenen bedeutet dies, dass Hemisphärenasymmetrien nur in bestimmten Bedingungen auftreten. Im kongruenten Fall aktivieren sowohl die globale als auch die lokale Ebene die gleiche Antwort, so dass die Information über die Ebene irrelevant ist. Inhalte und Ebenen müssen daher für eine korrekte Antwort nicht gebunden werden, weshalb sich im kongruenten Fall auch keine Hemisphärenasymmetrien zeigen. Im inkongruenten Fall dagegen aktiviert die Information der irrelevanten Ebene eine andere Antwort als die der Zielebene. Entsprechend ist für eine

Lösung der Aufgabe die Ebene relevant, auf der sich die Zielinformation befindet. Daher müssen die Inhalte an die jeweilige Ebene gebunden werden und entsprechende Hemisphärenasymmetrien treten auf (Hübner & Volberg, 2005).

Die Bedeutung der Inkongruenz konnte sowohl in mehreren Reaktionszeitstudien als auch in einer EKP-Studie nachgewiesen werden. So konnten beispielsweise Hübner und Volberg (2005) in einem Reaktionszeitexperiment zeigen, dass in einem frühen Stadium der Reizverarbeitung die Inhalte unabhängig von den Ebenen repräsentiert sind und erst später aneinander gebunden werden. Waren die Inhalte dann an die Ebenen gebunden, fanden sich auch entsprechende Hemisphärenasymmetrien. Diese Daten sind auch insofern von Bedeutung, als dass sie damit ebenfalls Alternativtheorien widerlegen, die keine differenziellen Effekte bezüglich der Inkongruenz der Stimuli vorhersagen würden und können.

Mit Hilfe der Integrationstheorie lassen sich daher auch weitere Befunde bezüglich der Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung erklären. So traten diese häufiger in Studien auf, in denen ein Paradigma mit geteilter Aufmerksamkeit verwendet wurde, als in solchen, in denen selektive Aufmerksamkeit gefordert war. Hübner et al. (2007) konnten zeigen, dass unter Bedingungen mit geteilter Aufmerksamkeit Filter nicht mehr effektiv eingesetzt werden können und daher eine Art Inkongruenz über die Ähnlichkeit zwischen den Formen auf der globalen und lokalen Ebene entsteht. Diese Inkongruenz ist dann unabhängig von der eigentlichen Inkongruenz auf Antwortseite. Auch der Effekt, dass Gehirnasymmetrien eher auftreten, wenn die Zielebene randomisiert anstatt geblockt wird, kann mit Hilfe der Integrationstheorie erklärt werden: Im geblockten Fall können Aufmerksamkeitsfilter effektiver auf die Zielebene ausgerichtet werden als im randomisierten Fall, da die Aufmerksamkeit nicht zwischen den Ebenen gewechselt werden muss. Dieser Filter wirkt dann ebenso gut in der inkongruenten wie in der kongruenten Bedingung und sorgt dafür, dass in der Mehrheit der Durchgänge keine Bindung von Inhalten an die jeweilige Ebene nötig ist und damit keine Hemisphärenasymmetrien auftreten. Auch die Tatsache, dass mit natürlichen, dreidimensionalen Objekten Gehirnasymmetrien zuverlässiger nachgewiesen werden können als mit hierarchischen Buchstaben (Hübner & Studer, im Druck), kann gut mit der Integrationstheorie erklärt werden. Hierarchische Buchstaben enthalten überlernte Inhalte, die austauschbar auf beiden Ebenen vorkommen können. Dies ermöglicht im kongruenten Fall eine frühe Auswahl der korrekten Antwort aufgrund der ungebundenen

Merkmalsinformation. Natürliche Objekte dagegen haben eine feste, natürlich vorgegebene Struktur. Die Annahme liegt daher nahe, dass bei natürlichen Objekten Inhalte und Ebene generell vor einer eventuellen Antwortselektion integriert werden. Deshalb treten hier zuverlässig Gehirnasymmetrien in allen Bedingungen auf.

3.3 Die Merkmalshypothese

Die Hemisphärenasymmetrien, die für globale und lokale Verarbeitung beobachtet werden, legen nahe, dass sich entsprechende Effekte auch bei der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene nachweisen lassen sollten. Wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, ist zumindest für Lebewesen gezeigt worden, dass die Klassifikation von Objekten auf der basalen Ebene vorwiegend auf einer Analyse der globalen Form beruht. Da die RH einen Verarbeitungsvorteil für globale Merkmale aufweist, sollte sie auch einen Vorteil für die Kategorisierung auf der basalen Ebene aufweisen. Umgekehrt beruhen Differenzierungen auf der untergeordneten Ebene vorwiegend auf der Verarbeitung lokaler Details. Da sich ein Verarbeitungsvorteil der LH für lokale Merkmale gezeigt hat, sollte entsprechend die LH auch einen Vorteil für die Klassifikation von Objekten auf der untergeordneten Ebene aufweisen. Diese Hypothese soll in der vorliegenden Arbeit als *Merkmalshypothese* bezeichnet werden, da hier angenommen wird, dass Gehirnasymmetrien für die Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene direkt auf die Art der Merkmale zurückzuführen sind, die für die jeweilige Kategorisierung diagnostisch sind und entsprechend verarbeitet werden.

Meines Wissens gibt es bislang noch keine Studie, in der die Merkmalshypothese direkt in Bezug auf basale und untergeordnete Kategorisierung experimentell geprüft wurde. Allerdings gibt es einige Hinweise aus Experimenten zur Lateralisierung in der Objektwahrnehmung bzw. Objekterkennung, die die Merkmalshypothese indirekt unterstützen. Das heißt, diese Experimente zeigen, dass in bestimmten Kategorisierungs- bzw. Objekterkennungsaufgaben Lateralisierungen im Sinne globaler und/oder lokaler Verarbeitung auftreten. Einige dieser Experimente sollen in den nächsten Abschnitten vorgestellt werden. Zunächst werden einige Studien berichtet, in denen untersucht wurde, ob es prinzipiell eine Lateralisierung der Wahrnehmung von Objekten gibt. Diese Studien sind für die vorliegende Hypothese insofern aufschlussreich, als dass die dort zu bearbeitenden Aufgaben in der Regel einer Kategorisierung auf der basalen Ebene entsprechen. Gemäß der

Merkmalshypothese würde man hierfür einen Vorteil der RH erwarten. Allerdings stellt die globale Form nicht für alle Arten von Kategorien ein diagnostisches Merkmal hinsichtlich der Kategorisierung auf der basalen Ebene dar. So wird angenommen, dass nicht-belebte Objekte, wie z.B. Werkzeuge, auch auf der basalen Ebene vor allem aufgrund lokaler Elemente unterschieden werden. Da für diese Art von Kategorien die diagnostische Information in den lokalen Details liegt, sollte man in entsprechenden Lateralisierungsstudien einen Vorteil der LH finden. Auch hierzu werden einige Studien vorgestellt. In einigen Arbeiten jüngerer Datums, die abschließend referiert werden, wird die Annahme, dass ein so umfassender Prozess wie Objektwahrnehmung generell lateralisiert ist, in Frage gestellt. Stattdessen liegt der Fokus auf Subprozessen. Von besonderer Bedeutung für die vorliegende Arbeit ist die Annahme, dass in der Objektwahrnehmung sowohl holistische als auch analytische Verarbeitungsprozesse relevant sind. Bezogen auf Gehirnasymmetrien besteht hier die Hypothese, dass die RH einen Vorteil für Wahrnehmungsaufgaben haben sollte, die eher auf holistischen Verarbeitungsprozessen beruhen und die LH für Aufgaben, die eher auf analytischen Verarbeitungsprozessen beruhen. Da die Differenzierung von holistischer und analytischer Verarbeitung speziell auch in der Gesichterwahrnehmung eine wichtige Rolle spielt, werden abschließend Ergebnisse zu Gehirnasymmetrien in diesem Bereich vorgestellt und in Bezug zur Merkmalshypothese gesetzt.

3.3.1 Lateralisierung der Objekterkennung

Bereits aus den 1960er bis 1980er Jahren gibt es eine Reihe von Studien, in denen die grundsätzliche Lateralisierung der Objekterkennung untersucht wurde. In der Regel ist in den betreffenden Experimenten die Objekterkennung mit einer Kategorisierung auf der basalen Ebene gleichzusetzen und daher für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit relevant. Entsprechend der Merkmalshypothese sollte die RH einen Vorteil für die Kategorisierung auf der basalen Ebene aufweisen, d.h. auch in diesen älteren Arbeiten sollten sich entsprechende Ergebnisse zeigen.³

Es handelt sich bei diesen ‚klassischen‘ Experimenten in der Regel um Reaktionszeitexperimente, bei denen Stimuli im LVF oder RVF (oder in beiden) präsentiert

³ Die zu Grunde liegende Hypothese dieser älteren Studien bestand allerdings darin, dass die RH grundsätzlich einen Vorteil für die visuelle Verarbeitung aufweist im Gegensatz zu verbaler Verarbeitung, die in der LH dominant sein sollte.

werden, die dann von den Vpn benannt werden sollen. Die Ergebnisse dieser frühen Studien sind allerdings höchst heterogen und teilweise sogar widersprüchlich. In einigen dieser Arbeiten findet sich tatsächlich ein Vorteil der RH/LVF für die Erkennung von Bildern von Objekten (Bryden & Rainey, 1963; Hass & Whipple, 1985; Schmuller & Goodman, 1980). In mindestens ebenso vielen Experimenten zeigte sich jedoch genau das Gegenteil, also ein Vorteil der LH/RVF (Bryden & Rainey, 1963; Paivio & Ernest, 1971; Wyke & Ettliger, 1961; Young & Bion, 1981). In einigen Studien fand man überhaupt keine Lateralisierung der Objektwahrnehmung (Levine & Banich, 1982; Sergent & Lorber, 1983).

Diese Studien aus den 1960er bis 80er Jahren weisen aber methodische Mängel auf, die eine Interpretation der Befunde erschwert (vgl. Biederman & Cooper, 1991). So wurde beispielsweise in allen genannten Experimenten nur ein Bild für jedes Objekt verwendet, d.h. es wurde keine gespiegelte Version jedes Bildes präsentiert. Infolgedessen ist die Information, die der Fovea am nächsten ist, für die beiden visuellen Felder verschieden. Man kann daher nicht ausschließen, dass sich auch der Informationsgehalt der beiden Ansichten unterscheidet und ursächlich für einen Vorteil der Darbietung in dem einen oder anderen visuellen Feld ist. Zudem war es in den damaligen Studien üblich, zwei Bilder gleichzeitig zu präsentieren – eines im LVF und eines im RVF – und beide nacheinander benennen zu lassen. Wenn die Vpn die Reihenfolge frei wählen konnten, benannten sie meist entsprechend der Leserichtung zuerst das linke und dann das rechte Objekt. Dies führt zu einer Benachteiligung des Perzepts in der LH, weil dieses immer als zweites berichtet wird und sich die Qualität der gespeicherten visuellen Information in dieser Hemisphäre über die Zeit verschlechtert. Als erste berücksichtigten Biederman und Cooper (1991) diese Kritikpunkte, fanden allerdings keine signifikanten VF-Effekte. Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass die Ergebnisse aus älteren Studien im besten Falle widersprüchlich sind. Insbesondere die Arbeit von Biederman und Cooper (1991) legt nahe, dass keine genereller Lateralisierung für die Erkennung von Objektbildern existiert.

Obwohl neuere Studien die oben genannten Probleme weitestgehend umgehen, bleibt ein weiteres methodisches Problem, das die Auswahl der Stimuli und der entsprechenden Aufgaben, die mit diesen Stimuli gemacht werden sollen, betrifft. So sind die verwendeten Stimuli gelegentlich in einer Art und Weise konstruiert, dass sie die diagnostische Information entweder in der globalen Form oder aber in den lokalen Details enthalten. Zum Beispiel können globale Formen so gestaltet sein, dass sie sehr ähnlich sind, so dass sich

verschiedene Objekte eher anhand der lokalen Details differenzieren lassen. Auch die Verwendung sehr detailreicher Strichzeichnungen fördert vermutlich die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf lokale Details. Umgekehrt fördern beispielsweise Maßnahmen, die die Qualität der visuellen Information beeinflussen (z.B. sehr kurze Darbietungsdauern oder die Reduktion der visuellen Qualität) die Verwendung globaler Information. Unter Umständen sind daher Studien mit verschiedenen Stimuli und/oder experimentellen Designs schwer vergleichbar. Dies ist meist dann der Fall, wenn die globale und lokale Verarbeitung nicht explizit in den betreffenden Studien thematisiert ist. Dies ist auch ein besonderes Problem neurowissenschaftlicher Studien, in denen Lateralisierungseffekte bei der Objekterkennung gefunden werden, da eine vergleichbare Baselineaufgabe gefunden werden muss (vgl. Price, Moore, Humphreys, Frackowiak, & Friston, 1996).

In einzelnen neueren Experimenten wurde jedoch versucht, der Tatsache Rechnung zu tragen, dass globale und lokale Verarbeitung bei der Lateralisierung der Objekterkennung eine wesentliche Rolle spielen kann. Es wurde daher versucht, deren Einfluss explizit zu berücksichtigen – entweder durch die Wahl bestimmter Stimuli bzw. Objektklassen oder die Wahl eines spezifischen Experimentaldesigns.

Den letzteren Ansatz wählten beispielsweise McAuliffe und Knowlton (2000). Deren Vpn hatten die Aufgabe, vertraute Objekte zu erkennen, die im LVF oder RVF präsentiert wurden. Die Objekte wurden innerhalb einer sog. Rapid Serial Visual Presentation (RSVP) dargeboten. Das heißt, die Bilder mit den Zielreizen wurden nur sehr kurz innerhalb eines Stroms von kurzzeitig dargebotenen Bildern gezeigt. Dies bewirkt, dass die Bilder nur extrem kurz betrachtet werden können und gleichzeitig durch die Folgebilder sofort wieder maskiert werden. Als Distraktoren dienten bedeutungslose Formen. In einem solchen Design können Unterschiede in lokalen Details kaum wahrgenommen werden, so dass die Unterscheidung zwischen Objekten und Distraktoren mit relativ großer Sicherheit auf der globalen Form beruht. In der Tat fanden die Autoren eine bessere Erkennensleistung, wenn das Zielbild im LVF erschien, also in der RH verarbeitet wurde.

Ein weiterer Hinweis für die Gültigkeit der Merkmalshypothese stammt aus der Forschung zu Gemeinsamkeiten und Unterschieden der Kategorisierung unbelebter Objekte im Vergleich zu Lebewesen. Hier besteht die Annahme, dass diese beiden Kategoriearten unterschiedliche Anforderungen an die visuelle Verarbeitung stellen (z.B. Laws & Neve,

1999). Belebte Objekte, wie z.B. Tiere, treten in der Natur in der Regel immer mit ähnlicher globaler Form auf. Bei nicht-belebten Objekten ist dies nicht immer der Fall. Ein Stuhl muss z.B. vor allem den Zweck erfüllen, dass man darauf sitzen kann, die Form kann jedoch stark variieren. Eine führende Hypothese in diesem Bereich ist daher, dass sich unbelebte Objekte, z.B. von Menschen hergestellte Werkzeuge, im Gegensatz zu belebten Objekten weniger in der globalen Form als vor allem in lokalen Details differenzieren lassen (z.B. Laws & Neve, 1999). Bezogen auf die Merkmalshypothese würde dies bedeuten, dass das Erkennen und Differenzieren von unbelebten Objekten, wie z.B. Werkzeugen, besser von der LH geleistet werden sollte. Tatsächlich kommt eine Reaktionszeitstudie von Lag et al. (2006) zu diesem Ergebnis. Sie boten ihren Pbn verwischte Bilder von Lebewesen und Artefakten im RVF oder LVF dar, die die Pbn mit vorher dargebotenen Worten vergleichen sollten. Insgesamt zeigte sich zunächst ein genereller Nachteil für das Erkennen der Artefakte, da für diese Aufgabe eine Analyse der lokalen Details nötig ist. Innerhalb der Artefakte war die Leistung jedoch besser für Reize, die im RVF/LH präsentiert worden waren als für solche, die im LVF/RH gezeigt worden waren. Dieses Ergebnis stimmt also mit der Hypothese überein, dass die LH einen Vorteil für die Verarbeitung lokaler Details aufweist.

Auch in Studien mit neurowissenschaftlichen Methoden wurde die Verarbeitung von Kategorien nicht-belebter Objekte mit der von Lebewesen verglichen. Martin, Wiggs, Ungerleider und Haxby (1996) verglichen beispielsweise mittels PET Aktivierungsmuster für das Betrachten und Benennen von Bildern von Tieren im Vergleich zu Werkzeugen. Als Vergleichsbedingung dienten Rauschmuster und bedeutungslose Objekte. Die Autoren fanden speziell für Werkzeuge (im Vergleich zu Tieren) generell deutlichere Aktivierung in der LH, vor allem im linken mittleren Temporalgyrus und in prämotorischen Arealen. Die Autoren interpretieren ihre Daten im Sinne der zu verarbeitenden Merkmale. Nach ihrer Einschätzung war für die Differenzierung der Objekte eine Analyse feiner Details nötig, was die generelle Aktivierung in der LH erklären könnte. Speziell bei den Werkzeugen nahmen sie an, dass für deren Erkennung funktionale Merkmale besonders wichtig sind. Deshalb wird Wissen über Bewegungsmuster bei der Verwendung dieser Objekte aktiviert, was wiederum die Aktivierung in den prämotorischen Arealen erklären kann.

3.3.2 Lateralisierung holistischer und analytischer Verarbeitungsprozesse in der Objektwahrnehmung

Die bisher vorgestellten Experimente belegen in groben Zügen die Gültigkeit der Merkmalshypothese, zumindest wenn die Stimulusklassen und das Experimentaldesign sorgfältig kontrolliert werden. Da eine strikte Kontrolle aber sehr schwierig ist, bleibt die Befundlage aus diesen Studien alles in allem allerdings dennoch widersprüchlich. Eine mögliche Lösung hierfür könnte ein anderer Ansatz bieten: In jüngster Zeit wurde die Frage nach der Lateralisierung der Objektwahrnehmung auch auf andere Weise in einigen Verhaltensexperimenten aufgegriffen. Es wird hier nicht davon ausgegangen, dass Objektwahrnehmung generell in der RH oder LH lateralisiert sein sollte, sondern dass sich die Lateralisierung eher als Ergebnis verschiedener Analyseprozesse bei der Objektwahrnehmung ergibt. Generell gilt die Auffassung, dass Objektwahrnehmung unter bestimmten Umständen holistisch sein kann, sich also an der globalen Form und räumlichen Anordnung der Teile orientiert. Dies gilt beispielsweise insbesondere für die Gesichterwahrnehmung. Je nach Aufgabe kann jedoch auch eine eher analytische Verarbeitung stattfinden, d.h. die Erkennung eines Objekts wird über die unabhängige Analyse seiner konstituierenden Teile erreicht. Objekterkennung kann also je nach Kontext entweder über eine globale und oder eine lokale Verarbeitung erreicht werden. Daher sollte es einen Vorteil der RH für holistische Objektverarbeitung geben, dagegen einen Vorteil der LH für analytische, auf Teilen des Objekts basierende Verarbeitung.

In ihrer Studie griffen Laeng, Schah und Kosslyn (1999) genau diesen Ansatz auf und entfernten sich damit von der Annahme einer generellen Lateralisierung der Objektwahrnehmung. Sie nehmen an, dass es wenigstens zwei Arten der Objektwahrnehmung geben könnte. Für vertraute Objekte in vertrauten Posen wird angenommen, dass die globale Form dieser Objekte direkt mit im Gedächtnis repräsentierten *Templates* (Schablonen) abgeglichen wird. Da diese Templates holistisch sind, sollte die RH hier einen Verarbeitungsvorteil haben. Im Gegensatz dazu sind Objekte, die nicht bekannt sind oder bekannt sind aber in ungewöhnlicher Pose präsentiert werden, als Strukturbeschreibungen repräsentiert, also als Teile und qualitativ beschriebene Beziehungen zwischen den Teilen. In diesem Fall sollte die LH einen Verarbeitungsvorteil aufweisen. Laeng et al. (1999) prüften diese Hypothese und fanden tatsächlich einen Vorteil der LH/RVF für die Erkennung von Objekten in nicht-vertrauten Posen. Allerdings verschwand dieser Vorteil bereits bei der

zweiten Darbietung. Für das Erkennen vertrauter Objekte dagegen fanden die Autoren einen Vorteil der RH/LVF.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Brooks und Cooper (2006). In Experiment 3 ihrer Studie boten sie den Vpn Bilder von Tieren in aufrechter, natürlicher Pose entweder im LVF/RH oder im RVF/LH dar. Diese Bedingung wurde dann mit der Darbietung von Tieren, die invertiert gezeigt wurden, verglichen. Entsprechend der Annahme, dass vertraute Tiere, die in einer natürlichen Pose dargeboten werden, anhand ihrer globalen Form erkannt werden können, fanden die Autoren einen Vorteil der RH/LVF ausschließlich für die aufrechten Tiere.

Einen weiteren Beleg in dieser Hinsicht liefern Koivisto und Revonsuo (2003). Sie führten eine Serie von Objektentscheidungsaufgaben (*object decision task*) durch, in denen die Vpn entscheiden sollten, ob es sich bei einem lateralisiert dargebotenen Stimulus um ein vertrautes, in der Natur vorkommendes Objekt handelt oder nicht. Variiert wurde die Art der Distraktoren. Die Autoren fanden zunächst, dass die RH/LVF dann eine bessere Erkennungsleistung für vertraute Objekte aufwies, wenn es sich bei den Distraktoren um völlig unbekannte Objekte handelte, die aus unbekanntem neu zusammengesetzt waren. In diesem Fall konnte die Entscheidung offensichtlich aufgrund der globalen Form der Objekte getroffen werden, die möglicherweise mit gespeicherten Templates vertrauter Objekte abgeglichen wurden. Die LH/RVF zeigte dagegen einen Leistungsvorteil, wenn es sich bei den Distraktoren um Schimären handelte, d.h. um Objekte, die aus Teilen verschiedener bekannter Objekte zusammengesetzt waren. Diese Aufgabe wiederum sollte auf der Analyse der lokalen Details der Objekte beruhen, da die Einzelteile des Stimulus analysiert werden müssen, um eine eindeutige Entscheidung treffen zu können.

3.3.3 Lateralisierung holistischer und analytischer Verarbeitungsprozesse in der Gesichterwahrnehmung

Die Hypothese, dass bei der Objektwahrnehmung sowohl holistische als auch analytische Verarbeitungsprozesse eine Rolle spielen, und dass diese Unterschiede in der Verarbeitung für entsprechende Gehirnasymmetrien verantwortlich sind, wurde insbesondere auch im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von Gesichtern untersucht. Gesichter werden generell als ein Sonderfall der Objektwahrnehmung betrachtet, da sie eine extrem homogene Gruppe darstellen, bei der einzelne Individuen nur sehr schwierig zu differenzieren sind

(Rhodes, 1993). Es wird sogar vermutet, dass Gesichter in gesonderten Arealen verarbeitet werden (Rolls, 1992). Dennoch sollen im Folgenden einige Befunde zur Lateralisierung bei der Gesichterwahrnehmung dargestellt werden, da neuere Studien zeigen, dass sich diese Befunde prinzipiell durchaus auch auf die Objektwahrnehmung übertragen lassen, zumindest wenn es sich um Objektkategorien handelt, die eine ähnlich homogene Gruppe von Objekten bilden wie Gesichter (z.B. Donnelly & Davidoff, 1999; Gauthier, Tarr, Moylan, Anderson et al., 2000; Gauthier, Tarr, Moylan, Skudlarski et al., 2000; Levine, Banich, & Koch-Weser, 1988).

Vor allem neuropsychologische Studien mit hirngeschädigten Patienten haben gezeigt, dass insbesondere der RH eine wesentliche Bedeutung bei der Gesichterwahrnehmung zukommt (z.B. Benton & Van Allen, 1968; De Renzi, 1986; De Renzi & Spinnler, 1966; Milner, 1968; Warrington & James, 1967). Dies führte zu der Annahme, dass die RH spezifische Module zur Gesichterverarbeitung enthält. In zahlreichen Verhaltensexperimenten und Studien mit bildgebenden Verfahren mit gesunden Pbn konnten diese frühen Befunde z.T. zwar bestätigt werden, d.h. es fand sich ebenfalls ein Verarbeitungsvorteil der RH für die Gesichterwahrnehmung (z.B. Geffen, Bradshaw, & Wallace, 1971; Hilliard, 1973; Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997; McCarthy, Puce, Gore, & Allison, 1997; Young, Hay, & McWeeny, 1985). In einigen Studien mit gesunden Pbn fanden sich aber auch keine Lateralisierungseffekte (z.B. Gauthier, Tarr, Moylan, Anderson et al., 2000; Ishai, Ungerleider, Martin, Schouten, & Haxby, 1999) oder sogar ein Vorteil der LH (Marzi & Berlucchi, 1977).

Dieses differenzierte Befundmuster wurde von einigen Autoren durch die Annahme zu erklären versucht, dass bei der Gesichterwahrnehmung sowohl holistische als auch analytische Prozesse beteiligt sein könnten, die entsprechend jeweils in der RH und in der LH lateralisiert sind (z.B. Rhodes, 1985). Dass man vergleichsweise häufig einen Vorteil der RH für diese Aufgabe findet, ist dann weniger darin begründet, dass Gesichter ausschließlich in der RH verarbeitet werden, sondern vielmehr, dass die üblicherweise verwendeten Aufgaben eher eine holistische Analyse nahe legen (Hillger & Koenig, 1991).

In einigen Studien wurde die Bedeutung holistischer und analytischer Verarbeitung in der Gesichterwahrnehmung und damit verbundene Hemisphärenasymmetrien direkt untersucht und belegt. Hillger und Koenig (1991) verwendeten z.B. eine perzeptuelle

Vergleichsaufgabe, bei der zwei nacheinander gezeigte Bilder von Gesichtern dahingehend verglichen werden mussten, ob es sich um das gleiche Gesicht oder um verschiedene Gesichter handelt. Variiert wurde in dieser Aufgabe die Art der Distraktoren: In einem Experiment unterschieden sich die Gesichter in allen Merkmalen (Augen, Mund und Nase), in einem anderen Experiment dagegen nur in einem einzigen Merkmal (z.B. nur die Augen). Wenn sich alle Merkmale unterscheiden, dann sollte den Autoren zufolge eine holistische Strategie angewandt werden und sich somit ein Vorteil der RH für diese Bedingung zeigen. Dagegen sollten die Vpn bei einem Unterschied von nur einem einzelnen Merkmal eher eine analytische Strategie verwenden, d.h. es sollte sich ein Vorteil der LH finden lassen. In der Tat fanden die Autoren im ersten Experiment einen RH/LVF-Vorteil sowohl für ‚gleich‘- als auch ‚verschieden‘-Antworten. Im zweiten Experiment, bei dem sich nur ein Merkmal unterschied, fanden die Autoren zwar ebenfalls einen RH/LVF-Vorteil für ‚gleich‘-Antworten, aber diesmal einen LH/RVF-Vorteil für ‚verschieden‘-Antworten. Den LH/RVF-Vorteil für die analytische Verarbeitung von Gesichtern fanden die Autoren auch in einem weiteren Experiment (Hillger & König, 1991, Experiment 4). Hier war die Aufgabe, zwei Gesichter bereits als gleich zu beurteilen, wenn sie lediglich in einem Merkmal übereinstimmten. Auch diese Aufgabe legt eine analytische Vorgehensweise nahe, und entsprechend fand sich ein Vorteil der LH/RVF für diese Aufgabe auch bei ‚gleich‘-Antworten. Die Autoren interpretieren ihre Befunde so, dass generell bei Gesichtern eine holistische Strategie (die sich in einem Vorteil der RH/LVF manifestiert) angewendet wird, dass aber, wenn die Aufgabe es nahe legt, auch eine analytische Strategie (und damit ein Verarbeitungsvorteil der LH/RVF) möglich ist.

Die Ergebnisse replizieren in weiten Teilen frühere Befunde von Patterson und Bradshaw (1975). Diese verwendeten ebenfalls ein perzeptuelles Vergleichsexperiment, als Reize dienten allerdings schematische Gesichter. Sie fanden ebenfalls einen Vorteil der RH/LVF für ‚gleich‘-Antworten, allerdings im Gegensatz zu Hillger und Koenig (1991) einen Vorteil der LH/RVF für ‚verschieden‘-Antworten, auch wenn sich die Gesichter in allen Merkmalen unterschieden. Nach Hillger und Koenig (1991) belegt dies die Bedeutung der jeweils verwendeten Stimuli. Sie nehmen an, dass die schematischen Gesichter generell eher eine analytische Verarbeitung nahe legen als natürliche Gesichter, weil die einzelnen Merkmale extrem salient und einfach zu differenzieren sind (im vorliegenden Fall bestanden die Augen z.B. aus Kreisen, Quadraten und Strichen). Genau wie Hillger und Koenig (1991)

fanden Patterson und Bradshaw (1975) ebenfalls einen LH/RVF-Vorteil, wenn sich die Gesichter nur in einem Merkmal unterschieden.

Neuere Studien bestätigen die genannten Befunde mit bildgebenden Verfahren. Rossion et al. (2000) führten z.B. eine PET-Studie mit einer ähnlichen Aufgabe wie Hillger und Koenig (1991) sowie Patterson und Bradshaw (1975) durch. Das heißt in einem Teil des Experiments sollten die Vpn in einer perzeptuellen Vergleichsaufgabe angeben, ob sich zwei Gesichter gleichen. Diese Aufgabe sollte eine holistische Verarbeitung induzieren. In einem zweiten Teil sollten die Vpn dagegen angeben, ob sich ein spezifisches Detail zwischen zwei Gesichtern unterscheidet (z.B. die Augen). Diese Aufgabe sollte eher eine analytische Verarbeitung induzieren. Die Autoren fanden tatsächlich eine stärkere Aktivierung im für Gesichterverarbeitung relevanten fusiformen Gyrus der RH für die holistische Vergleichsaufgabe und eine stärkere Aktivierung in korrespondierenden Arealen der LH für die analytische Aufgabe.

Auch eine EKP-Studie von McCarthy et al. (1999) bestätigt die obigen Befunde. Diese Autoren arbeiteten mit der Darbietung aufrecht orientierter und invertierter Gesichter. Dies hat den Vorteil, dass die sensorische Information in beiden Fällen identisch ist. Es wird jedoch angenommen, dass nur im Fall der aufrecht orientierten Gesichter eine holistische Verarbeitung möglich ist, da der Aufbau einer solchen Repräsentation Expertise benötigt. Auf dem Kopf stehende Darstellungen von Gesichtern sind dagegen nicht vertraut und eine holistische Verarbeitung folglich schwierig. Eine Invertierung sollte folglich eher zu einer analytischen Verarbeitung führen (z.B. Rhodes, 1993; Tanaka & Farah, 1993). Tatsächlich fanden die Autoren eine frühere und stärkere Negativierung (N200) im fusiformen Gyrus der RH für aufrechte Gesichter und eine frühere und stärkere Negativierung in entsprechenden Arealen der LH für invertierte Gesichter.

3.3.4 Zusammenfassung

Die Befunde, dass globale und lokale Merkmale eine differenzielle Rolle in der Kategorisierung von Objekten auf der basalen und der untergeordneten Ebene spielen und dass die Verarbeitung globaler und lokaler Merkmale in der RH bzw. LH lateralisiert ist, führt zur Folgeannahme, dass entsprechend ein Vorteil der RH für die Kategorisierung auf der basalen Ebene und der LH für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene auftreten sollte. Für diese *Merkmalshypothese* gibt es bislang noch keine direkten empirischen

Befunde. Allerdings liegen einige Arbeiten aus verschiedenen Bereichen der Objektwahrnehmung vor, die zumindest zeigen können, dass die für die Objekterkennung diagnostische Information (global oder lokal) die Richtung beobachtbarer Gehirnasymmetrien beeinflusst. Dazu gehören Befunde, wonach die Objekterkennung (die i.d.R. einer Kategorisierung auf der basalen Ebene entspricht) in der RH lateralisiert zu sein scheint. Ein Vorteil der LH für Objekterkennung findet sich dagegen, wenn es eher lokale Details sind, die eine Differenzierung zwischen Objektklassen erlauben. Die bisherigen Befunde legen nahe, dass dies z.B. für die Kategorisierung zahlreicher unbelebter Objekte gilt. Bedeutsam sind schließlich noch Befunde sowohl aus der Objektwahrnehmung als auch der Gesichterwahrnehmung, die sich eher mit Subprozessen der Wahrnehmung und deren Aufgabenabhängigkeit beschäftigen. So kann Objektwahrnehmung generell eher holistisch oder auch analytisch erfolgen. Tatsächlich findet sich in Aufgaben, in denen holistische oder analytische Verarbeitung durch geeignete Manipulationen induziert wird, ein Vorteil der RH für holistische Verarbeitung und ein Vorteil der LH für analytische Verarbeitung. Zusammengefasst spricht die empirische Faktenlage also durchaus für die Gültigkeit der Merkmalshypothese. Deren Nachweis speziell in Bezug auf hierarchische Kategorisierung steht allerdings noch aus und ist ein Ziel dieser Arbeit.

4 Zusammenfassung und Ausblick auf die Studien

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Frage, ob es funktionelle Gehirnasymmetrien für die visuelle Kategorisierung von Objekten auf der basalen und der untergeordneten Ebene gibt und welcher Art diese sind. Weiter soll untersucht werden, auf welchen Mechanismen diese Gehirnasymmetrien beruhen. Das heißt, es soll schließlich die Frage geklärt werden, wie es das kognitive System schafft, identischen visuellen Input sowohl auf der basalen als auch auf der untergeordneten Ebene zu kategorisieren, obwohl diese beiden Aufgaben im Grunde ganz entgegengesetzte Anforderungen an das System stellen.

Grundsätzlich werden für die Lösung dieses Problems zwei unterschiedliche Möglichkeiten vorgeschlagen. Im Rahmen der *Repräsentationshypothese* wird postuliert, dass die Kategorisierung auf unterschiedlichen Ebenen der Spezifität durch zwei relativ unabhängige Repräsentationssysteme erreicht wird. Die beiden Hemisphären speichern Objekte demnach in unterschiedlichen Repräsentationsformaten. Die LH repräsentiert Objekte in einem abstrakten Format, die RH in einem spezifischen Format (z.B. Marsolek, 1999). Für

die Objektkategorisierung ergibt sich daher die Vorhersage, dass die LH einen Vorteil für die Kategorisierung auf der basalen Ebene haben sollte, die RH dagegen für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene. Im Rahmen der *Merkmalshypothese* wird dagegen davon ausgegangen, dass die Kategorisierung auf verschiedenen Ebenen dadurch erreicht wird, dass die Aufmerksamkeit auf unterschiedliche Informationen im Stimulus gerichtet wird. Für die Kategorisierung auf der basalen Ebene ist v.a. die globale Form diagnostisch, für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene dagegen die lokalen Details (z.B. Large & McMullen, 2006). Da die Verarbeitung globaler und lokaler Merkmale lateralisiert ist (z.B. Hübner & Malinowski, 2002; Hübner & Studer, im Druck), wird hier vorhergesagt, dass die RH einen Vorteil für Kategorisierung auf der basalen Ebene haben sollte, die LH für Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene.

Somit gibt es zwei unterschiedliche Erklärungsansätze für Gehirnasymmetrien bei der hierarchischen Kategorisierung von Objekten, die allerdings genau entgegengesetzte Vorhersagen machen. Für beide Ansätze gibt es zudem ein gewisses Maß an Evidenz. Damit stellt sich zunächst die Frage, wie sich dieser Widerspruch auflösen lässt. Dies wurde in Studie I untersucht.

Auffällig ist, dass die beiden Forschungsbereiche, mit denen die beiden Hypothesen assoziiert sind, traditionell unterschiedliche experimentelle Methoden verwenden, um ihre Gültigkeit zu belegen. Gehirnasymmetrien im Sinne der Repräsentationshypothese wurden hauptsächlich mit Vergleichsaufgaben untersucht, v.a. Wort-Bild- und Bild-Bild-Vergleichen (z.B. Laeng et al., 2003; Marsolek & Burgund, 2008). Außerdem wurde in diesen Studien i.d.R. eine große Zahl von Stimuli verwendet, die nur ein oder wenige Male präsentiert wurden. Gehirnasymmetrien im Sinne der Merkmalshypothese wurden dagegen meist mit Identifikationsaufgaben untersucht (z.B. Brooks & Cooper, 2006; McAuliffe & Knowlton, 2000; Hübner & Studer, im Druck). D.h. hier wurden meist Bilder präsentiert, die anschließend erkannt und benannt oder per Tastendruck identifiziert werden mussten. In solchen Studien wurde zudem meist nur eine begrenzte Zahl von Stimuli verwendet, die dafür häufig wiederholt dargeboten wurden. Eine naheliegende Annahme zur Lösung des Widerspruchs ist daher, dass die beobachtbaren Gehirnasymmetrien von der spezifischen Aufgabe abhängen, die die Vpn zu lösen haben.

Um diese Annahme zu überprüfen wurden in allen hier vorgestellten Experimenten identische Stimuli verwendet, jedoch bestimmte Parameter der Aufgabe variiert. In Studie I wurden zwei Aufgabentypen gegenübergestellt. In Experiment 1 führten die Pbn eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe durch, in Experiment 2 dagegen eine Identifikationsaufgabe. In beiden Fällen mussten die Vpn Objekte auf der basalen und der untergeordneten Ebene kategorisieren. Tatsächlich zeigten sich in Abhängigkeit der spezifischen Aufgabe genau entgegengesetzte Muster von VF-Effekten. Entsprechend der Vermutung zeigten sich in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese, in der Identifikationsaufgabe dagegen im Sinne der Merkmalshypothese. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die Vpn in den beiden Aufgaben jeweils unterschiedliche Kategorisierungsstrategien anwendeten.

In Studie II sollten die Eigenschaften der Aufgabe noch weiter spezifiziert werden, die dafür verantwortlich sind, dass das eine oder das andere Muster von VF-Effekten auftritt. Dazu wurde in allen Experimenten eine Identifikationsaufgabe verwendet. Die spezifischen Eigenschaften der Aufgabe wurden jedoch mit dem Ziel variiert, bestimmte Kategorisierungsstrategien zu induzieren und auf diese Weise bestimmte Muster von VF-Effekten hervorzurufen. In Experiment 1 wurde die gleiche Identifikationsaufgabe verwendet wie in Experiment 2 der Studie I, die Antwortmodalität war jedoch verändert. Die Vpn mussten die Stimuli benennen. Untersucht wurde, ob die Aufgabenstellung Identifikation generell zu VF-Effekten entsprechend der Merkmalshypothese führt. Es zeigte sich jedoch, dass die Hypothese nur für die Hälfte der Vpn nachgewiesen werden konnte, die andere Hälfte der Vpn wies VF-Effekte entsprechend der Repräsentationshypothese auf. In den Experimenten 2 und 3 wurde daher zusätzlich der Aufgabenkontext variiert, um zu sehen, ob sich auf diese Weise eine bestimmte Strategie induzieren lässt. In Experiment 2 wurde die Zahl der Kategorien variiert. In einer ersten Phase mussten die Stimuli lediglich auf der untergeordneten Ebene kategorisiert werden, in einer zweiten Phase dagegen auf drei Ebenen. Tatsächlich zeigte sich ein Effekt dieser Manipulation. Zwar führte eine geringe Zahl von Kategorien nicht generell zu VF-Effekten im Sinne der Repräsentationshypothese, die Erhöhung der Kategorienzahl in der zweiten Phase führte jedoch eindeutig zu VF-Effekten entsprechend der Merkmalshypothese bei allen Vpn. In Experiment 3 schließlich führten die Vpn vor der Benennaufgabe eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe durch. Wie erwartet zeigte

sich tatsächlich – selbst innerhalb derselben Vpn – eine Umkehr der VF-Effekte zwischen den beiden Aufgaben.

STUDIE I:
FUNKTIONELLE GEHIRNASYMMETRIEN
FÜR DIE OBJEKTKATEGORISIERUNG AUF
DER BASALEN UND DER
UNTERGEORDNETEN EBENE

1 Einleitung

Der Blick auf den aktuellen Stand der Forschung zur Frage, wie Objekte auf verschiedenen Abstraktionsebenen kategorisiert werden und in welcher Weise die beiden Hemisphären dabei differenziell involviert sind, zeigt, dass sich grundsätzlich zwei Arten von Vorhersagen bezüglich des Musters von Gehirnasymmetrien machen lassen.

Einerseits wird bei einem Ansatz, den ich als *Repräsentationshypothese* bezeichne, postuliert, dass visuelle Objekte in verschiedenen Repräsentationsformaten – ein abstraktes und ein spezifisches Format – gespeichert werden. Für die Kategorisierung eines Objekts auf der basalen Ebene würde ein visueller Input mit der abstrakten Repräsentation abgeglichen werden, für eine Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene mit der spezifischen Repräsentation. Die Repräsentationshypothese geht gleichzeitig davon aus, dass die LH Objekte bevorzugt im abstrakten Format speichert, die RH dagegen im spezifischen Format (Marsolek, 1999). Daraus leitet sich die Vorhersage ab, dass die LH einen Vorteil für die Kategorisierung von Objekten auf der basalen Ebene, die RH dagegen für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene aufweisen sollte.

Dem gegenüber steht ein Ansatz, den ich als *Merkmalshypothese* bezeichne. Hier wird davon ausgegangen, dass visuelle Inputs perzeptuell unterschiedlich verarbeitet werden, je nachdem ob sie auf der basalen oder der untergeordneten Ebene klassifiziert werden sollen. Werden Objekte auf der basalen Ebene klassifiziert, wird v.a. die globale Form eines Objekts verarbeitet. Eine Klassifikation auf der untergeordneten Ebene dagegen, führt zur verstärkten Verarbeitung lokaler Details (Large & McMullen, 2006). Die beiden Gehirnhälften sind unterschiedlich effizient bei der Verarbeitung globaler und lokaler Eigenschaften eines Stimulus. Die RH hat einen Vorteil für die Verarbeitung globaler Formen, die LH dagegen für die Verarbeitung lokaler Details (z.B. Hübner & Studer, im Druck). Zusammengenommen ergibt sich daher, dass nach diesem Ansatz die RH einen Vorteil für die Kategorisierung von Objekten auf der basalen Ebene aufweisen sollte, die LH dagegen für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene.

Interessanterweise ist damit das Muster der Gehirnasymmetrien, das von dem einen Ansatz vorhergesagt wird, genau entgegengesetzt zu dem, das der andere Ansatz postuliert. Beide Hypothesen sind jedoch theoretisch gut begründet und es gibt durchaus jeweils empirische Evidenz. Das Ziel der ersten Studie war es daher, zunächst einmal diesen

empirischen Widerspruch zu untersuchen und möglicherweise aufzuklären. Warum gibt es empirische Belege sowohl für die Repräsentations- als auch die Merkmalshypothese?

Eine mögliche Ursache für diese widersprüchlichen Befunde könnte darin liegen, dass die jeweiligen Hypothesen aus unterschiedlichen Forschungsbereichen stammen und daher auch mit unterschiedlichen experimentellen Methoden untersucht wurden. Die Repräsentationshypothese wurde bislang hauptsächlich mit Wort-Bild- oder Bild-Bild-Vergleichsaufgaben untersucht. Das heißt, den Vpn wird ein Wort und ein Bild (oder zwei Bilder) gezeigt und sie sollen angeben, ob Wort und Bild (oder die beiden Bilder) zur gleichen Kategorie gehören oder nicht. Dieser Vergleich kann dann entweder auf der basalen oder der untergeordneten Ebene verlangt werden. Es ist durchaus naheliegend, dass solche Aufgaben am besten durch einen Abgleich von Objektrepräsentationen gelöst werden, da in der Aufgabe ganz explizit verlangt wird, eine Repräsentation eines gegebenen mit der eines Zielobjekts zu vergleichen. In der Forschung zur globalen und lokalen Verarbeitung und allgemein zur Objektwahrnehmung, in der die Merkmalshypothese theoretisch verankert ist, werden dagegen Identifikationsaufgaben bevorzugt. Das heißt, ein Bild eines Objekts wird dargeboten und die Vpn haben die Aufgabe, dieses zu identifizieren z.B. durch das Drücken einer entsprechenden Antworttaste. Für diese Aufgaben könnte es eine geeignete Strategie sein, von vorneherein, je nach Aufgabe, entweder auf die globale oder die lokale Ebene zu achten, um die Aufgabe möglichst effektiv lösen zu können.

Allerdings gibt es zwischen den beiden Forschungsbereichen neben den Unterschieden in der spezifischen Aufgabenstellung ebenfalls Unterschiede im verwendeten Stimulusmaterial. In Kategorisierungsexperimenten wird i.d.R. eine relativ umfangreiche Sammlung von Stimuli verwendet, und die einzelnen Reize werden nur ein oder wenige Male präsentiert. In Aufgaben zur Objektwahrnehmung, insbesondere zur globalen und lokalen Verarbeitung, wird dagegen gewöhnlich nur eine kleine Auswahl an Stimuli verwendet, die dafür sehr häufig wiederholt präsentiert werden.

Um zu untersuchen, ob diese Unterschiede in der angewendeten Methodik die widersprüchlichen Befunde tatsächlich erklären können, wurden in Studie I zwei Experimente durchgeführt, in denen die Stimulusauswahl gleich, die spezifische Kategorisierungsaufgabe jedoch jeweils unterschiedlich war. Im ersten Experiment wurde eine Aufgabe verwendet, die derjenigen von Laeng et al. (2003) ähnelt. Das heißt, die Vpn sollten Worte und Bilder

vergleichen. Das Ziel dieses Experiments war es, zu sehen, ob die Ergebnisse von Laeng et al. (2003) mit einer Stimulusauswahl repliziert werden können, deren relativ kleiner Umfang derjenigen in Experimenten zur globalen und lokalen Verarbeitung entspricht. Folglich wurden hier VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese erwartet. Die Ergebnisse dieses Experiments sollten anschließend mit denen eines zweiten Experiments verglichen werden, in dem die gleichen Stimuli verwendet wurden, in dem aber eine Identifikationsaufgabe verlangt wurde, wie sie in ähnlicher Form in Experimenten zur globalen und lokalen Verarbeitung verwendet wird (z.B. Hübner & Malinowski, 2002; Hübner & Studer, im Druck). Die Hypothese war, dass in dieser Aufgabe VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese auftreten.

Bei den in diesem und allen weiteren Experimenten verwendeten Stimuli handelte es sich um schattierte dreidimensionale Abbildungen von Tieren (Beispiele, siehe Abb. II-1). Um die Vorhersagen der beiden Ansätze differenzieren zu können, wurden Tiere gewählt, die auf der basalen Ebene über ihre globale Form unterschieden werden konnten und auf der untergeordneten Ebene über ein lokales Oberflächenmuster. Das heißt, die Zugehörigkeit zu einer basalen Kategorie war über die globale Form der Stimuli definiert, während die Zugehörigkeit zu einer untergeordneten Kategorie über eine Kombination aus globaler Form mit einem spezifischen lokalen Muster definiert war. Wenn die Repräsentationshypothese richtig ist, sollte die LH einen Vorteil für die Kategorisierung dieser Stimuli auf der basalen Ebene aufweisen und die RH für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene. Ist dagegen die Merkmalshypothese gültig, dann sollte das Muster der Gehirnasymmetrien genau entgegengesetzt sein.

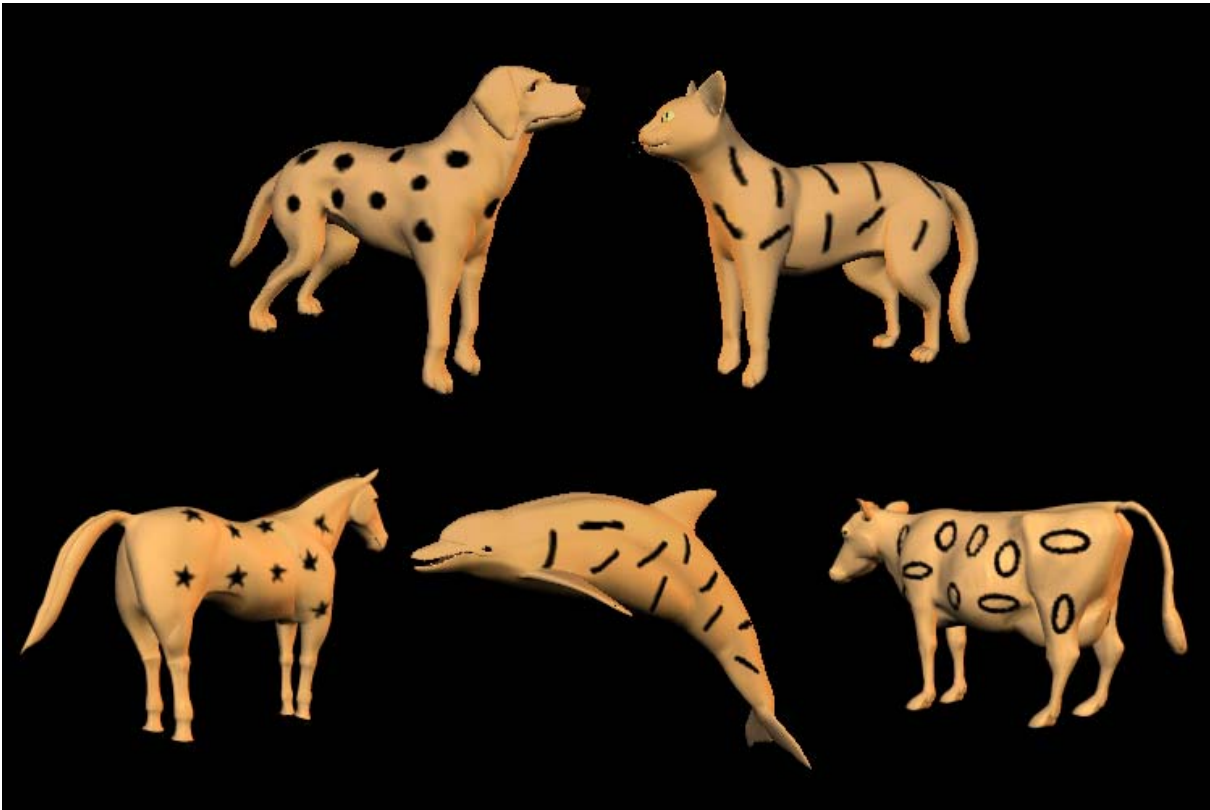


Abbildung II-1: Beispiele für die in allen Experimenten verwendeten Stimuli. Die basalen Kategorien waren jeweils durch die Tierform definiert (Hund, Katze, Pferd, Delphin und Kuh), untergeordnete Kategorien durch eine Kombination aus jeweils einer Tierform und einer spezifischen Textur (z.B. die gestreifte im Gegensatz zu der gepunkteten Katze). Alle Tierformen kamen in jeweils zwei Orientierungen vor und in jeweils gespiegelter Version, insgesamt also in jeweils vier Orientierungen. Außerdem konnte jedes Tier in Kombination mit jedem der vier Muster (Punkte, Streifen, Sterne und Ovale) vorkommen.

2 Experiment 1

Im ersten Experiment wurde untersucht, ob die Ergebnisse von Laeng et al. (2003) mit einer kleineren Stimulusauswahl repliziert werden können, das zudem eine klare hierarchische Struktur aufweist, d.h. dessen Kategoriezugehörigkeit explizit durch globale und lokale Merkmale definiert ist. Bei der Aufgabe handelte es sich um eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe. Das heißt, die Vpn sollten entscheiden, ob ein visuell dargebotenes Wort, das ein Objekt auf der basalen oder der untergeordneten Ebene beschrieb, und ein anschließend lateralisiert dargebotenes Bild übereinstimmten oder nicht. Im Gegensatz zu Laeng et al. (2003), die eine ähnliche Aufgabe verwendet hatten, wurde hier zunächst das

Wort und anschließend das Bild präsentiert und nicht umgekehrt. Diese Vorgehensweise entspricht am ehesten der Identifikationsaufgabe, die in Experiment 2 verwendet wurde. Hier wird der Hinweisreiz, der die Ebene angibt, auf der das Objekt kategorisiert werden soll, ebenfalls vor dem Bild präsentiert. Außerdem wurde angenommen, dass die Bild-Wort-Reihenfolge die Repräsentationshypothese generell bevorzugen könnte. Denn wenn zuerst das Bild gezeigt wird, müssen die Vpn immer alle relevanten Aspekte des Stimulus repräsentieren, da sie nicht wissen, welche Merkmalsebene des Bildes (also die globale oder die lokale) für die folgende Verifikationsaufgabe relevant sein wird. Die Tatsache, dass alle Aspekte eines Objekts enkodiert werden, könnte eine Verifikationsstrategie induzieren, die die Verwendung spezifischer Repräsentationen nahe legt, was wiederum Ergebnisse produzieren könnte, die der Repräsentationshypothese entsprechen.

Wenn die Verifikationsaufgabe tatsächlich die Verwendung von Repräsentationen nahe legt, wie sie von der Repräsentationshypothese vorgeschlagen werden (z.B. Laeng et al., 2003), dann sollte die Kategorisierung auf der basalen Ebene besser von der LH geleistet werden und die auf der untergeordneten Ebene von der RH. Entsprechend wurde für Kategorisierungen auf der basalen Ebene ein Leistungsvorteil erwartet, wenn die Reize im RVF dargeboten wurden, für untergeordnete Kategorisierungen dagegen ein Vorteil, wenn die Reize im LVF dargeboten wurden. Wenn dagegen die Merkmalshypothese korrekt ist, dann sollten genau entgegengesetzte VF-Effekte beobachtbar sein.

Zusätzlich zur Klassifizierung auf der basalen und untergeordneten Ebene wurde eine Bedingung eingefügt, in der die Vpn ausschließlich die Textur der Tiere verifizieren sollten. Mit dieser Bedingung sollte der Zusammenhang zwischen der Verarbeitung lokaler Merkmale und der Objektkategorisierung auf der untergeordneten Ebene untersucht werden. Obwohl sowohl die Erkennung lokaler Muster als auch die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene in irgendeiner Weise lokale Verarbeitung beinhalten, bestehen deutliche Unterschiede. Für die Erkennung des lokalen Musters ist eine Analyse der globalen Form nicht notwendig, d.h. sie kann ignoriert werden. Für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene dagegen ist sowohl die Analyse der globalen Form als auch des lokalen Musters notwendig, um erfolgreich zu kategorisieren. Daraus ergibt sich die Frage, wenn tatsächlich im Sinne der Repräsentationshypothese die RH/LVF einen Vorteil für die Kategorisierung auf der untergeordneten Eben aufweist, welche Art von Lateralisierung wird dann für die Kategorisierung der lokalen Textur allein beobachtbar sein?

2.1 Methode

Versuchspersonen

48 Vpn (34 weiblich, 14 männlich; Durchschnittsalter: 23.7 Jahre) nahmen an diesem Experiment teil. Alle Teilnehmer waren Rechtshänder und wiesen einen normalen oder korrigierten Visus auf.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Die Stimuli wurden auf einem 21''-Farbmonitor (Sony) mit einer Auflösung von 1024x768 Pixel und einer vertikalen Auffrischungsrate von 85 Hz präsentiert. Ein Personal Computer (PC) diente der Kontrolle der Stimuluspräsentation und der Aufzeichnung der Antworten.

Die in diesem und allen weiteren Experimenten verwendeten Stimuli wurden mit Hilfe der Computer-Software ‚Curious Labs Poser 5‘ gestaltet. Als Stimuli dienten Bilder von schattierten, orange-braunen Tieren, nämlich Hunden, Katzen, Pferden, Kühen und Delphinen. Alle Tiere wiesen zusätzlich verschiedene Texturen auf ihrem Fell auf, nämlich Punkte, Streifen, Sterne oder Ovale. Jedes Tier wurde mit jeder Texturart kombiniert, so dass nur die Kombination aus Tierart und Textur eine untergeordnete Kategorie definierte und nicht Tierform oder Textur allein. Die basalen Kategorien waren ausschließlich durch die globale Tierform definiert, die Textur war dafür unerheblich. Jedes Tier wurde mit Hilfe der Computer-Software in der Tiefe rotiert. Dargeboten wurden die Tiere in Orientierungen von 60° und 120° und den jeweils gespiegelten Versionen, so dass jedes Tier insgesamt in vier Orientierungen dargeboten wurde. In jedem Experiment gab es alle Kombinationen aus vier Tieren mit vier Mustern, die in vier Orientierungen auftreten konnten, insgesamt also 64 Stimuli (Beispiele, siehe Abbildung II-1). Die Stimuli wurden auf einem schwarzen Hintergrund präsentiert. Die Größe der Stimuli hing sowohl von der Tierart als auch der spezifischen Orientierung ab. Die Höhe variierte von 3.89° bis 4.62° Schwinkel und die Breite reichte von 4.69° bis 5.58°. Die Stimuli wurden in einer Exzentrizität von 2.79° dargeboten (gemessen von der Mitte des Bildschirms zur Mitte der Stimuli).

Um zu vermeiden, dass sich die beobachteten Effekte lediglich auf die Verwendung spezifischer Stimuluskombinationen zurückführen lassen, wurden die spezifischen basalen und untergeordneten Kategorien über die Vpn hinweg variiert. Für jede Vp gab es vier basale

und vier untergeordnete Kategorien. Ein Drittel der Vpn hatte Katzen, Hunde, Pferde und Delphine als basale Kategorien und gestreifte Katzen, gepunktete Katzen, gestreifte Hunde und gepunktete Hunde als untergeordnete Klassen. Ein weiteres Drittel hatte die gleichen basalen Kategorien, aber Pferde und Delphine, jeweils in Kombination mit entweder Sternen oder Ovalen als untergeordnete Kategorien. Die übrigen 16 Vpn hatten Katzen, Hunde, Pferde und Kühe als basale Kategorien und Pferde und Kühe jeweils mit entweder Punkten oder Streifen als Unterkategorien.

In einem Wort-Bild-Vergleichsexperiment lassen sich im Grunde ausschließlich diejenigen Durchgänge auswerten, in denen Wort und Bild tatsächlich übereinstimmen. Denn nur in dieser Bedingung ist sicher, dass tatsächlich eine Kategorisierung auf der gewünschten Ebene stattgefunden hat. Bei Ablehnungen ist dies nicht zwangsläufig gegeben, da diese auch ohne vollständige Kategorisierung erfolgen kann, z.B. anhand eines einzelnen salienten, divergierenden Merkmals. Dennoch können aus den Ablehnungen ebenfalls Schlussfolgerungen gezogen werden. Als Distraktoren für die ‚verschieden‘-Antworten kamen alle Kategorien gleich häufig vor. Für das Wort ‚Hund‘ war die Wahrscheinlichkeit also ebenso groß, dass ein Bild mit einer der alternativen Tierkategorien gezeigt wurde. Gleiches gilt für die Distraktoren der lokalen Aufgabe. Im Fall der untergeordneten Aufgaben gab es ausschließlich Distraktoren, die sich nur auf einer Merkmalebene unterschieden (also entweder in der Tierform oder im Muster), während die andere Ebene überlappte. Wurde also z.B. das Wort ‚Peppo‘ (der gepunktete Hund) präsentiert, konnte als Distraktor z.B. ‚Pippi‘ erscheinen (gleiches Muster, aber unterschiedliche globale Tierform) oder z.B. ‚Sasso‘ (gleiches Tier, aber unterschiedliches Muster). Insofern können in diesem Fall die ‚verschieden‘-Antworten in Abhängigkeit davon ausgewertet werden, ob eine Unterscheidung aufgrund der globalen Form oder des lokalen Musters erfolgte. Distraktoren, die sich auf beiden Ebenen unterscheiden, kamen nicht vor, da sie wenig informativ sind. In diesem Fall kann nicht geklärt werden, ob die Ablehnung aufgrund der Tierform, des Musters oder tatsächlich der Kombination aus beiden erfolgt ist.

Vorgehen

In diesem Experiment wurde eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe verwendet. Jeder Durchgang begann mit dem Erscheinen eines Wortes, das das Objekt entweder auf der basalen oder der untergeordneten Ebene benannte, in der Bildschirmmitte für 300 ms. Das

Wort diente gleichzeitig als Fixationspunkt und die Vpn waren aufgefordert, ihren Blick während des ganzen Experiments auf diesen Punkt gerichtet zu halten. Zusätzlich gab es eine Bedingung, in der nur die lokale Textur klassifiziert werden musste, unabhängig von dem Tier, auf dem sie sich befand. Dann erschien ein Stimulus entweder im LVF oder RVF für 93 *ms* und die Vpn sollten angeben, ob das Wort und das Bild in Bezug auf die geforderte Kategorieebene gleich waren oder nicht, indem sie eine entsprechende Antworttaste einer Computermaus drückten. Die Zuordnung der Antworten ‚gleich‘ und ‚verschieden‘ zu den Tasten wurde über die Vpn hinweg balanciert ebenso wie die Hand, mit der die Vpn antworten sollten. 1000 *ms* nach der Antwort erschien das nächste Wort.

In diesem Experiment wurden drei Faktoren variiert: *Kategorisierungsebene* (basal, untergeordnet oder lokal), *Visuelles Feld* (LVF oder RVF) und *Antwort* (gleich oder verschieden). Nach einem Übungsblock wurden 8 Blöcke à 96 Durchgängen durchgeführt, so dass sich 64 Beobachtungen pro Bedingung und Vp ergaben.

2.2 Ergebnisse

‚Gleich‘- und ‚verschieden‘-Antworten wurden getrennt ausgewertet. Für jeden Antworttyp wurde jeweils eine ANOVA für die Mediane der Reaktionszeiten und Fehlerraten berechnet. Als Faktoren mit Messwiederholung gingen die *Kategorisierungsebene* und das *Visuelle Feld* ein. Die ‚verschieden‘-Antworten wurden deshalb separat ausgewertet, weil nur bei ‚gleich‘-Antworten relativ sicher ist, dass eine vollständige Kategorisierung auf der geforderten Kategorisierungsebene stattgefunden hat. ‚Verschieden‘-Antworten können aus vielfältigen Gründen gegeben werden und hängen außerdem vom spezifischen Distraktor ab. Dennoch werden die Ergebnisse der ‚verschieden‘-Antworten berichtet, da sie andere interessante Einblicke in die Reizkategorisierung in einer Vergleichsaufgabe erlauben. Die Bedingung, in der nur die lokalen Texturen kategorisiert wurden, wurde ebenfalls separat analysiert.

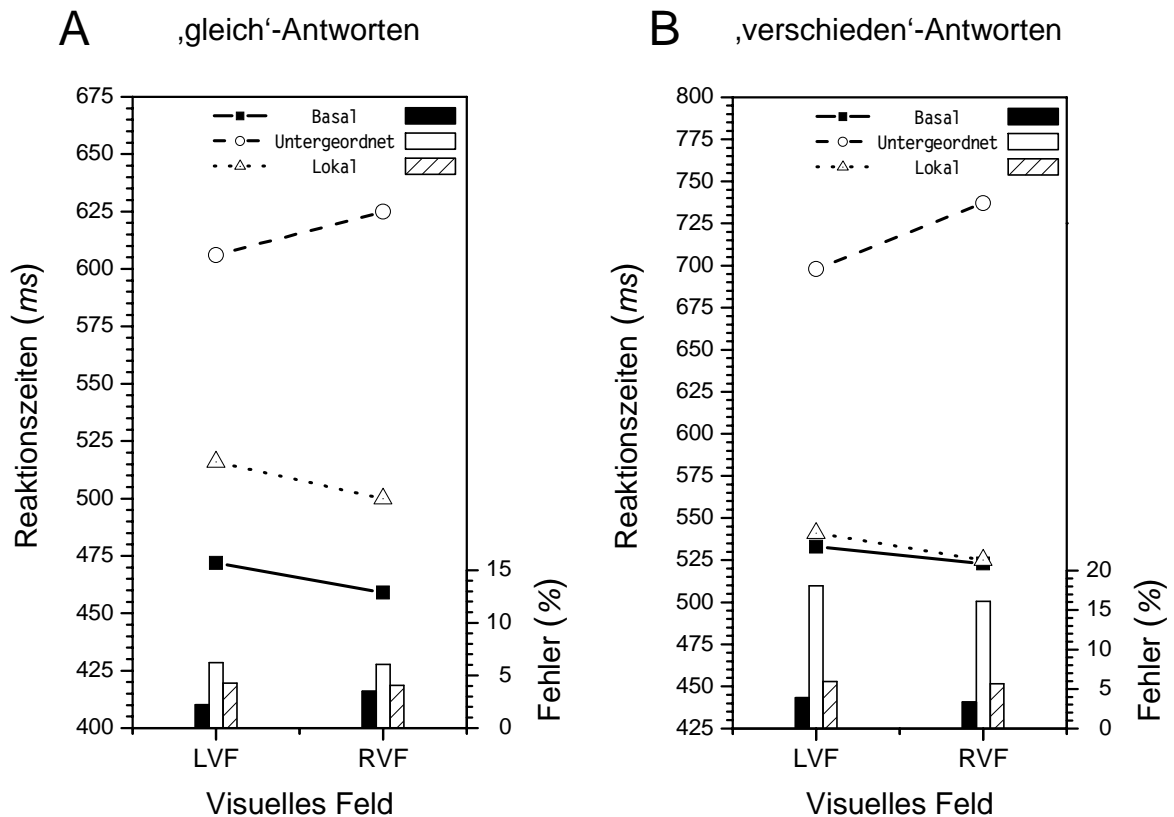


Abbildung II-2: Ergebnisse der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe in Experiment 1. Dargestellt sind Reaktionszeiten (Linien) und Fehlerraten (Balken) für Kategorisierungen auf der basalen und untergeordneten Ebene sowie für die Kategorisierung der lokalen Texturen, jeweils getrennt für Darbietungen im LVF bzw. RVF. (A) Ergebnisse für ,gleich'-Antworten. (B) Ergebnisse für ,verschieden'-Antworten.

2.2.1 ,Gleich'-Antworten

Reaktionszeiten. Die Analyse der Reaktionszeiten ergab zunächst einen Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 47) = 23.02$, $p < .001$. Vergleiche auf der basalen Ebene waren schneller (466 ms) als die auf der untergeordneten Ebene (615 ms).

Als wichtigstes Ergebnis fand sich eine Interaktion zwischen den Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld*, $F(1, 47) = 5.76$, $p < .05$ (Abb. II-2, A). Vergleichsurteile auf der basalen Ebene waren schneller (13 ms), wenn die Reize im RVF dargeboten wurden, Urteile auf der untergeordneten Ebene dagegen waren schneller (19 ms), wenn die Reize im LVF gezeigt wurden. Geplante Kontraste zeigten, dass der VF-Effekt

sowohl für die Kategorisierung auf der basalen Ebene knapp das Signifikanzniveau verfehlt, $t(47) = 1.44, p = .079$, als auch für die auf der untergeordneten Ebene, $t(47) = 1.64, p = .055$.

Die Daten aus der lokalen Bedingung, in der nur die lokalen Texturen beurteilt werden sollten, wurden getrennt analysiert. Der VF-Effekt für diese Bedingung ist signifikant, $t(47) = 1.75, p < .05$. Die Antworten waren schneller (16 ms), wenn die Stimuli im RVF dargeboten wurden als wenn sie im LVF gezeigt wurden.

Fehlerraten. Fehler traten durchschnittlich in 4.38 % der Durchgänge auf. Es fand sich ein Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 47) = 23.30, p < .001$. Die Vpn machten weniger Fehler bei Vergleichsurteilen auf der basalen Ebene (2.84 %) als auf der untergeordneten Ebene (6.14 %). Es zeigte sich keine Interaktion zwischen der *Kategorisierungsebene* und dem *visuellen Feld*. Somit kann zumindest ausgeschlossen werden, dass die Ergebnisse in den Reaktionszeiten Folge eines Speed-Accuracy Tradeoffs sind. Für die lokale Bedingung gab es ebenfalls keinen VF-Effekt, $t(47) = 0.08, p = .41$.

2.2.2 ,Verschieden'-Antworten

Reaktionszeiten. Die Analyse der Reaktionszeiten ergab zunächst einen Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 47) = 31.25, p < .001$. Korrekte Zurückweisungen auf der basalen Ebene waren schneller (528 ms) als die auf der untergeordneten Ebene (718 ms). Weiter fand sich eine Interaktion zwischen den Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld*, $F(1, 47) = 5.23, p < .05$ (Abb. II-2, B). Vergleichsurteile auf der basalen Ebene waren schneller (10 ms), wenn die Reize im RVF dargeboten wurden, Urteile auf der untergeordneten Ebene dagegen waren schneller (39 ms), wenn die Reize im LVF gezeigt wurden. Geplante Kontraste zeigten, dass der VF-Effekt sowohl für die Kategorisierung auf der basalen Ebene signifikant war, $t(47) = 2.89, p < .05$, als auch für die auf der untergeordneten Ebene, $t(47) = 3.43, p < .05$. Die Daten aus der lokalen Bedingung, in der nur die lokalen Texturen beurteilt werden sollten, wurden getrennt analysiert. Der VF-Effekt für diese Bedingung war signifikant, $t(47) = 4.93, p < .05$. Die Antworten waren schneller (16 ms), wenn die Stimuli im RVF dargeboten wurden als wenn sie im LVF gezeigt wurden.

Fehlerraten. Fehler wurden durchschnittlich in 8.84 % der Durchgänge gemacht. Es fand sich zunächst ein Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 47) = 117.81, p < .001$. Die Vpn machten weniger Fehler bei Vergleichsurteilen auf der basalen Ebene (3.64 %) als auf der untergeordneten Ebene (17.07 %). Es zeigte sich keine Interaktion zwischen der

Kategorisierungsebene und dem *Visuellen Feld*, so dass zumindest ausgeschlossen werden kann, dass die Ergebnisse in den Reaktionszeiten Folge eines Speed-Accuracy Tradeoffs sind. Für die lokale Kontrollbedingung gab es ebenfalls keinen VF-Effekt, $t(47) = 0.08$, $p = .39$.

2.2.3 Subanalyse der ‚verschieden‘-Antworten auf der untergeordneten Ebene

Das vorliegende Experiment war so gestaltet, dass der Distraktor bei ‚verschieden‘-Antworten für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene sich immer nur auf einer Dimension unterschied (z.B. war die globale Form verschieden), aber auf der anderen Dimension überlappte (z.B. war die lokale Textur die gleiche). Wenn der Hinweisreiz z.B. den gestreiften Hund ankündigte, konnte der Distraktor beispielsweise entweder eine gestreifte Katze (Unterschied in der globalen Form) oder ein gepunkteter Hund sein (Unterschied im lokalen Muster). Dieses Vorgehen erlaubt eine Analyse der Daten in Abhängigkeit des spezifischen Distraktors. Um zu sehen, ob die Merkmalsebene, auf der der Unterschied auftrat, eine Auswirkung auf VF-Effekte hat, wurden die ‚verschieden‘-Antworten für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene in dieser Hinsicht analysiert.

Dazu wurden die Mediane der Reaktionszeiten und Fehlerraten jeweils in eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen auf den Faktoren *Ebene des Unterschieds* (globale Form oder lokales Muster) und *visuelles Feld* eingegeben.

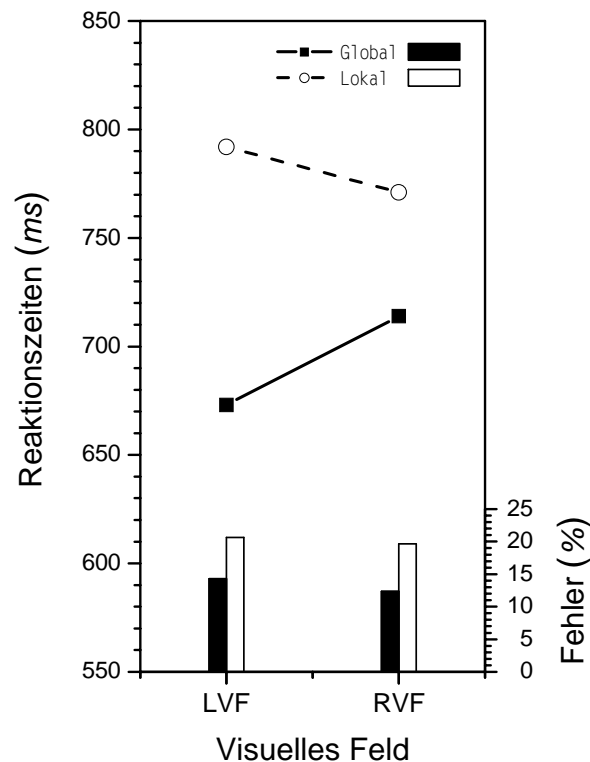


Abbildung II-3: Reaktionszeiten (Linien) und Fehlerraten (Balken) für die Subanalyse der ‚verschieden‘-Antworten auf der untergeordneten Ebene in Experiment 1: Ablehnungen von Vergleichen auf der untergeordneten Ebene in Abhängigkeit von der Art des Distraktors (d.h. Unterschied auf der globalen oder der lokalen Ebene), jeweils getrennt dargestellt für Darbietungen im LVF bzw. RVF (siehe Text für Details).

Reaktionszeiten. Die Analyse der Reaktionszeiten zeigt zunächst einen Haupteffekt der Art des Distraktors, $F(1, 47) = 10.15$, $p < .01$. Eine ‚verschieden‘-Antwort wurde schneller gegeben, wenn sich das Wort und das Bild durch die globale Form unterschieden (693 ms) als wenn sie sich durch das Muster unterschieden (781 ms). Außerdem zeigte sich eine Interaktion zwischen der Art des Distraktors und dem Visuellen Feld, $F(1, 47) = 4.65$, $p < .05$. Eine Ablehnung aufgrund der globalen Form erfolgte schneller, wenn der Reiz im LVF dargeboten wurde als wenn er im RVF präsentiert wurde (39 ms). Dagegen erfolgte eine Ablehnung aufgrund des Musters schneller, wenn der Reiz im RVF dargeboten wurde als im LVF (21 ms). Kontrastanalysen zeigten, dass dieser Effekt allerdings nur für die Ablehnung

aufgrund der globalen Form signifikant ist, $t(47) = 4.20, p < .05$, nicht aber für die Ablehnung aufgrund des Musters, $t(47) = 0.81, p < .19$.

Fehlerraten. Die Analyse der Fehlerraten zeigt ebenfalls einen Haupteffekt der Art des Distraktors, $F(1, 47) = 13.68, p < .01$. Eine ‚verschieden‘-Antwort wurde korrekter gegeben, wenn sich Wort und Bild durch die globale Form unterschieden (13.3 %) als wenn sie sich durch das Muster unterschieden (20.1 %). Kein weiterer Effekt wurde signifikant.

2.3 Diskussion

Das Ziel des ersten Experiments war es, die Ergebnisse von Laeng et al. (2003) mit einer kleineren Auswahl an Stimuli zu replizieren. Die wesentliche Frage war, ob man Gehirnasymmetrien finden würde, wie sie von der Repräsentationshypothese vorhergesagt werden.

Für die Hauptanalyse wurden ausschließlich diejenigen Durchgänge ausgewertet, in denen das Wort und das Bild korrespondierten (‚gleich‘-Antworten), weil bei ‚verschieden‘-Antworten nicht eindeutig zu klären ist, ob die Vpn die dargebotenen Stimuli tatsächlich vollständig auf der verlangten Ebene kategorisiert haben oder ob sie den Unterschied lediglich anhand einzelner salienter Merkmale feststellten. Zunächst zeigte sich im Einklang mit anderen Kategorisierungsstudien (Jolicoeur et al., 1984; Laeng et al., 2003; Rosch et al., 1976), dass Vergleichsurteile auf der basalen Ebene generell schneller erfolgten als solche auf der untergeordneten Ebene. Dies legt nahe, dass eine größere Menge an visueller Information verarbeitet werden muss, um Objekte auf der untergeordneten Ebene zu kategorisieren als auf der basalen.

Was die Hemisphärenasymmetrien betrifft, konnten die Ergebnisse von Laeng et al. (2003) auch mit der in dieser Studie verwendeten kleinen Stimulusauswahl repliziert werden (siehe Abb. II-2). Obwohl die Einzeltests für die einfachen VF-Effekte auf der basalen und der untergeordneten Ebene knapp das Signifikanzniveau verfehlten, war die Interaktion zwischen Kategorisierungsebene und VF signifikant. Es zeigte sich ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli für Klassifikationen auf der basalen Ebene, dagegen ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Es ist bemerkenswert, dass das gleiche Muster an VF-Effekten wie bei Laeng et al. (2003) im vorliegenden Experiment gefunden wurde, obwohl eine Bild-Wort-Vergleichsaufgabe (anstatt einer Wort-Bild-Vergleichs-

aufgabe) und eine deutlich kleinere Stimulusauswahl verwendet wurde. Dies ist durchaus überraschend, da einige Faktoren des experimentellen Designs recht spezifisch waren und eher eine Analyse globaler und lokaler Merkmale angeregt haben könnte. Z.B. waren die Stimuli so gestaltet, dass eindeutig die globale Form zwischen verschiedenen basalen Kategorien differenzierte, während ausschließlich die lokalen Muster erlaubten, zwischen Mitgliedern der untergeordneten Kategorien zu unterscheiden. Und selbst die Tatsache, dass die Vpn bei jedem Durchgang sich bereits im voraus darauf vorbereiten konnten, relevante Differenzierungsmerkmale zu verarbeiten, da das Wort immer vor dem Bild dargeboten wurde, änderten ebenfalls nichts daran, dass die Ergebnisse im Einklang mit der Repräsentationshypothese waren.

Die Analyse der ‚verschieden‘-Antworten scheint zunächst das gleiche Ergebnismuster wie das der ‚gleich‘-Antworten zu liefern (vgl. Abb. II-2). Es zeigte sich ein Vorteil der LH/RVF für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein Vorteil der RH/LVF für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Diese Ergebnisse können aber nicht eindeutig interpretiert werden, da eine korrekte Ablehnung der Übereinstimmung nicht automatisch bedeutet, dass der Stimulus vollständig auf der geforderten Zielebene identifiziert worden ist. Vielmehr könnte die Ablehnung auch von der Art des Distraktorobjekts abhängen. Tatsächlich zeigt eine tiefergehende Analyse der Daten, dass diese Vermutung begründet ist. Die Subanalyse von korrekten Ablehnungen auf der untergeordneten Ebene unter Berücksichtigung der spezifischen abweichenden Information zeigte, dass Ablehnungen, die auf der globalen Form beruhten, schneller in der RH/LVF erfolgten, während solche, die auf Unterschieden im lokalen Muster beruhten, schneller in der LH/RVF erfolgten. Dieses Ergebnis ist wiederum in Einklang mit der Merkmalshypothese. Zusätzlich zeigte sich, dass die LH/RVF grundsätzlich effizienter als die RH/LVF bei Beurteilungen der lokalen Textur war. Dieses Ergebnis entspricht ebenfalls den VF-Effekten, die von der Merkmalshypothese für die lokale Verarbeitung erwartet würden.

Bei genauerer Betrachtung der Daten zeigt sich also, dass die Ergebnisse der ‚verschieden‘-Antworten weniger die Anwendung bestimmter Arten von Repräsentationen widerspiegeln, sondern vielmehr das Ergebnis globaler und lokaler Verarbeitung. Nachweisbar ist dies insbesondere für Ablehnungen auf der untergeordneten Ebene. Obwohl die Gesamtanalyse der ‚verschieden‘-Antworten im Einklang mit den Vorhersagen der Repräsentationshypothese zu stehen scheint (siehe die oberste Datenlinie in Abb. II-2, B),

stellt diese Datenlinie vielmehr das Ergebnis der Kombination der Daten für die verschiedenen Distraktorebenen (siehe Abb. II-3) dar. Die Tatsache, dass der VF-Effekt für eine Ablehnung aufgrund der globalen Form größer als der für eine Ablehnung aufgrund der lokalen Muster ist, ist für das irreführende Ergebnis verantwortlich, dass für die zusammengenommenen Daten die Reaktionszeiten für das RVF langsamer sind als für das LVF. Diese Analysen demonstrieren in jedem Fall, dass ‚verschieden‘-Antworten in einer Vergleichsaufgabe sehr vorsichtig interpretiert werden sollten.

Nichtsdestotrotz unterstützen die Ergebnisse des Experiment 1 – zumindest in den ‚gleich‘-Antworten, die in Bezug auf Kategorisierung die eindeutigsten Daten darstellen – generell die Repräsentationshypothese. Wie in der Einleitung jedoch angemerkt, gibt es ebenfalls einige Evidenz dafür, dass die Merkmalshypothese gültig ist. Die Idee dieser Studie I war, dass Anforderungen der spezifischen Aufgabe für diese widersprüchlichen Befunde verantwortlich sein könnten. Daher wurde im zweiten Experiment die gleiche Zusammenstellung von Stimuli verwendet, die Aufgabe der Vpn war diesmal aber eine Identifikationsaufgabe.

3 Experiment 2

Die in diesem Experiment verwendete Identifikationsaufgabe war ähnlich zu solchen, die in Studien zur globalen und lokalen Verarbeitung verwendet werden. Es wurde erwartet, dass die Identifikationsaufgabe zu Gehirnasymmetrien führen würde, die denen in Experiment 1 genau entgegengesetzt sind. Im Sinne der Merkmalshypothese sind verschiedene Merkmalsebenen (global oder lokal) diagnostisch für spezifische Kategorisierungen und folglich sollten die Merkmalsebenen die Richtung der Gehirnasymmetrien bestimmen. Das heißt, die Hypothese für dieses Experiment war, dass die RH einen Vorteil für die Kategorisierung von Objekten auf der basalen Ebene haben sollte, während die LH spezialisiert für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene sein sollte. Um diese Vorhersage zu testen, sollten die Vpn lateralisiert dargebotene Objekte entweder auf der basalen oder der untergeordneten Ebene klassifizieren, indem sie eine entsprechende Antworttaste drückten.

Wie in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe wurden für jede Ebene vier Kategorien definiert, die dadurch identifiziert werden sollten, dass eine von vier Antworttasten gedrückt

werden sollte. Die Verwendung von Antworttasten führt allerdings ein Ungleichgewicht bezüglich der Zahl an Antwortalternativen im Vergleich zu Experiment 1 ein. In einer Vergleichsaufgabe gibt es grundsätzlich nur zwei Antwortalternativen („gleich“ und „verschieden“), während es bei vier Kategorien in der Identifikationsaufgabe vier Antwortalternativen gibt. Um zu sehen, ob die Zahl der Antwortalternativen und damit die Zahl der Kategorien für die Richtung der Gehirnasymmetrien entscheidend ist, wurden in dieses Experiment zwei Bedingungen eingeführt. Die Hälfte der Vpn sollte vier Kategorien identifizieren, indem sie eine von vier Antworttasten drückte. In dieser Bedingung war die Zahl der Kategorien gleich wie in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe in Experiment 1, aber es gab eine größere Zahl von Antwortalternativen. Die andere Hälfte der Vpn sollte nur zwei basale Kategorien und vier untergeordnete Kategorien identifizieren, die mit zwei Antworttasten assoziiert waren. In dieser Bedingung war also die Zahl der Antwortalternativen die gleiche wie in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe, aber die Zahl der Kategorien war geringer. Diese Bedingungen sollten zumindest ein Stück weit erlauben, den Effekt einzuschätzen, den die Zahl der Kategorien und entsprechend die Zahl der Antwortalternativen auf das Muster der beobachteten Hemisphärenasymmetrien hat. Um außerdem die Zahl der notwendigen Antwortalternativen weiter zu beschränken, mussten die Vpn diesmal keine lokalen Muster allein identifizieren.

3.1 Methode

Versuchspersonen

Vierzig Vpn (33 weiblich, 7 männlich; Durchschnittsalter: 23.2 Jahre) nahmen an diesem Experiment teil. Alle Teilnehmer waren Rechtshänder und wiesen einen normalen oder korrigierten Visus auf.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Die technische Ausstattung war identisch zu der in Experiment 1. Auch die Reize waren identisch zu denen in Experiment 1, d.h. es handelte sich um schattierte, dreidimensionale Tierbilder mit einer bestimmten Textur (für Beispiele, siehe Abbildung II-1). Vpn mit vier Kategorien hatten Katzen, Hunde, Pferde und Delphine als basale Kategorien und gestreifte und gepunktete Hunde sowie gestreifte und gepunktete Katzen als untergeordnete Kategorien. Vpn mit zwei Kategorien hatten nur Hunde und Katzen als basale Kategorien und gestreifte

und gepunktete sowie gestreifte und gepunktete Katzen als untergeordnete Kategorien. Nachdem allerdings im ersten Experiment gezeigt werden konnte, dass die spezifischen Tiere keinen Einfluss auf die Ergebnisse hatten, wurden diesmal für alle Vpn die gleichen Kategorien verwendet.

Vorgehen

Die Aufgabe, die in Experiment 2 verwendet wurde, war eine Identifikationsaufgabe, wie sie in ähnlicher Form normalerweise in Experimenten zur Untersuchung globaler und lokaler Verarbeitung verwendet wird. Die Vpn sollten die dargebotenen Stimuli entweder auf der basalen (z.B. Hund oder Katze) oder auf der untergeordneten Ebene (z.B. gestreifter Hund oder gepunkteter Hund) klassifizieren, indem sie eine entsprechende Maustaste drückten.

Jeder Durchgang begann mit der Darbietung eines Buchstabens für die Dauer von 300 *ms* in der Mitte des Bildschirms, der als Hinweisreiz dafür diente, auf welcher Ebene das nachfolgende Tierbild klassifiziert werden sollte. Der Buchstabe diente gleichzeitig als Fixationspunkt, und die Vpn wurden instruiert, ihre Augen während des ganzen Experiments auf diese Stelle des Bildschirms zu richten. Der Buchstabe „T“ gab an, dass das nachfolgende Bild auf der basalen Ebene und der Buchstabe „E“, dass das folgende Bild auf der untergeordneten Ebene kategorisiert werden sollte. Nach einem schwarzen Bildschirm für die Dauer von 500 *ms* wurde der Stimulus für 93 *ms* entweder im LVF oder im RVF dargeboten. Die Vpn gaben ihre Antwort durch das Drücken einer von zwei oder vier Maustasten. Jede Maustaste diente gleichzeitig als Antwort für basale als auch untergeordnete Kategorien.

Für die Vpn mit vier Antworttasten gab es vier basale (Katze, Hund, Pferd und Delphin) sowie vier untergeordnete Kategorien (gepunktete Katze, gestreifte Katze, gepunkteter Hund und gestreifter Hund). Jede basale Kategorie war mit einer von vier Antworttasten assoziiert und auch jede untergeordnete Kategorie war mit einer dieser vier Antworttasten assoziiert. Es gab zwei Arten von Kategorie-zu-Taste-Assoziationen, die über die Vpn hinweg balanciert waren: Die Hälfte der Vpn antwortete mit der linken Hand für Katze und Pferd (basale Ebene) mit jeweils dem linken und rechten Finger, und für den gestreiften Hund und die gepunktete Katze (untergeordnete Ebene) jeweils mit dem linken und rechten Finger. Mit der rechten Hand antworteten sie für Hund und Delphin (basale Ebene) jeweils mit dem linken und dem rechten Finger und für die gestreifte Katze und den gepunkteten Hund (untergeordnete Ebene)

jeweils mit dem linken und dem rechten Finger. Für die andere Hälfte der Vpn wurde die Zuordnung zu den Händen vertauscht.

Für die Vpn mit nur zwei Antworttasten gab es nur zwei basale Kategorien (Hund und Katze), aber ebenfalls vier untergeordnete Kategorien (gepunktete Katze, gestreifte Katze, gepunkteter Hund sowie gestreifter Hund). Es war notwendig, auf der untergeordneten Ebene vier Kategorien beizubehalten, da ansonsten mit nur zwei untergeordneten Kategorien (z.B. gestreifte und gepunktete Katze) die globale Tierform zur Lösung der Aufgabe völlig ignoriert werden kann. Folglich war immer eine basale Kategorie, eine untergeordnete Katzen-Kategorie und eine untergeordnete Hunde-Kategorie mit einer von zwei Antworttasten assoziiert. Es gab vier Arten von Assoziationen von Reizen zu Antworttasten, die über die Vpn hinweg balanciert wurden: Bei der Hälfte der Vpn war Katze mit der linken Taste und Hund mit der rechten Taste assoziiert, für die andere Hälfte war die Assoziation umgekehrt. Untergeordnete Kategorien wurden so mit Antworttasten assoziiert, dass immer ein gestreiftes und ein gepunktetes Tier mit der gleichen Antworttaste assoziiert waren (ansonsten hätte lediglich die Identifikation des lokalen Musters für eine korrekte Antwort ausgereicht). Entsprechend waren die gepunktete Katze und der gestreifte Hund mit einer Antworttaste assoziiert und die gestreifte Katze und der gepunktete Katze mit der anderen Taste. Alle möglichen Kombinationen von basalen und untergeordneten Kategorien waren möglich. Die Hälfte der Vpn antwortete mit der linken Hand, die andere Hälfte mit der rechten Hand.

Die Reaktionszeiten wurden beginnend mit der Reizpräsentation gemessen. 1000 ms nach der Antwort erschien der nächste Hinweisreiz.

Drei Faktoren wurden in diesem Experiment variiert: die *Kategorisierungsebene* (basale oder untergeordnete Ebene), *Visuelles Feld* (LVF oder RVF) und die *Zahl der Antwortalternativen* (zwei oder vier). Die ersten beiden Faktoren waren innerhalb jedes Blocks randomisiert, die Zahl der Antwortalternativen variierte zwischen den Vpn. Insgesamt gab es acht Bedingungen. Für die Vpn mit vier Antwortalternativen wurden 12 Blöcke à 64 Durchgänge durchgeführt, so dass sich 192 Beobachtungen pro Bedingung und Vp ergaben. Für die Vpn mit zwei Antwortalternativen wurden 8 Blöcke à 64 Durchgänge durchgeführt, so dass sich 128 Beobachtungen pro Bedingung und Vp ergaben.

3.2 Ergebnisse

Die Mediane der Reaktionszeiten von korrekten Antworten bzw. die Fehlerraten wurden jeweils in eine dreifaktorielle ANOVA mit den innerhalb der Vpn variierten Faktoren *Kategorisierungsebene* (basale oder untergeordnete Ebene) und *Visuelles Feld* (LVF oder RVF) und dem zwischen Vpn variierten Faktor *Zahl der Antwortalternativen* (zwei oder vier) eingegeben.

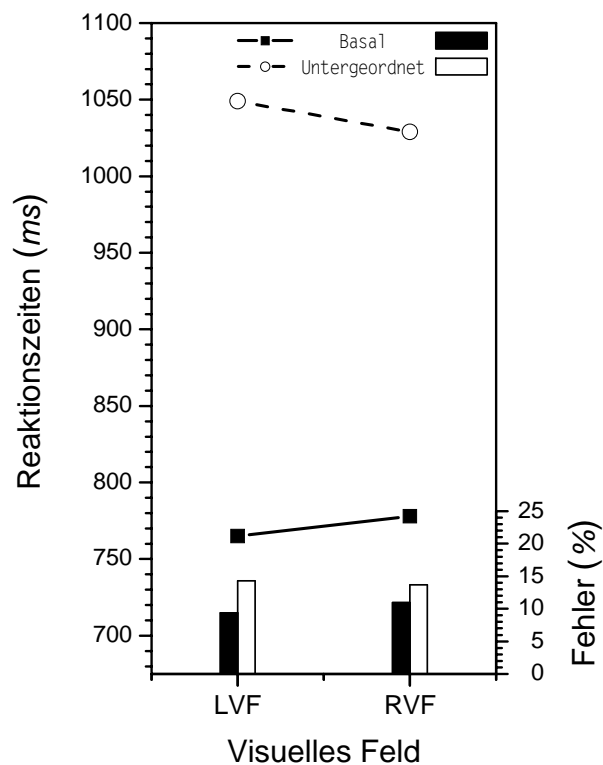


Abbildung II-4: Reaktionszeiten (Linien) und Fehlerraten (Balken) für Kategorisierungen auf der basalen und der untergeordneten Ebene in Experiment 2, jeweils getrennt dargestellt für Darbietungen im LVF bzw. RVF.

Reaktionszeiten. Die Analyse ergab einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 38) = 70.42, p < .001$. Klassifikationen auf der basalen Ebene (772 ms) erfolgten schneller als solche auf der untergeordneten Ebene (1039 ms). Es gab ebenfalls einen Haupteffekt für die *Zahl der Antwortalternativen*, $F(1, 38) = 7.63, p < .01$. Die Vpn waren schneller, wenn sie sich nur zwischen zwei Antwortalternativen (811 ms) entscheiden mussten im Vergleich zur Entscheidung zwischen vier Antwortalternativen (1000 ms). Beide Faktoren interagierten allerdings signifikant, $F(1, 38) = 10.82, p < .01$. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die verringerte Zahl von Antwortalternativen einen stärkeren Effekt für die Kategorisierung auf der basalen Ebene (294 ms) hatte als für solche auf der untergeordneten Ebene (84 ms).

Als wichtigstes Ergebnis fand sich eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld*, $F(1, 38) = 6.40, p < .05$ (siehe Abbildung II-4). Kategorisierungen auf der basalen Ebene waren schneller, wenn die Stimuli im LVF präsentiert wurden im Vergleich zur Darbietung im RVF (13 ms). Dagegen waren Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene schneller, wenn die Reize im RVF dargeboten wurden im Vergleich zur Präsentation im LVF (20 ms). Geplante Kontraste zeigten, dass der VF-Effekt für die Identifikation auf der basalen Ebene knapp das Signifikanzniveau verfehlte, $t(39) = 1.93, p = .086$, der VF-Effekt für die Identifikation auf der untergeordneten Ebene war dagegen signifikant, $t(39) = 2.01, p < .05$. Der VF-Effekt war unabhängig von der Zahl der Antwortalternativen. Die entsprechende dreifache Interaktion der Faktoren *Kategorisierungsebene*, *Visuelles Feld* und *Zahl der Antwortalternativen* war weit vom Signifikanzniveau entfernt, $F(1, 38) = 0.33, p = .572$.

Fehlerraten. Die Fehlerraten lagen im Durchschnitt bei 12.1 %. Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 38) = 18.81, p < .001$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene (10.81 %) waren akkurater als solche auf der untergeordneten Ebene (14.00 %). Außerdem gab es einen Haupteffekt für die *Zahl der Antwortalternativen*, $F(1, 38) = 21.67, p < .001$. Vpn, die nur zwei Antwortalternativen hatten, machten generell weniger Fehler (8.51 %) als diejenigen, die vier Antwortalternativen hatten (15.68 %). Die beiden Faktoren interagierten signifikant, $F(1, 38) = 6.33, p < .05$. Die verringerte Anzahl von Antwortalternativen hatte einen stärkeren Effekt auf

Kategorisierungen auf der basalen Ebene (9.39 %) als auf solche auf der untergeordneten Ebene (4.96 %).

Als wichtigstes Ergebnis zeigte sich eine signifikante Interaktion von *Kategorisierungsebene* und *Visuellem Feld*, $F(1, 38) = 5.36$, $p < .05$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene waren akkurater für Reize, die im LVF gezeigt wurden als für solche im RVF (1.60 %). Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene waren dagegen akkurater für Reize, die im RVF präsentiert wurden als solche im LVF (0.60 %). Geplante Kontraste zeigten, dass der VF-Effekt für die Kategorisierung auf der basalen Ebene signifikant war, $t(39) = 1.845$, $p < .05$, der VF-Effekt auf der untergeordneten Ebene dagegen nicht, $t(39) = 1.09$, $p = .141$. Der VF-Effekt war unabhängig von der Zahl der Antwortalternativen, was sich an der fehlenden dreifachen Interaktion der Faktoren *Kategorisierungsebene*, *Visuelles Feld* und *Zahl der Antwortalternativen* zeigt, die vom Signifikanzniveau weit entfernt ist, $F(1, 38) = 0.15$, $p = .704$. Insgesamt spiegelt die Analyse der Fehlerraten also die Ergebnisse der Reaktionszeiten wider.

3.2.1 Vergleich von Experiment 1 und 2

Um die Ergebnisse des zweiten Experiments direkt mit denen des ersten vor allem in Bezug auf die Richtung der VF-Effekte vergleichen zu können, wurde eine statistische Analyse mit allen Vpn aus Experiment 1 und 2 durchgeführt. Zusätzlich wurde die Variable *Aufgabe* als Faktor hinzugenommen. Ziel war zu zeigen, dass die Richtung der VF-Effekte tatsächlich zwischen den beiden Experimenten und damit den verwendeten Aufgaben verschieden ist. Entsprechend wurden die Mediane der Reaktionszeiten der Vpn für die ‚gleich‘-Antworten aus Experiment 1 sowie die Mediane der Reaktionszeiten aus Experiment 2 in eine dreifaktorielle ANOVA mit den Faktoren *Kategorisierungsebene*, *Visuelles Feld* und *Aufgabe* eingegeben. Es werden lediglich die Ergebnisse berichtet, die den Faktor *Aufgabe* beinhalten.

Zunächst fand sich ein signifikanter Haupteffekt für den Faktor *Aufgabe*, $F(1, 86) = 78.33$, $p < .001$. Die Antworten in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe (540 ms) waren generell schneller als die in der Identifikationsaufgabe (906 ms). Der Faktor *Aufgabe* interagierte weiter signifikant mit der *Kategorisierungsebene*, $F(1, 86) = 6.19$, $p < .05$. Der Reaktionszeitunterschied zwischen den beiden Aufgaben war deutlicher ausgeprägt für Klassifikationen auf der untergeordneten Ebene (424 ms) als für die auf der basalen Ebene

(307 ms). Als wichtigstes Ergebnis zeigte sich eine höchst signifikante dreifache Interaktion der Faktoren *Kategorisierungsebene*, *visuelles Feld* und *Aufgabe*, $F(1, 86) = 11.95$, $p < .001$. Das Muster der VF-Effekte war deutlich in entgegengesetzter Richtung in Abhängigkeit von der spezifischen Kategorisierungsaufgabe. Zusätzliche geplante Kontraste bestätigten, dass sich der VF-Effekt für die basale Ebene, $F(1, 86) = 3.96$, $p < .05$, signifikant zwischen den beiden Aufgaben unterschied, genauso wie der für die untergeordnete Ebene, $F(1, 86) = 6.19$, $p < .05$.

Eine entsprechende ANOVA wurde für die Fehlerraten berechnet. Auch diese bestätigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Aufgabe*, $F(1, 86) = 64.48$, $p < .001$. Vpn waren generell akkurater in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe als in der Identifikationsaufgabe. Ansonsten waren keine Effekte signifikant, die den Faktor *Aufgabe* beinhalteten.

3.3 Diskussion

Ziel dieses Experiments war es, Hemisphärenasymmetrien für die Kategorisierung von Objekten auf unterschiedlichen Ebenen der Spezifität zu untersuchen, die bei einer Identifikationsaufgabe auftreten. Unter Berufung auf frühere Ergebnisse zur globalen und lokalen Verarbeitung war die Hypothese, dass die RH besser darin sein sollte, Objekte auf der basalen Ebene zu kategorisieren, da diese Kategorisierungsebene hauptsächlich auf globalen Merkmalen eines Stimulus beruht. Die LH sollte dagegen besser darin sein, Objekte auf der untergeordneten Ebene zu kategorisieren, da diese Ebene hauptsächlich auf lokalen Details beruhen sollte. Um diese *Merkmalshypothese* zu testen, wurde eine adaptierte Form des experimentellen Paradigmas verwendet, das traditionell in der Forschung zur globalen und lokalen Verarbeitung eingesetzt wird. Das heißt, die Kategorisierung auf verschiedenen Ebenen der Spezifität erfolgte über eine Identifikation per Tastendruck.

In Übereinstimmung mit vielen früheren Experimenten (z.B. Jolicoeur et al., 1984; Rosch et al., 1976; Tanaka et al., 1999) zeigte sich, dass Kategorisierungen auf der basalen Ebene generell schneller und akkurater erfolgten als solche auf der untergeordneten Ebene. Dies kann der Tatsache zugeschrieben werden, dass für die Klassifikation auf der untergeordneten Ebene eine größere Menge an visueller Information verarbeitet werden muss als für die Klassifikation auf der basalen Ebene.

In Bezug auf VF-Effekte entsprechen die Ergebnisse klar den Vorhersagen, die aus der Merkmalshypothese abgeleitet wurden (siehe Abb. II-4). Kategorisierungen auf der basalen Ebene waren schneller und fehlerfreier, wenn die Stimuli im LVF präsentiert, d.h. in die RH projiziert wurden, wogegen Klassifikationen auf der untergeordneten Ebene schneller und akkurater waren, wenn die Reize im RVF dargeboten, also in die LH projiziert wurden. Geplante Kontraste, die die VF-Effekte separat für Kategorisierungen auf der basalen und der untergeordneten Ebene auf statistische Signifikanz prüften, bestätigten die Bedeutsamkeit der Effekte entweder in Reaktionszeiten (untergeordneten Ebene) oder in Fehlerraten (basale Ebene), doch in beiden Maßen wiesen die Effekte klar in die gleiche Richtung. Auch in anderen Studien, die Hemisphärenasymmetrien untersuchen (z.B. Marsolek & Burgund, 2003), wurden signifikante VF-Effekte manchmal in Reaktionszeiten und manchmal in Fehlerraten beobachtet in Abhängigkeit davon, ob die Vpn eher auf Geschwindigkeit oder Korrektheit ihrer Reaktionen achten. In jedem Fall gibt die reliable Interaktion zwischen Kategorisierungsebene und VF an, dass die Hemisphären differenziell in der Kategorisierung von Objekten auf der basalen und der untergeordneten Ebene beteiligt sind.

Da sich üblicherweise Identifikationsaufgaben und Vergleichsaufgaben in der Zahl der Antwortalternativen unterscheiden, ist die Beobachtung wichtig, dass dieser Faktor die VF-Effekte nicht beeinflusste. Eine geringere Zahl von Antwortalternativen führte lediglich zu generell schnelleren und genaueren Antworten. Folglich ist es die Aufgabe, die für den Unterschied in der Richtung der Gehirnasymmetrien in den beiden Experimenten verantwortlich sein muss. Dies wurde zusätzlich durch den direkten Vergleich der VF-Effekte in den beiden Experimenten bestätigt, die statistisch in den beiden Aufgaben bedeutsam verschieden sind.

Dieses Experiment ist damit meines Wissens das erste überhaupt, das einen Beleg für die Gültigkeit der Merkmalshypothese für die Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene liefert.

4 Zwischendiskussion

In Studie I wurden zwei Experimente durchgeführt, mit denen funktionelle Hemisphärenasymmetrien für die visuelle Kategorisierung natürlicher Objekte auf Ebenen unterschiedlicher Spezifität – auf der basalen und der untergeordneten Ebene – untersucht

wurden. Dazu wurden zwei theoretische Ansätze gegenübergestellt. Der eine der beiden Ansätze, den ich als *Repräsentationshypothese* bezeichne, ist v.a. durch Forschung und Theoriebildung im Bereich der Kategorisierung und Repräsentation von Objekten motiviert. Der andere Ansatz, den ich als *Merkmalshypothese* bezeichne, basiert dagegen eher auf Forschung und Theoriebildung im Bereich der perzeptueller Verarbeitung von Objekten und Szenen. Aus beiden Ansätzen lassen sich Hemisphärenasymmetrien für die visuelle Kategorisierung von Objekten vorhersagen. Allerdings deuten die jeweils vorhergesagten Muster genau in entgegengesetzte Richtung.

Bei der *Repräsentationshypothese* wird davon ausgegangen, dass jede Hemisphäre Objekte in einem spezifischen Format in einem visuellen Formgedächtnis speichert (Marsolek, 1999). Während in der LH Objekte bevorzugt in Form von Prototypen gespeichert werden, d.h. als Sammlung unabhängiger Merkmale, speichert die RH Objekte bevorzugt als spezifische Exemplare, bei denen die spezifische Konfiguration der Objektmerkmale bewahrt bleibt. Infolgedessen sind die Repräsentationen der LH nützlicher, wenn auf der basalen Ebene klassifiziert wird, die Repräsentationen der RH dagegen, wenn auf der untergeordneten Ebene klassifiziert wird. Die *Merkmalshypothese* geht dagegen davon aus, dass sich das Muster an Gehirnasymmetrien direkt aus Verarbeitungsunterschieden der beiden Hemisphären für globale und lokale Merkmale eines Stimulus ergibt. Es gibt Evidenz, dass die Klassifizierung auf der basalen Ebene vorwiegend auf der globalen Form eines Objekts beruht, während die Differenzierung von Objekten auf der untergeordneten Ebene durch die Analyse der lokalen Details eines Stimulus erreicht wird (z.B. Large & McMullen, 2006). Da die RH einen Vorteil für die Verarbeitung globaler Aspekte eines Stimulus aufweist und die LH für dessen lokale Details (vgl. Hübner & Studer, im Druck; Hübner & Volberg, 2005), sollte folglich die RH Objekte effizienter auf der basalen Ebene klassifizieren als die LH. Dagegen sollte die LH im Vergleich zur RH einen Vorteil für die Klassifikation auf der untergeordneten Ebene aufweisen.

Es ist offensichtlich, dass die Vorhersage der Merkmalshypothese genau der Vorhersage entgegengesetzt ist, die die Repräsentationshypothese macht. Für beide Hypothesen gibt es eine bedeutsame Zahl an empirischen Belegen. Daher wurde in Studie I zunächst der Frage nachgegangen, wie dieser empirische Widerspruch aufgeklärt werden kann. Auffällig bezüglich dieser Frage ist, dass in den beiden Forschungsfeldern – einerseits die Frage nach der visuellen Repräsentation von Kategorien und Objekten, andererseits die Frage nach der

perzeptuellen Verarbeitung von Objekten - üblicherweise verschiedene experimentelle Paradigmen verwendet werden. Es unterscheiden sich gewöhnlich nicht nur die verwendeten Stimuli, sondern auch die spezifischen Aufgaben, die von den Vpn verlangt werden. Während in Experimenten zur Kategorisierung meist Vergleichsaufgaben verwendet werden, werden in Experimenten zur visuellen Objektverarbeitung und -erkennung meist Identifikationsaufgaben verwendet.

In der vorliegenden Studie wurden daher diese beiden Aufgabentypen gegenübergestellt, während die Stimuli identisch blieben. Im ersten Experiment wurde eine Wort-Bild Vergleichsaufgabe verwendet, im zweiten Experiment dagegen eine Identifikationsaufgabe. Die Ergebnisse zeigen, dass die Richtung der beobachteten VF-Effekte stark von der spezifischen Aufgabe abhängt, die die Vpn durchführten. Bei der Vergleichsaufgabe in Experiment 1 zeigte sich ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli für die Kategorisierung der Objekte auf der basalen Ebene, dagegen ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für die Kategorisierung der gleichen Objekte auf der untergeordneten Ebene. Bei der Identifikationsaufgabe in Experiment 2 wurde hingegen genau das Gegenteil gefunden. Es ergab sich ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für die Klassifikation der dargebotenen Objekte auf der basalen Ebene, dagegen eine RVF/LH-Vorteil für die Klassifikation der gleichen Objekte auf der untergeordneten Ebene. Da die verwendeten Stimuli in beiden Experimenten identisch waren, muss es folglich die spezifische Kategorisierungsaufgabe sein, die die Richtung der beobachteten VF-Effekte determiniert hat.

Obwohl die Interaktion zwischen VF und der Kategorisierungsebene in beiden Experimenten signifikant war, waren die einfachen VF-Effekte, die gesondert für die basale bzw. untergeordnete Ebene berechnet wurden, nur in der Identifikationsaufgabe signifikant (Experiment 2), verfehlten jedoch in der Vergleichsaufgabe (Experiment 1) sehr knapp das Signifikanzniveau. Es ist vorstellbar, dass das spezifische Stimulusmaterial für dieses letztere Ergebnis relevant war. Für die Vpn war sicherlich sehr offensichtlich, dass die Zugehörigkeit zu den Kategorien klar durch globale Form und lokale Muster definiert war. Unter diesen Bedingungen könnte eine Subgruppe von Vpn durchaus auch in der Vergleichsaufgabe globale und lokale Verarbeitung zur Lösung der Aufgabe genutzt haben. Es ist denkbar, dass dies zudem nur in einem kleinen Teil der Durchgänge vorgekommen ist. Dies könnte zusätzliche Varianz in die Daten gebracht haben, die die Power zur Detektion eines statistisch bedeutsamen Effekts verringert hat. Nichtsdestotrotz zeigten die VF-Effekte klar in die

erwartete Richtung und waren in beiden Experimenten in vergleichbarer Ausprägung. Außerdem bestätigte der direkte Vergleich der Ergebnisse in den beiden Experimente, dass die VF-Effekte sich klar zwischen den beiden Experimenten unterschieden und dieses Ergebnis war auch für beide Kategorisierungsebenen separat signifikant.

Die Identifikations- und die Vergleichsaufgabe unterscheiden sich allerdings nicht nur in Bezug auf das erforderliche Urteil, sondern auch in Bezug auf die Zahl der Antwortalternativen. Die Vergleichsaufgabe hat immer zwei Antwortalternativen, was für die Identifikationsaufgabe nicht zwingend der Fall ist. Da die Leistung mit zunehmender Zahl von Antwortalternativen abnimmt, könnte ein Unterschied in den beobachteten VF-Effekten auch auf die Zahl der Antwortalternativen zurückgeführt werden. Um festzustellen, ob dies tatsächlich der Fall ist, wurde in der Identifikationsaufgabe die Zahl der Antwortalternativen variiert. Einige Vpn hatten zwei Antwortalternativen, genau wie die Vpn in der Vergleichsaufgabe, während die übrigen Vpn vier Antwortalternativen hatten. Es zeigte sich wie erwartet, dass die Reduzierung der Antwortalternativen zu einer Reduzierung der Reaktionszeiten und Fehlerraten führte. Das Muster der VF-Effekte war durch die Zahl der Antwortalternativen aber nicht beeinflusst. Obwohl allgemein die Reaktionszeiten in der Vergleichsaufgabe immer noch schneller waren als in der Identifikationsaufgabe mit nur zwei Antwortalternativen, erscheint es sehr unwahrscheinlich, dass diese Differenz für die entgegengesetzte Richtung der VF-Effekte verantwortlich ist.

Insgesamt belegen die experimentellen Ergebnisse damit, dass die Richtung der VF-Effekte eine Folge der spezifischen Aufgabe ist, die die Vpn in den beiden Experimenten durchgeführt haben. Jede Aufgabe scheint die Vpn dazu ermutigt zu haben, spezifische Repräsentationen und Prozesse zu verwenden, um die erforderliche Kategorisierung zu vollziehen. Folglich kann geschlossen werden, dass sowohl die Merkmals- als auch die Repräsentationshypothese korrekt sind. Abhängig von der spezifischen Aufgabe kann entweder die eine oder die andere Hypothese die entsprechenden Hemisphärenasymmetrien erklären.

Die Ergebnisse der Studie I zeigen damit grundsätzlich, dass die spezifische experimentelle Aufgabe einen deutlichen Einfluss auf das Muster der beobachteten VF-Effekte bei der visuellen Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene hat. Der genaue Grund, warum die Leistung für unterschiedliche Aufgaben offensichtlich auf

unterschiedlichen Repräsentationen und Prozessen basiert und wie diese Komponenten mit Gehirnasymmetrien in Zusammenhang stehen, bleibt vorerst offen. Allerdings können einige Hinweise über diese Zusammenhänge bereits aus der verfügbaren Literatur zur Kategorisierung, insbesondere zu Befunden zu multiplen Strategien der Kategorisierung (z.B. Smith & Allen, 1998), abgeleitet werden.

Multiple Strategien der Kategorisierung

Insbesondere anhand neuropsychologischer Untersuchungen konnte demonstriert werden, dass bei der Objektkategorisierung grundsätzlich mehrere Systeme involviert sind und dass bei verschiedenen Kategorisierungsaufgaben auch unterschiedliche Systeme in Anspruch genommen werden (z.B. Ashby & Ell, 2001; Ashby & Maddox, 2005; Ashby & O'Brien, 2005). Zudem konnte gezeigt werden, dass verschiedene Kategorisierungsstrategien auf die gleichen Kategorien angewendet werden können, dass diese Strategien sich innerhalb eines Experiments zwischen Vpn unterscheiden können und schließlich dass auch ein und dieselbe Vp verschiedenen Strategien innerhalb eines Experiments anwenden kann (Smith, Patalano, & Jonides, 1998). Somit sind an der Kategorisierung mehrere Systeme beteiligt, die in Konkurrenz zueinander stehen. Je nachdem, welches System für die spezifische Kategorisierungssituation das effizientere ist, wird dieses System die Kategorisierung erfolgreich abschließen (Smith & Grossman, 2008). Entsprechend ist denkbar, dass die Wort-Bild-Vergleichsaufgabe die Verwendung anderer Repräsentationen und Verarbeitungsprozesse erfordert (oder zu deren Verwendung ermutigt) als die Identifikationsaufgabe. Somit kommen in den beiden Aufgaben wahrscheinlich verschiedene Kategorisierungsstrategien zur Anwendung. Dies manifestiert sich dann in entsprechenden Unterschieden in der Richtung der beobachteten VF-Effekte.

Eine für die vorliegende Studie relevante Unterscheidung ist dabei diejenige zwischen Kategorisierungen, die aufgrund von expliziten Regeln erfolgen und solchen, die auf der Berechnung von Ähnlichkeit zwischen einem Stimulus und gespeicherten Objektrepräsentationen (z.B. Prototypen oder Exemplaren) basieren (Smith et al., 1998). Im ersten Fall können Stimuli durch eindeutige und verbalisierbare Regeln kategorisiert werden (z.B.: Wenn es sich um einen Hund handelt und wenn er gestreift ist, dann drücke die rechte Taste). Das heißt, die Vpn richten ihre Aufmerksamkeit selektiv auf isolierte Merkmale und entscheiden, ob die Merkmale vorhanden oder abwesend sind. Die Ergebnisse dieser

individuellen Prüfungen werden dann kombiniert, um eine Antwort auszuwählen. Im zweiten Fall wird dagegen angenommen, dass Stimuli in integrierter Form repräsentiert und mit Gedächtnisrepräsentationen verglichen werden. In diesem Fall wird die Entscheidung nicht für jedes einzelne Merkmal getroffen, sondern für den Stimulus als Ganzes. Selektive Aufmerksamkeit auf spezifische Merkmale spielt daher eine untergeordnete Rolle (Smith et al., 1998).

Diese Unterscheidung von regelbasierten und ähnlichkeitsbasierten Kategorisierungsstrategien weist deutliche Parallelen zu den beiden Aufgaben in Studie I auf. Es ist nahe liegend anzunehmen, dass die Vpn bei der Identifikationsaufgabe ihre Kategorisierungen unter Verwendung expliziter Regeln vorgenommen haben, die die globalen und lokalen Merkmale des Stimulus betreffen. Das heißt, sie beurteilten getrennt die globale Form und das lokale Muster und kombinierten dann die Ergebnisse, um zu prüfen, ob die Merkmale tatsächlich mit der Regel in Einklang waren. Folglich zeigten sich VF-Effekte, die den relevanten Merkmalen entsprechen, die für die Lösung der Kategorisierungsaufgabe notwendig waren. Im Gegensatz dazu enkodierten die Vpn in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe den Stimulus als Ganzes und verglichen die Ergebnisse mit Prototypen in der LH oder mit Exemplaren in der RH, je nach Kategorisierungsebene. Folglich korrespondieren hier die VF-Effekte mit der Art von Repräsentation, mit der der Stimulus verglichen wurde.

Es gibt sowohl theoretische als auch empirische Argumente für die Annahme, dass diese unterschiedlichen Strategien tatsächlich in den vorliegenden Experimenten angewendet worden sind. Aus theoretischen Überlegungen heraus gibt es eine deutliche Überschneidung der Konzepte zur hierarchischen Kategorisierung (also der Merkmals- im Gegensatz zur Repräsentationshypothese) und zu verschiedenen Kategorisierungsstrategien (regel- im Gegensatz zu ähnlichkeitsbasiert). Einer der Hauptvertreter der Unterscheidung regel- und ähnlichkeitsbasierter Kategorisierung, Edward E. Smith, beschreibt selbst einerseits den regelbasierten Mechanismus als ‚...a rule-based mechanism, which involves first selecting out critical features and then applying the rule.‘ (Smith & Sloman, 1994, S. 384), was deutlich dem vermuteten Mechanismus der Merkmalshypothese entspricht. Auf der anderen Seite beschreibt er den ähnlichkeitsbasierten Mechanismus als ‚...presumably based almost exclusively on a matching process...‘ (Smith & Sloman, 1994, S. 384), so dass nicht

verwunderlich ist, dass eine Vergleichsaufgabe (*matching*) genau diesen Mechanismus zur Grundlage hat.

Auch auf empirischer Seite zeigten sich jedoch einige Effekte, die die Erklärung über eine regel- und eine ähnlichkeitsbasierte Kategorisierungsstrategie rechtfertigen. Erstens ist die auf Regeln basierte Kategorisierung ein Stufen-Prozess, der über selektive Aufmerksamkeit erreicht wird. Die Merkmale müssen einzeln und vermutlich seriell identifiziert werden, bevor anschließend die Ergebnisse der einzelnen Merkmalsprüfungen kombiniert werden, um eine Entscheidung zu treffen. Im Gegensatz dazu ist die auf Ähnlichkeit basierende Kategorisierung ein paralleler Prozess, bei dem die Ähnlichkeit des Objekts hinsichtlich verschiedener Merkmale gleichzeitig berechnet wird (z.B. Smith et al., 1998). Folglich braucht die auf Regeln basierende Kategorisierung generell länger als die auf Ähnlichkeit basierende (z.B. Allen & Brooks, 1991; Smith & Kemler, 1984). Diese Differenz zeigte sich auch in den vorliegenden Daten: Reaktionszeiten und Fehlerraten waren in der Identifikationsaufgabe größer als in der Vergleichsaufgabe. Außerdem war diese Leistungsdifferenz ausgeprägter für die untergeordnete Ebene gegenüber der basalen. Dieser Befund ist wahrscheinlich ebenfalls auf die serielle Identifikation von Merkmalen zurückzuführen (Smith et al., 1998). Das heißt, die Vpn entschieden zunächst, ob der Stimulus eine Katze oder ein Hund ist und dann, ob das Tier gestreift oder gepunktet ist. Schließlich wurden die Ergebnisse dieser beiden Entscheidungen kombiniert, um eine Gesamtentscheidung zu treffen. Zusammengenommen würde ein solcher Prozess für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene relativ lange dauern.

Zweitens kann die Annahme von mehreren Kategorisierungsstrategien, die von ein und derselben Vp sogar innerhalb eines Experiments verwendet werden können, auch das überraschende Ergebnis erklären, dass, obwohl in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe VF-Effekte sich grundsätzlich in der Richtung zeigten, wie es die Repräsentationshypothese vorhersagte, in einzelnen Subtypen der Aufgabe ebenfalls VF-Effekte nachweisbar waren, die mit der Merkmalshypothese übereinstimmen. Wenn es z.B. die Aufgabe war, einen Unterschied zwischen dem Wort und dem Stimulus auf der untergeordneten Ebene festzustellen, zeigten sich VF-Effekte in Richtung der Merkmalshypothese, d.h. es gab einen Vorteil für LVF/RH-Stimuli, wenn der Unterschied auf der globalen Ebene war, und einen Vorteil für RVF/LH-Stimuli, wenn der Unterschied auf der lokalen Ebene auftrat. In einem Modell, das von alternativen Kategorisierungsstrategien ausgeht, könnte das in der Weise

interpretiert werden, dass die Vpn in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe immer damit begannen, integrierte Repräsentationen abzugleichen. Wenn sie aber ein gewisses Maß an Unterschied feststellten, könnte es sein, dass sie zu einer eher visuell geführten Merkmalsanalyse-Strategie wechselten, um zu prüfen, ob es tatsächlich einen relevanten Unterschied gab und auf welcher Ebene dieser auftrat (vgl. Krueger (1978) für eine ähnliche Idee in Aufgaben mit perzeptuellem Vergleich). Das heißt, Entscheidungen über einen Unterschied zwischen Wort und Bild basieren wiederum auf der Beurteilung des Vorhandenseins oder der Abwesenheit isolierter globaler oder lokaler Merkmale.

Zusammengenommen heißt das, sowohl die Merkmalshypothese als auch die Repräsentationshypothese sind gültig. Der Widerspruch zwischen beiden Hypothesen und zwischen den jeweiligen empirischen Befunden kann jedoch dadurch erklärt werden, dass die beiden Hypothesen mit unterschiedlichen Kategorisierungsstrategien assoziiert sind. In Aufgaben, die eine Kategorisierung anhand von Regeln nahe legen, lassen sich Gehirnasymmetrien im Sinne der Merkmalshypothese nachweisen. In Aufgaben die dagegen am besten durch die Bestimmung von Ähnlichkeit zwischen Stimuli und gespeicherten Repräsentationen gelöst werden können, beobachtet man dagegen Gehirnasymmetrien im Sinne der Repräsentationshypothese. Diese Annahme soll in Studie II näher beleuchtet werden.

STUDIE II:
VERSCHIEDENE STRATEGIEN DER
OBJEKTKATEGORISIERUNG: EVIDENZ
DURCH FUNKTIONELLE
GEHIRNASYMMETRIEN

1 Einleitung

In Studie I konnte gezeigt werden, dass das beobachtbare Muster von Gehirnasymmetrien, das sich für die visuelle Kategorisierung von Objekten auf der basalen und der untergeordneten Ebene nachweisen lässt, vom spezifischen Aufgabenkontext abhängt. Trotz der Verwendung identischen Stimulusmaterials können Muster von Gehirnasymmetrien in verschiedenen Aufgaben genau entgegengesetzt sein.

In einer *Wort-Bild-Vergleichsaufgabe* fand sich ein LH/RVF-Vorteil für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein RH/LVF-Vorteil für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Diese VF-Effekte lassen sich im Sinne der *Repräsentationshypothese* interpretieren. Entsprechend dieser Hypothese beruhen basale Kategorisierungen auf dem Abgleich der Stimuli mit prototypischen visuellen Formrepräsentationen, die vorwiegend in der LH gespeichert sind. Im Fall der untergeordneten Ebene werden die Stimuli mit spezifischeren Exemplar-Repräsentationen abgeglichen, die v.a. in der RH gespeichert werden (Marsolek, 1999). Daraus resultieren die entsprechenden VF-Effekte.

In der *Identifikationsaufgabe* fand sich hingegen genau das entgegengesetzte Muster von Gehirnasymmetrien. Hier zeigte sich ein Vorteil der RH/LVF für Kategorisierungen auf der basalen Ebene, sowie ein Vorteil der LH/RVF für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Diese Ergebnisse entsprechen genau den Vorhersagen der *Merkmalshypothese*. Demnach erfordern Kategorisierungen auf der basalen Ebene eine Analyse der globalen Form des Stimulus. Dieser Prozess wird besser von der RH geleistet. Die Unterscheidung untergeordneter Kategorien hingegen verlangt eine Analyse lokaler Details. Dieser Prozess ist wiederum effizienter in der LH (Hübner & Malinowski, 2002; Large & McMullen, 2006). Daraus ergibt sich das entsprechende Muster an VF-Effekten.

Die Befunde der Studie I unterstützen die Annahme, dass die Kategorisierung von Objekten grundsätzlich über verschiedene Strategien erreicht werden kann (Ashby & Maddox, 2005; Smith & Grossman, 2008). Für den Fall der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene entspricht die Repräsentations- bzw. die Merkmalshypothese offensichtlich jeweils einer unterschiedlichen Kategorisierungsstrategie. Die Repräsentationshypothese entspricht vermutlich einer ähnlichkeitsbasierten Kategorisierungsstrategie. Die

Merkmalshypothese dagegen einer regelbasierten Strategie (vgl. Smith & Grossman, 2008; Smith et al., 1998).

Aus diesen Überlegungen und Befunden ergeben sich die zwei Hauptfragestellungen für Studie II: (1) In der ersten Studie wurde mittels zweier sehr spezifischer Aufgabentypen gezeigt, dass aufgabenbedingte Unterschiede differenziell das Muster von VF-Effekten beeinflussen. Welche spezifischen Eigenschaften einer Aufgabe sind jedoch dafür verantwortlich, welches Muster von Gehirnasymmetrien in einer Aufgabe auftritt? (2) Gibt es tatsächlich einen Zusammenhang zwischen ähnlichkeits- bzw. regelbasierten Strategien und dem Auftreten von Gehirnasymmetrien im Sinne der Repräsentations- bzw. Merkmalshypothese?

Diese Fragen sollen in Studie II mit Hilfe der folgenden grundsätzlichen Herangehensweise untersucht werden: Die Befunde aus Studie I und weitere Ergebnisse aus der Literatur zu multiplen Kategorisierungsstrategien lassen Schlussfolgerungen darüber zu, welche Eigenschaften einer Aufgabe potenziell zur Anwendung einer bestimmten Kategorisierungsstrategie führen. Gelingt es, durch die Manipulation dieser Eigenschaften die Vpn dazu zu bewegen, entweder eine ähnlichkeitsbasierte oder eine regelbasierte Kategorisierungsstrategie anzuwenden, so sollten sich Gehirnasymmetrien im Sinne der Repräsentationshypothese bzw. im Sinne der Merkmalshypothese zeigen. Damit hätte man Bedingungen identifiziert, die es erlauben, das spezifische Muster an Gehirnasymmetrien für eine bestimmte Aufgabe vorherzusagen. Gleichzeitig würde dadurch bestätigt, dass es einen engen Zusammenhang zwischen ähnlichkeits- bzw. regelbasierten Kategorisierungsstrategien einerseits und der Repräsentations- bzw. Merkmalshypothese andererseits gibt.

Ähnlichkeits- und regelbasiertes Kategorisieren

Bevor auf die spezifischen Manipulationen in Studie II eingegangen werden kann, sollen die beiden Kategorisierungsstrategien nochmals genauer betrachtet und mit der Repräsentations- und Merkmalshypothese in Bezug gesetzt werden.

Die *ähnlichkeitsbasierte* Strategie wird generell als eher impliziter und automatischer Mechanismus betrachtet, der insofern keine Aufmerksamkeit erfordert und der daher vermutlich stets aktiv ist, sobald ein Objekt wahrgenommen wird (Smith & Grossman, 2008; Smith et al., 1998). Es handelt sich bei diesem Mechanismus um einen Vergleichsprozess zwischen der Repräsentation der visuellen Information, die im aktuellen Stimulus enthalten

ist, und gespeicherten Repräsentationen von Objektkategorien. Zwischen diesen beiden Repräsentationen wird die Ähnlichkeit berechnet. Dies erfolgt über einen parallelen Vergleichsprozess über alle Merkmale des Stimulus hinweg. Da in den Abgleich alle Merkmale ohne differenzielle Gewichtung eingehen, spielt selektive Aufmerksamkeit in diesem Prozess keine Rolle. Erreicht das Ergebnis der Ähnlichkeitsbestimmung dann ein bestimmtes Kriterium, erfolgt die Kategorisierung (Smith & Medin, 1981).

Augenscheinlich ist die ähnlichkeitsbasierte Strategie mit der Konzeption der Repräsentationshypothese verwandt. Auch hier wird angenommen, dass eine Kategorisierung dadurch erfolgt, dass die Ähnlichkeit zwischen dem aktuellen Stimulus und gespeicherten visuellen Form-Repräsentationen ermittelt wird. Die Repräsentationshypothese wird aber noch zusätzlich dahingehend differenziert, dass die gespeicherten Form-Repräsentationen in der LH relativ abstrakt und in der RH relativ spezifisch sind. Diese Differenzierung erlaubt die Anwendung dieses Ansatzes auf das Problem der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene. Wie bei der ähnlichkeitsbasierten Strategie besteht die Annahme, dass diese Form-Repräsentationen Teil des impliziten Gedächtnisses sind, d.h. der Vergleich von Repräsentationen ist ebenfalls implizit und erfolgt automatisch (Marsolek, 1999; Marsolek & Burgund, 2003).

Wie kann man sich konkret einen Kategorisierungsvorgang im Rahmen des ähnlichkeitsbasierten Mechanismus vorstellen? Sowohl Smith (2008) als auch Marsolek (2003) postulieren explizit, dass die Vorgänge innerhalb des ähnlichkeitsbasierten Kategorisierens denen beim perzeptuellen Priming ähnlich sind und dass beiden Prozessen die gleichen Repräsentationen zu Grunde liegen. Beim Priming vereinfacht ein vorher bereits dargebotener Reiz durch die Voraktivierung der ihm entsprechenden Repräsentation die Verarbeitung eines nachfolgenden Reizes (Smith, 2008). Bei einer Kategorisierung soll dies ähnlich funktionieren. Die Existenz einer visuellen Form-Repräsentation einer Kategorie ist ja das Ergebnis der Tatsache, dass zu einem früheren Zeitpunkt Exemplare der Kategorie verarbeitet wurden. Besteht also eine solche Form-Repräsentation, so ist die Verarbeitung nachfolgend präsentierter Exemplare der Kategorie vereinfacht. Diese Information der vereinfachten Verarbeitung kann genutzt werden, um über die Kategoriezugehörigkeit zu entscheiden (Smith, 2008).

Andererseits können Kategorisierungen auch über eine *regelbasierte* Strategie erreicht werden (Ashby & O'Brien, 2005; Smith & Grossman, 2008; Smith et al., 1998). Der Kategorisierungsprozess erfolgt in diesem Fall über eine bewusste Prüfung einer Zuordnungsregel am aktuellen Stimulus. Zuordnungsregeln enthalten üblicherweise die Formulierung notwendiger und hinreichender Eigenschaften, die vorhanden sein müssen, damit ein Objekt eindeutig einer Kategorie zugeordnet werden kann. Für diesen Mechanismus wird selektive Aufmerksamkeit benötigt, die auf die relevanten Merkmale des Stimulus gerichtet wird. Diese Merkmale werden dahingehend geprüft, ob sie einer bestimmten Zuordnungsregel entsprechen. Als Ergebnis dieser Prüfung ergibt sich die Kategorie. Die regelbasierte Strategie unterliegt daher bewusster Kontrolle, mit Hilfe derer die Aufmerksamkeit auf relevante Merkmale gerichtet wird. Folglich ist der Prozess zwangsläufig ein serieller, da die Aufmerksamkeit nacheinander auf jede Eigenschaftsdimension gerichtet werden muss, die für die Erfüllung der Regel von Bedeutung ist. Daher dauert der regelbasierte Prozess grundsätzlich länger als der ähnlichkeitsbasierte. Die Reaktionszeit nimmt kontinuierlich mit der Zahl der notwendigen Prüfungen, die die Regel verlangt, zu (z.B. Allen & Brooks, 1991).

Der regelbasierte Mechanismus weist damit eine deutliche Gemeinsamkeit mit den im Rahmen der Merkmalshypothese postulierten Prozessen auf. Im Kontext dieser Hypothese wird angenommen, dass die Aufgabenstellung dem kognitiven System Information darüber gibt, welche Merkmale diagnostisch für die Kategoriezugehörigkeit sind. Dadurch wird die selektive Aufmerksamkeit auf die diagnostische Information gerichtet (Schyns, 1998). Diese wird dann dahingehend analysiert, ob sie den Regeln für die Zuordnung zu einer bestimmten Kategorie entspricht (Smith et al., 1998). Das Problem der Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene wird dadurch gelöst, dass für die jeweiligen Anforderungen Merkmale aus unterschiedlichen Hierarchieebenen (global bzw. lokal) diagnostisch sind, so dass für die jeweilige Kategorisierung die Aufmerksamkeit entweder auf die globale Form eines Stimulus oder dessen lokale Details gerichtet wird (Large & McMullen, 2006).

Wie erfolgt konkret ein Kategorisierungsprozess nach dem regelbasierten Mechanismus? Die (implizite oder explizite) Aufgabenstellung ist hier zunächst relevant. Diese sorgt dafür, welche Regeln aktiviert werden. Mit Beginn der Stimuluspräsentation wird dann die Aufmerksamkeit seriell auf diejenigen Merkmale gerichtet, die entsprechend der Regel geprüft werden müssen. Erfüllen die Merkmale die Bedingungen der Regel, kann der

Stimulus einer Kategorie zugeordnet werden. Interessant ist, dass hierfür keine gespeicherten Repräsentationen von Objekten oder Objektkategorien notwendig sind. Für jeden Stimulus kann jeweils neu geprüft werden, ob er den Regeln entspricht.

Bedingungen für ähnlichkeits- und regelbasiertes Kategorisieren

Interessanterweise ist bislang noch sehr wenig darüber bekannt, unter welchen spezifischen Bedingungen welche Kategorisierungsstrategie zur Anwendung kommt (Smith & Grossman, 2008). Nur einzelne Faktoren wurden hierzu näher untersucht, die die Eigenschaften der Stimuli, der Kategoriestructur (also der Zuordnung der Stimuli zu bestimmten Kategorien) und des experimentellen Paradigmas betreffen.

Auf Seiten der verwendeten *Stimuli* spielen insbesondere die Differenzierbarkeit der verwendeten Exemplare und die Integriertheit deren Merkmale eine wichtige Rolle (Allen & Brooks, 1991; Regehr & Brooks, 1993). Eine ähnlichkeitsbasierte Kategorisierungsstrategie wird dann bevorzugt angewendet, wenn die Exemplare, die unterschiedlichen Kategorien zugeordnet werden müssen, gut zu unterscheiden sind und wenn die Merkmale der einzelnen Stimuli jeweils eine integrierte Einheit bilden (vgl. auch Rosch et al., 1976).

Noch bedeutsamer ist jedoch die *Kategoriestructur*, d.h. die Gestaltung der Zuordnung der Exemplare zu Kategorien (Ashby & Ell, 2001; Ashby & Maddox, 2005; Ashby & O'Brien, 2005). Allein die Zahl der Stimuli, die einer Kategorie zugeordnet werden müssen, hat beispielsweise Einfluss auf die Strategie. Ist die Anzahl der Exemplare einer Kategorie gering, ist eine ähnlichkeitsbasierte Strategie wahrscheinlicher. Eine große Zahl von Exemplaren fördert dagegen die Bildung und Anwendung expliziter Regeln (z.B. Ashby & Ell, 2001; Rouder & Ratcliff, 2006). Die Zahl der Exemplare ist allerdings nicht allein ausschlaggebend, sondern auch die Art ihrer Zusammenstellung zu einer Kategorie. Beispielsweise legen probabilistische Kategoriestructuren, bei denen die Eigenschaften der Stimuli nicht deterministisch mit den Zielkategorien assoziiert sind, stärker die Anwendung ähnlichkeitsbasierter Kategorisierungsstrategien nahe. In diesem Fall können keine eindeutigen, verbalisierbaren Regeln gebildet werden. Daher können diese Aufgaben nur über implizite Kategorisierungsmechanismen gelöst werden, also über die Berechnung der Ähnlichkeit mit gespeicherten Prototypen oder Exemplaren. Sind dagegen bestimmte Eigenschaften der Exemplare eindeutig mit bestimmten Kategorien assoziiert, legt dies eher die Verwendung von Regeln nahe.

Den bedeutendsten Einfluss auf die Wahl einer bestimmten Kategorisierungsstrategie üben jedoch hauptsächlich Eigenschaften der *Aufgabe* aus, die mit diesen Stimuli und Kategoriestructuren ausgeführt werden müssen. Eine relativ einfache und bei den meisten Vpn erfolgreiche Methode, die Kategorisierungsstrategie zu beeinflussen, besteht in der Manipulation der Instruktion (Smith & Grossman, 2008). Dabei wird den Vpn einfach gesagt und an einem Beispiel verdeutlicht, dass sie entweder anhand von Regeln oder anhand von Ähnlichkeit (z.B. zu bereits bekannten Exemplaren) kategorisieren sollen (z.B. Allen & Brooks, 1991; Grossman et al., 2002; Koenig et al., 2005). Weiter ist die Einführung von Zeitdruck förderlich für die Induzierung einer ähnlichkeitsbasierten Strategie. Da der ähnlichkeitsbasierte Kategorisierungsmechanismus als eher automatisch und parallel angesehen wird, wird diesem offensichtlich bei hohem Zeitdruck der Vorzug gegeben. Die kontrollierte Ausrichtung der selektiven Aufmerksamkeit auf diagnostische Merkmale und die serielle Prüfung von Regeln erfordert dagegen mehr Zeit (Smith & Kehler, 1984). Auch ob die Vpn eine Rückmeldung bezüglich der Korrektheit ihrer Kategorisierung erhalten, beeinflusst die Strategie. So führt Rückmeldung in den meisten Experimenten generell eher zu einer regelbasierten Strategie (Smith & Grossman, 2008).

Allerdings können diese Bedingungen nicht völlig isoliert voneinander betrachtet werden. Ob beispielsweise Rückmeldung im konkreten Einzelfall tatsächlich eher zu einer regelbasierten Strategie führt, hängt auch von der Wahl der Stimuli und der Kategoriestructur ab, die verwendet wird. Wenn das Stimulusmaterial so gestaltet ist, dass Regeln schwer abzuleiten und zu verbalisieren sind (Ashby & Maddox, 2005) oder wenn es sich um eine probabilistische Kategoriestructur handelt (Shohamy et al., 2004), dann reicht Rückmeldung allein oft nicht aus, um regelbasiertes Kategorisieren zu induzieren (aber siehe Medin, Wattenmaker, & Hampson, 1987).

Trotz der offensichtlichen Tatsache, dass die genannten Bedingungen interagieren, wurden sie dennoch meist relativ unabhängig voneinander untersucht. Rouder und Ratcliff (2006) versuchten dagegen einen generellen Faktor zu identifizieren, der bestimmte Strategien induziert und der wiederum den Einfluss der bereits genannten Faktoren ebenfalls erklären kann. In ihren Studien identifizierten sie dafür den Faktor *Stimulus Confusion*. Gemeint ist das Ausmaß der Unsicherheit darüber, zu welchen Kategorien Stimuli zugeordnet werden müssen. Ich bezeichne daher diesen Faktor im Folgenden als *Kategorisierungsunsicherheit*. Dieser Faktor setzt sich nach Rouder und Ratcliff (2006) aus zwei Dimensionen zusammen -

einerseits der Zahl Kategorien und andererseits der Differenzierbarkeit der verwendeten Stimuli. Die Kategorisierungsunsicherheit ist dann besonders ausgeprägt, wenn eine große Zahl von Kategorien verwendet wird und wenn die verwendeten Stimuli gleichzeitig eine relativ hohe Überlappung mit der Zielkategorie als auch mit Kontrastkategorien aufweisen. Die Kategorisierungsunsicherheit ist dagegen gering, wenn nur wenige Kategorien verwendet werden und wenn die Stimuli gleichzeitig sehr verschieden sind, so dass es kaum Überlappungen mit Kontrastkategorien gibt. In Bezug auf den Zusammenhang zwischen der Kategorisierungsunsicherheit und den verwendeten Kategorisierungsstrategien zeigte sich, dass wenn die Kategorisierungsunsicherheit sehr ausgeprägt ist, eher eine regelbasierte Strategie bevorzugt wird. Ist die Kategorisierungsunsicherheit dagegen gering, wird eine ähnlichkeitsbasierte Strategie bevorzugt.

Dies geht mit den angenommenen Mechanismen für ähnlichkeits- und regelbasierte Strategien direkt konform. Im Falle hoher Kategorisierungsunsicherheit überlappen die Reize sehr stark mit mehreren Kategorien (d.h. sowohl mit der Zielkategorie als auch mit den Kontrastkategorien). In diesem Fall sollten sich bei ein und demselben Stimulus hohe Ähnlichkeitswerte mit mehreren Form-Repräsentationen ergeben. Das Ergebnis der Ähnlichkeitsberechnung ist dann für eine Entscheidung nicht ausreichend. Das Kernproblem liegt folglich darin, dass die gespeicherten Repräsentationen nicht differenziert genug sind, um ein eindeutiges Signal für die Kategorisierung zu liefern (vgl. Rouder & Ratcliff, 2006). In diesem Fall ist selektive Aufmerksamkeit nötig, um eine eindeutige Kategorisierung zu erreichen. Somit wird in einer solchen Situation mit größerer Wahrscheinlichkeit eine regelbasierte Strategie angewendet. Bei geringer Kategorisierungsunsicherheit sind dagegen einzelne Stimuli bzw. Stimulusklassen gut separierbar und aktivieren daher jeweils nur eine Form-Repräsentation sehr stark, andere dagegen nur gering. In diesem Fall genügt dieses Signal für eine eindeutige Kategorisierung.

Die aktuellen Experimente

Ziel der Studie II war es, gezielt Eigenschaften der Kategorisierungsaufgabe so zu manipulieren, dass bestimmte Kategorisierungsstrategien von den Vpn angewendet würden. Gelingt es, durch die Manipulation dieser Eigenschaften die Vpn dazu zu bewegen, entweder eine ähnlichkeitsbasierte oder eine regelbasierte Kategorisierungsstrategie anzuwenden, so sollten sich VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese bzw. im Sinne der

Merkmals-hypothese zeigen. Damit hätte man Bedingungen identifiziert, die es erlauben, das spezifische Muster an VF-Effekten für eine bestimmte Aufgabe vorherzusagen. Gleichzeitig würde dadurch bestätigt, dass es tatsächlich einen engen Zusammenhang zwischen ähnlichkeits- bzw. regelbasierten Kategorisierungsstrategien und den im Rahmen der Repräsentations- bzw. Merkmals-hypothese angenommenen Prozessen gibt.

Die Befunde aus Studie I sowie deren Interpretation im Rahmen multipler Kategorisierungsstrategien legen zunächst einmal die Hypothese nahe, dass der generelle Aufgabentyp einen Einfluss auf die Kategorisierungsstrategie und die damit verbundenen Gehirnasymmetrien hat. Eine Vergleichsaufgabe könnte grundsätzlich einen ähnlichkeitsbasierten Kategorisierungsprozess induzieren, eine Identifikationsaufgabe dagegen einen regelbasierten. Die zweite dieser beiden Vorhersagen wurde im ersten Experiment der Studie II direkt überprüft. Dazu wurde eine Identifikationsaufgabe wie in Experiment 2 der Studie I gewählt, die Antwortmodalität wurde jedoch verändert. Statt eines Tastendrucks musste die Antwort laut ausgesprochen werden. Die Reaktionszeit wurde per Voicekey aufgezeichnet. Erwartet wurde, dass sich in dieser Aufgabe VF-Effekte im Sinne der Merkmals-hypothese nachweisen lassen sollten.

Die Ergebnisse dieses Experiments zeigten jedoch, dass eine Benennaufgabe den Vpn erlaubt, interindividuell verschiedene Strategien anzuwenden, so dass bei der Hälfte der Vpn VF-Effekte im Sinne der Repräsentations-hypothese auftraten, bei der anderen Hälfte dagegen VF-Effekte im Sinne der Merkmals-hypothese. In Experiment 2 wurde daher untersucht, ob durch eine zusätzliche Manipulation der Eigenschaften der Aufgabe auch in einer Benennaufgabe eine bestimmte Strategie und damit ein eindeutiges Muster an VF-Effekten induziert werden kann. Dazu wurde die Zahl der verwendeten Kategorien variiert und die Auswirkung einer solchen Variation auf die Kategorisierungsstrategien bzw. die VF-Effekte untersucht (vgl. Ashby & O'Brien, 2005). Nach Rouder und Ratcliff (vgl. auch Ashby & Ell, 2001; 2006) korreliert die Zahl der verwendeten Stimuli als auch der verwendeten Kategorien mit der Kategorisierungsunsicherheit. Deshalb sollte die Zahl der Kategorien einen Einfluss auf die verwendete Strategie haben. In Experiment 2 bearbeiteten die Vpn daher wiederum eine Benennaufgabe, die aber aus zwei Phasen bestand. In der ersten Phase gab es nur eine geringe Zahl von Stimuli, die einer begrenzten Zahl von Kategorien zugeordnet werden mussten. In diesem Fall sollte eine ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet werden und es sollten VF-Effekte im Sinne der Repräsentations-hypothese auftreten. In der zweiten Phase

wurde die Kategorisierungsunsicherheit dadurch erhöht, dass eine größere Zahl von Stimuli einer größeren Zahl von Kategorien zugeordnet werden musste. Diese Manipulation führt zu einer erhöhten Merkmalsüberlappung der Stimuli mit Kontrastkategorien und damit zu einer Erschwernis der Differenzierbarkeit. Folglich wurde in der zweiten Phase eine regelbasierte Strategie und ein Muster von VF-Effekten im Sinne der Merkmalshypothese erwartet. Das Muster der VF-Effekte sollte sich in den beiden Phasen also unterscheiden.

Ein Vorteil der Manipulation in Experiment 2 ist, dass in beiden Phasen die identische Aufgabe enthalten ist, so dass sich lediglich der Kontext ändert, dessen Einfluss man untersuchen kann. Der Nachteil ist jedoch, dass sich die Zahl der Kategorien in den beiden Phasen unterscheidet, so dass die beiden Phasen nicht auf allen Ebenen verglichen werden können. Deshalb wurde in Experiment 3 die Zahl der Kategorien konstant gehalten, die Aufgabe unterschied sich jedoch in den beiden Teilen des Experiments. In einer ersten Phase wurde eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe verlangt (vgl. Experiment 1 der Studie I). In Phase zwei wurde direkt die Identifikationsaufgabe aus Experiment 1 der Studie II angeschlossen. In beiden Aufgaben waren damit die verwendeten Stimuli identisch und diese mussten jeweils auf allen drei Ebenen der Spezifität kategorisiert werden. Lediglich das Paradigma unterschied sich. Aufgrund der bisherigen Befunde und der Untersuchung von Rouder und Ratcliff (2006) zur Kategorisierungsunsicherheit wurde die Hypothese abgeleitet, dass in der ersten Phase ähnlichkeitsbasiert kategorisiert werden sollte, da es sich um eine Vergleichsaufgabe handelt, bei der die Kategorisierungsunsicherheit generell verringert ist. Obwohl in der zweiten Phase sowohl Stimuli als auch Kategorien nun vertraut sind, wird abrupt die Kategorisierungsunsicherheit erhöht, da nun aktiv die korrekten Kategorien ermittelt und benannt werden müssen. Daher wurde angenommen, dass in der zweiten Phase eine regelbasierte Strategie zur Anwendung kommt und sich VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese beobachten lassen.

2 Experiment 1

In Experiment 1 der Studie I war gezeigt worden, dass eine Identifikationsaufgabe VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese hervorruft, während eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese produziert. Daraus könnte die allgemeine Hypothese abgeleitet werden, dass in Identifikationsaufgaben generell eher VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese auftreten.

Diese Annahme ist aus mehreren theoretischen Überlegungen plausibel. Zunächst einmal gilt als wichtiger Einflussfaktor für die Anwendung einer regelbasierten Strategie die Kategorisierungsunsicherheit. Diese ist v.a. durch die Zahl der verwendeten Kategorien, aber auch durch die Differenzierbarkeit der Stimuli in Bezug auf die Zielkategorien beeinflusst (Rouder & Ratcliff, 2006). Die Differenzierbarkeit ist in hierarchischen Kategorisierungsaufgaben generell erschwert, da identische Stimuli verschiedenen Kategorien unterschiedlicher Hierarchieebenen zugeordnet werden müssen. Das heißt, identische Stimuli überlappen gleichzeitig stark mit mehreren Kategorien. In einer Wort-Bild- oder Bild-Bild-Vergleichsaufgabe wird eine Zielkategorie bereits durch den Hinweisreiz voraktiviert, so dass die Präsentation des eigentlichen Zielreizes die Aktivierung der Zielkategorie zusätzlich erhöht. Der Hinweisreiz wirkt damit Verwechslungen und entsprechenden Kategorisierungsunsicherheiten entgegen. In einer Identifikationsaufgabe besteht diese Hilfestellung nicht. Hier muss eine Entscheidung über Kategoriezugehörigkeit allein auf Grundlage des Stimulus getroffen werden, der per se mehrere Kategorien aktiviert. Die Kategorie muss außerdem aktiv aus dem Gedächtnis abgerufen werden. In diesem Fall ist die Kategorisierungsunsicherheit also vergleichsweise hoch. Deshalb könnte generell in einer Identifikationsaufgabe eine regelbasierte Strategie die effizientere sein.

Zweitens hat das Identifikationsparadigma eine generelle Eigenschaft, die für regelbasiertes Kategorisieren gut genutzt werden kann. In einer Identifikationsaufgabe bekommt die Vp in der Regel immer zuerst einen Hinweis, der angibt, dass ein folgender Reiz auf der basalen oder untergeordneten Ebene kategorisiert werden soll. Dieser Hinweisreiz ist ein wichtiger Informationsträger, der dazu genutzt werden kann, selektive Aufmerksamkeitsprozesse frühzeitig zu steuern und zu nutzen, um Verwechslungen von Stimuli vorzubeugen. Das heißt, sobald bekannt ist, auf welcher Zielebene kategorisiert werden soll, kann bereits die selektive Aufmerksamkeit auf die diagnostische Merkmalsebene gerichtet werden (Schyns, 1998). Die Verarbeitung der dort enthaltenen Information erlaubt dann, die korrekte Zielkategorie auf der relevanten Ebene zu aktivieren. Selektive Aufmerksamkeit ist ein Kernelement des regelbasierten Kategorisierens (Smith & Allen, 1998). Das Identifikationsparadigma könnte daher eine regelbasierte Strategie per se induzieren.

Drittens sprechen schließlich auch die Befunde zu Gehirnasymmetrien für Kategorisierung und Objektwahrnehmung für diese Annahme. Wie bereits in der Einleitung

dargelegt, wurde in fast allen Studien, die die Merkmalshypothese unterstützen, irgendeine Form der Identifikationsaufgabe verwendet (z.B. Brooks & Cooper, 2006; Koivisto & Revonsuo, 2003; McAuliffe & Knowlton, 2000). Im Gegensatz dazu sind Hemisphärenasymmetrien im Sinne der Repräsentationshypothese ausschließlich in Vergleichsparadigmen gefunden worden, bei denen die spezifische Zielkategorie in irgendeiner Form voraktiviert wurde (z.B. Laeng et al., 2003; Marsolek & Burgund, 2008).

Aufgrund dieser Überlegungen wurde die Hypothese abgeleitet, dass generell bei einer Identifikationsaufgabe Gehirnasymmetrien im Sinne der Merkmalshypothese auftreten sollten. Das heißt, man sollte einen Vorteil der RH/LVF für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und einen Vorteil der LH/RVF für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene beobachten.

Um diese Hypothese zu prüfen wurde eine Benennaufgabe verwendet. Die Aufgabe war insgesamt der Identifikationsaufgabe sehr ähnlich, die in Experiment 2 der Studie I verwendet wurde. Das heißt, den Vpn wurden wiederum Bilder von Tieren präsentiert und ein zuvor präsentierter Hinweisreiz gab an, ob der Reiz auf der basalen oder der untergeordneten Ebene klassifiziert werden sollte. Die Aufgabe war diesmal allerdings, die gezeigten Bilder auf der entsprechenden Ebene zu benennen anstatt eine entsprechende Taste zu drücken. Die Reaktionszeit wurde per Voicekey aufgezeichnet.

2.1 Methode

Versuchspersonen

24 Vpn (10 männlich, 14 weiblich; Durchschnittsalter: 22.3 Jahre) nahmen an diesem Experiment teil. Alle Teilnehmer waren Rechtshänder und hatten einen normalen oder korrigierten Visus.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Die technische Ausstattung und die verwendeten Reize waren identisch zu denen in den Experimenten der Studie I. Es gab wiederum vier basale Kategorien, nämlich Hunde, Katzen, Pferde und Kühe, sowie eine Subgruppe von vier Exemplaren, nämlich gepunktete und gestreifte Hunde, sowie gepunktete und gestreifte Katzen. Wie in den vorigen Experimenten gab es jedes Tier jeweils in vier Orientierungen, also insgesamt 64 Stimuli. Die Aufgabe der

Vpn war es, nach einem Hinweisreiz, der angab, ob auf der basalen oder der untergeordneten Ebene kategorisiert werden sollte, ein entweder im RVF oder LVF dargebotenes Tierbild auf der geforderten Ebene zu benennen und die Antwort laut auszusprechen. Die Reaktion wurde durch ein Voicekey registriert. Wie beim Wort-Bild-Vergleich in Experiment 1 der Studie I gab es hier eine Zusatzbedingung, in der die Vpn lediglich das Muster (unabhängig von der Tierform) benennen sollten.

Vorgehen

Jeder Durchgang begann mit der Darbietung eines Buchstabens für 300 *ms* in der Mitte des Bildschirms. Der Buchstabe diente gleichzeitig als Fixationspunkt und die Vpn wurden angehalten, während des ganzen Experiments ihren Blick auf die Mitte des Bildschirms zu richten. Der Buchstabe „T“ gab an, dass das folgende Bild auf der basalen Ebene kategorisiert werden sollte, der Buchstabe „E“ wies auf eine Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene hin. Der Buchstabe „L“ gab an, dass beim folgenden Bild lediglich das Muster benannt werden sollte. Nach einem schwarzen Bildschirm von 500 *ms* wurde der Stimulus für 93 *ms* zufällig entweder im LVF oder RVF präsentiert. Die Vpn sprachen ihre Antwort laut aus und die Reaktionsgeschwindigkeit wurde über ein Voicekey registriert. Der VL dokumentierte die gegebene Antwort, indem er einen entsprechenden Code mittels Tastatur eingab. 1000 *ms* nach der Eingabe durch den VL wurde der nächste Hinweisreiz dargeboten.

2.2 Ergebnisse

Die Mediane der Reaktionszeiten von korrekten Antworten und die entsprechenden Fehlerraten wurden zunächst jeweils in eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf allen Faktoren eingegeben: *Kategorisierungsebene* (basale oder untergeordnete Ebene) und *Visuelles Feld* (LVF oder RVF). Die zusätzliche Bedingung, in der nur die lokale Textur verglichen werden sollte, wurde separat analysiert.

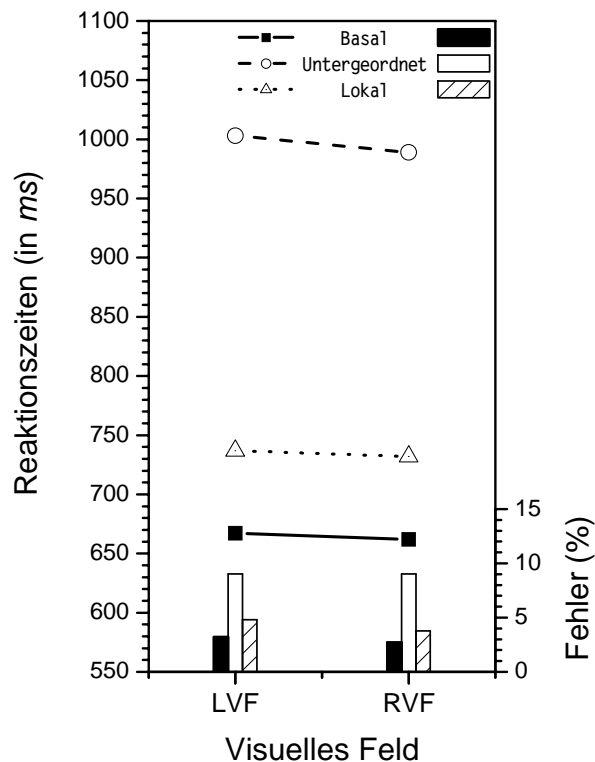


Abbildung III-1: Ergebnisse des Experiments 1 unter Einbeziehung aller Vpn: Reaktionszeiten (Linien) und Fehlerraten (Balken) für Kategorisierungen auf der basalen und untergeordneten Ebene, sowie der lokalen Muster, separat dargestellt für Darbietungen im LVF bzw. RVF.

2.2.1 Gesamtanalyse

Die Mediane der Reaktionszeiten von korrekten Antworten sowie die Fehlerraten wurden jeweils in eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf allen Faktoren eingegeben: *Kategorisierungsebene* (basale oder untergeordnete Ebene) und *Visuelles Feld* (LVF oder RVF).

Reaktionszeiten. Die Analyse ergab lediglich einen hochsignifikanten Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 23) = 140.0$, $p < .001$. Klassifikationen auf der basalen Ebene (664 ms) erfolgten schneller als solche auf der untergeordneten Ebene (996 ms). Die Interaktion zwischen den Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld* dagegen war vom Signifikanzniveau weit entfernt, $F(1, 23) = 0.42$, $p = .525$. Auch für die Benennung des

lokalen Musters gab es keinen Unterschied in Abhängigkeit vom visuellen Feld, in dem der Reiz präsentiert wurde, $t(23) = 0.40, p = .536$.

Fehlerraten. Die Fehlerraten lagen im Durchschnitt bei 5.73 %. Es zeigte sich lediglich ein Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 23) = 29.0, p < .001$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene (2.95 %) waren akkurater als solche auf der untergeordneten Ebene (9.02 %). Die Interaktion zwischen den Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld* dagegen war vom Signifikanzniveau weit entfernt, $F(1, 23) = 0.30, p = .593$. Auch für die Benennung des lokalen Musters gab es keinen Unterschied in Abhängigkeit vom visuellen Feld, in dem der Reiz präsentiert wurde, $t(23) = 1.47, p = .238$.

Insgesamt muss man also feststellen, dass in dieser Aufgabe, in der Bilder von Tieren auf unterschiedlichen Ebenen der Spezifität benannt werden sollten, über alle Vpn hinweg überraschenderweise keine VF-Effekte gefunden werden konnten. Bei Betrachtung der Daten der einzelnen Vpn zeigte sich jedoch, dass bei fast allen Vpn durchaus eine Interaktion von Kategorisierungsebene und VF erkennbar war. Bei der Hälfte der Vpn zeigten sich VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese, d.h. ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für basale und für RVF/LH-Stimuli für untergeordnete Kategorisierungen. Bei der anderen Hälfte fanden sich dagegen VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese, also ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli für basale und für LVF/RH-Stimuli für untergeordnete Kategorisierungen. Daher wurden die Vpn für eine post-hoc Analyse zwei Gruppen mit entgegengesetzten VF-Effekten zugewiesen. Die Zuweisung erfolgte nach dem phänomenologischen Erscheinungsbild der VF-Effekte in Reaktionszeiten und / oder Fehlerraten. Nach dieser Zuordnungsmethode konnten insgesamt 20 der 24 Vpn eindeutig der einen oder der anderen Gruppe zugewiesen werden. Von den verbleibenden vier Vpn zeigten zwei Vpn einen generellen Vorteil für Reize, die im RVF präsentiert wurden, eine Vp zeigte einen generellen Vorteil für RVF-Reize in den Reaktionszeiten, aber einen Nachteil in den Fehlern und bei der vierten Vp war dieser Effekt genau umgekehrt.

2.2.2 Analyse der post-hoc zugewiesenen Subgruppen

Die Ergebnisse für jede Gruppe sind in Abb. III-2 zu sehen. Die Vpn mit VF-Effekten im Sinne der Merkmalshypothese wird als Gruppe M bezeichnet, die übrigen Vpn mit VF-Effekten im Sinne der Repräsentationshypothese als Gruppe R.

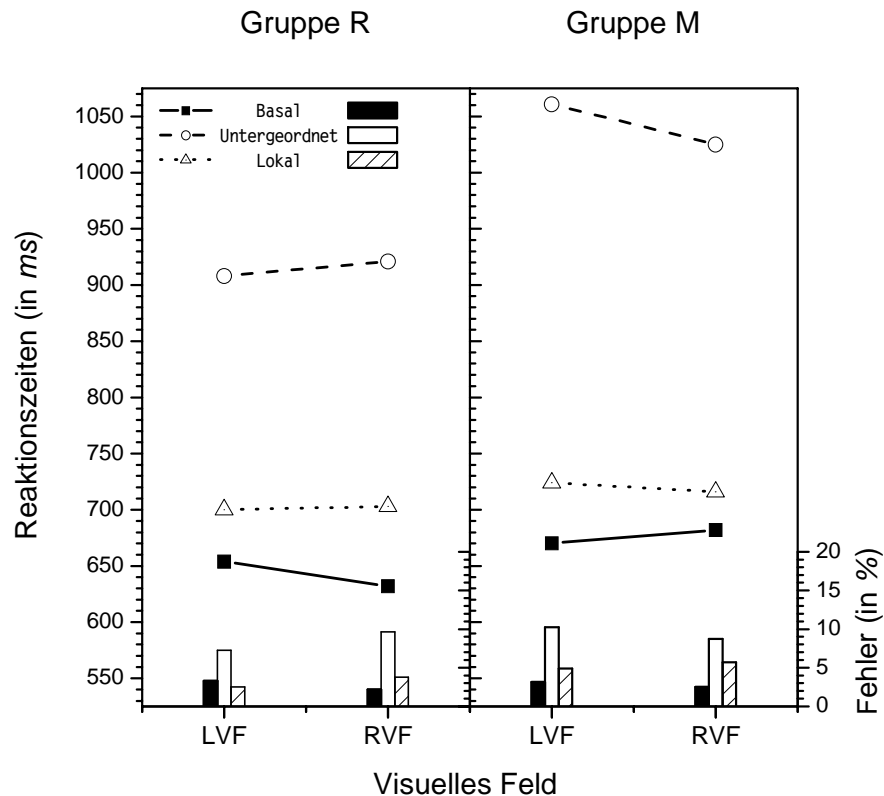


Abbildung III-2: Analyse der Ergebnisse der post-hoc zugewiesenen Vpn-Gruppen in Experiment 1. Dargestellt sind jeweils die Reaktionszeiten (Linien) und Fehlerraten (Balken) für Kategorisierungen auf der basalen und untergeordneten Ebene, sowie der lokalen Texturen, separat dargestellt für Darbietungen im LVF bzw. RVF. Die linke Seite der Abbildung zeigt die Ergebnisse für Gruppe R, also für Vpn, die VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese zeigten, die rechte Seite zeigt die Ergebnisse für Gruppe M, also für Vpn, die VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese zeigten.

Wie Abbildung III-2 (linke Seite) zeigt, waren für Gruppe R Kategorisierungen auf der basalen Ebene deutlich schneller (22 ms), wenn die Reize im RVF erschienen als wenn sie im LVF gezeigt wurden. Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene waren dagegen um 13 ms schneller, wenn die Reize im LVF präsentiert wurden, als wenn sie im RVF erschienen. Die Fehlerraten wiesen in die gleiche Richtung. Es zeigte sich für die basale Ebene ein Vorteil für Reize, die im RVF dargeboten wurden im Vergleich zum LVF (1.11%) und umgekehrt ein Vorteil für Reize, die im LVF dargeboten wurden im Vergleich zum RVF (2.41%). Für Gruppe M waren dagegen die Kategorisierungen auf der basalen Ebene 12 ms schneller, wenn

die Reize im LVF präsentiert wurden als wenn sie im RVF erschienen. Umgekehrtes gilt für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Hier waren die Reaktionen deutlich schneller (36 ms), wenn die Reize im RVF dargeboten wurden als im LVF. In den Fehlerraten zeigte sich für basale Kategorisierungen zwar ein minimaler Effekt (0.62 %) in die entgegengesetzte Richtung der Reaktionszeiten, Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene zeigten aber in den Fehlerraten wie in den Reaktionszeiten einen Vorteil für Reize, die im RVF im Vergleich zum LVF präsentiert wurden (1.50 %).

Eine statistische Analyse der Effekte ist im Grunde zirkulär, da die Vpn ja explizit anhand ihres Musters der VF-Effekte den beiden Gruppen zugewiesen wurden. Dennoch wurden die Mediane der Reaktionszeiten korrekter Antworten sowie die Fehlerraten der 20 Vpn, die eindeutige und im Sinne der jeweiligen Hypothese interpretierbare VF-Effekte aufwiesen, jeweils in eine ANOVA mit den Faktoren *Kategorisierungsebene* (basale oder untergeordnete Ebene), *Visuelles Feld* (LVF oder RVF) und *Gruppe* (Gruppe R oder Gruppe M) eingegeben. Dies erfolgte, um zu sehen, ob sich die beiden Gruppen möglicherweise noch in anderen Faktoren als den Mustern der VF-Effekte unterscheiden. Im Folgenden werden nur die Ergebnisse berichtet, die den Faktor *Gruppe* mit einschließen.

Reaktionszeiten. Nicht überraschend ergab die ANOVA zunächst eine hoch signifikante dreifache Interaktion aller Faktoren, $F(1, 18) = 11.57, p < .01$, die bestätigt, dass sich die beiden Gruppen bezüglich des VF-Effekts deutlich unterscheiden.

Ebenfalls signifikant war jedoch der Haupteffekt für den Faktor *Gruppe*, $F(1, 18) = 7.69, p < .05$. Die Vpn der Gruppe R (779 ms) waren deutlich schneller als die Vpn der Gruppe M (859 ms). In der Tendenz zeigte sich zudem, dass dieser Reaktionszeitunterschied für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene deutlicher ausgeprägt war (914 ms vs. 1043 ms) als für Kategorisierungen auf der basalen Ebene (643 vs. 676 ms). Die Interaktion der beiden Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Gruppe* erreichte allerdings nicht ganz das kritische Signifikanzniveau, $F(1, 18) = 2.68, p = .119$. Nachträgliche Einzeltests, die getrennt für die basale und untergeordnete Ebene berechnet wurden, bestätigen allerdings, dass der Reaktionszeitunterschied zwischen den beiden Gruppen nur auf der untergeordneten Ebene signifikant war, $F(1, 18) = 6.12, p < .05$, nicht aber auf der basalen Ebene, $F(1, 18) = 1.50, p = .236$.

Für die Benennung der lokalen Muster gab es in der Gruppe R quasi keinen Effekt des visuellen Feldes, lediglich einen Vorteil von 2 ms für Reize, die im LVF im Vergleich zum RVF präsentiert wurden. Für die Gruppe M waren Urteile bezüglich der lokalen Muster etwas schneller (8 ms) für Stimuli, die im RVF im Vergleich zum LVF präsentiert wurden. Beide Effekte waren aber nicht signifikant, $t(9) = 0.60$, $p = .43$ (Gruppe R) bzw. $t(9) = 0.85$, $p = .21$ (Gruppe M).

Fehlerraten. Die ANOVA für die Fehlerraten erbrachte wie diejenige für die Reaktionszeiten eine dreifache Interaktion aller drei Faktoren, $F(1, 18) = 4.61$, $p < .05$, die zeigt, dass sich die beiden Gruppen hinsichtlich der Ausprägung des VF-Effektes klar unterscheiden. Keine weiteren Effekte mit dem Faktor *Gruppe* waren signifikant.

Für die Benennung lokaler Muster gab es in beiden Gruppen einen leichten Vorteil für Stimuli, die im LVF im Vergleich zum RVF dargeboten wurden (1.25 % für Gruppe R vs. 0.8 % für Gruppe M). Beide Effekte waren jedoch nicht signifikant, $t(9) = 2.05$, $p = .071$ bzw. $t(9) = 0.73$, $p = .486$.

2.3 Diskussion

Aus den Ergebnissen der Studie I war die Hypothese abgeleitet worden, dass die Aufgabenstellung ‚Identifikation‘ grundsätzlich eine regelbasierte Kategorisierungsstrategie induziert. Da außerdem die Vermutung besteht, dass bei einer regelbasierten Strategie Gehirnasymmetrien im Sinne der Merkmalshypothese auftreten, sollten deshalb in Identifikationsaufgaben auch grundsätzlich solche Gehirnasymmetrienmuster nachweisbar sein, d.h. ein Vorteil der RH/LVF für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein Vorteil der LH/RVF für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Um diese Hypothese zu überprüfen, wurde, wie in Experiment 2 der Studie 1, eine Identifikationsaufgabe verwendet. Das heißt, es wurden Bilder von Tieren präsentiert, die dann auf der basalen oder untergeordneten Ebene identifiziert werden sollten. Im Gegensatz zu dem früheren Experiment handelte es sich diesmal aber um eine Benennaufgabe, d.h. die Vpn sprachen die Antwort laut aus. Die Reaktionszeiten wurden per Voicekey aufgezeichnet. Die Aufgaben in den beiden Experimenten waren also nahezu identisch. Lediglich die Art, wie eine Antwort zu geben war, unterschied sich.

Die Hypothese konnte in der Form allerdings nicht bestätigt werden. Es zeigte sich zwar bei fast allen Vpn (20 von 24, also ca. 85 %) eine Interaktion von Kategorisierungsebene und VF, allerdings nur bei der Hälfte der Vpn (10 Vpn) wiesen die VF-Effekte in Richtung der Merkmalshypothese (also ein Vorteil der RH/LVF für basale und der LH/RVF für untergeordnete Kategorisierung). Bei der anderen Hälfte der Vpn (10 Vpn) wiesen die VF-Effekte dagegen in Richtung der Repräsentationshypothese (ein Vorteil der LH/RVF für basale und der RH/LVF für untergeordnete Kategorisierung). Die ursprüngliche Hypothese, dass eine Identifikationsaufgabe grundsätzlich zu Gehirnasymmetrien im Sinne der Merkmalshypothese führen sollte, konnte somit nicht bestätigt werden. Die Tatsache, dass beide Muster von VF-Effekten beobachtbar waren, deutet vielmehr darauf hin, dass die Benennaufgabe in etwa gleich effizient über eine regelbasierte und eine ähnlichkeitsbasierte Kategorisierungsstrategie erreicht werden konnte.

Bevor man einer solchen Interpretation allerdings glauben schenken mag, stellt sich die Frage, ob die beiden Vpn-Gruppen tatsächlich unterschiedliche Strategien zur Kategorisierung verwendet haben. Die Unterschiede in den VF-Effekten legen einen solchen Schluss zwar sehr nahe, jedoch könnte dieser Unterschied auch durch andere Faktoren bedingt sein. Unterschiede in regelbasierten und ähnlichkeitsbasierten Kategorisierungen manifestieren sich aber nicht nur in Gehirnasymmetrien, sondern auch in generellen Reaktionszeitunterschieden. Der regelbasierte Mechanismus ist dadurch gekennzeichnet, dass der Kategorisierungsprozess in Teilschritte zerlegt wird, die seriell überprüft werden, indem die selektive Aufmerksamkeit auf die jeweiligen Eigenschaften des Stimulus gerichtet wird. Die Reaktionszeit nimmt daher mit der Zahl der nötigen Teilschritte zu. Bei dem ähnlichkeitsbasierten Mechanismus dagegen werden alle relevanten Merkmalseigenschaften des Stimulus und der gespeicherten Repräsentation parallel und automatisch verglichen. Daher findet man in der Regel generell langsamere Reaktionszeiten für regelbasierte im Vergleich zu ähnlichkeitsbasierten Kategorisierungen (Allen & Brooks, 1991; Smith & Kemler, 1984). Im vorliegenden Experiment sind diesbezüglich v.a. die Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene interessant. Für diese Klassifikation sind bei einem regelbasierten Mechanismus zwei Teilschritte erforderlich, z.B.: (1) Es handelt sich um einen Hund. (2) Es besitzt Punkte. Folglich handelt es sich um Peppo. In diesem Fall sollte die Kategorisierung vergleichsweise lange dauern. Bei einem ähnlichkeitsbasierten Mechanismus würden dagegen die Merkmale des Stimulus parallel mit einer gespeicherten Exemplar-

Repräsentation verglichen. Folglich sollte besonders in dieser Bedingung die regelbasierte Vorgehensweise länger dauern als die ähnlichkeitsbasierte (Allen & Brooks, 1991; Smith & Kemler, 1984). Tatsächlich findet sich dieser Effekt in den Daten: Die Reaktionszeiten für Kategorisierungen auf der basalen Ebene unterscheiden sich zwischen den beiden Gruppen kaum. Jedoch zeigen sich deutliche Unterschiede für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Die Gruppe, die VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese aufwies, brauchte für die untergeordnete Kategorisierung wesentlich länger als die Gruppe, die VF-Effekte entsprechend der Repräsentationshypothese zeigte. Dies geht konform mit der Annahme, dass die beiden Gruppen unterschiedliche Kategorisierungsstrategien verwendeten, die sich einerseits in generellen Reaktionszeitunterschieden, andererseits in unterschiedlichen Mustern von VF-Effekten manifestieren.

Da in der Benennaufgabe offensichtlich beide Strategien angewendet wurden, ist es auch nicht überraschend, dass 4 Vpn nicht eindeutig der einen oder anderen Gruppe zugewiesen werden konnten. Eine naheliegende Interpretation dieses Befundes ist, dass manche Vpn durchaus auch Mischstrategien verwenden, d.h. in einem Teil der Durchgänge Regeln verwenden und in einem anderen Teil der Durchgänge die Ähnlichkeit mit Repräsentationen bestimmen. Die Mehrheit jedoch scheint der einen oder anderen Strategie generell den Vorzug zu geben.

Doch warum wurden in der Benennaufgabe offensichtlich flexibel beide Strategien angewendet? In einer Identifikationsaufgabe mit Tastendruck (Experiment 2 der Studie 1) wurde ausschließlich eine regelbasierte Strategie angewendet, der einzige Unterschied zur Benennaufgabe war die Antwortmodalität. Eine Antwort auf diese Frage liefert möglicherweise der Ansatz von Rouder und Ratcliff (2006). Sie hatten postuliert, dass die Anwendung einer regelbasierten Strategie sehr eng mit der Kategorisierungsunsicherheit, also der Differenzierbarkeit und damit der Verwechslungsgefahr von Stimuli und Kategorien zusammenhängt. Vergleicht man diesen Faktor in den beiden Identifikationsaufgaben, kommt man zu dem Ergebnis, dass dieser vermutlich tatsächlich in der Aufgabe mit Tastendruck höher war. Bei dieser Aufgabe waren die vier basalen Kategorien jeweils vier Antworttasten zugeordnet und die vier untergeordneten Kategorien ebenfalls den gleichen vier Tasten. Dabei wurde darauf geachtet, dass die gleiche Taste nicht mit zwei Kategorien belegt war, die durch denselben Stimulus verlangt wurden. So konnte zum Beispiel die Taste, die mit der Antwort ‚Katze‘ belegt war, nicht gleichzeitig mit einem Katzenexemplar (also der gepunkteten oder

der gestreiften Katze) belegt werden. Dies hat zwei Dinge zur Folge. Zum einen müssen die Vpn nicht nur die richtige Antwortkategorie im Gedächtnis behalten, sondern auch die spezifische Tastenzuordnung. Zum anderen wurde diese Aufgabe noch erschwert durch die Inkongruenzen, die sich dadurch ergeben, dass ein identischer Stimulus auf der basalen Ebene eine andere Taste erfordert als auf der untergeordneten Ebene. Aufgrund dieser Überlegungen muss man zu dem Schluss kommen, dass die Kategorisierungsunsicherheit in der Aufgabe mit Tastendruck vermutlich höher war als in der Benennaufgabe. Eine regelbasierte Strategie war daher in der Aufgabe mit Tastendruck offensichtlich notwendig oder zumindest für alle Vpn die naheliegende Strategie, in der Benennaufgabe dagegen war die Strategie dadurch weniger festgelegt. Für eine solche Interpretation sprechen durchaus auch die Fehlerraten in den beiden Experimenten. Obwohl die Aufgabe an sich in beiden Experimenten identisch war, lag die durchschnittliche Fehlerrate in der Benennaufgabe bei etwas 5 %, in der Identifikation per Tastendruck dagegen bei 12 %, also mehr als doppelt so hoch. Die Frage, warum in welchen Aufgaben welche Strategie verwendet wird, wird in der Gesamtdiskussion nochmals unter Berücksichtigung aller Ergebnisse dieser Arbeit umfassend diskutiert.

Die Bedingung, in der lediglich das lokale Muster benannt werden sollte, steht nicht im Fokus der Studie. Sie soll lediglich dazu dienen, zu beobachten, wie sich die Verarbeitung lokaler Muster im Vergleich zu den Kategorisierungen auf der basalen und untergeordneten Ebene verhält. Insgesamt als auch separat für die beiden Vpn-Gruppen war die Aufgabe nicht lateralisiert. Es ist anzunehmen, dass für die Vpn die Benennung der lokalen Muster eine separat behandelte Aufgabe darstellt, die mit der hierarchischen Kategorisierung nicht in Zusammenhang stand. Daher könnten für diese Aufgabe sehr individuelle Strategien angewendet worden sein, die insgesamt einen Null-Effekt erzeugten.

3 Experiment 2

Experiment 1 hat gezeigt, dass Identifikation per se keine hinreichende Bedingung dafür darstellt, dass eindeutig eine regelbasierte Kategorisierungsstrategie angewendet wird und sich folglich VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese beobachten lassen. In einer Benennaufgabe können die Vpn offensichtlich interindividuell verschiedene Strategien verwenden. Das Muster der Gehirnasymmetrien ist daher in einer solchen Benennaufgabe sehr heterogen. Ziel des zweiten Experiments war es daher, andere Faktoren der Aufgabe zu manipulieren, um herauszufinden, ob sich die Benennaufgabe, die unter normalen Umständen

offensichtlich die relativ flexible Anwendung von Strategien erlaubt, so gestalten lässt, dass eindeutig die eine oder die andere Strategie zur Anwendung kommt und entsprechende Muster von VF-Effekten auftreten.

Der Vergleich zwischen der Identifikationsaufgabe per Tastendruck (Experiment 2 der Studie I) und der Benennaufgabe (Experiment 1 der Studie II) legt vor allem einen wesentlichen Unterschied zwischen den beiden Aufgaben nahe: Bei der Aufgabe mit Tastendruck ist die Verwechslung von Stimuli und deren Zuordnung zu Kategorien im Vergleich zur Benennaufgabe erhöht. Genau dieser Faktor wurde bereits in anderem Zusammenhang untersucht und stellte sich als wichtige Bedingung dafür heraus, dass eine regelbasierte Kategorisierungsstrategie angewendet wird (Rouder und Ratcliff, 2006). Rouder und Ratcliff (2006) fanden heraus, dass eine geringe Zahl gut unterscheidbarer Stimulusklassen eher eine ähnlichkeitsbasierte Strategie induziert. Sie nehmen an, dass sich in diesem Fall durch die gute Unterscheidbarkeit der Stimuli im Hinblick auf die Zielkategorien differenzierende Repräsentationen bilden lassen, die eine eindeutige Kategorisierung erlauben. Zudem muss nur eine begrenzte Zahl von Repräsentationen gespeichert und differenziert werden. Ist die Zahl der verwendeten Stimulusklassen allerdings groß und überlappen die Merkmale der Stimuli sehr stark mit Alternativkategorien, so ist die Anwendung von Regeln die effizientere Strategie. Somit spielen also einerseits die Kategoriestructuren, andererseits aber auch die Zahl der verwendeten Kategorien eine wesentliche Rolle für die angewandte Kategorisierungsstrategie.

In Experiment 2 sollte daher die Kategorisierungsunsicherheit über die Zahl der verwendeten Kategorien manipuliert werden. Die spezifischen Stimuli und deren Zusammensetzung zu Kategorien sollten dagegen nicht verändert werden, um direkte Vergleiche zwischen allen Experimenten zu ermöglichen. Die grundsätzliche Ähnlichkeit zwischen den Stimuli und ausgeprägte Merkmalsüberlappungen mit verschiedenen Kategorien sind damit in allen Experimenten vergleichbar. Jedoch wurde die Zahl der verwendeten Kategorien variiert und die Auswirkung dieser Manipulation auf VF-Effekte untersucht.

Die Vpn erledigten wie in Experiment 1 eine Benennaufgabe. Diese bestand diesmal aber aus zwei Phasen. In der ersten Phase gab es nur eine geringe Zahl von Kategorien, die lediglich aus einer Hierarchieebene, der untergeordneten Ebene, stammten. Dies sollte ermöglichen, dass für diese begrenzte Zahl von Kategorien erfolgreich differenzierende Form-

Repräsentationen gebildet werden können. Die Kategorisierungsunsicherheit sollte in diesem Fall also relativ gering sein. Für diesen Fall wurde daher erwartet, dass bevorzugt eine ähnlichkeitsbasierte Strategie für diese Aufgabe angewendet wird. Entsprechend sollten sich hier Gehirnasymmetrien im Sinne der Repräsentationshypothese zeigen. Die Aufgabe in der zweiten Phase entsprach dann exakt der Aufgabe in Experiment 1. Es handelte sich ebenfalls um eine Benennaufgabe, allerdings mussten diesmal die Reize sowohl auf der basalen, der untergeordneten als auch der lokalen Ebene benannt werden. Die Stimuli mussten also abrupt einer größeren Zahl von Kategorien zugeordnet werden. Dies sollte im Kontrast zur ersten Phase zu einer deutlichen Erschwernis der Differenzierbarkeit und erhöhten Unsicherheit in Bezug auf die Zugehörigkeit zu den jeweiligen Kategorien führen. Stimuli, die in Phase 1 noch eindeutig einer bestimmten Kategorie zugeordnet werden konnten, waren nun gleichzeitig jeweils drei Kategorien zugeordnet. Für die zweite Phase wurde daher erwartet, dass die Vpn von einer ähnlichkeitsbasierten zu einer regelbasierten Kategorisierungsstrategie wechseln. Folglich wurden in dieser Phase Gehirnasymmetrien im Sinne der Merkmals-hypothese erwartet.

Gelingt diese Manipulation, so sollten sich folglich zwei Hypothesen bestätigen lassen: (1) In der ersten Phase sollten sich VF-Effekte entsprechend der Repräsentationshypothese beobachten lassen, d.h. ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für die geforderte Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene; in der zweiten Phase sollten dagegen VF-Effekte entsprechend der Merkmalshypothese nachweisbar sein, also ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. (2) Beruht dieser Wechsel tatsächlich auf einer Änderung der Kategorisierungsstrategie, so sollten sich zudem generelle Unterschiede in den Reaktionszeiten, insbesondere für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene, nachweisen lassen: Im Übergang von Phase 1 zu Phase 2 sollten sich die Reaktionszeiten für untergeordnete Kategorisierungen verlangsamen.

Dieser Befund wäre somit ein eindeutiger Beleg für strategische Effekte bei der Kategorisierung von Objekten auf der basalen und der untergeordneten Ebene, da die Aufgabe in Phase 2 exakt identisch zu der Aufgabe in Experiment 1 ist. Lediglich der Erfahrungskontext wird in den beiden Experimenten variiert.

3.1 Methode

Versuchspersonen

16 Vpn (6 männlich, 10 weiblich; Durchschnittsalter: 23.6 Jahre) nahmen an diesem Experiment teil. Alle Teilnehmer waren Rechtshänder und wiesen einen normalen oder korrigierten Visus auf.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Die technische Ausstattung und die verwendeten Reize waren identisch zu denen in den bisherigen Experimenten. Es gab wiederum vier basale Kategorien, nämlich Hunde, Katzen, Pferde und Kühe, sowie eine Subgruppe von vier Exemplaren, nämlich gepunktete und gestreifte Hunde, sowie gepunktete und gestreifte Katzen. Da sich in Experiment 1 der Studie I gezeigt hatte, dass die spezifischen Tierformen für die Ergebnisse keine Rolle spielen, hatten alle Vpn die gleiche Kombination von Kategorien. Wie in den vorigen Experimenten gab es jedes Tier jeweils in vier Orientierungen, also insgesamt 64 Stimuli. Die Aufgabe der Vpn war es, nach einem Hinweisreiz, der angab, auf welcher Ebene der Reiz kategorisiert werden sollte (basale Ebene, untergeordnete Ebene oder lokales Muster), ein entweder im RVF oder LVF dargebotenes Tierbild auf der geforderten Ebene zu benennen und ihre Antwort laut auszusprechen. Die Reaktion wurde durch ein Voicekey registriert.

Vorgehen

Das Experiment bestand aus zwei Phasen. In der ersten Phase, der *Eine-Ebene-Phase*, sollten die Vpn die dargebotenen Tierbilder ausschließlich auf der untergeordneten Ebene benennen. Es gab vier untergeordnete Kategorien (gestreifte und gepunktete Hunde, sowie gestreifte und gepunktete Katzen). In der zweiten Phase, der *Drei-Ebenen-Phase*, mussten die Vpn die gleichen Bilder benennen, diesmal allerdings auf drei Kategorisierungsebenen: Eine Aufgabe blieb genau die gleiche Aufgabe wie in der *Eine-Ebene-Phase*, d.h. die Bilder sollten auf der untergeordneten Ebene klassifiziert werden. Zusätzlich mussten die Vpn nun die Bilder aber auch auf der basalen Ebene kategorisieren (als Hunde, Katzen, Pferde oder Kühe) und in manchen Durchgängen mussten lediglich die Muster der Tiere kategorisiert werden (Punkte, Streifen, Kreise und Sterne). In dieser zweiten Phase war in der Hälfte der Fälle nach wie vor eine Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene verlangt. Von der verbleibenden Hälfte wurde wiederum in zwei Dritteln der Fälle eine Kategorisierung auf der basalen Ebene

verlangt und im verbleibenden Drittel der Fälle (17 % der Durchgänge) eine Kategorisierung der lokalen Muster. Ziel beider Maßnahmen war es, den Fokus auf die Exemplare zu richten, da diese Bedingung in beiden Phasen direkt verglichen werden konnte. Die beiden Phasen des Experiments fanden an unterschiedlichen Tagen statt.

Eine-Ebene Phase: In der ersten Phase des Experiments mussten die Vpn die gezeigten Bilder nur auf der untergeordneten Ebene klassifizieren. Es gab vier untergeordnete Kategorien (gestreifte und gepunktete Katzen sowie gestreifte und gepunktete Hunde). Daher gab es in dieser Phase auch nur eine experimentelle Manipulation, nämlich das visuelle Feld, in dem der Reiz gezeigt wurde. Die Stimuli wurden randomisiert in der Hälfte der Durchgänge im LVF und in der übrigen Hälfte im RVF dargeboten.

Jeder Durchgang begann mit der Darbietung des Buchstabens „E“ für 300 ms in der Mitte des Bildschirms. Der Buchstabe diente hier lediglich als Fixationspunkt, da es nur eine Kategorisierungsaufgabe gab. Die Vpn wurden angehalten, während des ganzen Experiments ihren Blick auf die Mitte des Bildschirms zu richten. Nach einem schwarzen Bildschirm von 500 ms wurde der Stimulus für 93 ms zufällig entweder im LVF oder RVF präsentiert. Die Vpn sprachen ihre Antwort laut aus und die Reaktionsgeschwindigkeit wurde über ein Voicekey registriert. Der VL dokumentierte die gegebene Antwort, indem er einen entsprechenden Code mittels Tastatur eingab. 1000 ms nach der Eingabe durch den VL wurde der nächste Hinweisreiz dargeboten.

Die Vpn führten zunächst einen Übungsblock durch, um mit der Aufgabe vertraut zu werden. Dann wurden acht Blöcke durchgeführt und nochmals ein Block zu Beginn der zweiten Sitzung. Jeder Block umfasste 64 Durchgänge. Für jede VF-Bedingung wurden in der *Eine-Ebene-Phase* entsprechend 288 Beobachtungen erhalten.

Drei-Ebenen-Phase: Die gleichen Vpn, die die *Eine-Ebene-Phase* durchlaufen hatten, führten auch einen zweiten Teil des Experiments durch. Jetzt mussten die Vpn die Tierstimuli auf der basalen sowie auf der untergeordneten Ebene kategorisieren als auch die lokalen Texturen. Die Aufgabe der Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene blieb also genau gleich wie in der ersten Phase, aber es wurden zwei zusätzliche Kategorisierungsaufgaben eingeführt. In dieser zweiten Phase wurde also sowohl die Kategorisierungsebene (basale Ebene, untergeordnete Ebene oder lokale Muster) manipuliert als auch das VF, in dem der Reiz dargeboten wurde (LVF oder RVF).

Jeder Durchgang begann mit der Darbietung eines Buchstabens für 300 ms in der Mitte des Bildschirms. Der Buchstabe diente gleichzeitig als Fixationspunkt und die Vpn wurden angehalten, während des ganzen Experiments ihren Blick auf die Mitte des Bildschirms zu richten. Der Buchstabe „T“ gab an, dass das folgende Bild auf der basalen Ebene kategorisiert werden sollte, der Buchstabe „E“ wies auf eine Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene hin. Der Buchstabe „L“ gab an, dass beim folgenden Bild lediglich das Muster benannt werden sollte. Die Aufgabenreihenfolge war randomisiert. Nach einem schwarzen Bildschirm von 500 ms wurde der Stimulus für 93 ms zufällig entweder im LVF oder RVF präsentiert. Die Vpn sprachen ihre Antwort laut aus und die Reaktionsgeschwindigkeit wurde über ein Voicekey registriert. Der VL dokumentierte die gegebene Antwort, indem er einen entsprechenden Code mittels Tastatur eingab. 1000 ms nach der Eingabe durch den VL wurde der nächste Hinweisreiz dargeboten.

Die Vpn absolvierten sechs Blöcke à 96 Durchgänge. Entsprechend der Häufigkeitsverteilung ergaben sich somit 192 Beobachtungen für die basale Kategorisierung (jeweils 96 für das LVF und das RVF), 288 Beobachtungen für die untergeordnete Kategorisierung (jeweils 144 für das LVF und das RVF), sowie 96 Beobachtungen für die Kategorisierung der lokalen Muster (jeweils 48 für das LVF und das RVF).

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Gesamtanalyse

Die beiden Phasen des Experiments wurden getrennt ausgewertet. In Abb. III-3 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt, auf der linken Seite die Ergebnisse der Eine-Ebene-Phase, auf der rechten Seite die der Drei-Ebenen-Phase.

Eine-Ebene-Phase

In der ersten Phase gab es für die Vpn nur eine Aufgabe, nämlich die dargebotenen Bilder auf der untergeordneten Ebene zu klassifizieren. Daher wurde jeweils ein t-Test für die Mediane der Reaktionszeiten sowie die Fehlerraten berechnet, um zu sehen, ob sich die Reaktionen für Reize, die im LVF dargeboten wurden, von denen, die im RVF dargeboten wurden, unterschieden.

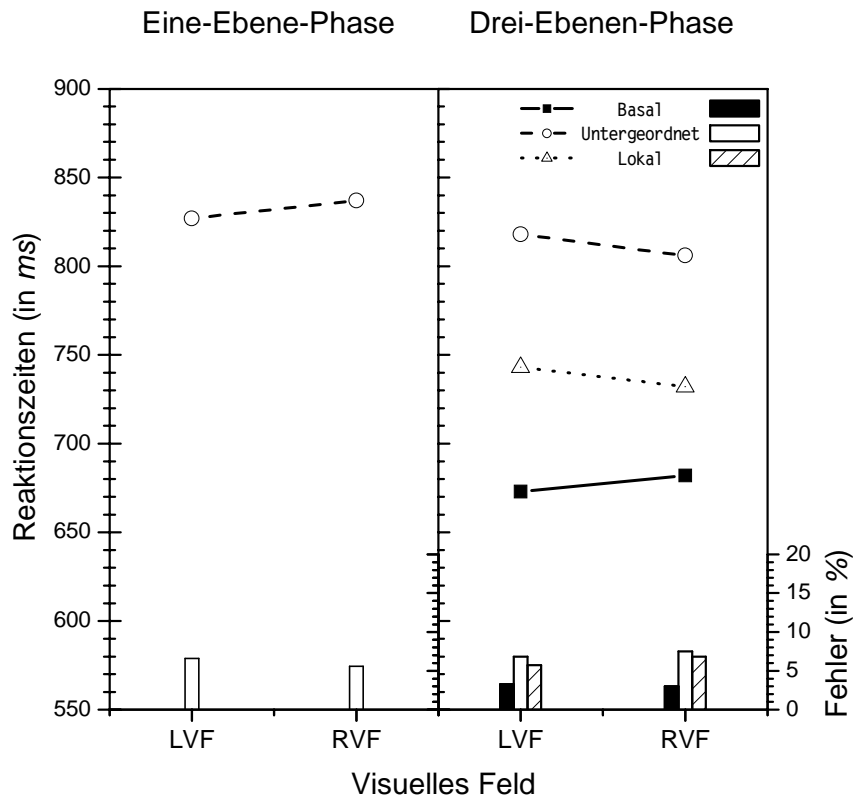


Abbildung III-3: Ergebnisse des Experiments 2 unter Einbeziehung aller Vpn: Reaktionszeiten (Linien) und Fehlerraten (Balken) für Kategorisierungen auf der basalen und untergeordneten Ebene, sowie der lokalen Muster, separat dargestellt für Darbietungen im LVF bzw. RVF. Die linke Seite der Abbildung zeigt die Ergebnisse für die Eine-Ebene-Phase, in der lediglich auf der untergeordneten Ebene kategorisiert wurde. Auf der rechten Seite sind die Ergebnisse aus der anschließenden Drei-Ebenen-Phase dargestellt, in der auf der basalen und untergeordneten Ebene, sowie die lokalen Texturen kategorisiert werden mussten.

Reaktionszeiten. Wie auf der linken Seite der Abb. III-3 zu sehen ist, war die Kategorisierung der Stimuli auf der untergeordneten Ebene in dieser Eine-Ebene-Phase etwas schneller, wenn die Reize im LVF (827 ms) präsentiert wurden als wenn sie im RVF erschienen (837 ms). Dieser VF-Effekt war allerdings nicht signifikant, $t(15) = 1.82, p = .11$.

Fehlerraten. In den Fehlerraten gab es eine leichte Tendenz in die entgegen gesetzte Richtung (LVF: 6.58 %, RVF: 5.58 %). Dieser Effekt war allerdings relativ klein und ebenfalls nicht signifikant $t(15) = 0.97, p = .18$.

Drei-Ebenen-Phase:

Die Mediane der Reaktionszeiten in der Drei-Ebenen-Phase sowie die entsprechenden durchschnittlichen Fehlerraten wurden jeweils in eine zweifaktorielle ANOVA eingegeben mit den innerhalb der Vpn variierten Faktoren *Kategorisierungsebene* (basale Ebene oder untergeordnete Ebene) und *Visuelles Feld* (LVF oder RVF). Da der Fokus der vorliegenden Studie die Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene ist, wurde die Kategorisierung der lokalen Muster separat analysiert.

Reaktionszeiten. Die Analyse ergab zunächst einen höchst signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 15) = 21.74$, $p < .001$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene (678 ms) erfolgten schneller als solche auf der untergeordneten Ebene (812 ms). Als wichtigstes Ergebnis fand sich eine Interaktion der beiden Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld*, $F(1, 15) = 6.87$, $p < .05$. Wie man auf der rechten Seite der Abb. III-3 sehen kann, waren Kategorisierungen auf der basalen Ebene etwas schneller (9 ms), wenn die Reize im LVF gezeigt wurden als wenn sie im RVF gezeigt wurden. Dagegen waren Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene etwas schneller (12 ms), wenn die Reize im RVF im Gegensatz zum LVF gezeigt wurden. Geplante Kontraste zeigen, dass der VF-Effekt für die Kategorisierungen auf der basalen Ebene einen deutlichen Trend in die erwartete Richtung zeigte, $t(15) = 1.46$, $p = .09$, genauso wie der VF-Effekt für die Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene, $t(15) = 1.62$, $p = .07$.

Für lokale Muster waren die Reaktionszeiten etwas schneller für RVF-Stimuli als für LVF-Stimuli (11 ms). Dieser VF-Effekt war allerdings nicht signifikant, $t(15) = 1.03$, $p = .16$.

Fehlerraten. Fehler traten durchschnittlich in 5.15 % der Fälle auf. Der einzige signifikante Effekt in den Fehlerraten war ein Haupteffekt des Faktors *Kategorisierungsebene*, $F(1, 15) = 13.45$, $p < .01$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene waren akkurater (3.14 %) als solche auf der untergeordneten Ebene (7.16 %).

Für die Kategorisierung der lokalen Muster zeigte sich ein kleiner Vorteil für Stimuli, die im LVF gezeigt wurden gegenüber solchen, die im RVF gezeigt wurden (1.09 %). Dieser Effekt war jedoch nicht signifikant, $t(15) = 0.95$, $p = .359$.

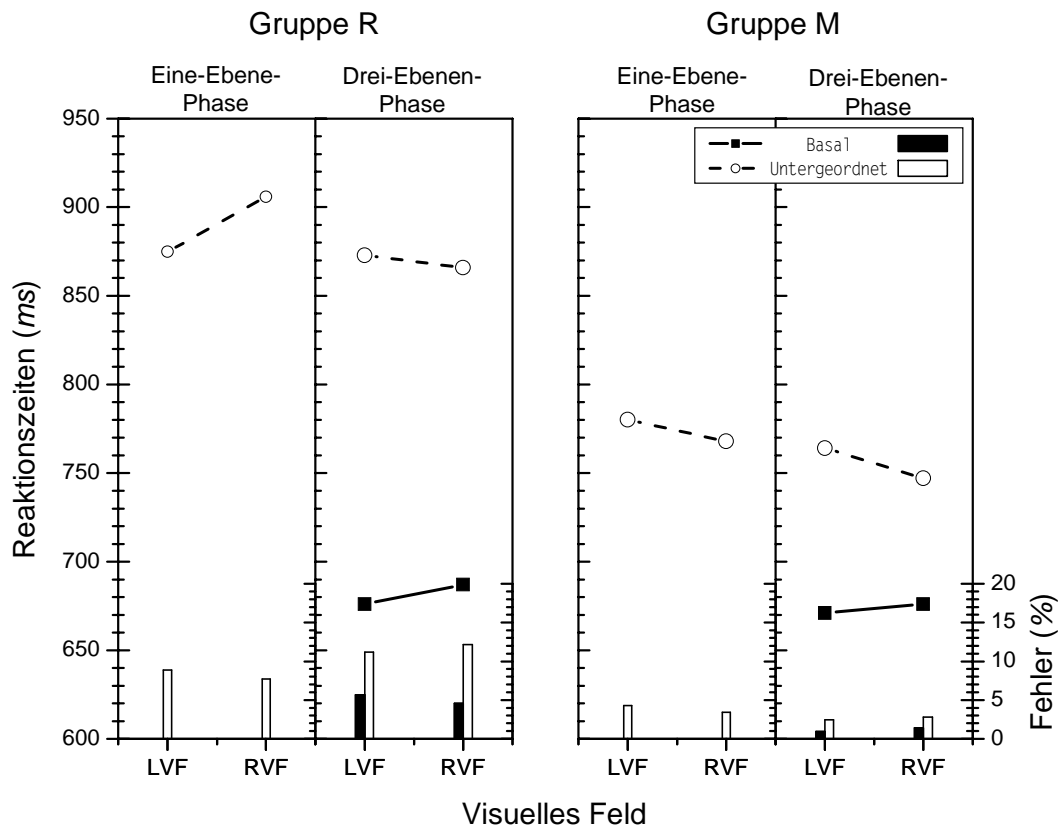


Abbildung III-4: Analyse der Ergebnisse der post-hoc zugewiesenen Vpn-Gruppen in Experiment 2. Die linke Hälfte der Abbildung zeigt die Ergebnisse für Gruppe R, also für Vpn, die VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese zeigten, die rechte Hälfte zeigt die Ergebnisse für Gruppe M, also für Vpn, die VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese zeigten.

3.2.2 Analyse der post-hoc zugewiesenen Subgruppen

Insgesamt spiegeln die Ergebnisse die erwartete Hypothese wider. Jedoch war der VF-Effekt für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene in der Eine-Ebene-Phase nicht signifikant und es gab einen kleinen Trend in die Gegenrichtung in den Fehlerraten. Die Ergebnisse des ersten Experiments hatten gezeigt, dass Vpn in einer Benennaufgabe ihre Kategorisierungsstrategien flexibel und interindividuell anpassen können. Aus diesem Grund wurde die Eine-Ebene-Phase nochmals genauer dahingehend analysiert, ob auch bei einer Benennung auf nur einer Ebene die Vpn interindividuell verschiedene Strategien und entsprechend auch verschiedene VF-Effekte aufweisen. Dies könnte eine Ursache dafür sein,

dass der VF-Effekt nicht eindeutig signifikant war. Falls tatsächlich in der ersten Phase interindividuell verschiedene Strategien angewendet wurden, kann im vorliegenden Fall zusätzlich ermittelt werden, ob sich die spezifische Strategie, die in der ersten Phase verwendet wurde, auf die Verarbeitung in der Drei-Ebenen-Phase auswirkt.

Dazu wurden die Daten aller Vpn individuell dahingehen betrachtet, in welche Richtung der VF-Effekt für die untergeordnete Ebene in der Eine-Ebene-Phase wies. Interessanterweise zeigte sich tatsächlich, dass – genau wie in Experiment 1 – exakt die Hälfte der Vpn einen Vorteil für LVF/RH-Stimuli (im Sinne der Repräsentationshypothese) aufwies und die andere Hälfte einen Vorteil für RVF/LH-Stimuli (im Sinne der Merkmalshypothese). Entsprechend dieses Kriteriums wurden die Vpn wie in Experiment 1 in eine Gruppe R (Vpn, die VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese aufwiesen) und eine Gruppe M (Vpn, die VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese zeigten) unterteilt. Getrennt für diese beiden Gruppen wurde dann die zweite Drei-Ebenen-Phase analysiert.

In Abbildung III-4 sind die Ergebnisse aus der Eine-Ebene-Phase und der Drei-Ebenen-Phase separat für die Gruppe R und Gruppe M dargestellt. Graphisch sieht man bereits eindeutig, dass sich zwar tatsächlich die VF-Effekte in der Eine-Ebene-Phase zwischen den beiden Gruppen unterscheiden, dass in der Drei-Ebenen-Phase die VF-Effekte jedoch in beiden Gruppen in die gleiche Richtung weisen.

Eine-Ebene-Phase

Um zunächst einmal die beiden Gruppen in der Eine-Ebene-Phase genauer zu differenzieren, wurde eine ANOVA berechnet mit den Faktoren *Visuelles Feld* (LVF oder RVF) und *Gruppe* (Gruppe R oder Gruppe M). Neben der zu erwartenden Interaktion der beiden Faktoren, $F(1, 14) = 15.26, p < .01$, zeigte sich kein weiterer signifikanter Effekt. Zwar gab es einen deutlichen Reaktionszeitunterschied zwischen den beiden Gruppen (890 ms für die Gruppe R und 774 ms für die Gruppe M), dieser war jedoch nicht signifikant, $F(1, 14) = 2.19, p = .161$. In den Fehlerraten war kein Effekt signifikant.

Drei-Ebenen-Phase

Für die Drei-Ebenen-Phase wurde eine zweite ANOVA berechnet, diesmal wurde aber die Variable ‚Gruppe‘ mit eingeschlossen. Entsprechend gingen die Faktoren

Kategorisierungsebene (basale oder untergeordnete Ebene), *Visuelles Feld* (LVF oder RVF) und *Gruppe* (Gruppe R oder Gruppe M) ein.

Die Analyse bestätigt zum einen den bereits gemachten Befund, dass *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld* interagieren, $F(1, 14) = 6.46, p < .05$. Die dreifache Interaktion mit dem Faktor *Gruppe* ist dagegen weit entfernt von der Signifikanz, $F(1, 14) = 0.09, p = .77$. Die beiden Gruppen unterscheiden sich hinsichtlich des VF-Effekts nicht.

In den Fehlerraten zeigte sich ein Haupteffekt für den Faktor *Gruppe*, $F(1, 14) = 4.81, p < .05$. Vpn aus der Gruppe M (1.90 %) waren akkurater als die aus der Gruppe R (8.40 %). Dieser Haupteffekt wurde allerdings moduliert durch die zweifache Interaktion von *Gruppe* und *Kategorisierungsebene*, $F(1, 14) = 8.09, p < .05$. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen war deutlich stärker für die untergeordnete Ebene (9.07 %) als für die basale Ebene (3.93 %). Ansonsten hatte der Faktor *Gruppe* keinen weiteren signifikanten Einfluss.

3.2.3 VF-Effekte im Zeitverlauf

Obwohl im hier vorliegenden Experiment die Interaktion zwischen *Kategorisierungsebene* und VF in der Drei-Ebenen-Phase signifikant war, war der VF-Effekt speziell für *Kategorisierungen* auf der untergeordneten Ebene jedoch relativ klein und statistisch nicht bedeutsam. Eine mögliche Ursache hierfür könnte sein, dass zumindest einige der Pbn ihre *Kategorisierungsstrategie* (und damit das spezifische *Lateralisierungsmuster*) im Verlauf der Drei-Ebenen-Phase geändert haben könnten. Dies ist insofern nicht unplausibel, als dass im Gegensatz zu den vorherigen Experimenten die *Kategorisierung* auf der untergeordneten Ebene in der Eine-Ebene-Phase extrem intensiv geübt wurde und auch in der Drei-Ebenen-Phase die meisten *Kategorisierungen* auf der untergeordneten Ebene verlangt waren.

Aufgrund dieser Vermutung wurde die Entwicklung der VF-Effekte über die *Experimentalblöcke* hinweg im Detail betrachtet. Die Pbn hatten in der Drei-Ebenen-Phase insgesamt sechs Blöcke absolviert, allerdings gab es in einigen Bedingungen nur sehr wenige Durchgänge innerhalb eines Blocks. Deshalb wurden jeweils zwei Blöcke zu einem Block zusammengefasst, so dass insgesamt drei Blöcke für die Drei-Ebenen-Phase unterschieden wurden. Der *Zeitverlauf* wurde für die beiden Gruppen separat betrachtet, da sich der Verlauf anders gestalten kann, je nachdem ob sich in der Eine-Ebene-Phase die *ähnlichkeitsbasierte Strategie* durchsetzt oder die *regelbasierte*.

Die deskriptive Betrachtung des Zeitverlaufs zeigt, dass sich tatsächlich die Richtung der VF-Effekte für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene über die Zeit hinweg verändert, allerdings ausschließlich bei der Gruppe R (Abb. III-5, A), nicht jedoch bei der Gruppe M (Abb. III-5, B). Für die Gruppe R zeigt sich im ersten Block ein klarer Vorteil für RVF/LH-Stimuli für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene. Bereits im zweiten Block lässt sich keine eindeutige Lateralisierung erkennen und im letzten Block findet sich wiederum ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene, genau wie in der Eine-Ebene-Phase. Für die Gruppe M zeigte sich dagegen keine Veränderung. Es bestand durchgängig ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene. Kategorisierungen auf der basalen Ebene lassen sich in diesem Experiment nur beschränkt analysieren, da sie deutlich seltener und ausschließlich in der zweiten Phase verlangt wurden. Für Gruppe R zeigte sich ein genereller Vorteil für LVF/RH-Stimuli, der über die Zeit stabil blieb. In Gruppe M zeigte sich der gleiche Effekt, der sich aber in späteren Blöcken minimal in die entgegengesetzte Richtung veränderte.

Um zu untersuchen, ob die Veränderungen in der Lateralisierung der Gruppe R über die Zeit tatsächlich statistisch bedeutsam sind und ob sich die beiden Gruppen in ihrem jeweiligen Zeitverlauf tatsächlich unterscheiden, wurde eine ANOVA mit dem zusätzlichen Faktor *Block* gerechnet. Da sich diese Veränderungen in allen Phasen des Experiments nur auf der untergeordneten Ebene beobachten lassen, gingen nur die Reaktionszeiten und Fehler für diese Ebene in die Berechnung ein. Augenscheinlich war in Block 2 der Drei-Ebenen-Phase keine eindeutige Lateralisierung sichtbar. Daher gingen nur die Eine-Ebene-Phase, sowie Block 1 und Block 3 der Drei-Ebenen-Phase ein, um für die Berechnung einen deutlichen Kontrast zu haben.

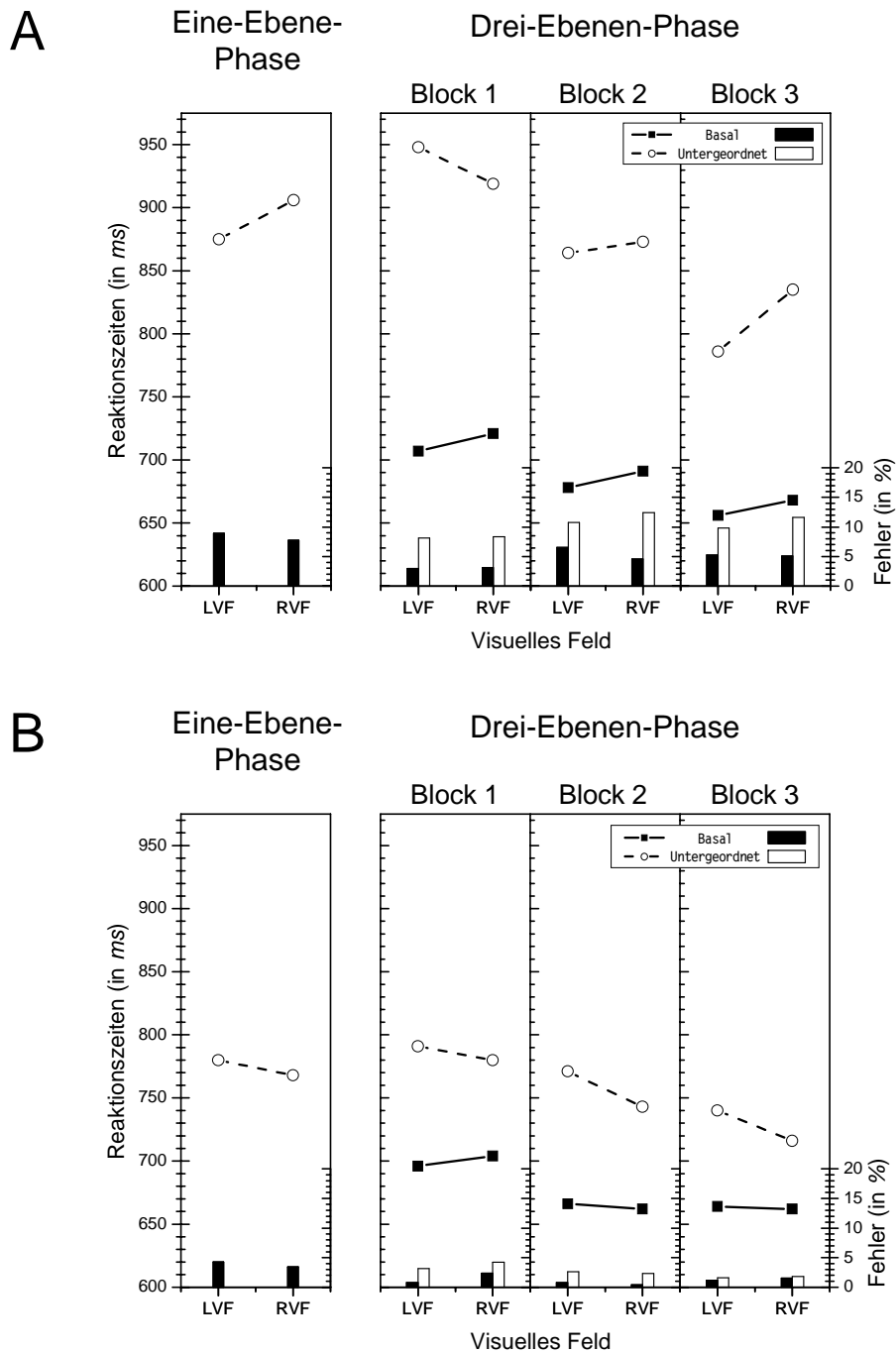


Abbildung III-5: Ergebnisse der post-hoc zugewiesenen Vpn-Gruppen in Experiment 2 im Zeitverlauf. Die linke Seite jeder Abbildung zeigt die Ergebnisse für die Eine-Ebene-Phase, auf der rechten Seite sind die Ergebnisse aus der anschließenden Drei-Ebenen-Phase dargestellt (Kategorisierungen der lokalen Muster sind nicht dargestellt, da sie für die aktuelle Fragestellung irrelevant sind). Die Drei-Ebenen-Phase wurde wiederum aufgeteilt in drei Experimentalblöcke, die getrennt analysiert wurden (Block 1, Block 2 und Block 3). **(A)** Ergebnisse für Gruppe R, also für Vpn, die VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese zeigten. **(B)** Ergebnisse für Gruppe M, also für Vpn, die VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese zeigten.

Die Mediane der Reaktionszeiten korrekter Antworten und die Fehlerraten wurden jeweils in eine zweifaktorielle ANOVA eingegeben mit den Faktoren *Visuelles Feld* (LVF oder RVF), *Gruppe* (Gruppe R oder Gruppe M) sowie *Block* (Eine-Ebene-Phase, erster oder dritter Block der Drei-Ebenen-Phase).

Die Dreifach-Interaktion der Faktoren VF, Gruppe und Block war signifikant, $F(2, 28) = 4.45, p < .05$. Getrennt für die beiden Gruppen zeigte sich, dass die zweifache Interaktion zwischen VF und Block ausschließlich in der Gruppe R signifikant war, $F(2, 14) = 4.40, p < .05$, nicht dagegen in Gruppe M, $F(2, 14) = 0.50, p = .618$. Die Lateralisierung verändert sich über die Experimentalblöcke hinweg also ausschließlich in Gruppe R, nicht jedoch in Gruppe M.

Eine entsprechende ANOVA für Fehlerraten erbrachte keine signifikanten Effekte mit der Variable *Block*.⁴

3.3 Diskussion

Ziel dieses Experiments war die Untersuchung, ob sich in einer Benennaufgabe, in der grundsätzlich Kategorisierungsstrategien flexibel angewendet werden können (vgl. Experiment 1), durch geeignete Manipulationen der Aufgabe bestimmte Kategorisierungsstrategien induzieren und damit spezifische Muster von VF-Effekten vorhersagen lassen. Als Ansatzpunkt wurde die Zahl der Stimuli bzw. Kategorien gewählt, die einen Einfluss auf die Kategorisierungsunsicherheit und damit auf die angewandten Kategorisierungsstrategien haben (vgl. Rouder & Ratcliff, 2006).

Die Vpn erfüllten in diesem Experiment eine Aufgabe, die aus zwei Teilen bestand. In der ersten Phase kategorisierten sie vier Tierkategorien ausschließlich auf der untergeordneten Ebene. Vier Exemplare sind einerseits relativ einfach zu differenzieren. Außerdem ist jeder Stimulus durch die Kategorisierung auf nur einer Ebene genau einer Kategorie zugeordnet.

⁴ Aufgrund dieses Befundes wurde nachträglich auch in allen vorherigen Experimenten der Studien I und II geprüft, ob sich die VF-Effekte über die Experimentalblöcke hinweg verändern. In beiden Experimenten der Studie I zeigten sich keine Veränderungen der VF-Effekte über die Zeit, weder in den Reaktionszeiten, $F(1, 47) = 1.99, p = .16$ („gleich“ Antworten in Experiment 1) bzw. $F(1, 39) = 2.41, p = .13$ (Experiment 2), noch in den Fehlerraten, $F(1, 47) = 3.36, p = .07$ („gleich“ Antworten in Experiment 1) bzw. $F(1, 39) = 2.08, p = .16$ (Experiment 2). Auch in Experiment 1 der Studie II zeigten entsprechende ANOVAs, dass das Muster in beiden Gruppen über alle Blöcke hinweg stabil blieb, sowohl in den Reaktionszeiten, $F(3, 54) = 0.13, p = .941$, als auch in den Fehlerraten, $F(3, 54) = 0.50, p = .683$.

Die Gefahr von Verwechslungen von Kategoriezugehörigkeiten sollte daher relativ gering sein. Es wurde folglich vermutet, dass in diesem Fall eher eine ähnlichkeitsbasierte Strategie verfolgt wird, d.h. die gezeigten Bilder mit Exemplar-Repräsentationen verglichen werden. In der zweiten Phase wurden die gleichen Bilder gezeigt, nun mussten sie jedoch auf drei Ebenen kategorisiert werden (basale, untergeordnete Ebene und lokale Texturen). Die zweite Phase entsprach damit exakt der Aufgabe in Experiment 1. Wichtig ist festzustellen, dass die Aufgabe in Phase 1 (Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene) auch in Phase 2 in identischer Form enthalten war. Es wurde also lediglich der Kontext verändert. Die Erweiterung der Aufgabe in Phase 2 erhöht jedoch die Zahl der in Frage kommenden Kategorien und damit die Überlappung von Merkmalen mit den Kontrastkategorien. Daher wurde angenommen, dass in der zweiten Phase die Kategorisierungsunsicherheit vergleichsweise hoch ist und daher eine regelbasierte Strategie angewendet wird, um der erhöhten Gefahr der Verwechslung von Kategorien gerecht zu werden. Aufgrund dieser Manipulation sollten sich daher in der ersten Phase VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese zeigen, das heißt ein RH/LVF-Vorteil für die Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. In der zweiten Phase wurden dagegen VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese erwartet, also ein RH/LVF-Vorteil für basale Kategorisierungen und ein LH/RVF-Vorteil für untergeordnete Kategorisierungen.

Als erstes Ergebnis genügte entgegen der Erwartung eine einfache Reduktion der Zahl der Kategorien nicht, um eine klare ähnlichkeitsbasierte Strategie in der ersten Phase zu induzieren (vgl. Abb. III-3). Lediglich die Hälfte der Vpn zeigte einen Vorteil für LVF/RH-Stimuli in dieser Aufgabe, was impliziert, dass auch nur die Hälfte der Vpn eine ähnlichkeitsbasierte Strategie anwendete. Die andere Hälfte der Vpn zeigte dagegen einen Vorteil für RVF/LH-Stimuli (vgl. Abb. III-4). Wie in Experiment 1 verwendeten die Vpn in dieser spezifischen Benennaufgabe offensichtlich interindividuell verschiedene Kategorisierungsstrategien. Dennoch konnte in diesem Experiment auch belegt werden, dass grundsätzlich die Kategorisierungsstrategie bei einer Benennaufgabe beeinflussbar ist. Dadurch dass in der zweiten Phase das gleiche Stimulusmaterial auf mehreren Ebenen kategorisiert werden musste, zeigten alle Vpn (d.h. sowohl die, die in der ersten Phase eine ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet hatten als auch die mit einer regelbasierten Strategie) VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese, also eine regelbasierte

Kategorisierungsstrategie. In der zweiten Phase konnte also für alle Vpn eindeutig eine regelbasierte Strategie induziert werden (vgl. Abb. III-3 und III-4).

Warum führte die Reduktion der Zahl der Kategorien in der ersten Phase nicht generell zu einer ähnlichkeitsbasierten Strategie bei allen Vpn? Die gewählte Manipulation basierte vor allem auf Überlegungen und Untersuchungen von Rouder und Ratcliff (2006). In ihrem Konzept wird die Kategorisierungsunsicherheit von Stimuli durch zwei Dimensionen definiert – einerseits die Zahl der Kategorien, andererseits die Überlappung von Eigenschaften der Stimuli mit Ziel- als auch Kontrastkategorien (und damit die Differenzierbarkeit). Da in diesem Experiment die gleichen Stimuli verwendet werden sollten wie in früheren Experimenten, musste in Kauf genommen werden, dass der zweite Aspekt nur bedingt erfüllt werden konnte. Die Reize sind von vorneherein so gestaltet, dass einzelne Merkmale der Stimuli unabhängig voneinander mit verschiedenen Kategorien überlappen. Das Merkmal ‚gestreift‘ ist gleichzeitig mit der Kategorie ‚gestreifte Katze‘ und der Kategorie ‚gestreifter Hund‘ assoziiert. Aufgrund der überlappenden Eigenschaften ist auch bei einer geringen Zahl von Kategorien die Zuordnung nicht trivial. Offensichtlich führte dies dazu, dass es selbst bei der Verwendung einer sehr geringen Zahl von Kategorien (vier untergeordnete Kategorien) schwierig war, diese Kategorien distinkt voneinander zu repräsentieren und / oder diese Repräsentationen zu nutzen, um eindeutige Entscheidungen über Kategoriezugehörigkeit zu treffen. Folglich war die ähnlichkeitsbasierte Strategie wohl nicht eindeutig die effizientere Strategie, so dass die Hälfte der Vpn stattdessen einer regelbasierten Strategie den Vorzug gab. Die zweite Phase erfüllte dagegen beide Kriterien für Kategorisierungsunsicherheit in stärkerem Maße. Generell war in der zweiten Phase die Zahl der Kategorien erhöht. Gleichzeitig waren identische Stimuli nun gleichzeitig mehreren Kategorien zugeordnet. Insgesamt war die Unterscheidbarkeit damit im Vergleich zur ersten Phase deutlich verringert. Diese Manipulation war folglich auch erfolgreicher. Alle Vpn zeigten VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese, gaben also einer regelbasierten Strategie den Vorzug.

Dieses Ergebnis ist ein eindeutiger Beleg für den Einfluss strategischer Effekte bei der visuellen Kategorisierung auf der basalen und untergeordneten Ebene. Zum einen belegt es, dass auch innerhalb ein und derselben Vp Strategien mit dem Aufgabenkontext variieren können, was bislang nur zwischen verschiedenen Vpn gezeigt werden konnte. Zum anderen entsprach die Aufgabe in Phase 2 exakt der Aufgabe in Experiment 1. In Experiment 1 konnten die Vpn jedoch flexibel die eine oder andere Strategie anwenden, im aktuellen

Experiment jedoch wurde eine eindeutige regelbasierte Strategie bei allen Vpn induziert. Durch die Einbettung der Aufgabe in einen kontrastierenden Kontext, konnte im aktuellen Fall die Strategie eindeutig beeinflusst werden.

Der Einfluss von Strategien zeigte sich auch im Zeitverlauf. Eine Analyse der VF-Effekte für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene über die Zeit zeigte interessanterweise, dass die Persistenz der regelbasierten Strategie in Phase 2 nicht zwangsläufig von Dauer ist. Diejenigen Vpn, die in der ersten Phase ähnlichkeitsbasiert kategorisiert hatten, verwendeten zwar zu Beginn der zweiten Phase eine regelbasierte Strategie. Am Ende der zweiten Phase jedoch zeigten alle diese Vpn wieder einen VF-Effekt im Sinne der ähnlichkeitsbasierten Strategie. Die in der ersten Phase gebildeten Exemplar-Repräsentationen waren also durchaus noch vorhanden und konnten im weiteren Verlauf des Experiments wieder zur Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene genutzt werden. Diejenigen Vpn, die bereits in der ersten Phase regelbasiert kategorisiert hatten, behielten diese Strategie kontinuierlich bei.

Dieser Befund kann gut durch die Hypothese von Rouder und Ratcliff (2006) erklärt werden. Sie nehmen an, dass Kategorisierungsunsicherheit deshalb eine regelbasierte Strategie induziert, weil die Repräsentationen für Exemplare nicht differenziert genug sind, so dass sie ausreichen, um eine klare Entscheidung über Kategoriezugehörigkeit zu treffen. Diejenigen Vpn, die in der ersten Phase VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese zeigten, müssen es jedoch geschafft haben, solche Repräsentationen zu bilden und zu nutzen. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass sie auch in der zweiten Phase nach einer gewissen Zeit, in der sie sich mit der Aufgabe vertraut machen konnten, diese wieder verwendeten. Die anderen Vpn, die durchgängig regelbasiert kategorisierten, haben es dagegen von Anfang an nicht geschafft, differenzierende Repräsentationen zu bilden oder diese effektiv für eine Entscheidung zu nutzen. Entsprechend ist es auch nicht überraschend, dass sie bei der noch komplexeren Aufgabe diese nicht plötzlich verwendeten.

Dass sich die Lateralisierung bei einem Teil der Vpn über die Zeit hinweg verändert, erklärt vermutlich auch den schwachen VF-Effekt in der Drei-Ebenen-Phase. Die Interaktion war zwar signifikant, jedoch verfehlte der Einzeleffekt sowohl für die basale als auch für die untergeordnete Ebene knapp das Signifikanzniveau. In Anbetracht der Tatsache, dass die Lateralisierung über die Zeit hinweg nicht konstant ist, ist dies nicht überraschend. Der Effekt

zeigt aber dennoch deutlich, dass es generell eine Veränderung in der Lateralisierung zwischen den beiden Phasen gab.

Auch in diesem Experiment stellt sich die Frage, ob die unterschiedlichen Muster der beobachteten VF-Effekte auch tatsächlich Ergebnis unterschiedlicher Kategorisierungsstrategien sind. Ähnlichkeitsbasiertes und regelbasiertes Kategorisieren unterscheiden sich generell in der Zeit, die sie beanspruchen. Das ähnlichkeitsbasierte Kategorisieren erfolgt relativ rasch, da die Merkmale der Stimuli parallel mit gespeicherten Repräsentationen verglichen werden. Die regelbasierte Kategorisierung braucht mehr Zeit, da die relevanten Merkmale des Stimulus seriell analysiert werden. Dies dauert umso länger, je mehr Teilschritte für eine erfolgreiche Kategorisierung erforderlich sind (vgl. Smith et al., 1998). Daher war eine zweite Hypothese, dass sich in Bedingungen, in denen eine regelbasierte Strategie angewendet wurde, höhere Reaktionszeiten zeigen, als in Bedingungen, in denen ähnlichkeitsbasiert kategorisiert wurde.

Ein erster Vergleich in dieser Hinsicht lässt sich zwischen den beiden post-hoc zugewiesenen Subgruppen, Gruppe R und Gruppe M, anstellen. Nach den Mustern der VF-Effekte zu schließen, verwendete Gruppe R in der Eine-Ebene-Phase eine ähnlichkeitsbasierte Strategie, Gruppe M dagegen eine regelbasierte. Generell sollte daher Gruppe R kürzere Reaktionszeiten aufweisen als Gruppe M. Auffälligerweise waren allerdings die Vpn, die VF-Effekte entsprechend der Repräsentationshypothese zeigten (Gruppe R), grundsätzlich langsamer und weniger akkurat als die Vpn, die VF-Effekte entsprechend der Merkmalshypothese zeigten (Gruppe M). Dies steht in deutlichem Gegensatz zu allen bisherigen Experimenten und den empirischen Befunden aus der Literatur. Im vorliegenden Fall gibt es jedoch guten Grund zu der Annahme, dass es sich um ein reines Stichprobenartefakt handelt, d.h. dass zufällig einige ungewöhnlich langsame Vpn die durchschnittliche Reaktionszeit der Gruppe R verlangsamt haben. Dafür spricht, erstens, dass der Unterschied in Reaktionszeiten zwischen Gruppe R und Gruppe M trotz seiner Größe nicht signifikant war. Zweitens zeichnete sich die Gruppe R durch eine außergewöhnlich hohe Gesamtvarianz aus (206 ms für die Eine-Ebene-Phase), die in der Gruppe M viel geringer war (66 ms) und die auch im Vergleich zu anderen Experimenten dieser Art außergewöhnlich hoch war. Der Vergleich zwischen den beiden Gruppen ist daher für die Fragestellung nicht aufschlussreich.

Deutlich aussagekräftiger sind Reaktionszeitunterschiede innerhalb einzelner Vpn. Da in diesem Experiment einzelne Vpn in verschiedenen Phasen des Experiments unterschiedliche Muster von VF-Effekten aufwiesen, lassen sich hier intraindividuelle Reaktionszeitunterschiede betrachten. Von besonderem Interesse ist hier der Übergang von der Eine-Ebene-Phase zur Drei-Ebene-Phase, da hier die Hälfte der Vpn einen Wechsel in der Richtung des VF-Effekts für untergeordnete Kategorisierungen aufwies (Gruppe R), die andere Hälfte jedoch nicht (Gruppe M). Falls ein Wechsel der Richtung des VF-Effekts mit einer Änderung in der Kategorisierungsstrategie einhergeht, sollte ausschließlich Gruppe R eine Verlangsamung in der Drei-Ebenen-Phase gegenüber der Eine-Ebene-Phase aufweisen, da sich bei dieser Gruppe die Richtung des VF-Effekts tatsächlich änderte. Gruppe M dagegen, die in beiden Phasen VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese zeigte, sollte keine Verlangsamung zwischen den beiden Phasen zeigen. Vergleicht man die Reaktionszeiten in der Eine-Ebene-Phase mit denen für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene im ersten Block der Drei-Ebenen-Phase, so zeigt sich tatsächlich, dass Gruppe R in der zweiten Phase um 43 *ms* im Vergleich zur ersten Phase verlangsamt war, obwohl die Aufgabe in beiden Phasen exakt identisch ist (vgl. Abb. III-5, A). In Gruppe M gab es dagegen nahezu keine Veränderungen in der Reaktionszeit zwischen den beiden Phasen, lediglich eine minimale Verlangsamung von 11 *ms* (vgl. Abb. III-5, B). Eine deutliche Verlangsamung in den Reaktionszeiten trat also nur bei denjenigen Vpn ein, bei denen ein Wechsel im Muster der VF-Effekte auftrat. Es muss allerdings eingeräumt werden, dass der Reaktionszeitunterschied in beiden Gruppen statistisch nicht signifikant war, jedoch zeigte sich ein deutlicher Trend in Gruppe R, $F(1, 7) = 2.11$, $p = .095$, während der Unterschied in Gruppe M weit entfernt von der Signifikanz war, $F(1, 7) = 0.13$, $p = .37$. Allerdings enthielt jede Gruppe lediglich acht Vpn und insbesondere in Gruppe R war, wie bereits gesagt, die interindividuelle Varianz in den Reaktionszeiten ausgesprochen hoch, was den statistischen Nachweis erschwert.

Für die lokale Bedingung zeigte sich wiederum kein signifikanter Effekt. In der Tendenz zeigte sich ein kleiner Vorteil der LH/RVF. Wie bereits im vorherigen Experiment ist anzunehmen, dass diese Aufgabe im Vergleich zu den hierarchischen Kategorisierungen unabhängig behandelt wurde und daher über spezifische Strategien erreicht wurde.

Zusammengenommen konnte also einerseits der Befund repliziert werden, dass in einer Benennung grundsätzlich ein gewisses Maß an Flexibilität in der Anwendung bestimmter Kategorisierungsstrategien vorherrscht und damit das spezifische Muster der Gehirnasymmetrien variieren kann. Gleichzeitig ist es durch die Manipulation der Zahl der verwendeten Kategorien durchaus gelungen, in einer Benennungsaufgabe eine bestimmte Strategie für alle Vpn zu induzieren und damit eine eindeutige Vorhersage über die zu erwartenden Gehirnasymmetrien machen zu können. Ein Problem bleibt allerdings, dass in den beiden Phasen nicht auf allen drei Ebenen kategorisiert werden musste. Zum einen heißt das, dass nur die Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene in den beiden Phasen verglichen werden konnten. Zum anderen bedeutet dies, dass in diesem Experiment im Grunde eine einfache einer hierarchischen Kategorisierungsaufgabe gegenübergestellt wurde. Es ist daher nicht auszuschließen, dass mit der einfachen Kategorisierung in der Eine-Ebene-Phase und der hierarchischen Kategorisierung in der Drei-Ebenen-Phase zwei qualitativ unterschiedliche Aufgaben verglichen wurden. Dieses Problem wurde in Experiment 3 aufgegriffen.

4 Experiment 3

Die Ergebnisse aus Experiment 2 haben gezeigt, dass sich grundsätzlich auch in einer Benennungsaufgabe, in der die Vpn normalerweise mit gleicher Wahrscheinlichkeit eine Ähnlichkeits- und eine regelbasierte Kategorisierungsstrategie anwenden, beeinflussen lässt, nach welcher Strategie die Vpn vorgehen und welche VF-Effekte auftreten. Erreicht wurde dies dadurch, dass in einer ersten Phase die Stimuli nur einer begrenzten Zahl von Kategorien zugeordnet werden mussten, in einer zweiten Phase dann jedoch einer größeren Zahl von Kategorien auf mehreren Ebenen.

Das Experiment weist aber auch einige Probleme auf. Zum einen ist es nicht gelungen, durch die Reduktion der Kategorienzahl eine Ähnlichkeitsbasierte Strategie bei allen Vpn zu erreichen. Damit konnte nur bei einem Teil der Vpn der ursprünglich intendierte Effekt beobachtet werden. Zum zweiten hatte das Design den Nachteil, dass in der Eine-Ebene-Phase im Grunde genommen keine hierarchische Kategorisierung verlangt war, sondern lediglich Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Die beiden Phasen sind daher möglicherweise nicht völlig vergleichbar. Offen bleibt damit aber auch, ob möglicherweise allein die Zahl der verwendeten Kategorien eine bestimmte Kategorisierungsstrategie

induziert, oder ob tatsächlich die Kategorisierungsunsicherheit (Rouder & Ratcliff, 2006) der wesentliche Einflussfaktor ist.

Ein erstes Ziel in Experiment 3 war daher, eine Aufgabe zu finden, bei der auch in der ersten Phase auf allen drei Ebenen kategorisiert wird, bei der aber dennoch von möglichst allen Vpn eine ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet wird. Um dies zu erreichen, wurde eine bereits bekannte Aufgabe gewählt: die Wort-Bild-Vergleichsaufgabe aus Studie I (Experiment 1). Nach den bisherigen Ergebnissen sollte diese Aufgabe eine ähnlichkeitsbasierte Kategorisierungsstrategie induzieren und damit VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese hervorrufen. Nach den bisherigen Überlegungen ist in einer solchen Aufgabe insofern die Kategorisierungsunsicherheit zwischen Stimuli und Kategorien gemildert, als dass in diesem Paradigma durch das zuerst dargebotene Wort bereits eine Repräsentation der Zielkategorie aktiviert werden kann. Stimmt der Stimulus dann damit überein, wird die Repräsentation der Zielkategorie zusätzlich aktiviert und es kann schnell und eindeutig eine Antwort gegeben werden. In dieser Aufgabe sollte daher eine ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet werden und es sollten sich daher VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese zeigen.

Die Aufgabe in der zweiten Phase blieb wiederum die gleiche wie in den vorigen Experimenten. Das heißt, es handelte sich um die Benennaufgabe, die schon in Experiment 1 und in der zweiten Phase des Experiments 2 verwendet wurde. In dieser Aufgabe kann keine Kategorie im Vorfeld aktiviert werden. Der Stimulus ist alleinige Grundlage für die Verarbeitung und auf dieser Grundlage muss eine Entscheidung über die Zuordnung zu einer bestimmten Kategorie getroffen werden. Die Gefahr einer Verwechslung ist hier ausgeprägter, da keine Unterstützung durch einen voraktivierenden Hinweis gegeben wird. Folglich sollte in Phase 2 einer regelbasierten Strategie der Vorzug gegeben werden und entsprechend sollten sich VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese zeigen. Im Gegensatz zu Experiment 2 war hier also die Zahl der Ebenen gleich, das Paradigma, in dem dies geschah jedoch verschieden.

Sollte die Vermutung richtig sein, dass eine wesentliche Ursache für den Wechsel von einer ähnlichkeits- zu einer regelbasierten Kategorisierungsstrategie darin liegt, dass die beiden Paradigmen in unterschiedlichem Maß Kategorisierungsunsicherheit aufweisen, sollte auch in diesem Fall ein Wechsel der Kategorisierungsstrategie von der ersten zur zweiten

Aufgabe stattfinden. Damit sollte dann ein entgegengesetztes Muster von VF-Effekten in den beiden Aufgaben sichtbar werden. So könnte gezeigt werden, dass der Wechsel in VF-Effekten in Experiment 2 nicht dadurch erklärbar ist, dass eine einfache einer hierarchischen Kategorisierungsaufgabe gegenübergestellt wurde, sondern dass der Wechsel durch das unterschiedliche Ausmaß an Kategorisierungsunsicherheit zustande kommt. Ist dagegen allein eine Zunahme der Zahl von Kategorien für den Strategiewechsel verantwortlich, sollte in diesem Experiment kein Wechsel im Muster der Gehirnasymmetrien nachweisbar sein.

Außerdem kann das Experiment als Ergänzung zu Studie I betrachtet werden. Hier waren ebenfalls eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe und eine Identifikationsaufgabe gegenübergestellt worden, allerdings in zwei unabhängigen Experimenten mit unterschiedlichen Vpn-Gruppen. Hier hatte sich gezeigt, dass tatsächlich das Muster der VF-Effekte in den beiden Aufgaben genau entgegengesetzt ist. Im aktuellen Fall könnte zusätzlich gezeigt werden, dass dieses Phänomen auch innerhalb ein und derselben Vp auftreten kann, je nachdem welche Aufgabe bearbeitet wird. Dies wäre ein zusätzlicher deutlicher Beleg für den Einfluss strategischer Effekte auf die Kategorisierung und damit verbundene Gehirnasymmetrien.

Finden sich tatsächlich entgegengesetzte Muster von VF-Effekten in den beiden Aufgaben und hängt dieser Effekt tatsächlich mit einem Wechsel der Kategorisierungsstrategie zusammen, so sollte sich dies auch in diesem Experiment nicht nur in einem Wechsel der Richtung der VF-Effekte zeigen, sondern auch in generellen Reaktionszeitunterschieden. Vor allem die Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene sollten bei einem Wechsel von einer Ähnlichkeits- zu einer regelbasierten Strategie abrupt verlangsamt sein.

4.1 Methode

Versuchspersonen

Acht Vpn (3 männlich, 5 weiblich; Durchschnittsalter: 23.4 Jahre) nahmen an diesem Experiment teil. Alle Teilnehmer waren Rechtshänder und wiesen einen normalen oder korrigierten Visus auf.

Versuchsaufbau und Reizmaterial

Die technische Ausstattung und die verwendeten Reize waren identisch zu denen in den bisherigen Experimenten. Es gab wiederum vier basale Kategorien, nämlich Hunde, Katzen, Pferde und Kühe, sowie eine Subgruppe von vier Exemplaren, nämlich gepunktete und gestreifte Hunde, sowie gepunktete und gestreifte Katzen. Da sich in Experiment 1 der Studie I gezeigt hatte, dass die spezifischen Tierformen für die Ergebnisse keine Rolle spielen, hatten alle Vpn die gleiche Kombination von Kategorien. Wie in den vorigen Experimenten gab es jedes Tier jeweils in vier Orientierungen, also insgesamt 64 Stimuli.

Wie das vorige Experiment 2 war dieses Experiment in zwei Phasen geteilt. In beiden Phasen war die Aufgabe der Vpn, die dargebotenen Reize auf einer von drei Kategorisierungsebenen zu klassifizieren. Die Stimuli und Kategorien waren demnach in beiden Phasen identisch. Allerdings war der Aufgabenkontext in den beiden Phasen verschieden. In der ersten Phase war eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe, identisch mit der in Experiment 1 der Studie I, verlangt. Das heißt, die Vpn bekamen zunächst ein Wort dargeboten, das das Objekt auf einer der drei Ebenen (basale Ebene, untergeordnete Ebene, lokales Muster) beschrieb. Anschließend wurde lateralisiert ein Bild eines Tieres gezeigt und die Vpn sollten per Tastendruck angeben, ob Wort und Bild übereinstimmten oder nicht. In der zweiten Aufgabe war dagegen eine Benennaufgabe verlangt, d.h. hier wurde zunächst durch einen Hinweisreiz die Zielebene, auf der das folgende Bild kategorisiert werden sollte, angegeben, dann folgte ein lateralisiert dargebotenes Tierbild und die Vpn sollten das Bild auf der verlangten Ebene benennen und ihre Antwort laut auszusprechen. Die Reaktion wurde durch ein Voicekey registriert.

Vorgehen

Das Experiment bestand aus zwei Phasen. In beiden Phasen sollten dargebotene Tierbilder auf drei Kategorisierungsebenen kategorisiert werden. In der ersten Phase, der *Vergleichsaufgabe*, wurde den Vpn in jedem Durchgang zunächst ein Wort dargeboten, das das Objekt auf einer der drei Kategorisierungsebenen beschrieb. Anschließend wurde ein Tierbild entweder im LVF oder RVF dargeboten und die Vpn sollten angeben, ob Bild und Wort zusammenpassten oder nicht. Es gab vier basale Kategorien (Hunde, Katzen, Pferde und Kühe), vier untergeordnete Kategorien (gestreifte und gepunktete Hunde, sowie gestreifte und gepunktete Katzen), sowie vier lokale Muster (Punkte, Streifen, Kreise und Sterne). Diese

erste Phase dauerte eine Stunde und enthielt acht Blöcke à 96 Durchgänge. In der zweiten Phase, der *Benennaufgabe*, mussten die Vpn die gleichen Bilder wiederum auf drei Kategorisierungsebenen benennen. Jede Ebene kam gleich häufig vor. Auch die zweite Phase dauerte eine Stunde, in der sechs Blöcke à 96 Durchgänge absolviert wurden. Die beiden Phasen fanden an zwei unterschiedlichen Tagen statt.

Vergleichsaufgabe: Im ersten Teil des Experiments mussten die Vpn Wörter, die die Objekte auf einer von drei Kategorisierungsebenen beschrieben, und Tierbilder vergleichen. Alle Faktoren, also die Kategorisierungsebene (basale Ebene, untergeordnete Ebene, lokale Muster), die Antwort (gleich oder verschieden), als auch das VF (LVF oder RVF), wurden innerhalb jeder Vp randomisiert.

Jeder Durchgang begann mit der Darbietung eines kurzen Wortes für 300 ms in der Mitte des Bildschirms. Das Wort beschrieb ein Objekt entweder auf der basalen Ebene, auf der untergeordneten Ebene oder ein lokales Muster. Gleichzeitig diente das Wort als Fixationspunkt. Die Vpn wurden angehalten, während des ganzen Experiments ihren Blick auf die Mitte des Bildschirms zu richten. Nach einem schwarzen Bildschirm von 500 ms wurde der Stimulus für 93 ms zufällig entweder im LVF oder RVF präsentiert. Die Vpn hatten die zwei Tasten einer Maus zur Verfügung, um anzugeben, ob Wort und Bild übereinstimmten oder nicht. Die Hand, mit der geantwortet wurde, als auch die Tastenbelegung wurden über alle Vpn hinweg balanciert. 1000 ms nach der Antwort wurde der nächste Hinweisreiz dargeboten.

Die Vpn führten zunächst einen Übungsblock durch, um mit der Aufgabe vertraut zu werden. Dann wurden acht Blöcke durchgeführt. Jeder Block umfasste 96 Durchgänge. Für jede Bedingung wurden in der *Vergleichsaufgabe* entsprechend 64 Beobachtungen erhalten.

Benennaufgabe: Die gleichen Vpn, die die *Vergleichsaufgabe* durchlaufen hatten, führten auch einen zweiten Teil des Experiments durch. Die Aufgabe entsprach genau der *Drei-Ebenen-Phase* aus Experiment 2. Die Vpn mussten die gleichen Stimuli aus der ersten Phase auf drei Kategorisierungsebenen benennen: Kategorisierung auf der basalen sowie auf der untergeordneten Ebene als auch eine Kategorisierung der lokalen Muster. Das heißt, die Aufgabe blieb im Grunde genau gleich wie in der ersten Phase, die Antwortmodalität änderte sich jedoch. Jetzt bekamen die Vpn zunächst einen Hinweisreiz, auf welcher Ebene der folgende Reiz kategorisiert werden sollte. Das anschließend lateralisiert dargebotene Bild

sollte dann einfach auf der angegebenen Ebene benannt und die Kategoriebezeichnung laut ausgesprochen werden. Die Reaktionsgeschwindigkeit wurde per Voicekey aufgezeichnet. In dieser zweiten Phase wurde die Kategorisierungsebene (basale Ebene, untergeordnete Ebene oder lokale Muster) manipuliert als auch das VF, in dem der Reiz dargeboten wurde (LVF oder RVF).

Jeder Durchgang begann mit der Darbietung eines Buchstabens für 300 *ms* in der Mitte des Bildschirms. Der Buchstabe diente gleichzeitig als Fixationspunkt und die Vpn wurden angehalten, während des ganzen Experiments ihren Blick auf die Mitte des Bildschirms zu richten. Der Buchstabe „T“ gab an, dass das folgende Bild auf der basalen Ebene kategorisiert werden sollte, der Buchstabe „E“ wies auf eine Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene hin. Der Buchstabe „L“ gab an, dass beim folgenden Bild lediglich das Muster benannt werden sollte. Nach einem schwarzen Bildschirm von 500 *ms* wurde der Stimulus für 93 *ms* zufällig entweder im LVF oder RVF präsentiert. Die Aufgabenreihenfolge war randomisiert. Die Vpn sprachen ihre Antwort laut aus und die Reaktionsgeschwindigkeit wurde über ein Voicekey registriert. Der VL dokumentierte die gegebene Antwort, indem er einen entsprechenden Code mittels Tastatur eingab. 1000 *ms* nach der Eingabe durch den VL wurde der nächste Hinweisreiz dargeboten.

Die Vpn absolvierten sechs Blöcke à 96 Durchgänge. Entsprechend ergaben sich somit 96 Beobachtungen für jede Bedingung.

4.2 Ergebnisse

Wie in Experiment 2 wurden die beiden Phasen getrennt ausgewertet. Zunächst werden die Ergebnisse aus der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe berichtet, anschließend die aus der Benennaufgabe.

4.2.1 Wort-Bild-Vergleichsaufgabe

Wie in Experiment 1 der Studie I wurden die ‚gleich‘- und ‚verschieden‘-Antworten separat ausgewertet. Die Mediane der Reaktionszeiten von korrekten ‚gleich‘-Antworten bzw. ‚verschieden‘-Antworten und die entsprechenden Fehlerraten wurden jeweils in eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung auf allen Faktoren eingegeben: *Kategorisierungsebene* (basale oder untergeordnete Ebene) und *Visuelles Feld* (LVF oder RVF). ‚Verschieden‘-Antworten wurden in einer separaten Analyse ausgewertet, da man nur

bei ‚gleich‘-Antworten sicher sein kann, dass die Reize vollständig auf der Zielebene kategorisiert wurden. Bei ‚verschieden‘-Antworten können verschiedene Ursachen zur Zurückweisung der Übereinstimmung geführt haben und diese Zurückweisungen sind außerdem abhängig von der Art des dargebotenen Distraktors. Die Bedingung, in der nur die lokale Textur verglichen werden sollte, wurde ebenfalls separat analysiert.

‚Gleich‘-Antworten

Reaktionszeiten. Die Analyse der Reaktionszeiten ergab keine signifikanten Effekte. Wie in Abb. III-6 zu sehen, waren die Reaktionen auf die basale Ebene (582 ms) etwas schneller als die auf die untergeordnete Ebene (618 ms), dieser Effekt war aber nicht signifikant, $F(1, 7) = 1.36$, $p = .28$. Was die VF-Effekte angeht, zeigte sich ein genereller Trend eines Vorteils für LVF-Stimuli für Kategorisierungen sowohl auf der basalen (10 ms) als auch der untergeordneten Ebene (13 ms) und damit keine Interaktion zwischen den Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld*, $F(1, 7) = .02$, $p = .90$.

Die Daten aus der lokalen Bedingung, in der nur die lokalen Texturen beurteilt werden sollten, wurden getrennt analysiert. Auch der VF-Effekt für diese Bedingung war nicht signifikant, $t(7) = 0.61$, $p = .28$.

Fehlerraten. Fehler wurden durchschnittlich in 4.98 % der Durchgänge gemacht. Es fand sich eine deutliche Tendenz für die zweifache Interaktion zwischen der *Kategorisierungsebene* und dem *visuellen Feld*. $F(1, 7) = 4.66$, $p = .06$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene waren etwas korrekter für Stimuli, die im RVF präsentiert wurden (1.73 %), während Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene etwas besser für Reize waren, die im LVF präsentiert wurden (1.34 %).

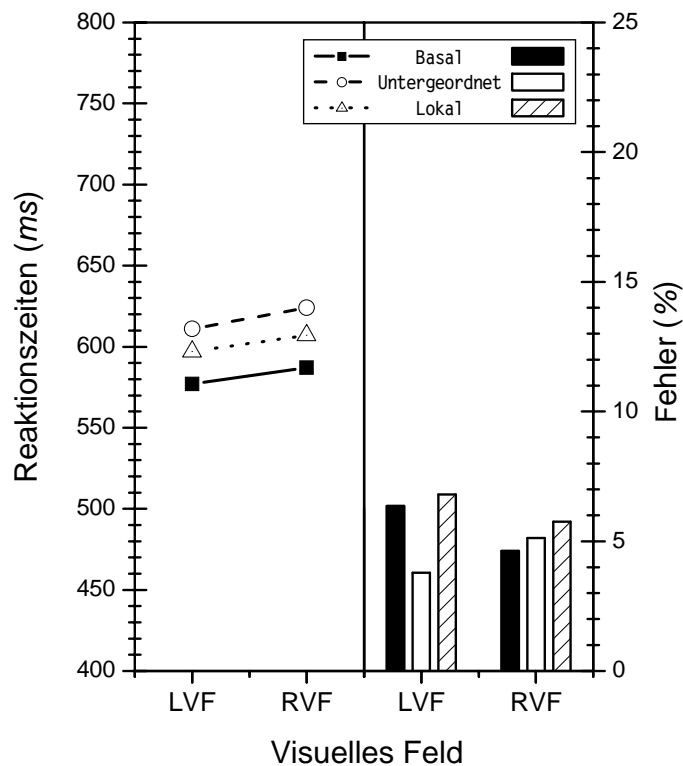


Abbildung III-6: Ergebnisse der ‚gleich‘-Antworten in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe in Experiment 3. Dargestellt sind Reaktionszeiten (Linien, linke Seite der Abbildung) und Fehlerraten (Balken, rechte Seite der Abbildung) für Kategorisierungen auf der basalen und untergeordneten Ebene sowie für die Kategorisierung der lokalen Texturen, jeweils getrennt für Darbietungen im LVF bzw. RVF.⁵

‚Verschieden‘-Antworten

Reaktionszeiten. Die Analyse der Reaktionszeiten (vgl. Abb. III-7, linke Seite) ergab einen Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 7) = 25.35$, $p < .01$. Korrekte Zurückweisungen auf der basalen Ebene waren schneller (620 ms) als die auf der untergeordneten Ebene (729 ms). Keine weiteren Effekte waren signifikant.

⁵ Da in diesem Experiment die intendierten Effekte hauptsächlich in den Fehlerraten nachweisbar waren, werden in den meisten der folgenden Abbildungen Reaktionszeiten und Fehlerraten in separaten Abbildungen dargestellt.

Die Daten aus der lokalen Bedingung, in der nur die lokalen Texturen beurteilt werden sollten, wurden getrennt analysiert. Es zeigte sich ein Vorteil für RVF-Stimuli für diese Bedingung (19 ms), der knapp signifikant war, $t(7) = 1.82, p = .06$.

Fehlerraten. Fehler (vgl. Abb. III-7, rechte Seite) wurden durchschnittlich in 11.93 % der Durchgänge gemacht. Es fand sich lediglich ein Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 7) = 26.73, p < .01$. Die Vpn machten weniger Fehler bei Vergleichsurteilen auf der basalen Ebene (3.91 %) als auf der untergeordneten Ebene (19.95 %). Für die lokale Bedingung fand sich ein kleiner Vorteil für RVF-Stimuli, der knapp signifikant war, $t(7) = 1.65, p = .07$.

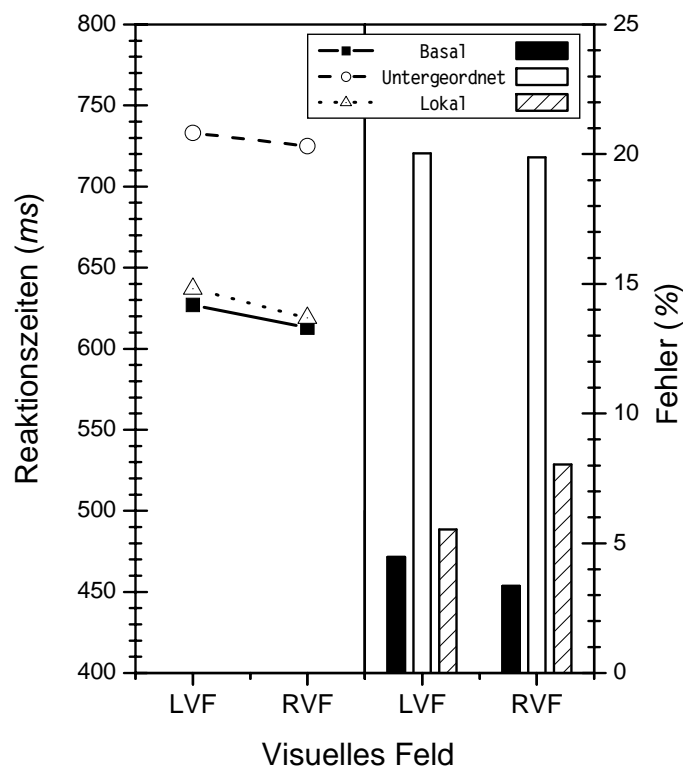


Abbildung III-7: Ergebnisse der 'verschieden'-Antworten in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe in Experiment 3. Dargestellt sind Reaktionszeiten (Linien, linke Seite der Abbildung) und Fehlerraten (Balken, rechte Seite der Abbildung) für Kategorisierungen auf der basalen und untergeordneten Ebene sowie für die Kategorisierung der lokalen Texturen, jeweils getrennt für Darbietungen im LVF bzw. RVF.

Subanalyse der ‚verschieden‘-Antworten auf der untergeordneten Ebene

Das vorliegende Experiment war so gestaltet, dass der Distraktor bei ‚verschieden‘-Antworten für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene sich immer nur auf einer Dimension unterschied (z.B. war die globale Form verschieden), aber auf der anderen Dimension überlappte (z.B. war die lokale Textur die gleiche). Wenn der Hinweisreiz z.B. den gestreiften Hund ankündigte, konnte der Distraktor beispielsweise entweder eine gestreifte Katze (Unterschied in der globalen Form) oder ein gepunkteter Hund sein (Unterschied im lokalen Muster). Dieses Vorgehen erlaubt eine Analyse der Daten in Abhängigkeit des spezifischen Distraktors. Um zu sehen, ob die Merkmalsebene, auf der der Unterschied auftrat, eine Auswirkung auf VF-Effekte hat, wurden die ‚verschieden‘-Antworten für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene in dieser Hinsicht analysiert.

Dazu wurden die Mediane der Reaktionszeiten und Fehlerraten jeweils in eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen auf den Faktoren *Ebene des Unterschieds* (globale Form oder lokales Muster) und *visuelles Feld* eingegeben.

Reaktionszeiten. Die Analyse der Reaktionszeiten (vgl. Abb. III-8) ergab eine ausgeprägte Interaktion zwischen der Art des Distraktors und dem Visuellen Feld. Eine Ablehnung aufgrund der globalen Form erfolgte schneller, wenn der Reiz im LVF dargeboten wurde als wenn er im RVF präsentiert wurde (71 ms). Dagegen erfolgte eine Ablehnung aufgrund des Musters schneller, wenn der Reiz im RVF dargeboten wurde als im LVF (90 ms). Dieser Effekt erreichte allerdings nicht ganz das Signifikanzniveau, $F(1, 7) = 3.51, p = .10$.

Fehlerraten. Die Analyse der Fehlerraten zeigt das gleiche Muster wie das in den Reaktionszeiten. Auch hier erfolgte eine Ablehnung aufgrund der globalen Form etwas fehlerfreier für LVF-Stimuli als für RVF-Stimuli (1.5 %) und umgekehrt erfolgte die Ablehnung aufgrund des Musters schneller, wenn der Reiz im RVF dargeboten wurde als im LVF (1.74 %). Diese Interaktion war aber weit entfernt von der Signifikanz $F(1, 7) = 0.15, p = .71$.

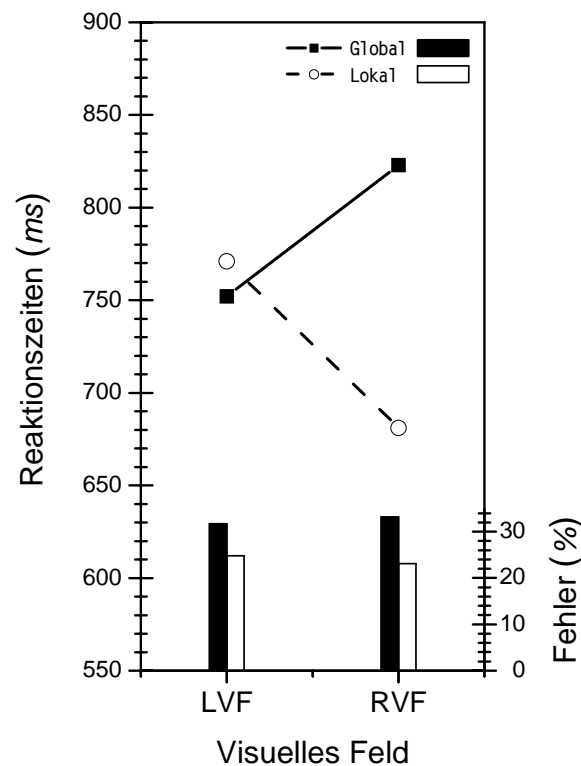


Abbildung III-8: Reaktionszeiten (Linien) und Fehlerraten (Balken) für die Subanalyse der ‚verschieden‘-Antworten auf der untergeordneten Ebene in Experiment 3: Ablehnungen von Vergleichen auf der untergeordneten Ebene in Abhängigkeit von der Art des Distraktors (d.h. Unterschied auf der globalen oder der lokalen Ebene), jeweils getrennt dargestellt für Darbietungen im LVF bzw. RVF (siehe Text für Details).

4.2.2 Benennaufgabe

Nun wurden die Ergebnisse der an die Wort-Bild-Vergleichsaufgabe anschließenden Benennaufgabe analysiert. Die Methode entsprach genau derjenigen aus Experiment 1 bzw. dem zweiten Teil des Experiment 2.

Die Mediane der Reaktionszeiten in der Benennaufgabe sowie die entsprechenden durchschnittlichen Fehlerraten wurden jeweils in eine zweifaktorielle ANOVA eingegeben mit den innerhalb der Vpn variierten Faktoren *Kategorisierungsebene* (basale Ebene oder untergeordnete Ebene) und *Visuelles Feld* (LVF oder RVF). Da der Fokus der vorliegenden

Studie die Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene ist, wurde die Kategorisierung der lokalen Muster separat analysiert.

Reaktionszeiten. Die Analyse ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 7) = 25.83$, $p < .001$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene (749 ms) erfolgten schneller als solche auf der untergeordneten Ebene (925 ms). Die beiden Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld*, interagierten nicht, $F(1, 7) = 0.79$, $p = .40$. Wie man in Abb. III-9 allerdings sehen kann, gab es zwar keinen VF-Effekt für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene, aber durchaus einen Vorteil bei Kategorisierungen auf der basalen Ebene für Reize, die im LVF gezeigt wurden gegenüber solchen, die im RVF gezeigt wurden (12 ms). Dieser einfache VF-Effekt war signifikant, $t(7) = 2.36$, $p < .05$. Für lokale Muster waren die Reaktionszeiten für beide Visuelle Felder gleich schnell.

Fehlerraten. Fehler traten durchschnittlich in 4.18 % der Fälle auf. Es zeigte sich ein Haupteffekt des Faktors *Kategorisierungsebene*, $F(1, 7) = 24.14$, $p < .01$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene waren akkurater (1.86 %) als solche auf der untergeordneten Ebene (6.50 %). Zudem zeigte sich eine hoch signifikante Interaktion der Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Visuelles Feld*, $F(1, 7) = 26.16$, $p < .01$. Kategorisierungen auf der basalen Ebene waren etwas akkurater für LVF-Stimuli als für RVF-Stimuli (1.07 %). Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene waren dagegen genauer, wenn die Reize im RVF präsentiert wurden als im LVF (3.01 %). Der einfache VF-Effekt für die untergeordnete Ebene war signifikant, $t(7) = 3.53$, $p < .01$, derjenige für die globale Ebene verfehlte knapp das Signifikanzniveau, $t(7) = 1.53$, $p < .09$.

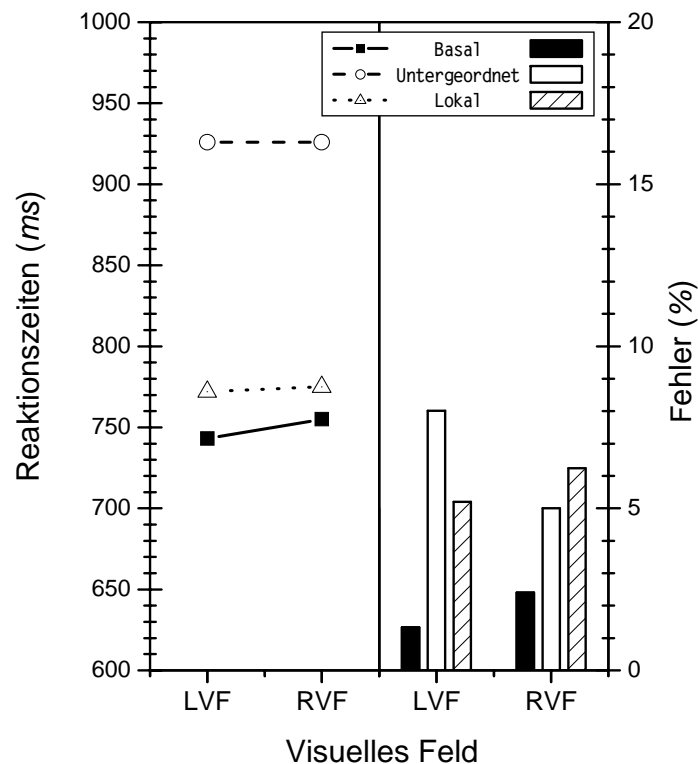


Abbildung III-9: Ergebnisse der Benennaufgabe in Experiments 3: Reaktionszeiten (Linien, linke Seite der Abbildung) und Fehlerraten (Balken, rechte Seite der Abbildung) für Kategorisierungen auf der basalen und untergeordneten Ebene, sowie der lokalen Muster, separat dargestellt für Darbietungen im LVF bzw. RVF.

4.2.3 Vergleich der Vergleichs- und Benennaufgabe

Um nachzuweisen, dass sich die VF-Effekte in den beiden Aufgaben tatsächlich bedeutsam voneinander unterscheiden, wurden die Ergebnisse der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe und der Benennaufgabe in einer ANOVA direkt gegenüber gestellt. Dazu wurden die Mediane der Reaktionszeiten sowie die Fehlerraten der ‚gleich‘-Antworten aus der Vergleichsaufgabe und die entsprechenden Daten der Benennaufgabe in eine gemeinsame ANOVA eingegeben mit den Faktoren *Kategorisierungsebene* (basale oder untergeordnete Ebene), *Visuelles Feld* (LVF oder RVF) und *Aufgabe* (Vergleichsaufgabe oder Benennaufgabe).

Reaktionszeiten. Die Analyse erbrachte einen Haupteffekt für den Faktor *Aufgabe*, $F(1, 7) = 56.29$, $p < .001$. Die Vpn waren grundsätzlich schneller in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe (600 ms) als in der Benennaufgabe (837 ms). Der Faktor *Aufgabe* interagierte aber ebenfalls mit dem Faktor *Kategorisierungsebene*, $F(1, 7) = 23.58$, $p < .01$. Der Reaktionszeitunterschied für Kategorisierungen auf der basalen gegenüber der untergeordneten Ebene war in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe (582 vs. 618 ms) deutlich kleiner als in der Benennaufgabe (749 vs. 925 ms). Die für die Fragestellung interessante Interaktion von *Kategorisierungsebene* und *Visuellem Feld* interagierte nicht mit dem Faktor *Aufgabe*, $F(1, 7) = 0.67$, $p = .440$.

Fehlerraten. Die Analyse der Fehlerraten erbrachte zunächst ebenfalls eine zweifache Interaktion der Faktoren *Kategorisierungsebene* und *Aufgabe*, $F(1, 7) = 9.96$, $p < .05$. In den Fehlerraten war es sogar so, dass in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe Kategorisierungen auf der basalen Ebene etwas fehlerhafter waren als die auf der untergeordneten Ebene (5.50 % vs. 4.46 %), in der Benennaufgabe war dagegen die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene deutlich fehlerhafter als die auf der basalen Ebene (1.86 % vs. 6.50 %). Als wichtigster Befund fand sich jedoch eine hoch signifikante Interaktion aller drei Faktoren *Kategorisierungsebene*, *Visuelles Feld* sowie *Aufgabe*, $F(1, 7) = 19.60$, $p < .01$. Der VF-Effekt war in den beiden Aufgaben genau entgegengesetzt.⁶

4.3 Diskussion

Im Gegensatz zu den vorigen Experimenten zeigten sich in diesem Experiment die wesentlichen und konsistentesten Ergebnisse in den Fehlerraten. Warum dies so ist, ist unklar.

⁶ Da die Ergebnisse aus Experiment 2 gezeigt hatten, dass die Vpn insbesondere in der Benennaufgabe ihre Kategorisierungsstrategie verändern können, wurden auch die Daten aus der Benennphase in Experiment 3 blockweise analysiert. Dazu wurde (wie in Experiment 2) die Benennaufgabe in 3 Blöcke aufgeteilt. Tatsächlich wurde die dreifache Interaktion der Faktoren *Kategorisierungsebene*, *VF* und *Block* sowohl in den Reaktionszeiten signifikant, $F(2, 14) = 4.69$, $p < .05$, als auch in den Fehlerraten, $F(1, 7) = 4.38$, $p < .05$. Eine Aufschlüsselung dieser Daten zeigte aber, dass diese Interaktionen keine Veränderungen im generellen Muster der VF-Effekte widerspiegeln, sondern lediglich die Tatsache, dass die VF-Effekte nur in bestimmten Blöcken deutlich ausgeprägt waren. In den Reaktionszeiten erreichte der VF-Effekt lediglich im dritten Block das Signifikanzniveau, $F(1, 7) = 10.35$, $p < .05$, nicht dagegen in den Blöcken 1, $F(1, 7) = 3.50$, $p = .103$, und 2, $F(1, 7) = 2.61$, $p = .151$. In den Fehlerraten waren die VF-Effekte dagegen sowohl im ersten Block, $F(1, 7) = 13.75$, $p < .01$, als auch im zweiten Block, $F(1, 7) = 9.29$, $p < .05$, signifikant, nicht aber im dritten Block, $F(1, 7) = 1.04$, $p = .34$. Insgesamt kann man daher in diesem Experiment durchaus von einer Stabilität im Muster der VF-Effekt sprechen.

Es kann sich aber nur um ein Stichprobenartefakt handeln, da beide Aufgaben schon in früheren Experimenten verwendet wurden und VF-Effekte in den Reaktionszeiten nachweisbar waren. Auch in anderen Studien sind allerdings VF-Effekte manchmal in Reaktionszeiten und manchmal in Fehlerraten gefunden worden (z.B. Marsolek & Burgund, 2003). Eine Zusammenschau aus beiden Maßen lässt allerdings auch in diesem Experiment eine relativ klare Interpretation zu.

In der ersten Phase des Experiments, der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe, war das Ziel, durch diese spezifische Kategorisierungsaufgabe die Vpn zu einer ähnlichkeitsbasierten Strategie anzuregen und entsprechend VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese nachzuweisen. Dies gelang mit sehr deutlichem Trend zumindest in den Fehlerraten (vgl. Abb. III-6). Hier zeigte sich eine knapp signifikante Interaktion zwischen Kategorisierungsebene und VF in der erwarteten Richtung. In den Reaktionszeiten dagegen zeigte sich lediglich für die untergeordnete Ebene der erwartete Effekt, für die basale Ebene wies der VF-Effekte in die entgegengesetzte Richtung. Das Bild weist insgesamt mehr Ähnlichkeit mit dem der Repräsentationshypothese auf und auch alle weiteren Effekte in diesem Experiment zeigten sich fast ausschließlich in den Fehlerraten, daher kann der schwache Effekt vermutlich auf die geringe Anzahl an Vpn zurückgeführt werden.

Die Wort-Bild-Vergleichsaufgabe hat die Eigenschaft, dass die Kategorisierungsunsicherheit dadurch gemildert wird, dass die Zielkategorie bereits voraktiviert wird. Erscheint dann der Zielreiz, führt dies zu einer zusätzlichen Aktivierung der Kategorierepräsentation und damit zu einer eindeutigen Entscheidung. Dies ist bei einer Identifikationsaufgabe nicht gegeben. Hier muss die jeweilige Kategorie allein aufgrund der visuellen Information des Zielreizes bestimmt werden. Die Kategorisierungsunsicherheit ist deshalb erhöht. Nach Rouder und Ratcliff (2006) sollte daher in diesem Fall einer regelbasierten Kategorisierungsstrategie der Vorzug gegeben werden. Die zweite Phase des Experiments, die Benennaufgabe, zeigte tatsächlich auch ein relativ eindeutiges Bild (vgl. Abb. III-9). In der Benennaufgabe zeigten sich VF-Effekte, wie sie von der Merkmalshypothese vorhergesagt werden, d.h. ein Vorteil der RH/LVF für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein Vorteil der LH/RVF für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Die entsprechende Interaktion war zumindest in den Fehlern höchst signifikant und zeigte keine gegenteiligen Effekte in den Reaktionszeiten. Eine direkte

Gegenüberstellung der beiden Aufgaben hinsichtlich der Gehirnasymmetrien erbrachte in den Fehlerraten eindeutig, dass das Muster in den beiden Aufgaben unterschiedlich ist.

Die Ergebnisse bestätigen damit einerseits wiederum, dass sich die Kategorisierungsstrategie durch geeignete Manipulationen der Aufgabe beeinflussen lassen und sich damit auch das spezifische Muster an VF-Effekten vorhersagen lässt. Außerdem belegt das Experiment die Bedeutung der Kategorisierungsunsicherheit für die Induzierung einer spezifischen Strategie. Da in beiden Phasen des Experiments die gleiche Zahl von Stimuli und Kategorien vorkamen und auf allen drei Ebenen kategorisiert werden mussten, kann ausgeschlossen werden, dass lediglich die Zahl der Kategorien für die Induktion einer bestimmten Strategie verantwortlich ist. Die Zahl hat offensichtlich nur deshalb einen Einfluss, weil sie mit der Kategorisierungsunsicherheit in Zusammenhang steht.

Dass sich die Richtung der VF-Effekte in den beiden Aufgaben unterscheidet, kann wiederum gut im Sinne einer ähnlichkeitsbasierten und einer regelbasierten Strategie erklärt werden. Wie in den vorigen Experimenten zeigten sich die zu erwartenden Reaktionszeitunterschiede in den beiden Aufgaben: Die Vpn waren in der Benennaufgabe deutlich langsamer und fehlerhafter als in der Vergleichsaufgabe und diese Unterschiede zwischen den beiden Phasen waren besonders deutlich ausgeprägt für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene (307 ms) im Gegensatz zu denen auf der basalen Ebene (167 ms). Gäbe es einen reinen Antwortmodalitätseffekt, sollte sich die Verlangsamung auf beide Ebenen ähnlich auswirken. Dass der Effekt aber vor allem auf der untergeordneten Ebene auftrat, lässt sich gut mit der Annahme erklären, dass in der Vergleichsaufgabe ein paralleler Abgleich von Repräsentationen erfolgte, in der Benennaufgabe dagegen eine serielle Prüfung der diagnostischen Merkmale in Hinsicht dessen, ob die Regel erfüllt ist (vgl. Smith & Allen, 1998).

Obwohl insgesamt mit den wenigen Vpn nicht eindeutig repliziert werden konnte, dass bei einer Wort-Bild-Vergleichsaufgabe VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese auftreten, so konnte doch ein interessanter Effekt aus Experiment 1 der Studie I nochmals repliziert werden. Auch hier zeigte die Subanalyse der ‚verschieden‘-Antworten auf der untergeordneten Ebene einen erheblichen Einfluss des Distraktors auf die Richtung der beobachteten VF-Effekte. Eine Zurückweisung eines Vergleichs aufgrund von Unterschieden in der globalen Form erfolgte deutlich schneller, wenn der Reiz im LVF/RH dargeboten

wurde, eine Zurückweisung aufgrund lokaler Merkmale dagegen deutlich schneller, wenn der Reiz im RVF/LH gezeigt wurde. Dies bestätigt nochmals eindrücklich, dass auch bei einer Wort-Bild-Vergleichsaufgabe, die üblicherweise basierend auf Repräsentationen gelöst wird, die Verarbeitung globaler und lokaler Information in bestimmten Subprozessen relevant und dominant sein kann.

In der lokalen Bedingung, in der lediglich die Muster erkannt werden mussten, zeigten sich in beiden Aufgaben keine reliablen VF-Effekte. Die lokale Bedingung scheint auch in diesem Experiment als relativ unabhängige Aufgabe betrachtet worden zu sein, die über verschiedene Strategien lösbar ist.

5 Zwischendiskussion

Die Ergebnisse der Studie I hatten gezeigt, dass das spezifische Muster der VF-Effekte, das sich für die visuelle Kategorisierung von natürlichen Stimuli auf der basalen und der untergeordneten Ebene nachweisen lässt, von der Aufgabe abhängt. In einer Wort-Bild-Vergleichsaufgabe fand sich ein Vorteil der LH/RVF für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein Vorteil der RH/LVF für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Genau das entgegengesetzte Muster fand sich dagegen in einer Identifikationsaufgabe.

Offensichtlich erfolgen die Kategorisierungen in den beiden Aufgaben über unterschiedliche Mechanismen. Das Muster in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe entspricht den Vorhersagen der *Repräsentationshypothese*. Hier wird davon ausgegangen, dass basale Kategorisierungen dadurch erreicht werden, dass die visuelle Information mit relativ abstrakten Form-Repräsentationen in der LH abgeglichen wird. Für die untergeordnete Kategorisierung wird dagegen die visuelle Information mit spezifischen Form-Repräsentationen in der RH abgeglichen (Marsolek, 1999). Das Muster in der Identifikationsaufgabe entspricht dagegen den Vorhersagen der *Merkmalshypothese*. Entsprechend dieser Hypothese wird davon ausgegangen, dass für basale Kategorisierungen die Aufmerksamkeit auf die globale Form des Stimulus gerichtet wird, deren Verarbeitung effizienter von der RH geleistet wird. Für untergeordnete Kategorisierungen wird die Aufmerksamkeit dagegen auf lokale Details gerichtet, wofür die LH einen Vorteil aufweist (Hübner & Studer, im Druck; Large & McMullen, 2006). Beide Hypothesen sagen daher eine

Interaktion von Kategorisierungsebene und dem VF, in dem der Reiz präsentiert wird, voraus – allerdings jeweils in genau entgegengesetzter Richtung.

Die Tatsache, dass die VF-Effekte in den beiden Aufgaben durch verschiedene Mechanismen erklärt werden können, legte die Interpretation nahe, dass die Kategorisierung in den beiden Aufgaben über verschiedene Strategien erfolgt ist. In der Literatur zu multiplen Kategorisierungsstrategien (z.B. Smith et al., 1998) wird insbesondere eine ähnlichkeitsbasierte von einer regelbasierten Strategie unterschieden. Im ersten Fall erfolgt die Kategorisierung über einen impliziten Abgleich der Repräsentation des visuellen Stimulus mit einer gespeicherten Repräsentation. Im zweiten Fall wird der Stimulus dahingehend analysiert, ob seine Eigenschaften einer Zuordnungsregel entsprechen. Die deutlichen konzeptuellen Überlappungen zwischen Repräsentationshypothese bzw. Merkmalshypothese einerseits und der ähnlichkeitsbasierten bzw. regelbasierten Strategie andererseits, legt einen engen Zusammenhang zwischen den beiden Mechanismen nahe.

Das Ziel der Studie II bestand vor allem darin, die Bedingungen bzw. die spezifischen Eigenschaften einer Aufgabe genauer zu spezifizieren, die bewirken, dass bestimmte Kategorisierungsstrategien angewendet werden und sich entsprechende Muster von VF-Effekten nachweisen lassen. Aufgrund des postulierten Zusammenhangs zwischen Kategorisierungsstrategien und dem zu erwartenden Muster der VF-Effekte bestand der experimentelle Ansatz für Studie II darin, durch geeignete Manipulationen der jeweiligen Kategorisierungsaufgabe eine regelbasierte oder eine ähnlichkeitsbasierte Strategie zu induzieren. Die Induktion einer regelbasierten Strategie sollte sich dann in VF-Effekten entsprechend der Merkmalshypothese niederschlagen, die Induktion einer ähnlichkeitsbasierten Strategie in VF-Effekten entsprechend der Repräsentationshypothese.

In Experiment 1 wurde zunächst eine Identifikationsaufgabe verwendet, wie sie in ähnlicher Form bereits in Studie I (Experiment 2) zur Anwendung kam. Das heißt, es wurden Stimuli gezeigt, die anschließend auf der basalen oder der untergeordneten Ebene klassifiziert werden sollten. Im Gegensatz zu dem Experiment in Studie I sollten die Objekte jedoch benannt werden. Auf diese Weise sollte zunächst geprüft werden, ob generell eine Identifikationsaufgabe eine regelbasierte Kategorisierung der hier verwendeten Stimuli bedingt und damit generell VF-Effekte entsprechend der Merkmalshypothese auftreten. In der Benennaufgabe fanden sich aber sowohl VF-Effekte entsprechend der Merkmalshypothese als

auch der Repräsentationshypothese (vgl. Abb. III-2). Beide Muster von VF-Effekten waren über die Vpn hinweg gleich häufig vertreten. Die Daten zeigen also, dass allein die allgemeine Aufgabenstellung, Objekte zu identifizieren, kein Garant für die Anwendung einer regelbasierten Kategorisierungsstrategie ist.

In einer Benennaufgabe können also offensichtlich beide Strategien angewendet werden. Gibt es dennoch Möglichkeiten, eine Benennaufgabe so zu gestalten, dass eine eindeutige Strategie induziert wird und damit ein bestimmtes Muster an VF-Effekten nachweisbar ist? In Experiment 2 wurde dazu die Zahl der verwendeten Kategorien manipuliert. In einer ersten Phase mussten die Stimuli lediglich in vier Kategorien auf der untergeordneten Ebene eingeordnet werden. In der zweiten Phase musste eine größere Zahl von Stimuli dann auf drei Ebenen kategorisiert werden. Die zweite Phase entsprach also exakt der Aufgabe in Experiment 1. Diese Manipulation sollte Einfluss auf die Kategorisierungsunsicherheit (Rouder & Ratcliff, 2006) haben. Bei einer hohen Zahl von Kategorien und zugehörigen Stimuli ist die Unsicherheit über die Zuordnung von Stimuli zu den jeweiligen Zielkategorien im Vergleich zu einer geringen Zahl von Kategorien erhöht, da es grundsätzlich mehr potenzielle Kontrastkategorien gibt, die berücksichtigt werden müssen. Deshalb wird einer regelbasierten Strategie der Vorzug gegeben. Folglich sollten in der ersten Phase (geringe Zahl von Kategorien) VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese auftreten. In der zweiten Phase (große Zahl von Kategorien und hohe Überlappung mit Ziel- und Kontrastkategorien) dagegen VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese. Auch in Experiment 2 konnte die Hypothese allerdings nur teilweise bestätigt werden. Auch bei einer geringen Zahl von Kategorien wurde offensichtlich nicht von allen Vpn eine ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet. Wiederum die Hälfte der Vpn zeigte in dieser Phase einen LVF/RH-Vorteil (Repräsentationshypothese), die andere Hälfte einen RVF/LH-Vorteil (Merkmalshypothese; vgl. Abb. III-5). In der zweiten Phase jedoch war die Manipulation erfolgreich: Eine abrupte Erhöhung der Kategorienzahl führte zu einer eindeutigen Festlegung der Strategie bei allen Vpn. Bei allen Vpn zeigten sich VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese, d.h. ein LVF/RH-Vorteil für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein RVF/LH-Vorteil für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Das heißt es wurde generell der regelbasierten Strategie der Vorzug gegeben (vgl. Abb. III-5).

Ein Nachteil der Manipulation in Experiment 2 ist, dass sich die Aufgaben in den beiden Phasen qualitativ unterscheiden, d.h. es wird eine einfache horizontale mit einer

hierarchischen Kategorisierung verglichen. Außerdem lassen sich ausschließlich die Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene in beiden Experimentphasen vergleichen. In Experiment 3 wurden deshalb eine Vergleichs- und eine Benennaufgabe direkt verglichen. Das heißt, die Vpn erfüllten in einer ersten Phase eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe und in der zweiten Phase wiederum eine Benennaufgabe. In beiden Phasen wurden die gleichen Stimuli auf allen drei Ebenen kategorisiert. Die Vergleichsaufgabe ist dem Priming ähnlich und weist eine geringere Kategorisierungsunsicherheit auf als die Benennaufgabe. Daher sollte in diesem Fall über die ähnlichkeitsbasierte Strategie kategorisiert werden und VF-Effekte entsprechend der Repräsentationshypothese auftreten. In einer Benennaufgabe ist die Kategorisierungsunsicherheit vergleichsweise hoch. Daher sollte in der zweiten Phase zu einer regelbasierten Strategie gewechselt werden und VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese auftreten. Zwar fanden sich die erwarteten Ergebnisse in diesem Experiment lediglich in den Fehlerraten, es zeigten sich jedoch genau die erwarteten VF-Effekte. In der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe zeigte sich ein RVF/LH-Vorteil für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein LVF/RH-Vorteil für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene (Repräsentationshypothese; vgl. Abb. III-6). Genau umgekehrt war das Muster in der anschließenden Benennaufgabe (Merkmalshypothese; vgl. Abb. III-9). Der VF-Effekt in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe wurde allerdings nur knapp signifikant, während derjenige in der anschließenden Benennaufgabe sehr deutlich signifikant war. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Stichprobe in diesem Experiment relativ klein war, was die Power für die Detektion statistisch bedeutsamer Effekte einschränkt.

Offensichtlich haben Variationen des Aufgabenkontextes erheblichen Einfluss auf das beobachtete Muster der VF-Effekte. Interpretiert wird dies so, dass der Aufgabenkontext die jeweilige Kategorisierungsstrategie beeinflusst. Um die Ergebnisse jedoch überhaupt im Sinne multipler Strategien interpretieren zu können, ist es notwendig zu zeigen, dass überhaupt regelbasierte und ähnlichkeitsbasierte Strategien in den verschiedenen Aufgaben und bei verschiedenen Vpn zur Anwendung kamen. Dies ist nachweisbar über generelle Reaktionszeitunterschiede, insbesondere für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Da es sich bei der regelbasierten Kategorisierung um einen seriellen Prozess handelt, benötigt die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene bei dieser Strategie mehr Zeit als bei einer ähnlichkeitsbasierten Strategie (Allen & Brooks, 1991; Smith & Kemler, 1984). In allen drei Experimenten wurden Hinweise für diese Reaktionszeitunterschiede gefunden, die

mit den jeweiligen Mustern an VF-Effekten assoziiert sind. Die regelbasierte Strategie geht immer (wenn auch mehr oder weniger ausgeprägt) mit einer Verlangsamung insbesondere der Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene einher. In Experiment 1 waren in exakt der gleichen Aufgabe diejenigen Vpn verlangsamt, die VF-Effekte im Sinne der Merkmals-hypothese aufwiesen (vgl. Abb. III-2). In Experiment 2 wechselte ein Teil, in Experiment 3 alle Vpn von VF-Effekten im Sinne der Repräsentationshypothese zu VF-Effekten im Sinne der Merkmalshypothese. In beiden Experimenten zeigte sich dieser Effekt ebenfalls in einer Verlangsamung der Reaktionszeiten (vgl. Abb. III-5, A bzw. Abb. III-6 und III-9). Vpn die in Experiment 2 keinen Wechsel der VF-Effekte aufwiesen, wiesen auch keine generellen Reaktionszeitunterschiede auf (vgl. Abb. III-5, B).

Die Experimente der Studie II belegen damit den vermuteten Zusammenhang zwischen einer regelbasierten Kategorisierungsstrategie und der Merkmalshypothese sowie zwischen einer ähnlichkeitsbasierten Kategorisierungsstrategie und der Repräsentationshypothese. Manipulationen, die die Anwendung bestimmter Strategien beeinflussen, haben gleichzeitig Einfluss auf das Muster der beobachteten VF-Effekte.

Die Ergebnisse bestätigen zudem die besondere Rolle der Kategorisierungsunsicherheit (Rouder & Ratcliff, 2006) als Bedingung für die Anwendung bestimmter Strategien. Diese ist besonders ausgeprägt, wenn Stimuli einer großen Zahl von Kategorien zugeordnet werden müssen und wenn die Differenzierbarkeit der Stimuli schwierig ist. In diesem Fall wird einer regelbasierten Kategorisierungsstrategie der Vorzug gegeben. Als Ursache wird angenommen, dass sich unter dieser Bedingung keine gut differenzierten Repräsentationen (also Prototypen oder Exemplare) bilden lassen, die eine eindeutige Kategorisierung erlauben. Die vorliegenden Experimente waren darauf angelegt, genau diesen Faktor zu manipulieren. Es konnte gezeigt werden, dass dieser tatsächlich eine bedeutsame Rolle für die jeweils angewendete Kategorisierungsstrategie spielt. Eine Variation der Kategorisierungsunsicherheit einerseits durch die Zahl der verwendeten Kategorien, andererseits durch die Gegenüberstellung bestimmter Aufgabentypen hatte sowohl Einfluss auf das beobachtete Muster von VF-Effekten als auch auf generelle Reaktionszeitunterschiede.

Insgesamt belegen die Experimente der Studie II somit die Bedeutung strategischer Effekte für das Auftreten von VF-Effekten bei der Kategorisierung von Objekten auf der basalen und der untergeordneten Ebene in vielerlei Hinsicht: Einerseits gibt es offensichtlich

Aufgaben, die von verschiedenen Vpn mit verschiedenen Kategorisierungsstrategien gelöst werden (z.B. Experiment 1 und Experiment 2, Phase 1). Doch auch innerhalb ein und derselben Vp können für die gleiche Aufgabe unterschiedliche Strategien verwendet werden, z.B. wenn diese in unterschiedliche Paradigmen eingebettet ist (Experiment 3) oder auch über die Zeit hinweg (Experiment 2, Phase 2). Diese Phänomene sind allerdings nicht unbekannt und auch in anderen Studien berichtet worden (z.B. Koenig et al., 2005). Meines Wissens erstmals gezeigt wurde dagegen, dass ein und dieselbe Aufgabe von denselben Vpn in unterschiedlichen Kontexten durch verschiedene Strategien gelöst wurde. In der vorliegenden Studie erlaubte die Benennaufgabe (Experiment 1) per se sowohl die Anwendung einer regel- als auch einer ähnlichkeitsbasierten Kategorisierungsstrategie. Eine Einbettung der Aufgabe in einen Kontext, in dem vorher entweder eine geringere Zahl von Kategorien vorkam (Experiment 2) oder eine Vergleichsaufgabe zu bearbeiten war (Experiment 3), führte jedoch zur eindeutigen Festlegung auf eine regelbasierte Strategie. Dies weist meines Erachtens darauf hin, dass der Aufgabenkontext die Entscheidungskriterien beeinflusst, die die Vpn für eine erfolgreiche Kategorisierung akzeptieren. Wie die Kriterien in einer bestimmten Aufgabe gesetzt werden, hängt damit einerseits von der spezifischen Aufgabe, andererseits aber offensichtlich auch von Eigenschaften der Person selbst ab (z.B. möglicherweise von der Motivation oder Persönlichkeitseigenschaften). Haben die Vpn mit den verwendeten Stimuli bereits Vorerfahrung und wird die Kategorisierungsunsicherheit abrupt erhöht (Experimente 2 und 3), wählen sie offensichtlich ein konservativeres Entscheidungskriterium für die Benennaufgabe und bevorzugen deshalb die exaktere regelbasierte Strategie. Besteht dagegen keine Vorerfahrung (Experiment 1) genügt zumindest einem Teil der Vpn offensichtlich ein großzügigeres Kriterium und der weniger kapazitätsfordernden ähnlichkeitsbasierten Strategie wird der Vorzug gegeben.

Zusammenfassend zeigt Studie II am Beispiel einer Benennaufgabe, dass das Muster von VF-Effekten bei der visuellen Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene stark aufgaben- und kontextabhängig ist. Dies bedeutet, dass es grundsätzlich kein festes Muster von VF-Effekten für diese Leistung gibt bzw. geben kann, da es die Objektkategorisierung gar nicht gibt. Die Kategorisierung von Objekten auf verschiedenen Ebenen der Spezifität ist vielmehr das Ergebnis einer Anwendung verschiedener Strategien.

GESAMTDISKUSSION

Ein und dasselbe Objekt, dem man im Alltag begegnet, kann sowohl auf der basalen (z.B. als ‚Hund‘) als auch auf der untergeordneten Ebene (z.B. als ‚Dalmatiner‘) klassifiziert werden. Diese Leistung ist sowohl Gegenstand der Forschung zur Kategorisierung als auch zur Objektwahrnehmung (Palmeri & Gauthier, 2004). In beiden Forschungskontexten ist behauptet worden, dass es für diese Aufgabe Gehirnasymmetrien gibt. Ziel der vorliegenden Arbeit war daher zu untersuchen, ob bei der visuellen Kategorisierung auf der basalen und der untergeordneten Ebene tatsächlich Gehirnasymmetrien nachweisbar sind, welcher Art diese sind und welche Mechanismen diesen zu Grunde liegen.

Zur Untersuchung dieser Frage wurden zwei theoretische Ansätze gegenübergestellt. Der eine der beiden Ansätze, den ich als *Repräsentationshypothese* bezeichne, ist v.a. durch Forschung und Theoriebildung im Bereich der Erkennung und Repräsentation von Objekten motiviert. Der andere Ansatz, den ich als *Merkmalshypothese* bezeichne, basiert dagegen eher auf Forschung und Theoriebildung im Bereich der perzeptuellen Verarbeitung von Objekten und Szenen. Aus beiden Ansätzen lassen sich Hemisphärenasymmetrien für die visuelle Kategorisierung von Objekten auf der basalen und der untergeordneten Ebene vorhersagen. Allerdings deuten die jeweils vorhergesagten Muster genau in entgegengesetzte Richtung.

Im Rahmen der *Repräsentationshypothese* wird davon ausgegangen, dass jede Hemisphäre Objekte in einem spezifischen Format in einem visuellen Formgedächtnis speichert (Marsolek, 1999). Während in der LH Objekte bevorzugt in Form von Prototypen gespeichert werden, d.h. als Sammlung unabhängiger Merkmale, speichert die RH Objekte bevorzugt als spezifische Exemplare, bei denen die spezifische Konfiguration der Objektmerkmale bewahrt bleibt. Infolgedessen sind die Repräsentationen der LH nützlicher, wenn auf der basalen Ebene klassifiziert wird, die Repräsentationen der RH dagegen, wenn auf der untergeordneten Ebene klassifiziert wird. Die *Merkmalshypothese* geht dagegen davon aus, dass sich das Muster der Gehirnasymmetrien direkt aus Verarbeitungsunterschieden der beiden Hemisphären für globale und lokale Merkmale eines Stimulus ergibt. Es gibt Evidenz, dass die Klassifizierung auf der basalen Ebene vorwiegend auf der globalen Form eines Objekts beruht, während die Differenzierung von Objekten auf der untergeordneten Ebene durch die Analyse der lokalen Details eines Stimulus erreicht wird (Large & McMullen, 2006). Da die RH einen Vorteil für die Verarbeitung globaler Aspekte eines Stimulus aufweist und die LH für dessen lokale Details (vgl. Hübner & Studer, im Druck; Hübner & Volberg, 2005), sollte folglich die RH Objekte effizienter auf der basalen Ebene klassifizieren

als die LH. Dagegen sollte die LH im Vergleich zur RH einen Vorteil für die Klassifikation auf der untergeordneten Ebene aufweisen. Es ist offensichtlich, dass die Vorhersage der Merkmals-hypothese genau der Vorhersage entgegengesetzt ist, die die Repräsentations-hypothese macht. Für beide Hypothesen gibt es jedoch eine bedeutsame Zahl an empirischen Belegen. Ziel der Arbeit war daher, diese theoretischen und empirischen Widersprüche auszulösen.

Auffällig ist, dass in den beiden Forschungsfeldern – einerseits die Frage nach der Repräsentation von Kategorien und Objekten, andererseits die Frage nach der perzeptuellen Verarbeitung von Objekten - üblicherweise verschiedene experimentelle Paradigmen verwendet werden. Es unterscheiden sich gewöhnlich nicht nur die verwendeten Stimuli, sondern auch die spezifischen Aufgaben, die von den Vpn verlangt werden. Während in Experimenten zur Kategorisierung meist Vergleichsaufgaben verwendet werden, werden in Experimenten zur Objektverarbeitung und -erkennung meist Identifizierungsaufgaben verwendet. Daraus leitete sich die Hypothese ab, dass das spezifische Muster von Gehirnasymmetrien, das sich in einer Kategorisierungsaufgabe beobachten lässt, möglicherweise von der spezifischen Aufgabe abhängt.

In Studie I wurde daher zunächst der Frage nachgegangen, ob tatsächlich die in den jeweiligen Forschungstraditionen verwendeten Paradigmen dafür verantwortlich sind, dass man widersprüchliche Muster von Gehirnasymmetrien in der Literatur findet.

Gehirnasymmetrien und ihre Abhängigkeit von der spezifischen Aufgabe (Studie I)

Zur Untersuchung der Frage wurde in Studie I in zwei Experimenten das identische Stimulusmaterial verwendet, das die Vpn auf der basalen und untergeordneten Ebene klassifizieren sollten. Das jeweilige experimentelle Paradigma wurde jedoch variiert. In Experiment 1 wurde eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe verwendet, in Experiment 2 dagegen eine Identifikationsaufgabe. Die Ergebnisse bestätigten tatsächlich, dass die Richtung der beobachteten VF-Effekte eindeutig von der spezifischen Aufgabe abhängt, die die Vpn durchführten. Bei der Vergleichsaufgabe in Experiment 1 zeigte sich ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli für die Kategorisierung der Objekte auf der basalen Ebene, dagegen ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für die Kategorisierung der gleichen Objekte auf der untergeordneten Ebene. Dieses Muster entspricht den Vorhersagen der Repräsentationshypothese. Bei der Identifikationsaufgabe in Experiment 2 wurde hingegen genau das Gegenteil gefunden. Es

ergab sich ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für die Klassifikation der dargebotenen Objekte auf der basalen Ebene, dagegen eine RVF/LH-Vorteil für die Klassifikation der gleichen Objekte auf der untergeordneten Ebene. Dies wiederum entspricht den Vorhersagen der Merkmalshypothese. Da die verwendeten Stimuli in beiden Experimenten gleich waren, liefert die Studie I einen klaren Beleg dafür, dass die spezifische Kategorisierungsaufgabe die Richtung der beobachteten VF-Effekte determiniert. Die Widersprüche in der Literatur ergeben sich also offensichtlich aus den jeweils unterschiedlichen experimentellen Paradigmen.

Die Ursache, warum in den beiden Aufgaben einmal VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese und einmal im Sinne der Merkmalshypothese auftraten, blieb nach Studie I allerdings offen. Da jedoch in den beiden Hypothesen von unterschiedlichen Mechanismen als Ursache für die Gehirnasymmetrien ausgegangen wird, liegt der Schluss nahe, dass die beiden Aufgaben mit unterschiedlichen Kategorisierungsstrategien gelöst wurden. In der Literatur zur Kategorisierung wurde tatsächlich in anderem Zusammenhang bereits gezeigt, dass Kategorisierung grundsätzlich über verschiedene Strategien erreicht werden kann. Hier wird insbesondere eine ähnlichkeitsbasierte und eine regelbasierte Strategie unterschieden (vgl. Smith & Grossman, 2008; Smith et al., 1998). Im ersten Fall wird die Ähnlichkeit der visuellen Information mit gespeicherten Repräsentationen ermittelt, im zweiten Fall werden dagegen verbalisierbare Regeln auf den visuellen Input angewendet, um eine Kategorisierung zu erreichen. Die ähnlichkeitsbasierte Strategie weist eine große Überschneidung mit den Überlegungen der Repräsentationshypothese auf, die regelbasierte Strategie mit denen der Merkmalshypothese. Daher lag der Schluss nahe, dass VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese immer dann auftreten, wenn eine ähnlichkeitsbasierte Strategie verwendet wird, während VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese dann auftreten, wenn eine regelbasierte Strategie angewendet wird.

Gehirnasymmetrien und Kategorisierungsstrategien (Studie II)

Dieser Zusammenhang von Kategorisierungsstrategien und Gehirnasymmetrien war Gegenstand von Studie II. Die grundlegende Herangehensweise war folgende: Gelingt es, in einer Aufgabe entweder eine ähnlichkeitsbasierte oder eine regelbasierte Kategorisierungsstrategie zu induzieren, so sollten sich entsprechend der Manipulationen bestimmte Muster von VF-Effekten vorhersagen lassen.

Die Forschung zu multiplen Kategorisierungsstrategien ist noch relativ jung, jedoch wurden bereits einzelne Bedingungen beschrieben, die entweder eine Ähnlichkeits- oder eine regelbasierte Strategie induzieren können (vgl. Smith et al., 1998). Als übergeordneter Faktor wurde die *Kategorisierungsunsicherheit* (Rouder & Ratcliff, 2006) beschrieben. Es wird angenommen, dass insbesondere dann eine regelbasierte Strategie angewendet wird, wenn die Zahl der verwendeten Kategorien hoch ist und gleichzeitig die Stimuli schwierig zu differenzieren sind. In Studie II wurde versucht, durch verschiedene Variationen der Aufgabe, die Kategorisierungsunsicherheit zu manipulieren.

In Experiment 1 wurde geprüft, ob eine Identifikationsaufgabe generell die Anwendung einer regelbasierten Kategorisierungsstrategie bedingt und damit in diesem Fall generell VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese auftreten. Dazu wurde eine Identifikationsaufgabe verwendet, wie sie in ähnlicher Form bereits in Studie I (Experiment 2) zur Anwendung kam. Das heißt, es wurden die gleichen Stimuli gezeigt, die auf der basalen oder der untergeordneten Ebene identifiziert werden sollten. Im Gegensatz zu Studie I mussten die Kategorien benannt werden. Die Daten zeigten allerdings, dass allein die Aufgabenstellung, Objekte zu identifizieren, kein Garant für die Anwendung einer regelbasierten Kategorisierungsstrategie ist. In der Benennaufgabe fanden sich sowohl VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese als auch der Repräsentationshypothese. Beide Muster waren über die Vpn hinweg gleich häufig vertreten.

In einer Benennaufgabe sind offensichtlich beide Strategien ähnlich effizient, so dass die regelbasierte Strategie nur in 50% der Fälle von den Vpn angewendet wurde. Daraus ergab sich die Frage, ob es dennoch Möglichkeiten gibt, eine Benennaufgabe so zu gestalten, dass eine eindeutige Strategie induziert wird und damit ein bestimmtes Muster von VF-Effekten nachweisbar ist. Es konnte gezeigt werden, dass die Kategorisierungsunsicherheit von der Zahl der verwendeten Kategorien abhängig ist (Rouder & Ratcliff, 2006). Je höher die Zahl der Kategorien, denen die Stimuli zugeordnet werden müssen, desto höher ist auch die Kategorisierungsunsicherheit. In Experiment 2 wurde daher wiederum die Benennaufgabe aus Experiment 1 durchgeführt, die Zahl der Kategorien wurde jedoch manipuliert. In einer ersten Phase mussten die Stimuli lediglich in vier Kategorien auf der untergeordneten Ebene eingeordnet werden. In der zweiten Phase musste eine größere Zahl von Stimuli dann auf allen drei Ebenen kategorisiert werden. Die zweite Phase entsprach also exakt der Aufgabe in Experiment 1. Da die Kategorisierungsunsicherheit mit der Zahl der Kategorien zunimmt

(Rouder & Ratcliff, 2006), sollten in der ersten Phase (geringe Zahl von Kategorien) VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese auftreten. In der zweiten Phase (große Zahl von Kategorien und hohe Überlappung mit Ziel- und Kontrastkategorien) dagegen VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese. Die Hypothese konnte jedoch nur teilweise bestätigt werden. Auch bei einer sehr geringen Zahl von Kategorien wurde nicht von allen Vpn eine ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet. Das heißt auch hier zeigte nur die Hälfte der Vpn den im Sinne der Repräsentationshypothese erwarteten Vorteil für LVF/RH-Stimuli. Die übrigen Vpn zeigten dagegen einen Vorteil für RVF/LH-Stimuli, also einen Lateralisierungseffekt im Sinne der Merkmalshypothese. Eine abrupte Erhöhung der Kategorienzahls in Phase 2 führt jedoch erfolgreich zu einer eindeutigen Festlegung der Kategorisierungsstrategie bei allen Vpn: Hier wurde von allen Vpn eine regelbasierte Strategie angewendet. Bei allen Vpn zeigten sich VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese, also ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für Kategorisierungen auf der basalen Ebene und ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene.

Experiment 2 belegt damit, dass Kategorisierungsstrategien und damit verbundene VF-Effekte auch innerhalb ein- und derselben Versuchsperson zwischen Aufgaben wechseln können. Ein Nachteil ist jedoch, dass die erste der beiden Phasen des Experiments eigentlich keine hierarchische Kategorisierung darstellte. Insofern sind die beiden Phasen nicht direkt vergleichbar. In Experiment 3 wurden daher eine Vergleichsaufgabe und eine Benennaufgabe direkt gegenübergestellt. Das heißt, die Vpn erfüllten in einer ersten Phase eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe (identisch zu der Aufgabe in Experiment 1 der Studie I) und in der zweiten Phase wiederum eine Benennaufgabe (identisch zu der Aufgabe in Experiment 1 der Studie II). In beiden Phasen wurden die gleichen Stimuli auf allen drei Ebenen kategorisiert. Die Vergleichsaufgabe ist dem Priming ähnlich und weist eine geringe Kategorieunsicherheit auf. Wie bereits in Experiment 1 der Studie I gezeigt, sollte in diesem Fall eine ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet werden und VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese auftreten. In einer Benennaufgabe ist die Kategorisierungsunsicherheit vergleichsweise hoch. Daher sollte in der zweiten Phase zu einer regelbasierten Strategie gewechselt werden und VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese auftreten. Zwar wurden in diesem Experiment die wichtigen Ergebnisse hauptsächlich in den Fehlern sichtbar, jedoch zeigten sich genau die erwarteten VF-Effekte. In der ersten Phase, also der

Vergleichsaufgabe, zeigte sich ein Vorteil für RVF/LH-Stimuli für Kategorisierungen auf der basalen Ebene, dagegen ein Vorteil für LVF/RH-Stimuli für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene. Genau die entgegengesetzten VF-Effekte zeigten sich in der zweiten Phase, d.h. in der Benennaufgabe.

Ein sehr wichtiger Aspekt in Studie II ist die Frage, ob die Variationen in den Mustern der VF-Effekte tatsächlich Variationen in der jeweils angewendeten Kategorisierungsstrategie widerspiegeln. Zur Beantwortung dieser Frage ist hilfreich, dass sich die beiden Strategien nicht nur in unterschiedlichen Mustern von VF-Effekten manifestieren, sondern auch in generellen Reaktionszeitunterschieden. Da es sich bei der ähnlichkeitsbasierten Strategie um einen Mechanismus handelt, bei dem die Merkmale der Reize parallel mit gespeicherten Repräsentationen verglichen werden, sollte dieser Vorgang relativ schnell erfolgen. Der regelbasierte Mechanismus verlangt dagegen selektive Aufmerksamkeit und damit eine serielle Prüfung der Merkmale, ob sie mit den Regeln konform gehen. Daher dauert dieser Prozess vergleichsweise lang. Außerdem nimmt die Dauer des Prozesses mit zunehmender Zahl der zu prüfenden Teilschritte zu. Insbesondere bei Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene, bei der beide Merkmalsebenen geprüft werden müssen, sollte der Prozess beim regelbasierten Mechanismus länger dauern als beim ähnlichkeitsbasierten (Allen & Brooks, 1991; Smith & Kemler, 1984). Dieser Effekt wurde in der Tat in allen Experimenten in mehr oder weniger starker Ausprägung gefunden. Besonders interessant ist hier z.B. Experiment 1 der Studie II. Die Hälfte der Vpn wies hier VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese auf, die andere Hälfte im Sinne der Repräsentationshypothese. Die Aufgabe war für alle Versuchspersonen jedoch exakt gleich. Dennoch waren für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene diejenigen Vpn verlangsamt, die VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese zeigten, also über Regeln kategorisierten (vgl. Abb. III-2). Experiment 2 und 3 der Studie II belegen den Zusammenhang zwischen Kategorisierungsstrategie und VF-Effekten sogar innerhalb ein- und derselben Vpn: In Experiment 3 wechselten alle Vpn von VF-Effekten im Sinne der Repräsentationshypothese zu VF-Effekten im Sinne der Merkmalshypothese. Dieser Wechsel machte sich ebenfalls in einer Verlangsamung der Reaktionszeiten auf der untergeordneten Ebene bemerkbar (vgl. Abb. III-6 und III-9). In Experiment 2 zeigte in der ersten Phase die eine Hälfte der Vpn VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese, die andere Hälfte im Sinne der Merkmalshypothese. Beide zeigten in Phase 2 jedoch VF-Effekte im Sinne der

Merkmalshypothese. Das heißt, eine Gruppe wechselte die Strategie, die andere blieb durchgängig bei einer Strategie. Tatsächlich zeigte sich, dass diejenigen Vpn, die einen Wechsel in VF-Effekten aufwiesen, nach dem Wechsel auch für Kategorisierungen auf der untergeordneten Ebene verlangsamt waren. Diejenigen Vpn, die dagegen durchgängig VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese zeigten, wiesen keine deutliche Verlangsamung auf. Diese Korrelation von generellen Reaktionszeitunterschieden und Mustern der VF-Effekte kann als deutlicher Beleg betrachtet werden, dass die Mechanismen, die der Repräsentationshypothese zu Grunde liegen, denen einer ähnlichkeitsbasierten Strategie entsprechen und die Mechanismen, die der Merkmalshypothese zu Grunde liegen, denen der regelbasierten Strategie entsprechen.

Die verwendeten Aufgaben und ihr Bezug zu Kategorisierungsstrategien

In den Studien dieser Arbeit wurden drei Grundtypen von Aufgaben verwendet: eine Wort-Bild-Vergleichsaufgabe, eine Identifikationsaufgabe mit Tastendruck und eine Benennaufgabe. Die Ergebnisse zeigen, dass die Wort-Bild-Vergleichsaufgabe und die Identifikationsaufgabe mit Tastendruck die Kategorisierungsstrategien offensichtlich sehr deterministisch beeinflussen. Die Vpn zeigten in diesen Aufgaben jeweils einheitlich bestimmte Muster von VF-Effekten. Die Benennaufgabe dagegen konnte offensichtlich mit gleicher Effizienz über verschiedene Strategien gelöst werden, so dass verschiedene Vpn unterschiedliche Muster an VF-Effekten zeigten. Wie lassen sich diese Aufgaben genauer charakterisieren und wie können die Ergebnisse erklärt werden?

Als wesentlicher Faktor für die Determinierung der Kategorisierungsstrategie wurde die Kategorisierungsunsicherheit identifiziert (Rouder & Ratcliff, 2006). Gemeint ist, inwieweit die Merkmale der Stimuli sowohl mit der Zielkategorie als auch mit Kontrastkategorien überlappen. Kategorisierungsunsicherheit ist dann gegeben, wenn die Kategorie-repräsentationen nicht derart ausreichend differenziert sind, dass alleine aufgrund dieser Repräsentationen eine eindeutige Entscheidung über Kategoriezugehörigkeit getroffen werden kann. Deshalb nimmt die Kategoriezugehörigkeit einerseits mit der Zahl der in Frage kommenden Zielkategorien zu, andererseits mit dem Ausmaß an Merkmalsüberlappung zwischen Stimuli.

Meines Erachtens lassen sich die drei Aufgabentypen, die in den Experimenten dieser Arbeit verwendet wurden, tatsächlich auf einem Kontinuum einordnen, das durch die

Ausprägung an Kategorisierungsunsicherheit aufgespannt wird. Die Wort-Bild-Vergleichsaufgabe bildet darin das untere Ende, da sie ein vergleichsweise geringes Ausmaß an Kategorisierungsunsicherheit aufweist. Dieses Paradigma ist grundsätzlich so gestaltet, dass es einen Hinweisreiz gibt, der die Zielkategorie voraktiviert und damit hervorhebt. Wird dann der Stimulus präsentiert, genügt die gemeinsame Menge an Aktivierung, um eine eindeutige Entscheidung zu treffen, da andere Kategorierepräsentationen nicht in gleichem Maße aktiviert sind (vgl. Collin & McMullen, 2005; Smith, 2008). Diese Annahme kann auch erklären, warum die Reihenfolge von Hinweisreiz und Stimulus keine Rolle für das beobachtete Muster von VF-Effekten spielt. Laeng et al. (2003) hatten in ihrem Experiment zuerst den Stimulus und dann das Wort gezeigt, im entsprechenden Experiment der vorliegenden Arbeit war dagegen die Reihenfolge umgekehrt. Die Reihenfolge hätte durchaus eine Rolle spielen können, da im vorliegenden Experiment der Hinweisreiz hätte genutzt werden können, um die selektive Aufmerksamkeit auf diagnostische Dimensionen des Reizes zu richten, bei Laeng et al. (2003) war das dagegen nicht möglich. In beiden Experimenten wurden jedoch VF-Effekte entsprechend der Repräsentationshypothese gefunden. Wenn man annimmt, dass die Kategorisierung jedoch darauf beruht, dass die gemeinsame Aktivierung von Hinweisreiz und Stimulus für eine Entscheidung berücksichtigt wird, ist die Reihenfolge allerdings tatsächlich egal.

Die Identifikationsaufgabe per Tastendruck bildet das andere Ende des Kontinuums. Die Kategorisierungsunsicherheit war hier vermutlich dadurch deutlich erhöht, dass ein- und dieselbe Antworttaste gleichzeitig für mehrere Kategorien diente. Die Tastenbelegung war explizit so gestaltet, dass der gleiche Stimulus (z.B. die gestreifte Katze) für die Kategorisierung auf der basalen Ebene (‚Katze‘) eine andere Taste erforderte als für die Kategorisierung auf der untergeordneten Ebene (‚gestreifte Katze‘). Das heißt, derselbe Stimulus aktivierte grundsätzlich immer konkurrierende Antworttasten und damit konkurrierende Kategorierepräsentationen. Um diese Antwortkonflikte lösen zu können, musste vermutlich zwangsläufig von allen Vpn selektive Aufmerksamkeit eingesetzt, d.h. eine regelgeleitete Vorgehensweise angewendet werden. Dieser Befund kann möglicherweise auch erklären, warum in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe bei Ablehnungen auf der untergeordneten Ebene VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese nachweisbar waren (vgl. Abschnitt II-2.2.3 und III-4.2.1). Obwohl in der Wort-Bild-Vergleichsaufgabe generell VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese gefunden wurden, ergab die Subanalyse

von korrekten Ablehnungen auf der untergeordneten Ebene unter Berücksichtigung der spezifischen abweichenden Information, dass Ablehnungen, die auf der globalen Form beruhten, schneller in der RH/LVF erfolgten, während solche, die auf Unterschieden im lokalen Muster beruhten, schneller in der LH/RVF erfolgten. Dieses Ergebnis ist wiederum in Einklang mit der Merkmalshypothese. Auch in diesem Fall besteht eine Form des Antwortkonflikts: Das Wort und der Zielreiz aktivieren jeweils unterschiedliche Repräsentationen. Um diesen Konflikt aufzulösen, wurde wahrscheinlich selektive Aufmerksamkeit und damit ein regelgeleitetes Kategorisieren notwendig. Schließlich harmoniert der Befund mit Ergebnissen aus der Forschung zu Gehirnasymmetrien für globale und lokale Verarbeitung mit hierarchischen Buchstaben. Auch hier wurde gezeigt, dass sich die entsprechenden VF-Effekte nur dann zeigen, wenn Antwortkonflikte bestehen, d.h. die globale Information eine andere Antwort aktiviert als die lokale (Hübner & Malinowski, 2002; Hübner & Volberg, 2005).

Die Benennaufgabe wies diese Inkongruenzen durch die Tastenbelegung nicht auf. Sie ist deshalb vermutlich in der Mitte des Kontinuums angesiedelt. Beide Strategien scheinen für diese Aufgabe gleich effizient und naheliegend zu sein. Einerseits gibt es hier durchaus einige Merkmalsüberlappungen, da die Stimuli so gestaltet sind, dass grundsätzlich einzelne Merkmale mit mehreren Kategorien assoziiert sind. Andererseits gibt es aber nicht die Inkongruenzen aus der Aufgabe mit Tastendruck, so dass durchaus geeignete Repräsentationen gefunden werden könnten, die eine korrekte Antwort erlauben. Die Kategorisierungsunsicherheit war damit vermutlich weder extrem hoch noch extrem niedrig. Daher verwendeten manche Vpn die ähnlichkeitsbasierte und manche die regelbasierte Kategorisierungsstrategie. Die Benennaufgabe ist damit ein interessantes Paradigma zur Untersuchung der spezifischen Charakteristika, die die beiden Kategorisierungsstrategien aufweisen.

Insgesamt hängt damit das Muster von VF-Effekten, das sich in einer Aufgabe beobachten lässt, einerseits von Eigenschaften der Aufgabe, andererseits aber auch von strategischen Einflüssen ab.

Charakterisierung der Kategorisierungsstrategien

Vor allem die Ergebnisse der Studie II belegen die Bedeutung strategischer Effekte für das Auftreten von VF-Effekten in einer Kategorisierungsaufgabe. Eine Benennaufgabe an

sich ist offensichtlich gleich effizient über eine Ähnlichkeits- oder eine regelbasierte Strategie lösbar. Eine Einbettung derselben Aufgabe in einen anderen Kontext – im konkreten Fall das vorherige Bearbeiten einer anderen Aufgabe mit einer geringeren Zahl von Kategorien (Experiment 2 der Studie II) oder im Rahmen eines anderen Paradigmas (Experiment 3 der Studie II) – scheint dagegen eindeutig eine regelbasierte Strategie nahelegen.

Es sollte hierbei nochmals darauf hingewiesen werden, dass die beiden Strategien unterschiedliche Aspekte von Effizienz erfüllen (vgl. Smith & Allen, 1998). Bei der Ähnlichkeitsbasierten Strategie handelt es sich um einen impliziten, daher schnellen und wenig kapazitätsfordernden Mechanismus. Gleichzeitig ist er vor allem in schwierigeren Situationen, in denen die Kategorien starke Merkmalsüberlappungen aufweisen, nicht so genau. Die regelbasierte Strategie zeichnet sich dagegen durch eine große Exaktheit aus. Die Regeln erlauben eine eindeutige Zuordnung eines jeden Stimulus, so dass Fehler leichter vermieden werden können. Dafür ist der Mechanismus aber kapazitätsfordernder und zeitintensiver, da selektive Aufmerksamkeit eingesetzt und die Regeln ständig im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen. Die Strategie, die jede Vp schließlich einsetzt, mag folglich von einer subjektiven Abwägung zwischen Sicherheit und Anstrengung abhängen, anhand derer das Entscheidungskriterium festgesetzt wird. Diese Entscheidung trifft vermutlich jeder individuell, z.B. aufgrund von Motivation oder vielleicht auch aufgrund bestimmter Persönlichkeitseigenschaften. Eine Analyse von Eigenschaften auf Seiten der Person, die die Wahl der Strategie mitbeeinflussen, sollte Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein. Offensichtlich gibt es jedoch Situationen, in denen der Einfluss von reinen Aufgabenparametern für die Wahl der Strategie überwiegt (vgl. Studie I), weil wahrscheinlich nur eine der beiden Kategorisierungsstrategien überhaupt eine Lösung der Aufgabe ermöglicht.

Die Wort-Bild-Vergleichsaufgabe, die sowohl in Experiment 1 der Studie I als auch in Experiment 2 der Studie II verwendet wurde, zeigt außerdem sehr eindrücklich, dass die Ähnlichkeits- und die regelbasierte Strategie auch kooperativ für die Lösung einer Aufgabe angewendet werden können. In der eigentlichen Kategorisierungsaufgabe (also den ‚gleich‘-Antworten) wurde offensichtlich von allen Vpn eine Ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet, denn es zeigten sich VF-Effekte im Sinne der Repräsentationshypothese. Musste jedoch ein Vergleich auf der untergeordneten Ebene abgelehnt (also eine ‚verschieden‘-Antwort gegeben) werden, so zeigten sich VF-Effekte im Sinne der Merkmalshypothese. Das

heißt, unterschied sich der Stimulus vom Hinweisreiz auf der globalen Ebene, zeigte sich ein RH/LVF-Vorteil. War der Unterschied auf der lokalen Ebene, zeigte sich dagegen eine LH/RVF-Vorteil. Dieser Befund demonstriert, dass die beiden Kategorisierungsstrategien auch gemeinsam eingesetzt werden, um ein möglichst effizientes Kategorisieren in einer relativ komplexen Aufgabe zu ermöglichen.

Ein Wort sollte noch über die Stabilität der Strategien über die Zeit gesagt werden. Oftmals wird dem regelbasierten Kategorisieren lediglich eine ‚Helferrolle‘ zugewiesen (z.B. Rouder & Ratcliff, 2006). Das heißt, es wird angenommen, dass das regelbasierte Kategorisieren vor allem zu Beginn des Erlernens neuer Kategorien angewendet wird, so lange bis Repräsentationen gebildet sind und erfolgreich angewendet werden können. Demnach wäre das ähnlichkeitsbasierte Kategorisieren der hauptsächliche Mechanismus, dem regelbasierten dagegen käme nur eine unterstützende Rolle zu. Andere Autoren wiederum betrachten die beiden Strategien grundsätzlich als gleichberechtigte Mechanismen, die jeweils für verschiedene Anforderungen an die Kategorisierung geeignet sind. Derjenige Mechanismus, der am effizientesten eine erfolgreiche Kategorisierung ermöglicht, setzt sich für die jeweilige Aufgabe durch (z.B. Ashby & O'Brien, 2005; Smith et al., 1998). Die Daten der vorliegenden Arbeit sprechen klar für die letztere Interpretation. Von einer Ausnahme abgesehen (Experiment 2 der Studie II) waren die Kategorisierungsstrategien der Vpn über die Zeit hinweg stabil. Es gibt keine Hinweise dafür, dass in frühen Experimentalblöcken grundsätzlich eine regelbasierte Strategie angewendet wurde. Stattdessen scheint es bei den Vpn sehr frühzeitig dazu zu kommen, dass einer bestimmten Strategie der Vorzug gegeben wird und diese wird dann über die Zeit hinweg beibehalten. Die Aufgabe (bzw. deren Einschätzung durch die Vpn) hat damit einen wesentlichen Einfluss auf die gewählte Strategie, nicht jedoch der Zeitpunkt.

Die einzige Ausnahme bildete Experiment 2 aus Studie II. Hier war es so, dass die Vpn zunächst die Stimuli nur auf der untergeordneten Ebene, später schließlich auf allen drei Ebenen kategorisieren sollten. Diejenigen Vpn, die eine ähnlichkeitsbasierte Strategie in der ersten Phase gewählt hatten, zogen zwar beim Wechsel zur zweiten Phase eine regelbasierte Strategie vor, wechselten am Ende jedoch wieder zurück zur ähnlichkeitsbasierten Strategie – dies aber ausschließlich für die untergeordnete Ebene, die sie in der ersten Phase kennengelernt hatten. Im Sinne von Rouder und Ratcliff (Rouder & Ratcliff, 2006) legt dies nahe, dass diese Vpn es schafften, von den untergeordneten Kategorien trotz hoher

Überlappungen differenzierende Repräsentationen zu bilden. Dies ist nicht unplausibel, da die Vpn dafür vergleichsweise viel Zeit zur Verfügung und nur sehr wenige Kategorien zu differenzieren hatten. Diese Repräsentationen konnten später dann wieder erfolgreich angewendet werden. Man kann auch sagen, diese Vpn hatten Expertise für untergeordnete Kategorien entwickelt. Für Expertise wird ebenfalls angenommen, dass sich diese dadurch zeigt, dass die Experten sehr differenzierte Repräsentationen der Objekte gebildet haben, die erlauben, schnell und effizient selbst zwischen sehr ähnlichen Kategorien zu differenzieren (z.B. Tanaka & Gauthier, 1997).

Eine Erweiterung der Theorie multipler Kategorisierungsstrategien

Die Ergebnisse bestätigen insgesamt sowohl die Gültigkeit der Repräsentations- als auch der Merkmalshypothese. Die Muster von VF-Effekten, die von den beiden Hypothesen jeweils vorhergesagt werden, können grundsätzlich nachgewiesen werden. Allerdings hängt es von der spezifischen Aufgabe ab, welche der beiden Hypothesen die jeweiligen Muster erklären kann. Damit entsprechen die beiden Hypothesen unterschiedlichen Kategorisierungsstrategien, die genutzt werden können, um Objekte auf der basalen und der untergeordneten Ebene zu kategorisieren. Die Repräsentations- und die Merkmalshypothesen erlauben damit nicht nur, VF-Effekte zu erklären, sondern sie ermöglichen außerdem, Theorien multipler Strategien der Kategorisierung (z.B. Smith & Grossman, 2008; Smith et al., 1998), die bislang nur für die Kategorisierung auf einer Ebene der Spezifität formuliert worden sind, auch für das Problem der Kategorisierung auf mehreren Ebenen der Spezifität nutzbar zu machen.

Offensichtlich kann auch die Kategorisierung auf der basalen und untergeordneten Ebene entweder über ähnlichkeitsbasierte oder regelbasierte Mechanismen erreicht werden. Das Problem, dass ein und derselbe Stimulus sowohl einer basalen als auch einer untergeordneten Kategorie zugeordnet werden kann, wird in den beiden Strategien jedoch unterschiedlich gelöst. Im Rahmen des ähnlichkeitsbasierten Mechanismus besteht die Lösung darin, dass Objekte einerseits in einem relativ abstrakten, andererseits in einem spezifischen Repräsentationsformat abgespeichert werden können (Marsolek, 1999). Je nach der Ebene, auf der kategorisiert werden soll, kann die Ähnlichkeit in Bezug auf die abstrakte oder die spezifische Repräsentation bestimmt werden. Diese Annahmen entsprechen der Repräsentationshypothese. Im Rahmen des regelbasierten Mechanismus wird das Problem der hierarchischen Kategorisierung durch eine Anpassung der Regeln und eine damit verbundenen

Ausrichtung der Aufmerksamkeit erreicht. Je nachdem, ob auf der basalen oder der untergeordneten Ebene kategorisiert werden soll, wird die Aufmerksamkeit auf die globale Form oder auf die lokalen Details gerichtet (Large & McMullen, 2006). Diese Annahmen entsprechen der Merkmalshypothese.

Umgekehrt erlaubt die Tatsache, dass sowohl die Repräsentationshypothese als auch die Merkmalshypothese Gehirnasymmetrien für die Kategorisierung von Objekten auf der basalen und der untergeordneten Ebene vorhersagen, dass VF-Effekte als geeignetes Kriterium verwendet werden können, um sichtbar zu machen, welche Strategie in einer bestimmten Aufgabe angewendet wurde.

Ausblick: Kritik und offene Fragen

Über alle Experimente hinweg, gibt es gute Belege dafür, dass das beobachtbare Muster von Gehirnasymmetrien von der von den Vpn zu erfüllenden Aufgabe bzw. den Strategien abhängt, die diese Aufgaben erfordern oder nahelegen. In den einzelnen Experimenten jedoch wurden nicht immer alle Einzeleffekte signifikant. In Anbetracht des Gesamtbefundes, dass Kategorisierung ein ungemein flexibler Prozess ist, ist dieses Ergebnis nicht so sehr überraschend. Offensichtlich können ein und dieselben Stimuli innerhalb ein und derselben Aufgabe von ein und derselben Person unter Anwendung unterschiedlicher Strategien kategorisiert werden. Generell ist daher anzunehmen, dass eine gewisse Variabilität in den angewendeten Strategien bei den Vpn besteht, vermutlich auch dann, wenn das Gesamtmuster der VF-Effekte in eine eindeutige Richtung zeigt. Wenn es sich bei den beiden Strategien tatsächlich um kompetitive Mechanismen handelt (Smith & Allen, 1998), könnte es durchaus sein, dass sich in einzelnen Durchgängen eine andere Strategie durchsetzt als die in den meisten Durchgängen angewendete. Folglich sind die Effekte möglicherweise immer das Ergebnis einer Kombination aus verschiedenen Strategien und deshalb schwierig statistisch nachzuweisen.

Man könnte einwenden, dass die Schlussfolgerungen, die aus dieser Studie gezogen werden können, nicht generalisierbar sind. Es wurde in allen Experimenten ein sehr spezifisches Set an Stimuli verwendet. Es handelte sich ausschließlich um Tiere als übergeordnete Kategorie. Die Wahl der Stimuli fiel auf Tiere, da mittlerweile beträchtliche Evidenz dafür besteht, dass globale und lokale Merkmale in die Kategorisierung dieser Art von Stimuli involviert sind. Dies ist weniger klar für andere Arten von Kategorien. Für die

vorliegende Studie, die Hemisphärenasymmetrien bei der Objektkategorisierung im Fokus hat, war es sehr wichtig zu wissen, welche Merkmale für die Kategorisierung diagnostisch sind, damit eindeutige Vorhersagen für die Richtung der zu erwartenden Gehirnasymmetrien gemäß der Merkmalshypothese gemacht werden können. Das Ziel der Studie war zu zeigen, dass spezifische Anforderungen der Aufgabe die Kategorisierungsstrategien und damit entsprechende Gehirnasymmetrien beeinflussen. Dies konnte auch eindeutig belegt werden. Es ist freilich wichtig klarzustellen, dass die Ergebnisse ebenfalls nahelegen, dass es für Kategorisierung allgemein kein eindeutiges Muster von Hemisphärenasymmetrien gibt, sondern dass beobachtete Lateralisierungen lediglich zu Grunde liegende Prozesse und Repräsentationen widerspiegeln. Deren Effekte wiederum werden dann nur unter bestimmten Bedingungen sichtbar.

Eine weitere Einschränkung in Bezug auf die verwendeten Stimuli könnte sein, dass, obwohl sehr viel Wert darauf gelegt wurde, dass die Stimuli möglichst ‚natürlich‘ gestaltet sind, ein Unterscheid zwischen den basalen und den untergeordneten Kategorien bestand. Die basalen Kategorien (Hund, Katze, usw.) waren den Vpn höchstwahrscheinlich vertraut, während die untergeordneten Kategorien (gestreifter Hund, gepunktete Katze, usw.) künstlicher waren und gelernt werden mussten. Ich denke jedoch, dass dieser Unterschied für den Zweck dieser Studie nicht essentiell ist. Es sollte untersucht werden, ob die spezifische Aufgabe die Richtung der Gehirnasymmetrien beeinflusst. Da in allen Experimenten die basalen Kategorien vertraut waren und die untergeordneten gelernt werden mussten, kann die Vertrautheit nicht der Grund für die entgegengesetzten Gehirnasymmetrien sein, da sich die Richtung auf beiden Ebenen änderte.

Auch in Bezug auf den vor allem in Studie II untersuchten Faktor der Kategorisierungsunsicherheit (Rouder & Ratcliff, 2006), waren die Stimuli sehr speziell. Die verwendeten basalen Kategorien waren grundsätzlich bereits relativ ähnlich. Die untergeordneten Kategorien wiesen ganz deutliche Merkmalsüberlappungen dadurch auf, dass sie aus einer Kombination von globalen Formen und lokalen Details gebildet waren, die orthogonal variiert wurden. Dies war nötig, um genau zu wissen, welche Information aus den Stimuli diagnostisch für die Kategorisierung war. Diese Maßnahme bewirkte jedoch, dass die Kategorisierungsunsicherheit von vorneherein relativ hoch war. Es kann daher nicht klar belegt werden, dass die Ergebnisse mit anderen Stimuli, die von vorneherein ein geringeres Ausmaß an Kategorisierungsunsicherheit verursachen, identisch sind. Entsprechende

Experimente sollten daher auch mit anderen Stimulusarten durchgeführt werden, bei denen Merkmalsüberlappungen systematisch manipuliert werden. Nichtsdestotrotz sollte aber nochmals festgehalten werden, dass die Tatsache, dass diese Stimuli in allen Experimenten verwendet wurden, gleichzeitig die hohe Aussagekraft der hier vorgelegten Studien untermauert, da jegliche Variation in den Ergebnissen nicht auf das spezifische Stimulusset, sondern ausschließlich auf die eingesetzten Paradigmen zurückgeführt werden kann.

Auf konzeptueller Ebene bleibt generell vor allem das Konstrukt der *Kategorisierungsunsicherheit* (Rouder & Ratcliff, 2006) problematisch. Einerseits ist es kaum operationalisierbar und objektiv bestimmbar. Es wird z.B. behauptet, dass die Zahl der verwendeten Kategorien das Ausmaß an Kategorisierungsunsicherheit beeinflusst. Diese Zahl kann offensichtlich aber nur relativ und nicht absolut bestimmt werden. Denn wie in Experiment 2 der Studie II gezeigt wurde, ist im Vorfeld nicht abzusehen, ab welcher Anzahl von Kategorien die Kategorisierungsunsicherheit tatsächlich als so gering bezeichnet werden kann, dass mit großer Sicherheit eine ähnlichkeitsbasierte Strategie angewendet wird. Zum anderen ist, entgegen der Annahmen von Rouder und Ratcliff (2006), die tatsächlich von den Vpn angewendete Strategie nicht ausschließlich durch Aufgaben- und Stimulusparameter bestimmt, sondern durchaus auch von persönlichen Einschätzungen der Kategorisierungsaufgabe durch die Vpn beeinflusst. Sonst hätte die Benennaufgabe, die in allen drei Experimenten der Studie II vorkam, immer die Anwendung der gleichen Strategien induzieren müssen. Die jeweils angewendete Strategie war aber offensichtlich deutlich vom größeren Kontext abhängig, in dem die Benennaufgabe durchgeführt wurde. Dies belegt, dass die jeweils angewendete Kategorisierungsstrategie nicht nur durch die Kategorisierungsunsicherheit, sondern durchaus auch durch subjektive Einschätzungen der Aufgabe seitens der Vpn beeinflusst ist. Die Forschung zu Bedingungen, die zuverlässig eine bestimmte Kategorisierungsstrategie induzieren, bedarf also noch einer deutlichen Konkretisierung und vermutlich auch einer Einführung neuer, umfassenderer Konzepte.

Zusammengenommen zeigen die vorliegenden Experimente, dass es offensichtlich keine generellen Hemisphärenasymmetrien für die visuelle Kategorisierung von Objekten auf verschiedenen Ebenen der Spezifität gibt. Vielmehr spiegeln die Hemisphärenasymmetrien basale Asymmetrien in der Verarbeitung und Repräsentation von Objekten wider, die bei der Kategorisierung auf verschiedenen Ebenen der Spezifität in unterschiedlichem Ausmaß *involviert* sind. Folglich hängt das letztendlich beobachtbare Gehirnasymmetrienmuster

sowohl von der spezifischen Aufgabe, als auch von den verwendeten Stimuli bzw. Kategorien sowie von Entscheidungskriterien der Person ab. Umgekehrt kann jedoch das beobachtete Muster von VF-Effekten als diagnostisches Kriterium dafür verwendet werden, welche Kategorisierungsstrategien in einer bestimmten Aufgabe von den Vpn verwendet wurden. Insgesamt stellt die Arbeit damit einen weiteren Beleg dafür dar, dass Kategorisierung kein unitärer sondern ein hoch komplexer Prozess ist, der unterschiedliche Subprozesse beinhaltet, die in flexibler Weise angewendet werden können, um möglichst effizient ein dem aktuellen Ziel angemessenes Ergebnis zu liefern.

LITERATURVERZEICHNIS

- Alisivatos, B., & Wilding, J. (1982). Hemispheric differences in matching Stroop-type letter stimuli. *Cortex*, *18*, 5-21.
- Allen, S. W., & Brooks, L. R. (1991). Specializing the operation of an explicit rule. *Journal of Experimental Psychology: General*, *120*, 3-19.
- Archambault, A., Gosselin, F., & Schyns, P. G. (2000). A natural bias for the basic level? In L. R. Gleitman & A. K. Joshi (Eds.), *Proceedings of the twenty-second annual conference of the cognitive science society*. NJ: Erlbaum.
- Ashby, F. G., & Ell, S. W. (2001). The neurobiology of human category learning. *Trends in cognitive sciences*, *5*, 204-210.
- Ashby, F. G., & Maddox, W. T. (2005). Human category learning. *Annual Review of Psychology*, *56*, 149-178.
- Ashby, F. G., & O'Brien, J. B. (2005). Category learning and multiple memory systems. *Trends in cognitive sciences*, *9*, 83-89.
- Beeri, M. S., Vakil, E., Adonsky, A., & Levenkron, S. (2004). The role of the cerebral hemispheres in specific versus abstract priming. *Laterality*, *9*, 313-323.
- Benton, A. L., & Van Allen, M. W. (1968). Impairment in facial recognition in patients with cerebral disease. *Cortex*, *4*, 344-358.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: a theory of human image understanding. *Psychological Review*, *94*, 115-147.
- Biederman, I., & Cooper, E. E. (1991). Object recognition and laterality: Null effects. *Neuropsychologia*, *29*, 685-694.
- Biederman, I., & Gerhardstein, P. C. (1993). Recognizing depth-rotated objects: Evidence and conditions for three-dimensional viewpoint-invariance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*, 1162-1182.
- Biederman, I., & Gerhardstein, P. C. (1995). Viewpoint-dependent mechanisms in visual object recognition: Reply to Tarr and Bülthoff (1995). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*, 1506-1514.

- Blanca, M. J., Zalabardo, C., Garcia-Criado, F., & Siles, R. (1994). Hemispheric differences in global and local processing dependent on exposure duration. *Neuropsychologia*, *32*, 1343-1351.
- Blanca-Mena, M. J. (1992). Can certain stimulus characteristics influence the hemispheric differences in global and local processing? *Acta Psychologica*, *79*, 201-217.
- Boles, D. B. (1984). Global versus local processing: Is there a hemispheric dichotomy? *Neuropsychologia*, *22*, 445-455.
- Boles, D. B., & Karner, T. A. (1996). Hemispheric differences in global versus local processing: Still unclear. *Brain and Cognition*, *30*, 232-243.
- Brooks, B. E., & Cooper, E. E. (2006). What types of visual recognition tasks are mediated by the neural subsystem that subserves face recognition? *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *32*, 684-698.
- Brown, H. D., & Kosslyn, S. M. (1995). Hemispheric differences in visual object processing: Structural versus allocation theories. In: R. J. Davidson and K. Hugdahl (Eds.) *Brain asymmetry* (pp. 77-97). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Bruce, V., Green, P. R., & Georgeson, M. A. (2003). *Visual perception. Physiology, psychology and ecology*. Hove: Psychology Press.
- Bryden, M. P., & Rainey, C. A. (1963). Left-right differences in tachistoscopic recognition. *Journal of Experimental Psychology*, *66*, 568-571.
- Burgund, E. D., & Marsolek, C. J. (1997). Letter-case specific priming in the right cerebral hemisphere with a form specific perceptual identification task. *Brain and Cognition*, *35*, 239-258.
- Burgund, E. D., & Marsolek, C. J. (2000). Viewpoint-invariant and viewpoint-dependent object recognition in dissociable neural subsystems. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*, 480-489.
- Christman, S., Kitterle, F. L., & Hellige, J. B. (1991). Hemispheric asymmetry in the processing of absolute versus relative spatial frequency. *Brain and Cognition*, *16*, 62-73.

- Christman, S. D., & Weiner, R. H. (1997). Hemispheric processing of form versus texture at the local level of hierarchical patterns. *Acta Psychologica, 96*, 193-206.
- Collin, C. A. (2006). Spatial-frequency thresholds for object categorisation at basic and subordinate levels. *Perception, 35*, 41-52.
- Collin, C. A., & McMullen, P. A. (2005). Subordinate-level categorization relies on high spatial frequencies to a greater degree than basic-level categorization. *Perception and Psychophysics, 67*, 354-364.
- Cruse, D. A. (1977). The pragmatics of lexical specificity. *Journal of Linguistics, 13*, 153-164.
- De Renzi, E. (1986). Prosopagnosia in two patients with CT-scan evidence of damage confined to the right hemisphere. *Neuropsychologia, 24*, 385-389.
- De Renzi, E., & Spinnler, H. (1966). Facial recognition in brain-damaged patients: An experimental approach. *Cortex, 16*, 634-642.
- De Valois, R. L., & De Valois, K. K. (1980). Spatial Vision. *Annual Review of Psychology, 31*, 117-153.
- Delis, D. C., Robertson, L. C., & Efron, R. (1986). Hemispheric specialization of memory for visual hierarchical stimuli. *Neuropsychologia, 24*, 205-214.
- Donnelly, N., & Davidoff, J. (1999). The mental representation of faces and houses: Issues concerning parts and wholes. *Visual Cognition, 6*, 319-343.
- Doricchi, F., & Incoccia, C. (1998). Seeing only the right half of the forest but cutting down all the trees? *Nature, 394*, 75-78.
- Doyon, J., & Milner, B. (1991). Right temporal-lobe contribution to global visual processing. *Neuropsychologia, 29*, 343-360.
- Evert, D. L., & Kmen, M. (2003). Hemispheric asymmetries for global and local processing as a function of stimulus exposure duration. *Brain and Cognition, 51*, 115-142.
- Eysenck, M. W. (2001). *Principles of cognitive psychology (2nd edition)*. Hove: Psychology Press.
- Farah, M. J. (1991). Patterns of co-occurrence among the associative agnosias: Implications for visual object representation. *Cognitive Neuropsychology, 8*, 1-19.

- Farah, M. J. (1992). Is an object an object? Cognitive and neuropsychological investigations of domain specificity in visual object recognition. *Current Directions in Psychological Science, 1*, 164-169.
- Farah, M. J., & Hammond, K. M. (1988). Mental rotation and orientation-invariant object recognition: Dissociable Processes. *Cognition, 29*, 29-46.
- Filoteo, J. V., Friedrich, F. J., & Stricker, J. L. (2001). Shifting attention to different levels within global-local stimuli: A study of normal participants and a patient with temporal-parietal lobe damage. *Cognitive Neuropsychology, 18*, 227-261.
- Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, 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.
- Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1997). Neural mechanisms involved in the processing of global and local aspects of hierarchically organized visual stimuli. *Brain, 120*, 1779-1791.
- Fink, G. R., Marshall, J. C., Halligan, P. W., & Dolan, R. J. (1999). Hemispheric asymmetries in global/local processing are modulated by perceptual salience. *Neuropsychologia, 37*, 31-40.
- Gauthier, I., Tarr, M. J., Moylan, J., Anderson, A. W., Skudlarski, P., & Gore, J. C. (2000). Does visual subordinate-level categorisation engage the functionally defined fusiform face area? *Cognitive Neuropsychology, 17*, 143-163.
- Gauthier, I., Tarr, M. J., Moylan, J., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). The fusiform "face area" is part of a network that processes faces at the individual level. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*, 495-504.
- Geffen, G., Bradshaw, J. L., & Wallace, G. (1971). Interhemispheric effects on reaction time to verbal and nonverbal visual stimuli. *Journal of Experimental Psychology, 87*, 415-422.
- Gerlach, C. (2001). Structural similarity causes different category-effects depending on task characteristics. *Neuropsychologia, 39*, 895-900.

- Grossman, M., Smith, E. E., Koenig, P., Glosser, G., DeVita, C., Moore, P., et al. (2002). The neural basis for categorization in semantic memory. *NeuroImage, 17*, 1549-1561.
- Hampton, J. A. (1979). Polymorphous concepts in semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 18*, 441-461.
- Han, S., Fan, S., Chen, L., & Zhuo, Y. (1997). On the different processing of wholes and parts: A psychophysiological analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience, 9*, 687-698.
- Han, S., Fan, S., Chen, L., & Zhuo, Y. (1999). Modulation of brain activities by hierarchical processing: A high-density ERP study. *Brain Topography, 11*, 171-183.
- Han, S., He, X., Yund, E. W., & Woods, D. L. (2001). Attentional selection in the processing of hierarchical patterns: An ERP study. *Biological Psychology, 56*, 113-130.
- Han, S., Weaver, J. A., Murray, S. O., Kang, X., Yund, E. W., & Woods, D. L. (2002). Hemispheric asymmetry in global/local processing: Effects of stimulus position and spatial frequency. *NeuroImage, 17*, 1290-1299.
- Han, S., Yund, E. W., & Woods, D. L. (2003). An ERP study of the global precedence effect: the role of spatial frequency. *Clinical Neurophysiology, 114*, 1850-1865.
- Hass, E. J., & Whipple, J. L. (1985). Effects of a concurrent memory task on hemispheric asymmetries in categorization. *Brain and Cognition, 4*, 13-26.
- Hayward, G. H. (1998). Effects of outline shape in object recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 24*, 427-440.
- Heinze, H. J., & Münte, T. F. (1993). Electrophysiological correlates of hierarchical stimulus processing: dissociation between onset and later stages of global and local target processing. *Neuropsychologia, 31*, 841-852.
- 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.

- Heinze, H. J., Johannes, S., Münte, T. F., & Mangun, G. R. (1994). The order of global- and local-level information processing: Electrophysiological evidence for parallel perceptual processes. In H. J. Heinze, T. F. Münte & G. R. Mangun (Eds.), *Cognitive electrophysiology: Event-related brain potentials in basic and clinical research*. (pp. 102-123). Boston: Birkhauser.
- Hillger, L. A., & Koenig, O. (1991). Separable mechanisms in face processing: Evidence from hemispheric specialization. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3, 42-58.
- Hilliard, R. D. (1973). Hemispheric laterality effects on a facial recognition task in normal subjects. *Cortex*, 9, 246-258.
- Horton, M. S., & Markman, E. M. (1980). Developmental differences in the acquisition of basic and superordinate categories. *Child Development*, 51, 708-719.
- Hübner, R. (1997). The effect of spatial frequency on global precedence and hemispheric differences. *Perception & Psychophysics*, 59, 187-201.
- Hübner, R. (1998). Hemispheric differences in global/local processing revealed by same-different judgements. *Visual Cognition*, 5, 457-478.
- 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. (im Druck). Functional hemispheric differences for the categorization of global and local information in naturalistic stimuli. *Brain and Cognition*.
- 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.
- Humphreys, G. W., & Bruce, V. (1989). *Visual cognition: Computational, experimental, and neuropsychological perspectives*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates.

- Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (1984). Routes to object constancy: Implications from neurological impairments of object constancy. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *36A*, 385-415.
- Ishai, A., Ungerleider, L. G., Martin, A., Schouten, J. L., & Haxby, J. V. (1999). Distributed representation of objects in the human ventral visual pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *96*, 9379-9384.
- Ivry, R. B., & Robertson, L. C. (1998). *The two sides of perception*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Johannes, S., Wieringa, B. M., Matzke, M., & Münte, T. F. (1996). Hierarchical visual stimuli: Electrophysiological evidence for separate left hemispheric global and local processing mechanisms in humans. *Neuroscience Letters*, *210*, 111-114.
- Jolicoeur, P., Gluck, M. A., & Kosslyn, S. M. (1984). Pictures and names: Making the connection. *Cognitive Psychology*, *19*, 31-53.
- Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience*, *17*, 402-431.
- Kimchi, R., & Merhav, I. (1991). Hemispheric processing of global form, local form, and texture. *Acta Psychologica*, *76*, 133-147.
- Koenig, P., Smith, E. E., Glosser, G., DeVita, C., Moore, P., McMillan, C., et al. (2005). The neural basis for novel semantic categorization. *NeuroImage*, *24*, 369-383.
- Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2003). Object recognition in the cerebral hemispheres revealed by visual field experiments. *Laterality*, *8*, 135-153.
- Kosslyn, S. M., Alpert, N. M., & Thompson, W. L. (1995). Identifying objects at different levels of hierarchy: a positron emission tomography study. *Human Brain Mapping*, *3*, 107-132.
- Koutstaal, W., Wagner, A. D., Rotte, M., Maril, A., Buckner, R. L., & Schacter, D. L. (2001). Perceptual specificity in visual object priming: functional magnetic resonance imaging evidence for a laterality difference in fusiform cortex. *Neuropsychologia*, *39*, 184-199.
- Krueger, L. E. (1978). A theory of perceptual matching. *Psychological Review*, *85*, 278-304.

- Kruschke, J. K. (1992). ALCOVE: an exemplar-based connectionist model of category learning. *Psychological Review*, *99*, 22-44.
- Laeng, B., Shah, J., & Kosslyn, S. (1999). Identifying objects in conventional and contorted poses: contributions of hemisphere-specific mechanisms. *Cognition*, *70*, 53-85.
- Laeng, B., Zarrinpar, A., & Kosslyn, S. M. (2003). Do separate processes identify objects as exemplars versus members of basic-level categories? Evidence from hemispheric specialization. *Brain and Cognition*, *53*, 15-27.
- Lag, T., Hveem, K., Ruud, K. P. E., & Laeng, B. (2006). The visual basis of category effects in object identification: Evidence from the visual hemifield paradigm. *Brain and Cognition*, *60*, 1-10.
- Lamb, M. R., Robertson, L. C., & Knight, R. T. (1990). Component mechanisms underlying the processing of hierarchically organized patterns: Inferences from patients with unilateral cortical lesions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*, 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.
- Large, M.-E., & McMullen, P. A. (2006). Hierarchical attention in discriminating objects at different levels of specificity. *Perception and Psychophysics*, *68*, 845-860.
- Lassonde, M., Mottron, L., Peretz, I., Schiavetto, A., Hebert, S., & Decarie, J.-C. (1999). Loss of global visual and auditory processing following right temporal lobe lesion. *Brain and Cognition*, *40*, 162 - 166.
- Laws, K. R., & Neve, C. (1999). A 'normal' category-specific advantage for naming living things. *Neuropsychologia*, *37*, 1263-1269.
- Levine, C., & Banich, M. T. (1982). Lateral asymmetries in the naming of words and corresponding line drawings. *Brain and Language*, *17*, 34-45.
- Levine, S. C., Banich, M. T., & Koch-Weser, M. P. (1988). Face recognition: A general or specific right hemisphere capacity? *Brain and Cognition*, *8*, 303-325.

- Lin, E. L., Murphy, G. L., & Shoben, E. J. (1997). The effect of prior processing episodes on basic-level superiority. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50A, 25-48.
- 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.
- Malt, B. C. (1995). Category coherence in cross-cultural perspective. *Cognitive Psychology*, 29, 85-148.
- Marr, D. (1982). *Vision: a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: Freeman.
- Marr, D., & Nishihara, H. K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, 200, 269-291.
- Marsolek, C. J. (1995). Abstract visual form representations in the left cerebral hemisphere. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 375-386.
- Marsolek, C. J. (1999). Dissociable neural subsystems underlie abstract and specific object recognition. *Psychological Science*, 10, 111-118.
- Marsolek, C. J. (2003). What is priming and why? In J. S. Bowers & C. J. Marsolek (Eds.), *Rethinking implicit memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Marsolek, C. J. (2004). Abstractionist versus exemplar-based theories of visual word priming: A subsystems resolution. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 57A, 1233-1259.
- Marsolek, C. J., & Andresen, D. R. (2005). Interactive visual and postvisual processes and their roles in form-specific memory. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 59, 109-123.
- Marsolek, C. J., & Burgund, E. D. (1997). Computational analyses and hemispheric asymmetries in visual-form recognition. In S. Christman (Ed.), *Cerebral asymmetries in sensory and perceptual processing* (pp. 125-158). Amsterdam: Elsevier.

- Marsolek, C. J., & Burgund, E. D. (2003). Visual recognition and priming of incomplete objects: The influence of stimulus and task demands. In J. S. Bowers & C. J. Marsolek (Eds.), *Rethinking implicit memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Marsolek, C. J., & Burgund, E. D. (2005). Initial storage of unfamiliar objects: Examining memory stores with signal detection analyses. *Acta Psychologica*, *119*, 81-106.
- Marsolek, C. J., & Burgund, E. D. (2008). Dissociable neural subsystems underlie visual working memory for abstract categories and specific exemplars. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *8*, 17-24.
- Marsolek, C. J., Kosslyn, S. M., & Squire, L. R. (1992). Form specific visual priming in the right cerebral hemisphere. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *18*, 492-508.
- Marsolek, C. J., Schacter, D. L., & Nicholas, C. D. (1996). Form-specific visual priming for new associations in the right cerebral hemisphere. *Memory and Cognition*, *24*, 539-556.
- Marsolek, C. J., Squire, L. R., Kosslyn, S. M., & Lulenski, M. E. (1994). Form specific explicit and implicit memory in the right cerebral hemisphere. *Neuropsychology*, *8*, 588-597.
- Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category-specific knowledge. *Nature*, *379*, 649-652.
- Martin, M. (1979). Hemispheric specialization for global and local processing. *Neuropsychologia*, *17*, 33-40.
- Martinez, A., Moses, P., Frank, L., Buxton, R., Wong, E., & Stiles, J. (1997). Hemispheric asymmetries in global and local processing: Evidence from fMRI. *NeuroReport*, *8*, 1685-1689.
- Marzi, C., & Berlucchi, G. (1977). Right visual field superiority for accuracy of recognition of famous faces in normals. *Neuropsychologia*, *15*, 751-756.
- McAuliffe, S. P., & Knowlton, B. J. (2000). Hemispheric differences in object identification. *Brain and Cognition*, *45*, 119-128.

- McCarthy, G., Puce, A., Belger, A., & Allison, T. (1999). Electrophysiological studies of human face perception: Response properties of face-specific potentials generated in occipito-temporal cortex. *Cerebral Cortex*, *9*, 431-444.
- McCarthy, G., Puce, A., Gore, J. C., & Allison, T. (1997). Face-specific processing in the human fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*, 605-610.
- Medin, D. L., & Schaffer, M. M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological Review*, *85*, 207-238.
- Medin, D. L., Wattenmaker, W. D., & Hampson, S. E. (1987). Family resemblance, conceptual cohesiveness, and category construction. *Cognitive Psychology*, *19*, 242-279.
- Milner, B. (1968). Visual recognition and recall after right temporal lobe excision in man. *Neuropsychologia*, *6*, 191-209.
- Morrison, D. J., & Schyns, P. G. (2001). Usage of spatial scales for the categorization of faces, objects, and scenes. *Psychonomic Bulletin and Review*, *8*, 454-469.
- Moscovitch, M. (1994). Memory and working with memory: Evaluation of a computational process model and comparisons with other models. In D. L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory Systems 1994*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Murphy, G. L. (2001). Causes of taxonomic sorting by adults: A test of the thematic-to-taxonomic shift. *Psychonomic Bulletin & Review*, *8*, 834-839.
- Murphy, G. L. (2002). *The big book of concepts*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Murphy, G. L., & Brownell, H. H. (1985). Category differentiation in object recognition: Typicality constraints on the basic category advantage. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *11*, 70-84.
- Murphy, G. L., & Smith, E. E. (1982). Basic-level superiority in picture categorization. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *21*, 1-20.
- Navon, D. (1977). Forest before the trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, *9*, 353-393.
- Nosofsky, R. M. (1986). Attention, similarity, and the identification-categorization relationship. *Journal of Experimental Psychology: General*, *115*, 39-61.

- Oliva, A., & Schyns, P. G. (1997). Coarse blobs or fine edges? Evidence that information diagnosticity changes the perception of complex visual stimuli. *Cognitive Psychology*, *34*, 72-107.
- Paivio, A., & Ernest, C. H. (1971). Imagery ability and visual perception of verbal and nonverbal stimuli. *Perception and Psychophysics*, *10*, 429-432.
- Palmeri, T. J., & Gauthier, I. (2004). Visual object understanding. *Nature Reviews Neuroscience*, *5*, 291-303.
- Patterson, K., & Bradshaw, J. L. (1975). Differential hemispheric mediation of nonverbal visual stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *3*, 246-252.
- Perani, D., Cappa, S. F., Bettinardi, S. V., Bressi, S., Gorno-Tempini, M., Mattarese, M., et al. (1995). Different neural subsystems for the recognition of animals and man-made tools. *NeuroReport*, *6*, 1637-1641.
- Pickering, E. C., & Schweinberger, S. R. (2003). N200, N250r, and N400 event-related brain potentials reveal three loci of repetition priming for familiar names. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, *29*, 1298-1311.
- Polster, M. R., & Rapsak, S. Z. (1994). Hierarchical stimuli and hemispheric specialization: Two case studies. *Cortex*, *30*, 487-497.
- Posner, M. I., & Keele, S. W. (1968). On the genesis of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology*, *77*, 353-363.
- Price, C. J., Moore, C. J., Humphreys, G. W., Frackowiak, R. S. J., & Friston, K. J. (1996). The neural regions sustaining object recognition and naming. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, *263*, 1501-1508.
- Proverbio, A. M., Minniti, A., & Zani, A. (1998). Electrophysiological evidence of a perceptual precedence of global vs. local visual information. *Cognitive Brain Research*, *6*, 321-334.
- Regehr, G., & Brooks, L. R. (1993). Perceptual manifestations of an analytic structure: the priority of holistic individuation. *Journal of Experimental Psychology: General*, *122*, 92-114.

- Rhodes, G. (1985). Lateralized processes in face recognition. *British Journal of Psychology*, 76, 249-271.
- Rhodes, G. (1993). Configural coding, expertise, and the right hemisphere advantage for face recognition. *Brain and Cognition*, 22, 19-41.
- Riddoch, M. J., & Humphreys, G. W. (1986). Neurological impairments of visual object constancy: The effects of orientation and size disparities. *Cognitive Neuropsychology*, 3, 207-224.
- Riddoch, M. J., & Humphreys, G. W. (1987). Visual object processing in optic aphasia: A case of semantic access aphasia. *Cognitive Neuropsychology*, 4, 131-186.
- Robertson, L. C., & Delis, D. C. (1986). 'Part-whole' processing in unilateral brain damaged patients: Dysfunction of hierarchical organization. *Neuropsychologia*, 24, 363-370.
- Robertson, L. C., & Lamb, M. R. (1991). Neuropsychological contributions to theories of part/whole organization. *Cognitive Psychology*, 23, 299-330.
- Robertson, L. C., Lamb, M. R., & Knight, R. T. (1988). Effects of lesions of temporal-parietal junction on perceptual and attentional processing in humans. *Journal of Neuroscience*, 8, 3757-3769.
- Rolls, E. T. (1992). Neurophysiological mechanisms underlying face processing within and beyond the temporal cortical visual areas. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B*, 335, 11-20.
- Rosch, E., & Mervis, C. B. (1975). Family resemblance: Studies in the internal structure of categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104, 192-233.
- Rosch, E., Mervis, C. B., Gray, W. D., Johnson, D. M., & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382-452.
- Rossion, B., Dricot, L., Devolder, A., Bodart, J.-M., Crommelinck, M., de Gelder, B., et al. (2000). Hemispheric asymmetries for whole-based and part-based face processing in the human fusiform gyrus. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 793-802.
- Rouder, J. N., & Ratcliff, R. (2006). Comparing exemplar- and rule-based theories of categorization. *Current Directions in Psychological Science*, 15, 9-13.

- Sartori, G., & Job, R. (1988). The oyster with four legs: A neuropsychological study on the interaction of visual and semantic information. *Cognitive Neuropsychology*, *5*, 105-132.
- Schacter, D. L. (1994). Priming and multiple memory systems: Perceptual mechanisms of implicit memory. In D. L. Schacter & E. Tulving (Eds.), *Memory Systems 1994*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Schatz, J., Craft, S., Koby, M., & DeBaun, M. R. (2004). Asymmetries in visual-spatial processing following childhood stroke. *Neuropsychology*, *18*, 340-352.
- Schmuller, J., & Goodman, R. (1980). Bilateral tachistoscopic perception, handedness and laterality: II. Nonverbal stimuli. *Brain and Language*, *11*, 12-18.
- Schyns, P. G. (1998). Diagnostic recognition: task constraints, object information, and their interactions. *Cognition*, *67*, 147-179.
- Schyns, P. G., & Oliva, A. (1999). Dr. Angry and Mr. Smile: When categorization flexibly modifies the perception of faces in rapid visual presentations. *Cognition*, *69*, 243-265.
- Sergent, J. (1982). The cerebral balance of power: confrontation or cooperation? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*, 253-272.
- Sergent, J., & Lorber, E. (1983). Perceptual categorization in the cerebral hemispheres. *Brain and Cognition*, *2*, 39-54.
- Shohamy, D., Myers, C. E., Grossman, S., Sage, J., Gluck, M. A., & Poldrack, R. A. (2004). Cortico-striatal contributions to feedback-based learning: converging data from neuroimaging and neuropsychology. *Brain*, *127*, 851-859.
- Smith, E. E. (2008). The case for implicit category learning. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, *8*, 3-16.
- Smith, E. E., Balzano, G. J., & Walker, J. (1978). Nominal, perceptual, and semantic codes in picture categorization. In J. W. Cotton & R. L. Klatzky (Eds.), *Semantic factors in cognition* (pp. 137-168). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Smith, E. E., & Grossman, M. (2008). Multiple systems of category learning. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *32*, 249-264.
- Smith, E. E., & Kemler, D. G. (1984). Overall similarity in adults' classification: the child in all of us. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*, 137-159.

- Smith, E. E., & Medin, D. L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Smith, E. E., Patalano, A. L., & Jonides, J. (1998). Alternative strategies of categorization. *Cognition*, *65*, 167-196.
- Smith, E. E., & Sloman, S. A. (1994). Similarity- versus rule-based categorization. *Memory & Cognition*, *22*, 377-386.
- Tanaka, J. W., & Farah, M. J. (1993). Parts and wholes in face recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, A*, *46*, 225-245.
- Tanaka, J. W., & Gauthier, I. (1997). Expertise in object and face recognition. In R. L. Goldstone, D. L. Medin & P. G. Schyns (Eds.), *Perceptual Learning* (Vol. 36, pp. 83-125). San Diego: Academic Press.
- Tanaka, J. W., Luu, P., Weisbrod, M., & Kiefer, M. (1999). Tracking the time-course of object categorization using event-related potentials. *NeuroReport*, *10*, 829-835.
- Tanaka, J. W., & Taylor, M. (1991). Object categories and expertise: Is the basic level in the eye of the beholder? *Cognitive Psychology*, *23*, 457-482.
- Tarr, M. J., & Bühlhoff, H. H. (1995). Is human object recognition better described by geon structural descriptions or by multiple views? Comment on Biederman and Gerhardstein (1993). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*, 1494-1505.
- Tarr, M. J., & Bühlhoff, H. H. (1998). Image-based object recognition in man, monkey and machine. *Cognition*, *67*, 1-20.
- Thomas, R., & Forde, E. (2006). The role of local and global processing in the recognition of living and nonliving things. *Neuropsychologia*, *44*, 982-986.
- Vaidya, C. J., Gabrieli, J. D. E., Verfaellie, M., Fleischman, D., & Askari, N. (1998). Font-specific priming following global amnesia and occipital lobe damage. *Neuropsychology*, *12*, 183-192.
- 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. *Neuropsychologia*, *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.
- Warrington, E., & James, M. (1967). An experimental investigation of facial recognition in patients with unilateral cerebral lesions. *Cortex*, *3*, 317-326.
- Warrington, E. K., & Taylor, A. M. (1978). Two categorical stages of object recognition. *Perception*, *7*, 695-705.
- Weber, B., Schwarz, U., Kneifel, S., Treyer, V., & Buck, A. (2000). Hierarchical visual processing is dependent on the oculomotor system. *NeuroReport*, *11*, 241-247.
- Wyke, M., & Ettliger, G. (1961). Efficiency of recognition in left and right visual fields: Its relation to the phenomenon of visual extinction. *Archives of Neurology*, *5*, 659-665.
- Yamaguchi, S., Yamagata, S., & Kobayashi, S. (2000). Cerebral asymmetry of the 'top-down' allocation of attention to global and local features. *The Journal of Neuroscience*, *20*, 1-5.
- Young, A. W., & Bion, P. J. (1981). Identification and storage of line drawings presented to the left and right cerebral hemispheres of adults and children. *Cortex*, *17*, 459-464.
- Young, A. W., Hay, D. C., & McWeeny, K. H. (1985). Right cerebral hemisphere superiority for constructing facial representations. *Neuropsychologia*, *23*, 195-202.
- 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.

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet. Weitere Personen, insbesondere Promotionsberater, waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung dieser Arbeit nicht beteiligt. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Konstanz, im Mai 2008, _____

(Tobias Studer)

