

# **Multimodale Integration inkongruenter Objektinformationen in visueller und haptischer Sinnesmodalität**

## **Dissertation**

zur Erlangung der Würde einer Doktorin bzw. eines Doktors der Philosophie  
des Fachbereiches Pädagogik der Universität der Bundeswehr Hamburg

vorgelegt von

Patricia Tegtmeier

aus Castrop-Rauxel

Hamburg 2003



1. Gutachter Prof. Dr. Rainer H. Kluwe
2. Gutachter Prof. Dr. Rainer Dieterich

Tag der mündlichen Prüfung: 12.03.2004



1	Einleitung .....	1
2	Trennung und Interaktion von Sinnesmodalitäten.....	5
2.1	Sehen .....	7
2.2	Tastsinn.....	8
3	Integration über mehrere Sinne .....	11
3.1	Unabhängige Funktionsweise .....	13
3.2	Intermodale Wechselwirkung .....	13
3.3	Multimodale Integration.....	14
3.3.1	Intersensorische Assoziation .....	16
3.3.2	Hierarchische Verknüpfung .....	17
3.3.3	Amodale Eigenschaften .....	17
4	Forschungsüberblick zur multimodalen Integration.....	21
4.1	Äquivalenz intramodaler Reizabbildungen .....	21
4.2	Intermodaler Transfer .....	26
4.2.1	Direktes Matching ohne Konflikt.....	27
4.2.2	Matching mit Konflikt.....	32
4.2.3	Gewichtung der Modalitäten .....	41
4.3	Wahrnehmung und Handlung .....	58
4.3.1	Dissoziation von Wahrnehmung und Handlung.....	58
4.3.2	Gemeinsame Repräsentation .....	62
4.3.3	Aufgabenbezogene Dissoziation.....	66
4.4	Assoziierte Hirnstrukturen .....	71
5	Experimentelle Untersuchungen.....	75
5.1	Vorbemerkungen .....	75
5.2	Experimentelles Paradigma .....	76
5.3	Experiment 1 .....	80
5.4	Experiment 2.....	88
5.5	Experiment 3.....	94
5.6	Experiment 4.....	100
5.7	Gesamtdiskussion .....	109
6	Schlußbemerkung .....	115
7	Zusammenfassung.....	117
8	Literaturverzeichnis.....	119
9	Anhang .....	131



# 1 Einleitung

Geben Sehen und Tastsinn zum Teil die gleichen Informationen über Objekte und Ereignisse? Werden die sinnesspezifischen Reizinformationen getrennt kodiert und muß gelernt werden, die hier aufgenommene Information als äquivalent zu erkennen oder nehmen wir bereits äquivalente Strukturen über die Sinne modalitätsübergreifend auf?

Die Frage nach der Verbindung der Sinne und danach welches Wissen wir aufgrund verschiedener Sinne erfahren, beschäftigte bereits Philosophen des 17. Jahrhunderts. Gerade die Beschäftigung mit der Funktion der Optik und den damit verbundenen Problemen und Fragen war unter Intellektuellen des 17. Jahrhundert weit verbreitet. In diesem geistigen Umfeld formulierte William Molyneux (1656-1698) als Reaktion auf ein Essay Lockes zum menschlichen Verstehen folgenden Brief an John Locke (1623-1704) im Juli 1688:

A man, being born blind, and having a globe and a cube, nigh of the same bigness, committed into his hands, and being taught or told, which is called the globe, and which the cube, so as easily to distinguish them by touch or felling; then both taken from him, and laid on a table, let us suppose his sight restored to him; whether he could, by his sight, and before he touch them, know which is the globe and which the cube? [...]

nach Degenaar, 1996, S. 4

Das Problem bestand für Molyneux somit weniger in der Frage, ob die vormals blinde Person die beiden Formen prinzipiell unterscheiden könnte, sondern vielmehr darin, inwieweit die Fähigkeit vorhanden sei, die visuelle Information zu interpretieren und mit den Formen zu benennen, die zuvor nur durch den Tastsinn bekannt waren. Um die Figuren mit der korrekten Form benennen zu können, müßte der visuelle Eindruck mit den zuvor aus den anderen Sinnen erworbenen Informationen in Verbindung gebracht werden.

Einigkeit bestand darüber, daß Unterschiede zwischen visuellem und haptischem Sinneseindruck von Objekten bestehen, nicht jedoch über die Beziehung der Eindrücke in verschiedenen Sinnen zu einem bestimmten Objekt. Einige Philosophen verfolgten die Überlegung, daß die Beziehung zwischen beiden Sinnen arbiträr und nur durch Erfahrung gelernt sei. Andere nahmen eine natür-

liche Beziehung zwischen den Sinnesmodalitäten an, teils unter der Annahme, daß Erfahrung dafür notwendig sei, teils, daß eine solche Beziehung automatisch erfolge. Für Molyneuxs Problem ist die Beziehung zwischen dem haptischen und visuellen Konzept von Kugel und Quader bedeutsam. Entweder ist das visuelle Konzept einer Kugel verschieden von dem taktilen Konzept und eine Beziehung zwischen beidem wird über Erfahrung geknüpft. Dann ist die korrekte Benennung nach Erlangen der Sehfähigkeit nur mit visueller Information nicht möglich. Oder die Konzepte sind essentiell gleich oder haben zumindest teilweise eine gemeinsame Basis. Dann erfolgt eine Verbindung automatisch und die Zuweisung der Begriffe Kugel und Quader sollte auch nur mittels Betrachten der Objekte möglich sein.

Molyneux beantwortete seine Frage dahingehend, daß der erstmals Sehende nicht in der Lage sein könne, beide Formen nur nach ihrer Optik korrekt zu bezeichnen. Zwar habe diese Person Kugel und Quader über Haptik erfahren, es gäbe jedoch keine Verknüpfung zwischen dem, was haptisch gereizt und wie es visuell wahrgenommen wird, da eine Verbindung zwischen beiden Sinnen gelernt sei. Auch Locke argumentierte, daß vorherige sensorische Erfahrung notwendig ist, um visuellen Input zu interpretieren (siehe Degenaar, 1996; Morgan, 1977).

Dagegen argumentierte Gottfried Wilhelm Leibnitz (1646-1716), daß Kugel und Würfel eine unterschiedliche spezifische Geometrie zugrunde läge und auch Blinde in der Lage seien, Geometrie zu verstehen. Wenn auch keine spezifisch bildliche Vorstellung gegeben sei, so verweisen haptische und visuelle Formerfahrung auf die gleiche zugrunde liegende Idee beider Objekte. Die Idee spezifischer Formen könne daher über mehr als nur eine Sinnesmodalität erworben werden. Auch Francis Hutcheson (1694-1747) war der Ansicht, daß eine blinde Person nichts von Geometrie verstehen könnte, wären visuelle und taktile Idee von Ausdehnung komplett unterschiedlich. Zwar sind seiner Meinung nach visuelle und taktile Vorstellungen von Formen verschieden, aber die zugrunde liegende Idee gleich. Sowohl Leibnitz als auch Hutcheson gelangten zu der Ansicht, daß ein vormals Blinder bei erstem visuellen Eindruck, ohne die Figuren



zu berühren, in der Lage sei zu sagen, welches Objekt die Kugel und welches der Würfel ist (Degenaar, 1996).

Das zunächst hypothetische Problem schien sich empirisch zu beantworten, als nach Kataraktoperationen in einigen Fälle die Sehfähigkeit geburtsblinder Erwachsenen hergestellt werden konnte. Leider führte dies nicht zu einer eindeutigen Antwort auf Molyneuxs Frage. Zwar haben diese Personen visuelle Eindrücke nach der Herstellung des Sehens, allerdings sind diese aufgrund des Status des Auges direkt nach der Operation nicht vergleichbar mit solchen Normalsichtiger mit lebenslanger Seherfahrung. Einige Patienten waren nach der Operation in der Lage, zwischen hell und dunkel zu unterscheiden, andere auch zwischen Farben und einige wenige konnten darüber hinaus Bewegung, Distanz und Größe wahrnehmen. Zudem war das Alter zum Zeitpunkt der Operation (Kindheit bis spätes Erwachsenenalter) wie auch der Zeitpunkt der postoperativen Überprüfung der visuellen Wahrnehmung zwischen den Patienten nicht einheitlich. Damit ist eine Generalisierung der Ergebnisse aus diesen Studien eher problematisch. Einen ausführlicheren Überblick zu philosophischen und psychologischen Aspekten der von Molyneux aufgeworfenen Frage bieten z.B. Degenaar (1996) und Moreau (1971).

In den letzten Jahren richtete sich das Interesse der Forschung vor dem Hintergrund neuerer technologischer Entwicklungen (Mikrochiptechnologie, Neurochiptechnologie etc.) wieder verstärkt auf die multimodale Wahrnehmung und die Möglichkeiten der Integration von Information aus verschiedenen Sinnesmodalitäten wie auch der Substitution einer Modalität durch eine andere. Gleichzeitig lebte auch die Frage nach der Basis der Integration wieder auf. Diskutiert wird hier eine gemeinsame Repräsentation der Information aus der Umwelt oder eine Translation von Information unter Beibehaltung der Modalitätsspezifität.

Die vorliegende Arbeit untersucht anhand stark diskrepanten Materials die multimodale Integration von Objektinformationen aus verschiedenen Sinnesmodalitäten unter der Annahme einer gemeinsamen Repräsentation der abgefragten Eigenschaften. Dazu wurden hier haptische und visuelle Sinnesmodalität

kontrastiert, da in diesen gleiche Objekteigenschaften wie Länge, Form, Textur etc. wahrgenommen werden können.

In Kapitel 2 wird zunächst Grundsätzliches zur Interaktion von und Trennung zwischen den Sinnesmodalitäten, in Kapitel 3 darauf aufbauend grundlegende Modelle zur Art der Interaktion zwischen den Modalitäten dargestellt. Kapitel 4 umfaßt einen kurzen Forschungsüberblick zu experimentalpsychologischen Ansätzen, die die Beziehung der Sinne zueinander untersuchen. Daran schließen sich mit Kapitel 5 der eigene Forschungsansatz und die eigenen Experimente an.

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die zu dem Zustandekommen dieser Arbeit beigetragen haben. An erster Stelle ist hier Prof. Dr. Rainer H. Kluwe für die Freiheit bei der Themenwahl und der Unterstützung der eigenständigen Vorgehensweise zu nennen. Weiterhin möchte ich meinen Kollegen, insbesondere Dr. Mike Hübner und Frau Alexandra Peters, für wertvolle Diskussionen, Anmerkungen und Rückmeldungen danken. Weiterer Dank gilt den Mitarbeitern der Werkstatt für die präzise und liebevolle Gestaltung der Versuchsmaterialien, sowie den Korrekturlesern, hier vor allem Frau Kerstin Mock. Insbesondere danke ich auch meinem Mann Tomas Allis für seine geduldige Unterstützung und seinen anhaltenden Optimismus.

## 2 Trennung und Interaktion von Sinnesmodalitäten

Der Mensch ist wie die meisten mehrzelligen Lebewesen mit mehr als einem Sinnesorgan ausgestattet, um Informationen aus der Umwelt aufzunehmen. Klassischerweise findet sich beim Menschen eine Einteilung in fünf Sinne: Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen bzw. Tasten.

Die verschiedenen Sinnesorgane reagieren auf unterschiedliche, spezifische Energien aus der Umwelt und wandeln diese entsprechend in neuronale Aktivität um. Die so entstehenden elektrischen Impulse sind unabhängig vom Wahrnehmungsorgan gleich. Die physikalische Realität ist also nur über die Sinnesorgane aufgenommene Information erfaßbar, da das Gehirn selbst keinen direkten Zugang zur Außenwelt hat.

Trotzdem führt ein akustischer Reiz im allgemeinen nicht zu einer visuellen Empfindung<sup>1</sup>. Johannes Müller (1826, nach Guski, 1996) formulierte dies in seinem Gesetz der spezifischen Reizenergie. Für jedes sensorische System erregen spezialisierte Rezeptoren zugehörige sensorische Nerven. Diese projizieren auf verschiedenen afferenten neuronalen Pfaden in spezifische Gehirnbereiche. Im Gehirn wird die so entstehende anatomische Kodierung genutzt, um Ort und Art der sensorischen Stimulation in Abhängigkeit von der aktiven Nervenbahn zu kodieren. Die Qualität der Wahrnehmung ist damit abhängig von dem jeweiligen Rezeptororgan. So erklärt sich auch, wie ein Schlag auf das Auge eine Lichtwahrnehmung („Sternchen“-Sehen) hervorrufen kann. Ähnlich führt eine elektrische Reizung der den Sinnesorganen zugehörigen Nerven zu einer Wahrnehmung aufgrund der "Herkunftsmodalität".

Diese Spezifität in der Informationsverarbeitung legt eine eher getrennte Betrachtung der Sinnesmodalitäten, neuronalen Verschaltungen und Organisa-

---

<sup>1</sup> Eine Ausnahme bilden die Synästhetiker. Bei ihnen entsteht eine Art Doppelwahrnehmung. So können z.B. bestimmte Töne zu einer gleichzeitigen spezifischen Farbwahrnehmung führen, bei anderen Synästhetikern erzeugen Geschmacksnuancen das Gefühl, bestimmte Objekte zu fühlen. Welche spezielle Wahrnehmungskombination auftritt, ist für jeden Synästhetiker einzigartig. Auf diese spezielle Art der Wahrnehmung soll hier nicht näher eingegangen werden. Einen Überblick bietet z.B. Marks (1978).

tion im Gehirn nahe. Dieser Ansatz war lange forschungsweisend und findet seinen Niederschlag immer noch in der getrennten Betrachtung der Sinnesmodalitäten vieler Bücher zur Physiologie, Wahrnehmung etc.

Eine solche Trennung vor allem visueller, auditiver und haptischer Prozesse führt zwar einerseits zu mehr Wissen über periphere Physiologie und sensorische Pfade zum zentralen Nervensystem, allerdings besteht Wahrnehmung immer in einer Gesamtwahrnehmung und nicht aus verschiedenen und voneinander unabhängigen Akten (Jones, 1981).

Im Alltag fällt häufig nicht auf, wie stark die einzelnen Sinnesmodalitäten miteinander interagieren. Ständig treffen verschiedenste Reize auf den Organismus und werden dabei parallel über verschiedene Sinnesmodalitäten aufgenommen. Information aus einem breiten sensorischen Spektrum unterschiedlichsten Ursprungs und Relevanz wird dann zu einer einheitlichen Gesamtwahrnehmung der Umwelt integriert. Dies ermöglicht z.B., die Augen auf einen gerade gelesenen Artikel geheftet, ohne hinzusehen nach einer Tasse zu greifen, nachdem man deren ungefähre Raumposition mittels Geruch erschließen konnte, wie auch ein entsprechender Geruch Kaffee als Inhalt nahe legt. Hier erhalten die verschiedenen beteiligten Sinne Informationen zu unterschiedlichen Aspekten der Umwelt.

In anderen Fällen referieren die sensorischen Informationen stärker aufeinander. So kann man während einer Fahrradreparatur das Innengewinde einer Mutter sehen und passend dazu, ohne die Augen vom Fahrrad zu nehmen, eine Schraube mit Hilfe der Hände aus dem Werkzeugkasten suchen (inwieweit man tatsächlich ohne Sichtunterstützung die richtige Schraube findet, wird neben der Ordnung im Werkzeug auch von der Abstufung der Schraubendurchmesser und der Übung im Einschätzen abhängen). Um dies zu ermöglichen, muß die getrennt aufgenommene visuelle und haptische Information direkt aufeinander bezogen werden. Hier wird auch ersichtlich, daß einige Eigenschaften aus der Umwelt über mehr als eine Sinnesmodalität wahrgenommen werden können. Andere Sinneseindrücke sind dagegen nur über eine Modalität erfahrbar.

Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Integration von Sehen und Fühlen bzw. Tasten liegt, soll im folgenden kurz auf Aspekte beider Sinne einzeln eingegangen werden.

## 2.1 Sehen

Die Wahrnehmung optischer Information erfolgt beim Menschen durch Stimulation der Retina über den Einfall elektromagnetischer Strahlung im Bereich von 400-750 nm. Die Strahlung kann entweder direkt durch leuchtende Körper ins Auge fallen oder durch einen Gegenstand reflektiert werden. Dabei ergeben sich in den dynamischen Strukturen der Energieverteilung Invarianten abhängig vom statischen oder dynamischen Beobachter-Objekt-Bezug.

Die auf der Retina in neuronale Impulse umgewandelte Information wird dann zunächst zum primären visuellen Kortex und von dort zu assoziierten kortikalen Arealen weitergeleitet. Hier sind nach Ungerleider und Mishkin (1982) insbesondere zwei große Verarbeitungsbahnen für visuelle Information zu unterscheiden: eine ventrale (temporale visuelle Felder) und eine dorsale (parietale visuelle Regionen) Verarbeitung. Ventral wird dabei eher visuelle Information zur Objekterkennung (Was) verarbeitet, wohingegen Informationen zur Raumverortung von Objekten in der Umwelt (Wo) im dorsalen Pfad verarbeitet werden (siehe auch Kapitel 4.3.1). Weitere Pfade führen in Bereiche mit polysensorischen Neuronen, die sowohl auf visuelle, auditive und/oder somatosensorische Information reagieren (Kolb & Whishaw, 1993).

Die visuelle Wahrnehmung ist primär ein exterozeptiver Sinn, das heißt die Reizung erfolgt durch außerhalb des Beobachters liegende Reize. Es gibt jedoch auch propriozeptive (auf das Körperinnere bezogene) Wahrnehmungsanteile. So ermöglichen Augenbewegungen hin zu einem Gegenstand, das Verfolgen eines beweglichen Objektes mit den Augen etc. eine Orientierung und Fokussierung auf einen Gegenstand. Weiterhin geben Konvergenz und Akkomodation über afferente Information zur Augenstellung zusätzliche Hinweise zur Raumverortung von Gegenständen. Da die neuronale Erregung, die die Augenmuskeln steuert als efferente Kopie der Augenbewegung ebenfalls in das neuronale

System eingegeben wird, ergeben sich daraus Informationen über eine Eigenbewegung des Beobachters oder über Objektbewegung. Verschiebt man beispielsweise die Augen mechanisch durch leichten Druck auf den Augapfel zur Seite, erhält man die Wahrnehmung einer sich bewegenden Umwelt, da die efferente Kopie einer gesteuerten Augenbewegung fehlt.

Das Sehen ermöglicht eine direkte Informationsaufnahme über einen sehr großen Bereich des extrapersonalen Raums. Dieser umfaßt nach Grüsser (1983) den Bereich des Greifraums (direkt am Körper bis zu einem Meter Entfernung) bis zum erweiterten Handlungsraum (bis hundert oder mehr Meter, in Abhängigkeit von den Umweltgegebenheiten).

## 2.2 Tastsinn

Das haptische<sup>2</sup> System besteht aus einer Familie sensorischer Subsysteme: (a) den Hautrezeptoren (Mechano-, Thermo- und Schmerzrezeptoren) zur Aufnahme exterozeptiver Reize und (b) kinästhetischen Rezeptoren (Mechanorezeptoren in Muskeln, Sehnen und Gelenken), die Informationen zu statischer und dynamischer Körperhaltung (propriozeptiv) und zur Muskelanstrengung (Kraftaufwand) geben. Die kinästhetischen Rezeptoren liefern afferente Information über die aktuellen Werte und die efferente Kopie gibt Informationen über die intendierte Körperhaltung und Muskelspannung.

Die afferente Information wird gebündelt und über zwei Bahnen (eine für Temperatur und Schmerz, eine für Berührung und bewußte kinästhetische Wahrnehmung) durch das Rückenmark zum primären sensorischen Kortex geleitet. Einzelne Körperteile sind dort überproportional repräsentiert. Je feiner das Wahrnehmungsorgan, desto größer ist das zugehörige Feld im Gyrus Postcentralis. Auch hier erfolgt eine Weiterleitung zu sekundär somatosensiblen und polysensorischen Bereichen.

Im Gegensatz zur visuellen Wahrnehmung ist die Trennung zwischen exterozeptivem und propriozeptivem System in der haptischen Wahrnehmung

---

<sup>2</sup> aus dem Griechischen haptesthai= berühren

stärker. Infolgedessen findet sich je nach Autor eine unterschiedliche Benennung und Einteilung von haptischer Wahrnehmung, kinästhetischer und „rein“ taktiler, aktiver und passiver Berührung etc.

Im weiteren erfolgt die Differenzierung zwischen taktiler, kinästhetischer und haptischer Informationsaufnahme nach Loomis und Lederman (1986).

Tabelle 1: Einteilung taktiler und haptischer Wahrnehmung nach Loomis und Lederman (1986).

Ohne Kontrolle = passiv	Cutaneus Afferent kinästhetisch Cutaneus + afferent kinästhetisch	Taktil Passiv kinästhetisch Passiv haptisch
Mit Kontrolle = aktiv	Afferent kinästhetisch + efferente Kopie Cutaneus + afferent kinästhetisch + efferente Kopie	Aktiv kinästhetisch Aktiv haptisch

In Tabelle 1 findet sich eine Aufteilung in „nur Hautsinn“ (Cutaneus), nur Propriozeption<sup>3</sup> und möglichen Kombinationsmöglichkeiten einerseits und einer orthogonalen Unterscheidung in eigen- oder fremdkontrolliert andererseits.

Die taktile Informationsaufnahme erfolgt über den Hautsinn und umfaßt die rein mechanische oder thermische Veränderung der Haut verteilt über die gesamte Hautoberfläche.

Die kinästhetische Wahrnehmung beinhaltet die Information über die Kraftwirkungen und Positionen von Muskeln, Sehnen und Gelenken (siehe oben).

Haptik umfaßt jegliche Kombination von Hautsinn und Kinästhetik unabhängig davon, ob die Bewegungskontrolle beim Beobachter liegt (die Bewegung selbstintendiert und gesteuert ist) oder fremdgesteuert erfolgt.

Obwohl die Hand das bekannteste und offensichtlichste Organ der haptischen Wahrnehmung ist, bleibt diese, im Gegensatz zum visuellen System, das auf die Augen begrenzt ist, nicht auf die Nutzung der Hände beschränkt (Abranavel, 1981; Heller, 1991). Insbesondere kleine Kinder nutzen häufig den

---

<sup>3</sup> Entweder erfolgt keine taktile Stimulation oder es gibt eine Rückmeldung über den Kontakt zu etwas, jedoch keine weiteren Informationen durch die taktile Stimulation über geometrische, räumliche oder Materialeigenschaften.

sensiblen Bereich des Mundes zu haptischer Exploration von Gegenständen (Rose, 1994). Ebenso können die Füße die Funktion von Greifen, Halten und Explorieren übernehmen (z.B. in Folge von Läsionen oder Lähmungen der Hände, aber auch im Alltag zur Erkundung von Untergrundtextur und Konsistenz oder auch beim schmerzhaften Erkennen von Spielzeug im Fußbodenbereich des Kinderzimmers), gegebenenfalls können sogar andere Bereiche des Körpers für die haptische Wahrnehmung genutzt werden, wobei allerdings die unterschiedlich fein gestufte Auflösung insbesondere des Hautsinns in verschiedenen Bereichen des Körpers zu beachten ist.

Durch die Zweiteilung des haptischen Systems in Manipulation einerseits und Explorationsbewegung andererseits kann es zu einer Konfundierung von Wahrnehmung und Handeln kommen. Beides ist gleichzeitig möglich, allerdings dient nicht jedes Greifen und Halten bzw. Heranziehen automatisch der bewußten Wahrnehmung (Abranavel, 1981; Klatzky, Lederman, Pellegrino, Doherty & McCloskey, 1990; Paillard, 1999). Eine solche Unterscheidung zwischen Wahrnehmung und Handlung kann Auswirkungen auf die Integration von Information verschiedener Sinnesmodalitäten haben (vgl. 4.2.3.2).

Das haptische System braucht den direkten Objektkontakt (zumindest eines Teilbereiches) und ist dadurch anders als das visuelle System auf den direkten Greifraum beschränkt<sup>4</sup>. Ein Rückschluß von Teilbereichsinformationen auf das Gesamtobjekt ist allerdings möglich (Klatzky & Lederman, 1993)

Wie durch das visuelle System ist auch haptisch sowohl die Objektwahrnehmung als auch die Wahrnehmung von Raumpositionen möglich. Selektive neurologische Funktionsausfälle legen nahe, daß im Haptischen ähnlich dem Visuellen eine Trennung zwischen der Verarbeitung von Objektinformation einerseits und Rauminformation andererseits existiert (Paillard, 1999; Reed, Caselli & Farah, 1996).

---

<sup>4</sup> Es gibt verstärkt Forschung zu Weiterentwicklungen im Bereich Teleoperationen, um den Handlungsraum des haptischen Systems zu erweitern. Insbesondere die adäquate Weiterleitung sowohl taktiler als auch kinästhetischer Information ist hier für den Nutzen ausschlaggebend (Klatzky & Lederman, 1993, 2000).



### 3 Integration über mehrere Sinne

Wie die Objektivität der physikalischen Realität durch sensorische Erfahrungen generiert und zu einer kohärenten Gesamtwahrnehmung der Außenwelt integriert wird, ist ein immer wiederkehrendes Thema in der Philosophie.

Paillard (1999) wies in diesem Zusammenhang auf die Bedeutung der Handlung für die sensorische Integration hin. Da die Interaktion zwischen Umwelt und dem sich bewegenden Körper zu nicht zufälligen Veränderungen führt, werden durch die Interaktion von Körper und Umwelt invariante und kovariante Charakteristika in der Umwelt aufgezeigt. Aus dem kontinuierlichen Strom sich ändernder Informationen extrahiert das Nervensystem regelhafte und über die Zeit kontinuierliche Informationen und generiert darauf aufbauend eine interne Repräsentation einer bedeutungsvollen Umwelt.

Dabei hat jede Sinnesmodalität ein eigenes Subsystem, spezialisiert darauf, bestimmte elementare Objekteigenschaften aufzunehmen. Bereits innerhalb einer Sinnesmodalität werden gleichzeitig sensorische Informationen zu verschiedenen Eigenschaften und Aspekten eines Objektes durch simultane Aktivierung z.B. visueller Neurone aufgenommen. Eine Synchronisation der Feuerrate visueller Neurone über die zeitliche Auflösung ermöglicht dann eine zentrale Integration und Detektion korrespondierender Konfigurationen auf synaptischer Ebene (Paillard, 1999). Eine lokale Wahrnehmungseinheit entsteht über aufkommende Aktivierung innerhalb der gleichen Zeiteinheit, die ihrerseits zu einer gegenseitigen Signalverstärkung führt. Bei merklich verschiedenen Zeitfenstern wird umgekehrt eine gemeinsame Verarbeitung gehemmt.

Ein entsprechender Prozeß läßt sich für multimodales kovariates Erkennen zugrunde legen. Auch bei paralleler, multipler sensorischer Informationsaufnahme aus verschiedenen Modalitäten (afferent) bilden zeitliche und räumliche Nähe die Hauptdeterminanten zur Koregistration (Bushnell, 1994; Paillard, 1999). Calvert, Brammer und Iversen (1998) schlagen den Informationsgehalt der verschiedenen sensorischen Energien als weiteren Faktor für die multisensorische Integration vor. Bei geringem Informationsgehalt gibt es abgesehen vom simul-

tanen Beginn kaum gemeinsame Information. In diesem Fall verhindern bereits minimale zeitliche Verschiebungen des Stimulusbeginns in den einzelnen Modalitäten eine Integration. Handelt es sich dagegen um reichhaltige Information mit komplexer temporaler Mikrostruktur, ist ein simultaner Einsatz oder die räumliche Nähe weniger kritisch für die Integration. In diesem Fall sehen Calvert et al. in einer Ähnlichkeit der zeitlichen Variation des Informationsmusters die salientere Eigenschaft für die Verknüpfung. Durch das gleichzeitige Auftreten von z.B. visueller und haptischer Information bei Manipulation des gleichen Objektes verstärken sich die neuronalen Aktivitäten gegenseitig, woraus eine größere Stabilisierung der neuralen Aktivierungsmuster bedingt wird (Paillard, 1999). Daneben ist auch die Substitution eines Sinnes durch einen anderen, z.B. in Form einer vibrotaktilen Prothese für Blinde, möglich.

Trotz der Unterschiede der Empfindungen aus spezifischen sensorischen Kanälen (Fühlen, Sehen, Hören etc.) fällt eine Integration zur multimodaler Wahrnehmung erst dann auf, wenn die einzelnen Informationen einer kohärenten Wahrnehmung stark zuwider laufen. Daher hören wir bei einem Kinobesuch die gesprochenen Worte der sichtbaren Akteure ebenfalls aus Richtung der Leinwand, obwohl die Lautsprecher, welche die akustische Information liefern, häufig seitlich und/oder hinter den Zuschauern angebracht sind. Und bevor die einheitliche Wahrnehmung von Mundbewegungen und Synchrontext verloren geht, müssen die Abweichungen zwischen visueller und akustischer Wahrnehmung schon gravierend sein<sup>5</sup>. Hier spiegelt sich die grundlegende Tendenz zu einer einheitlichen Wahrnehmung wider.

Treffen Reize gleichzeitig auf verschiedene Sinnesmodalitäten, sind unterschiedliche Integrationsszenarien denkbar (Turkewitz, 1994). Abgesehen von der Möglichkeit (a), daß sich keine Auswirkungen auf die Wahrnehmung in den einzelnen beteiligten Modalitäten ergeben, lassen sich prinzipiell zwei Varianten intersensorischer Funktion unterscheiden: zum einen (b) eine einfache

---

<sup>5</sup> Wie entscheidend die Integration für die Wahrnehmung ist, zeigt auch ein einfaches Selbstexperiment: Mit verbundenen Augen und geschlossener Nase (z.B. bei Schnupfen) ist es nur mittels der haptischen Informationen kaum möglich, einen Apfel und eine Zwiebel durch Hineinbeißen zu unterscheiden.

Wechselwirkung der Wahrnehmung in den beteiligten Modalitäten, zum anderen (c) die Assoziation bzw. Integration multimodaler Eigenschaften.

### **3.1 Unabhängige Funktionsweise**

Unabhängig ist die Funktionsweise der Sinne dann, wenn eine Stimulation der Sinnesmodalität A zu keinem Effekt der Reaktion auf einen Stimulus in Modalität B führt.

Ein Frosch stellt auch dann eine Reaktion (Zungenschlag) auf eine visuelle Stimulation (Insekt) nicht ein, wenn gleichzeitig jede dieser Reaktionen (taktil) zu einer Schmerzempfindung führt. Dagegen ruft eine Kombination des gleichen visuellen Stimulus mit einer negativen Geschmacksempfindung sehr schnell eine Verhaltensmodifikation hervor.

Abbott nach Turkewitz, 1994, S. 6

Unter der Annahme einer über zeitliche und/oder räumliche Nähe integrierenden Verarbeitung läßt sich eine solche unabhängige Funktionsweise zum einen durch komplett getrennte Verarbeitungspfade der Modalitäten mit einer rein modalitätsspezifischen Kodierung der Information erklären. Zum anderen kann auch eine unterschiedliche, gegebenenfalls kontextabhängige Gewichtung der Information aus den verschiedenen Sinnesmodalitäten Grundlage der unabhängigen Funktionsweise sein. Das Gewicht für die weniger relevante Information würde hier auf Null gesetzt, so daß die jeweils bedeutsamere Sinnesmodalität verhaltenssteuernd wird.

Wann welche Sinnesmodalität stärker verhaltenswirksam gewichtet wird, kann entweder grundsätzlich festgelegt oder durch kognitive Aspekte modifizierbar sein. Bestimmt die Gewichtung die Funktionsweise, ist eine komplette Trennung der Verarbeitungspfade nicht zwingend notwendig, um „Nichtbeeinflussungseffekte“ zu erklären.

### **3.2 Intermodale Wechselwirkung**

Hemmt oder erleichtert eine Stimulation in Modalität A die Wahrnehmung in Modalität B ohne Wahrnehmung eines einheitlichen Objektes/Ereignisses, kann man von einer intermodalen bzw. intersensorischen Wechselwirkung

sprechen. Intermodale Einflüsse kommen hier auch dann zustande, wenn durch eine Sinnesmodalität keine Information über handlungsrelevante Eigenschaften in einer zweiten Modalität beigetragen wird. Die intermodalen Einflüsse liegen in diesem Fall orthogonal zueinander (Driver & Spence, 2000). Ein Experiment von Vroomen und de Gelder (2000) soll hier als Beispiel dienen:

Es wurde eine schnelle Abfolge visueller Vorlagen zusammen mit einem Ton je Vorlage dargeboten. Einer der Töne hatte eine andere Klangfarbe. Die Kombination von visueller Vorlage mit den unterschiedlichen auditiven Stimuli erfolgte nach dem Zufallsprinzip, das heißt die Art des Tones hatte keine Vorhersagekraft für die Art der visuellen Vorlage. Aufgabe war, auf eine Rautenkonstellation in der visuellen Vorlage so schnell wie möglich zu reagieren.

Obwohl die Kombinationen zufällig zustande kamen, wurden (a) die visuellen Vorlagen mit abweichendem Ton subjektiv anders eingestuft als die restlichen Displays und erfolgte (b) die Reaktion auf visuelle Zielkonstellationen in Kombination mit dem abweichenden auditiven Stimulus schneller.

Beide Ereignisse werden, obwohl voneinander unabhängig, miteinander gruppiert. Führt nun die Andersartigkeit des abweichenden Tones zu einem Hervorspringen dieses auditiven Reizes, wirkt sich die Änderung des Aufmerksamkeitsstatus auch auf die simultan dargebotene Vorlage aus. Dies bewirkt dann eine größere Salienz der visuellen Vorlage und dadurch einen Vorteil beim Auffinden der Formation. Es erfolgt eine intermodale Verarbeitung also auch bei orthogonaler Verknüpfung.

### **3.3 Multimodale Integration**

Liefere mehrere Modalitäten konvergente Informationen zum gleichen Objekt bzw. Ereignis (z.B. bei gleichzeitiger Betrachtung und Anfassen derselben Tasse), wird die so gewonnene multimodale Information zu einer einheitlichen Gesamtwahrnehmung zusammengefaßt. Dadurch wird auch die Substitution eines Sinnes durch einen anderen möglich.

Es gibt unterschiedliche Modelle, wie solche Verknüpfungen zustande kommen können, obwohl die bioelektrischen Phänomene aufgrund unterschiedlicher physikalischer Trägerprozesse (z.B. Lichtwellen vs. Druck) verschieden sind. Schon bei den Philosophen des 17. Jahrhunderts finden sich zwei prinzipiell unterscheidbare Richtungen. Den Modellen liegen unterschiedliche

Annahmen über die Kodierung der sensorischen Information zugrunde. Während im ersten Modell die modalitätsspezifische Abbildung der Umwelt fest mit der aufnehmenden Sinnesmodalität verknüpft ist, erfolgt im zweiten Modell die Kodierung der sensorischen Information unabhängig von der Modalität in amodaler bzw. supramodaler Form.

Im folgenden sollen auf diesen Modellen aufbauend kurz drei Varianten zur Beziehung zwischen Sinnesmodalitäten differenziert werden (vgl. Abbildung 1). Die ersten beiden legen eher eine modalitätsspezifische Kodierung der Information zugrunde, wohingegen das dritte Modell auf der supramodalen bzw. amodalen Kodierung basiert (vgl. Lewkowicz, 1994; Paillard, 1999, Walk & Pick, 1981; Walker-Andrew, 1994).

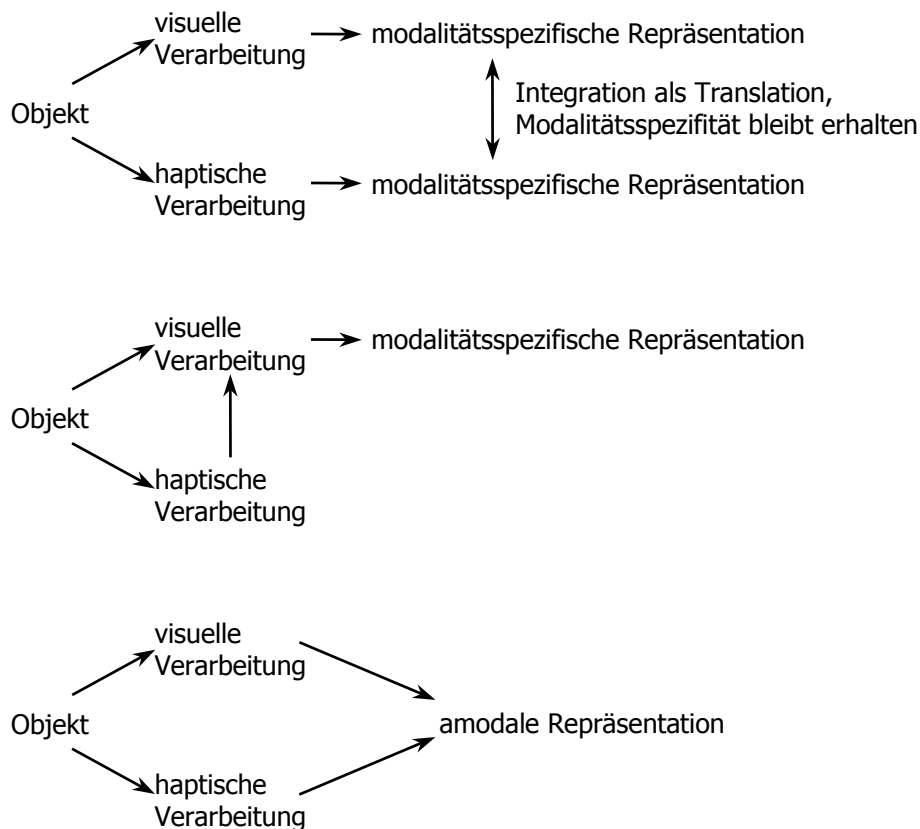


Abbildung 1: Schemata multimodaler Integration: Assoziation mittels Transformation modalitätsspezifischer Repräsentation (oben), hierarchische Verknüpfung (Mitte), amodale Repräsentation gemeinsamer Eigenschaften (unten).

### 3.3.1 Intersensorische Assoziation

Durch die Stimulation einer Sinnesmodalität erfolgt eine auf diese Modalität bezogene Kodierung. Jede Repräsentation liegt damit zunächst grundsätzlich modalitätsspezifisch vor. Unter Beibehaltung dieser modalitätsspezifischen Kodierung kann eine Integration nur über aktive Abbildung aufeinander bzw. Transformation erfolgen, wobei auch dann jede Repräsentation ihren modalitätsspezifischen Charakter behält (z.B. Connolly & Jones, 1970). Basis für diese Transformationen sind erlernte Verbindungen auf Grundlage bi- bzw. multimodaler Erfahrungen. Eine gemeinsame Basis muß also durch Lernen erst erstellt werden, bevor darauf zurückgegriffen werden kann.

Walker-Andrew (1994) unterteilt die erlernten Verbindungen noch weiter in natürlich-prädispositionierte einerseits und künstliche Kombinationen andererseits.

Im ersten Fall ist die Bereitschaft, bestimmte Assoziationen zu lernen, aufgrund ihrer potentiellen Bedeutung für den Agierenden bereits im Organismus vorangelegt. Ein Beispiel solch einer prädispositionierten Verknüpfung ist das Lernen der Kombination von Gesicht und Stimme, durch die bereits Säuglinge in der Lage sind, eine Person sowohl über visuelle als auch akustische Information zu erkennen. Auch bei Erwachsenen findet sich eine solche Verknüpfung zwischen Gesicht und Stimme, z.B. wenn Schauspieler immer von den gleichen Sprechern synchronisiert werden. Eine solche Verbindung zwischen Stimme und Person kann so stark sein, daß die Originalstimme des entsprechenden Schauspielers unnatürlich und nicht zur Person passend erscheint<sup>6</sup>.

Auch künstliche Kombinationen von Objekteigenschaften wie die Assoziation einer bestimmten Farbe mit einem spezifischen Geschmack (z.B. Cola) erfolgen aufgrund erlernter Verbindungen modalitätsspezifischer Eigenschaften. Der Unterschied zu den natürlich-prädispositionierten Assoziationen be-

---

<sup>6</sup> In der (Radio-) Werbung werden solche Assoziationen genutzt, indem die „günstigere“ Stimme des Synchronsprechers eingesetzt, die entsprechende Werbung allerdings mit der Person des synchronisierten Schauspielers verbunden wird.

steht in einer lockereren Verbindung der sensorischen Informationen und einer gegebenenfalls längeren Lernphase.<sup>7</sup>

Erfolgt jegliche Integration ausschließlich mittels aktiver Abbildung der Information aus den unterschiedlichen Sinnesmodalitäten, sollten solche Assoziationen für getrennt wahrgenommene Ereignisse nicht zustande kommen.

### **3.3.2 Hierarchische Verknüpfung**

Einige Modelle gehen neben einer modalitätsspezifischen Repräsentation zusätzlich von einer hierarchischen Verknüpfung der Sinnesmodalitäten aus. Diese hierarchische Unterteilung der Modalitäten basiert auf der Annahme, daß bestimmte Modalitäten gegenüber den übrigen für die Kodierung spezifischer Information besser angepaßt sind (siehe auch Kapitel 4.2.3.2). Für jede Art von Information gibt es eine Hierarchie der Modalitäten. Unabhängig von der aufnehmenden Modalität wird die Information in die spezifisch für diese Eigenschaft überlegene Modalität übertragen (Freides, 1975; Walk & Pick, 1981; Paillard, 1999) und in dieser modalitätsspezifisch kodiert. Die für die spezifische Information optimale Sinnesmodalität agiert als Mediator für die sensorische Information anderer Modalitäten. Bei paralleler Informationsaufnahme auf der gleichen Dimension über mehrere Modalitäten ist der Einfluß der hierarchisch höherwertigen Modalität auf die Repräsentation stärker. Der Einfluß aus der anderen Modalität ist entweder sehr gering oder schlägt sich nicht in der Wahrnehmung nieder.

### **3.3.3 Amodale Eigenschaften**

Im Gegensatz zu den vorher genannten Modellen baut das folgende auf der Möglichkeit auf, verschiedene Stimulusdimensionen über mehr als eine Sinnesmodalität zu erfahren. Bedeutsam ist die Wahrnehmung von Informationen über wichtige Aspekte der Welt. Dabei ist nicht ausschlaggebend, ob einer oder mehrere traditionelle Sinne an der Aufnahme beteiligt sind. Äquivalente Eigen-

---

<sup>7</sup> Walker-Andrew (1994) unterscheidet weiterhin typische intermodale Beziehungen, die zum Teil durch amodale Invarianten festgelegt sind. So wird das Gewicht eines Gegenstandes durch Größe und Form (Invarianten) und durch die Assoziation von bestimmten Materialien mit einem Gewicht bestimmt.

schaften aus den unterschiedlichen sensorischen Systemen werden unabhängig von der aufnehmenden Modalität in einem gemeinsamen Pool kodiert und sind frei verknüpfbar mit neuen Informationen aus allen Modalitäten. Durch die daraus resultierende gemeinsame Repräsentation ist die multimodale Integration bereits ohne Rückgriff auf eine symbolisch-sprachliche Abbildung der Eigenschaften möglich (Rose, 1981).

Der amodale Status der Repräsentation ermöglicht weiterhin eine Koordination von Informationen aus verschiedenen Sinnesmodalitäten zur Modifikation der aufgenommenen Information (Kalibrierung) und zur Herstellung einer kongruenten Wahrnehmung. Vor allem die Stabilität des Handlungsraumes und die Verankerung von Objekten im Raum würde von der amodalen Kodierung der verschiedenen sensorischen Information profitieren. Im physikalisch stabilen Raum ist das gleiche Objekt zum gleichen Zeitpunkt nur an einem Raumpunkt möglich. Je mehr Information zum gleichen Objekt, unabhängig von der aufnehmenden Modalität, zur räumlichen Verortung genutzt werden kann, desto störungsfreier ist die resultierende Gesamtwahrnehmung (Paillard 1999). Dies führt zu einer automatischen Adaptation der Sinnesmodalitäten aufeinander nach der Dekorrelation verschiedener sensorischer Information zum gleichen Objekt (z.B. durch Verzerrung der visuellen Wahrnehmung durch Prismen bei gleichzeitiger unveränderter haptischer Information) und auf kognitiver Ebene zum Erhalten einer einheitlichen Gesamtwahrnehmung wie z.B. beim Ventriloquist- oder Bauchrednereffekt.

Vergleiche auf einer gemeinsamen Dimension (z.B. Größe einer Schraubmutter) sind unter der Voraussetzung einer modalitätsunabhängigen Kodierung auch ohne Translation direkt zwischen Informationen aus verschiedenen Modalitäten (Auge/Hand) möglich. Durch aktuelle Einzelanalysen von Objekteigenschaften sind so auch Einschätzungen und Vergleiche für unbekannte Objekte zwischen verschiedenen Modalitäten durchführbar (Bushnell, 1994). Werden Eigenschaften amodal und frei verknüpfbar mit Informationen anderer Modalitäten kodiert, könnte dies auch eine gegenseitige Beeinflussung der Wahrnehmung der auf die gemeinsame Kodierung zugreifenden Modalitäten bei getrennt wahrgenommenen Ereignissen zur Folge haben.



Prinzipiell sind allerdings nur einige Stimuluseigenschaften über mehr als eine Sinnesmodalität erfaßbar und damit eine modalitätsübergreifende Repräsentation möglich. Andere Dimensionen von Objekten und Ereignissen (z.B. Farbe, Temperatur) sind grundsätzlich nur über eine Sinnesmodalität zugänglich. Die daraus resultierenden Kodierungen sind entsprechend auf diese Modalität bezogen (Millar, 1994). Ohne eine solche spezifisch distinkte Sensitivität wäre auch eine Aufteilung in unterschiedliche Sinne nicht sinnvoll (Abranavel, 1981). Für die intermodale Assoziation wird auf gespeichertes modalitätsspezifisches Eigenschaftswissen für die Urteilsbildung zurückgegriffen (vgl. 3.4.1). Die Integration erfolgt dann über Vergleiche mit der semantischen Gedächtnisbasis (Bushnell, 1994).

Multimodale Integration setzt sich also aus einer Kombination von intermodaler Assoziation modalitätsspezifischer Information und amodalen Vergleichen zusammen (vgl. Abbildung 2).

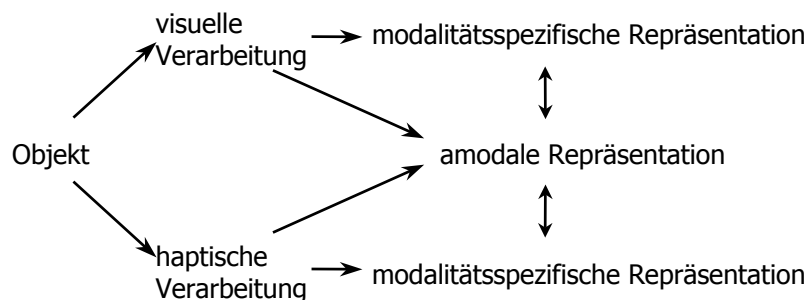


Abbildung 2: Schema zur multimodalen Integration als Kombination aus intermodaler Assoziation und amodaler Repräsentation.

Die Frage, inwieweit multimodale Integration aufgrund amodal kodierter Objekteigenschaften auch bei getrennt wahrgenommenen Ereignissen eine gegenseitige Beeinflussung zur Folge hat, bildet den Schwerpunkt dieser Arbeit.



## 4 Forschungsüberblick zur multimodalen Integration

Im folgenden soll ein kurzer Überblick zu einzelnen Forschungsansätzen aus dem Gebiet der Integration von Informationen aus multimodalen Objekten bzw. Ereignissen gegeben werden. Dieser wurde aufgrund der Relevanz für die hier vorgestellte Studie bewußt auf Untersuchungen zu multimodaler Integration visueller und haptischer Information beschränkt. Überblicke bzw. Zusammenfassungen zu weiteren Modalitätskombinationen bieten unter anderem Freides (1974) und Welch und Warren (1986).

Die dargestellten Ansätze lassen sich grob in drei Untersuchungsstränge gliedern. Der erste untersucht Assoziationen zwischen den Modalitäten über den Vergleich der intramodalen Repräsentationen gleicher Reizinformationen aus verschiedenen Sinnesmodalitäten. Einen zweiten Ansatz bilden Transferaufgaben zwischen Modalitäten. Der Transfer kann entweder in Form von Übungseffekten von einer Modalität auf eine zweite oder durch intermodale Zuordnungsaufgaben ohne Konflikt und Aufgaben mit experimentell erzeugten Inkongruenzen zwischen Informationen aus verschiedenen Modalitäten erfolgen. An dritter Stelle werden Untersuchungen zu Auswirkungen von Integration der Wahrnehmung auf Handlung behandelt.

### 4.1 Äquivalenz intramodaler Reizabbildungen

Eine Möglichkeit, Aufschlüsse über das Zusammenspiel der verschiedenen Sinnesmodalitäten in einer multimodalen Wahrnehmung zu gewinnen, bietet der Vergleich der intramodalen Repräsentationen gleicher Reizinformationen über verschiedene Sinnesmodalitäten.

“If one closes one's eyes and slides the hand over the edge [of a table], will one's impression of the extent be the same as the one obtained by sight? More generally, the question is whether the relationship between physical sizes is veridically represented in the mind if each of the sizes is perceived via different modality.”

Seizova-Cajic, 1998, S. 705

Es gibt etliche geometrische Darstellungen, die auf die visuelle Modalität so wirken, daß die Repräsentation deutliche Unterschiede zur physikalisch meßbaren Reizgegebenheit aufweist (z.B. Kundt, Müller-Lyer, Ponzo, Poggendorf etc.). Visuelle Wahrnehmungsurteile werden durch diese Reizkonfigurationen systematisch verzerrt (Coren & Girgus, 1978; Gilliam, 1998). Bereits 1934 untersuchte Révész die Einheitlichkeit visueller und haptischer Wahrnehmungsfunktionen am Untersuchungsgegenstand geometrischer Täuschungen. Im Falle einer multimodalen Gesamtwahrnehmung sollten sich diese Täuschungen auch auf andere formwahrnehmende Sinne erstrecken und sich entsprechend haptisch aufzeigen lassen.

Révész fand für nahezu alle untersuchten bekannten geometrisch-optischen Täuschungen taktile und haptische Gegenstücke. Er kam daher zu dem Schluß, daß diese Täuschungen ihre Auswirkung in einer einheitlichen, gemeinschaftlichen Grundfunktion haben.

„...der Umstand, daß alle Typen der optischen Täuschungen auch im Haptischen vorkommen, daß ferner die subjektiven Abweichungen von den objektiven Reizverhältnissen in beiden Gebieten sich im selben Sinne erkennbar machen, beweist, daß die von uns untersuchten haptischen Raumtäuschungen von den gleichen Tendenzen und Gesetzen beherrscht werden wie die optischen.“

Révész, 1934, S. 363

In nachfolgenden Untersuchungen (Fry, 1975; Lucca, Dellantonio & Riggio, 1986; Over, 1966; Suzuki & Arashida, 1992) konnten die Ergebnisse zumindest für einige Täuschungen bestätigt werden. Die dabei auffallend großen Unterschiede zwischen den Ergebnissen lassen sich auf die unterschiedlichen Arten der Darbietung der Stimuli in den Modalitäten und die Art der Abfragen zurückzuführen. Repliziert wurden die Auswirkungen geometrischer Täuschungskonfigurationen auf haptische Wahrnehmungsurteile insbesondere für die Größentäuschungen: Delboef, Horizontal-Vertikal, Kundt, Müller-Lyer, Ponzo. Neben den bereits von Révész (1934) durchgeführten qualitativen Vergleichen zeigten quantitative Messungen in späteren Experimenten, daß auch das Täuschungsausmaß in beiden Modalitäten in vergleichbarer Höhe liegt.

#### 4.1.1.1 Länge, Größe

Vergleiche zwischen den intramodalen Kodierungen der gleichen Reizinformation stellte auch Posner (1967) in Experimenten zu Auswirkungen von Pausenintervallen auf die Reproduktionsqualität visueller und kinästhetischer Längenuurteile an. Dabei ließ er Positionen (Raumverortungen) und Distanzen von visuell und kinästhetisch<sup>8</sup> dargebotenen Stimuli intramodal reproduzieren. Abhängig von Pausenintervallen zwischen der Darbietung des Standardreizes und der zu leistenden Reproduktion fand Posner dabei Unterschiede in den Leistungen beider Modalitäten. So ließ die Qualität der visuellen intramodalen Reproduktion gegenüber sofortigem Vergleich hauptsächlich dann nach, wenn während des Pausenintervalls zusätzliche Aufgaben zu bearbeiten waren. Die kinästhetische Reproduktion wurde bereits durch die Einführung eines ungefüllten Pausenintervalls gegenüber der Herstellungsaufgabe ohne Pause beeinträchtigt. Posner schloß daraus auf unterschiedliche Gedächtniskodes für visuelle und kinästhetische Verarbeitung.

Mit der Vergleichbarkeit visueller und kinästhetischer Längenwahrnehmung beschäftigte sich auch Seizova-Cajic (1998). Gegenstand der Untersuchung war hier der Zusammenhang subjektiv als gleich wahrgenommener Längen in beiden Modalitäten. Intramodal gibt es für jede Modalität eine bestimmte Funktion für die Beziehung von subjektiver und physikalischer Länge. Für den intermodalen Zusammenhang setzte Seizova-Cajic die Längenuurteile über das Verhältnis der jeweiligen Funktionsexponenten zueinander in Beziehung. Dabei konstatierte sie eine feste Beziehung der Funktionen zwischen visueller und kinästhetischer Längenwahrnehmung (wichtig für Auge-Hand-Koordination). Kinästhetisch längere Strecken ( $\geq 50\text{mm}$ ) werden im Vergleich zu visuellen Strecken gleicher Länge unterschätzt, kürzere überschätzt.

---

<sup>8</sup> Kinästhetisch wird im folgenden immer dann differenzierend zu haptisch verwendet, wenn nur Information zu Gelenk- und/oder Muskelstellungen zur Verfügung stand bzw. die taktile Information sich nicht handlungsrelevant auswirkte im Gegensatz zum aktiven Manipulieren eines Stimulus.

#### 4.1.1.2 Textur

Als weitere sowohl visuell als auch haptisch erfahrbare Objekteigenschaft untersuchten Lederman und Abbott (1981) die Vergleichbarkeit von Einschätzungen verschiedener Oberflächentexturen. Für verschiedene Abstufungen rauher Oberflächen (Sandpapier) sollten je visuell und haptisch intramodal subjektiv passende Stimuli ausgewählt werden. Es ergaben sich keine Unterschiede in der Genauigkeit visueller und haptischer Einschätzungen der Oberflächenrauigkeit. Ebenso waren keine statistischen Unterschiede zwischen den Modalitäten in bezug auf die Variabilität der Zuordnungen zu erkennen. Eine bimodale Darbietung, das heißt eine gleichzeitige Nutzung von visueller und haptischer Modalität, führte zu einer Diskriminationsleistung, die sich in Genauigkeit und Varianz nicht von denen der beiden unimodalen unterschied. Insgesamt schlußfolgerten die Autoren, daß beide Modalitäten für die Wahrnehmung von Texturinformationen gleich gut geeignet sind.

Wie Lederman und Abbott (1981) fand auch Heller (1982) für beide Sinnesmodalitäten äquivalente Leistungen in der Beurteilung der Texturen innerhalb der gleichen Sinnesmodalität. Dagegen führte hier eine kooperative bimodale (haptisch-visuelle) Exploration der Texturen zu einer größeren Genauigkeit in der Auswahl der glattesten Oberfläche im Vergleich zu beiden unimodalen Entscheidungen. Durch die Eliminierung visueller Texturinformation bei gleichzeitiger visueller Kontrolle der eigenen Handbewegung verringerten sich die besseren Einschätzungen bimodal gegenüber den unimodalen Leistungen nicht. Heller zog daraus den Schluß, daß die visuelle Information bei bimodaler Bearbeitung eher zur Unterstützung effizienterer haptischer Exploration genutzt wird.

Auch Jones und O'Neil (1985) verglichen neben intramodal visuellen und haptischen auch Textururteile auf Basis einer bimodalen Exploration. Dabei ergaben sich visuell intramodal, haptisch intramodal sowie in der bimodalen Bedingung Unterscheidungen gleicher Genauigkeit. Die ebenfalls erhobene Antwortlatenz fiel dagegen für die visuellen Urteile bedeutend kürzer aus als für die haptischen. Im Gegensatz zu Heller (1982) weisen die Daten von Jones und O'Neil für die bimodale Bearbeitung nicht auf bessere Einschätzungen,

sondern auf eine Durchschnittsbildung von visuellen und haptischen Urteilen hin. Die Autoren sehen in einer Fokussierung eines anderen Aspektes der Eigenschaft Textur einen möglichen Grund für dieses abweichende Ergebnis. Da die visuellen Urteile schneller abgegeben wurden, postulieren die Autoren eine größere Effizienz der visuellen Modalität für die Beurteilung von Texturen.

#### 4.1.1.3 Orientierungsasymmetrien

Um zu testen, ob vergleichbare Stimulusinformation in äquivalenter Weise visuell und haptisch wahrgenommen und verarbeitet wird, untersuchten Lechelt, Eliuk und Tanne (1976), inwieweit sich die gleichen Asymmetrien für Orientierungsurteile in beiden Modalitäten auffinden lassen. Für visuell räumliche Diskriminierungsaufgaben zeigen sich als Funktion der Stimulusorientierung Anisotropien<sup>9</sup> in der Urteilsgenauigkeit. Hierbei sind die Reproduktionsleistungen horizontaler und vertikaler Stimulusorientierungen allen übrigen überlegen (Oblique-Effekt). Unter der Annahme einer intermodalen Äquivalenz sollte sich dieser Oblique-Effekt auch haptisch finden. Wie erwartet fanden Lechelt et al. Oblique-Effekte in beiden Modalitäten, das heißt für beide Modalitäten waren Reproduktionen vorgegebener Orientierungen für die Horizontale und Vertikale genauer als für zwischenliegende Orientierungen. Die gefundenen Anisotropien zeigten sich haptisch stärker als visuell.

Über ähnliche Übereinstimmungen in den Abweichungen zu physikalisch korrekten Urteilen visueller und haptischer Parallelitätswahrnehmung berichtet Kappers (2002). Subjektiv visuelle Parallelität verschiedener Objekte zueinander ist häufig weit entfernt von physikalischer Parallelität. Ein entsprechendes Phänomen konnten Kappers und Koenderink (1999; Kappers, 1999) auch für haptische Parallelitätsempfindung nachweisen. In beiden Sinnesmodalitäten kommt es zu signifikanten systematischen Abweichungen der Parallelitätseinstellungen von der physikalisch korrekten Orientierung (Kappers, 2002).

---

<sup>9</sup> Anisotropien bezeichnen in diesem Zusammenhang Ungleichverteilungen im subjektiven Empfinden einer physikalisch nach allen Richtungen gleichen Eigenschaft.

## 4.2 Intermodaler Transfer

Eine vergleichsweise selten angewandte Fragestellung aus dem Bereich des intermodalen Transfers ist die Übertragung von Übung aus Modalität A auf Performanz in Modalität B (zu messen am Aufwand des Wiedererreichens der Übung in Modalität B).

Wie Révész wählten auch Rudel und Teuber (1963) eine geometrische Täuschung (Müller-Lyer). Bei längerer Exposition verringert sich für die visuelle Darbietung der Täuschungseffekt. Rudel und Teuber untersuchten zum einen, ob sich gleiche Effekte auch bei verlängerter haptischer Exposition zeigen. Zum anderen prüften sie abhängig vom Nachweis eines solchen Übungseffektes auch für die haptische Variante der Müller-Lyer-Täuschung, inwieweit diese Täuschungsabnahme zwischen den Modalitäten übertragen wird.

In beiden Modalitäten zeigt sich die Täuschung und nahm mit der Anzahl der Einschätzungen ab. Bei einem Wechsel zur jeweils anderen Modalität ist der Täuschungseffekt dort ebenfalls gegenüber Neubeginn verringert. Nach Ansicht der Autoren belegt dies einen Transfer der Täuschungsabnahme aufgrund von Übung. Dabei verteilt sich die Transferleistung asymmetrisch, der Transfer tritt von haptischer auf visuelle Modalität konstanter auf als beim Wechsel von visueller Modalität auf die haptische.

Das am häufigsten angewandte Untersuchungsparadigma im Bereich des intermodalen Transfers ist das direkte intermodale Matching.

Es lassen sich prinzipiell zwei Varianten des Verfahrens unterscheiden, die unter diesem Begriff zusammengefaßt sind:

- (a) Reproduktionsbedingung: Präsentation von Information zur Inspektion in Modalität A und Reproduktion subjektiv gleicher Information in Modalität B
- (b) Vergleichsbedingung: Präsentation von Information in Modalität A (Standarditem) und Vergleich mit Information zur Inspektion in Modalität B (Vergleichsitem). Dabei kann es sich entweder um Gleich-Ungleich-Entscheidungen handeln oder es soll das subjektive Äquivalent zum Standarditem aus mehreren Vergleichsitems gewählt



werden. Die Darbietung von Standard und Vergleich sowie die Abfolge mehrerer Vergleichsitems kann simultan oder sequentiell erfolgen. Während es möglich ist, visuell den Standard und mehrere Vergleichsitems simultan zu bearbeiten, ist haptisch je nach Itemgröße die Inspektion auf ein, maximal zwei Items gleichzeitig beschränkt.

## **4.2.1 Direktes Matching ohne Konflikt**

### **4.2.1.1 Länge, Größe**

Ausgehend von dem Befund, daß Kinder mit zunehmendem Alter bessere Ergebnisse in Aufgaben zu intermodalem Transfer erzielen, untersuchten Connolly und Jones (1970, Jones & Connolly, 1970), inwieweit diese Verbesserung auf einer Steigerung intramodaler Diskrimination beruht oder durch Verbesserung einer Verbindung zwischen den Modalitäten zustande kommt.

Dazu stellten sie intermodale Vergleiche den Ergebnissen korrespondierender intramodaler Vergleiche für vier Altersgruppen gegenüber.

In Anlehnung an Posners Vergleich intramodaler Distanzurteile ließen Connolly und Jones nach Vorgabe eines Standardreizes subjektiv gleiche Distanzen/Längen innerhalb der gleichen Modalität (vv & kk)<sup>10</sup> reproduzieren. Zusätzlich wurden Daten zu beiden intermodalen Vergleichen erhoben, das heißt der Standard wurde zur kinästhetischen Exploration vorgegeben und ein Matching in der visuellen Modalität gefordert (kv) und zu einer visuellen Vorlage sollte eine entsprechende Distanz kinästhetisch hergestellt werden (vk). Gemessen wurde die Qualität der Reproduktion durch die Höhe des variablen Fehlers.

Die Daten ergaben, daß die Leistungen des intermodalen Matchings mit einem höheren variablen Fehler (gemessen über die Varianz der Vergleiche) behaftet waren als die des intramodalen Matchings. Insgesamt waren die intramodal visuellen Vergleiche am genauesten, das heißt die Varianz war hier am geringsten. Die intermodale Leistung verbesserte sich mit zunehmendem Alter der Probanden, blieb aber auch bei Erwachsenen unter denen der intramodalen Distanzschätzungen. Zusätzlich zeigte sich für die intermodalen Vergleiche eine Asymmetrie in der Reproduktion. Dabei fanden sich in Durchgängen mit kinästhetisch dargebotenem Standard und Vergleich in der visuellen Modalität (kv)

---

<sup>10</sup> v= visuell, k= kinästhetisch, die erste Position benennt die Modalität des Standarditems, die zweite Position die Urteilsmodalität

geringere variable Fehler als im Fall eines visuellen Standards, der kinästhetisch reproduziert werden sollte.

In einem zweiten Experiment (Jones & Connolly, 1970) mit ausschließlich erwachsenen Teilnehmern zu den von Posner verwendeten Bedingungen (Reproduktion ohne Verzögerung, nach zehn Sekunden ohne Zusatzaufgabe (ungefülltes Intervall) und nach zehn Sekunden mit Zusatzaufgabe (gefülltes Intervall)) ergaben sich wieder höhere Fehlerraten für beide intermodale Bedingungen. Zu den intramodalen Bedingungen replizierten Jones und Connolly die Ergebnisse von Posner (1967). So verschlechterte sich die Reproduktion der Distanzen innerhalb der visuellen Modalität erst mit einer Zusatzaufgabe während des Pausenintervalls. Intramodal kinästhetisch wurde die Reproduktionsleistung bereits durch die Verzögerung an sich beeinträchtigt, die Zusatzaufgabe führte dann jedoch zu keiner weiteren Verschlechterung. Intermodal waren Unterschiede aufgrund des Pausenintervalls abhängig von der Richtung der Zuordnung. Hier ähnelte die Kombination kinästhetische Vorgabe und visuelle Zuordnung (kv) eher dem visuell intramodalen Matching. Die Ergebnisse der vk-Bedingung entsprachen eher denen des intramodal kinästhetischen Matching. Insgesamt zeigte sich in den Daten folgende Unterschiede in den Vergleichen:  $vv=kk>kv>vk$  für den absoluten Fehler und für den variablen Fehler  $vv>kk>kv>vk$ <sup>11</sup>.

Nach Ansicht der Autoren gaben ihre Daten keine Hinweise dafür, daß sich die intersensorische Organisation unabhängig von der intramodalen entwickelt. Die Ursache für die Verbesserung der sensorischen Integration im Verlauf der Entwicklung schreiben sie daher eher einer Steigerung intramodaler Diskriminationsfähigkeit zu, die sich dann auf die Leistung intermodaler Vergleiche auswirkt (Abranavel, 1981; Jones, 1981).

Daneben gehen die Autoren davon aus, daß Informationen modalitätsspezifisch abgespeichert werden. Durch Erfahrung gebildete Translationsvorschriften ermöglichen dann den Transfer von einer modalitätsspezifischen Form in eine andere. Dabei ist der zusätzliche Übersetzungsprozeß die Ursache für größere Fehler bei intermodalem Matching. Aus der Art der gefundenen Asymmetrie

---

<sup>11</sup> „>“ ist hier gleichzusetzen mit „besser als“

der intermodalen Bedingungen ( $k_v$  und  $v_k$ ) folgerten sie weiter, daß ein Transfer zwischen den Modalitäten vor einer Kodierung stattfindet und dann die Eigenschaften in der (neu) zugeordneten Modalität repräsentiert werden (modalitätsspezifische Integrationsvariante).

Die diesem Transfermodell zugrunde liegende Asymmetrie zwischen den intermodalen Zuordnungen erscheint in nachfolgenden Experimenten eher uneinheitlich. Es wurden zwischen den beiden intermodalen Bedingungen Asymmetrien in der Reproduktionsqualität je nach Matchingkombination, entweder entsprechend Connolly und Jones oder nicht oder entgegengesetzt gefunden.

Mit verändertem Versuchsaufbau fanden Diewert und Stelmach (1977) für Distanzen bis 350 mm keine Unterschiede zwischen intra- und intermodalem Matching ( $v_v = k_k = v_k = k_v$ ). Bei größeren Stimuli erhielten sie für intermodale Vergleiche sogar eine Asymmetrie ( $v_v = k_k > v_k > k_v$ ) entgegen den von Connolly und Jones gefundenen.

Newell, Shapiro und Carlton (1979) gaben die Matchingmodalität (visuell oder kinästhetisch) erst nach dem Pausenintervall direkt vor der auszuführenden Zuordnung an. Auch hier verhielten sich die intramodalen Kombinationen und die beiden intermodalen Vergleiche in bezug auf die Höhe der Fehler zur physikalisch korrekten Distanz gleich. Newell et al. argumentierten, daß ein unerwarteter Rückwechsel aufgrund einer fehlerhaften Erwartung bezüglich der Zuordnungsmodalität zu einem erhöhten Fehleraufkommen führen müsse, wenn der von Connolly und Jones postulierte Transfer der Information vor der Kodierung zutreffend wäre. In diesem Fall wäre ein zusätzlicher Wechsel zurück in die Eingangsmodalität notwendig. Auch wenn nach einem Pausenintervall entgegen einer vorherigen Instruktion die Reproduktion in der jeweils anderen Modalität erfolgen sollte, kam es zu keiner Erhöhung der Fehler. Auch hier erhöhte sich die Fehlerrate für intermodale Zuordnungen erst für größere Distanzen.

Nach Milewski und Laccino (1982) wird die Verarbeitungsstrategie durch die Erwartung über den Transfer zur Zuordnungsmodalität beeinflusst. So können z. B. geblockte Zuordnungsdurchgänge zu einer Antwortmodalität die Über-

tragung von Information vor einer Speicherung fördern. In einer Untersuchung dazu wurde die Hälfte der Probanden vor dem Durchgang über die Antwortmodalität informiert, die zweite Hälfte erst direkt vor der Reproduktion. Der Zeitpunkt hat einen Einfluß auf die Richtung der intermodalen Asymmetrie. Mit frühzeitigem Wissen um die Antwortmodalität war die Kombination von kv besser als vk (entspricht den Ergebnissen von Connolly und Jones); wurde die Antwortmodalität dagegen erst direkt vor der Reproduktion angegeben, kehrt sich die Asymmetrie um ( $vk > kv$ ). In beiden Fällen waren auch hier die Ergebnisse in der intramodal visuellen Bedingung besser als die der kinästhetischen.

Abranavel (1971) untersuchte die inter- und intramodale Addition wahrgenommener Längen. Dabei verglich er intramodal visuelle und haptische Kombinationen sowie additive Integration über beide Wahrnehmungssysteme.

Die Synthese der zwei Längen erbrachte in allen drei Varianten vergleichbare Werte; je größer allerdings die Gesamtlänge wurde, desto größer war auch die Abweichung der Schätzungen von der Addition der physikalischen Werte.

#### 4.2.1.2 Form

Lobb (1970) untersuchte intermodale Urteile zu Formvergleichen mittels komplexer irregulärer Formen. Zunächst wurde der Standard entweder visuell oder haptisch exploriert, dann sollte für eine Gruppe von vier Vergleichsitems entweder intramodal (vv und hh) oder intermodal (vh oder hv) pro Form eine Gleich-Ungleich-Entscheidung getroffen werden. Die Darbietung erfolgte in beiden Modalitäten sequentiell (erst Standard, dann jeder Vergleich einzeln). Für intramodale Vergleiche waren die Leistungen in der visuellen Modalität besser als in der haptischen. Je komplexer die Figur wurde, desto größer war der Leistungsunterschied zwischen den Modalitäten. Die intermodalen Formvergleiche waren ebenfalls schlechter als intramodal visuell, dabei war der intermodale Transfer von visuell auf haptisch besser als umgekehrt (Asymmetrie).

Untersuchungsergebnisse von Goodnow (1971) legen nahe, daß die schlechteren Ergebnisse für haptische Formvergleiche möglicherweise durch die sequentielle Formdarbietung verstärkt wurden. Die Qualität der Formvergleiche

wird bedingt durch die relative Aufgabenschwierigkeit. Diese hängt unter anderem von der Anzahl der Vergleichsobjekte ab. Mehrere sequentiell zu explorierende Vergleichsitems wirken zeitverzögernd. Die Befunde Posners (1967) mit Hinweisen auf schlechtere Speicherung für haptische Information lassen erwarten, daß diese bearbeitungsbedingte Zeitverzögerung einen stärkeren Einfluß auf die haptische Modalität als auf die visuelle Modalität hat. Goodnow verglich die Effekte sequentieller Formvergleiche zeitverzögert zu einem, drei oder fünf Vergleichsobjekten. Die Genauigkeit wurde in beiden Modalitäten mit steigender Zahl der Vergleichsobjekte geringer. Der Einfluß auf die haptischen Urteile (Antwortmodalität haptisch) war wie erwartet weit stärker als auf visuelle Urteile.

Aufgrund eigener Befunde kam Freides (1975) gleichfalls zu dem Schluß, daß intermodale Asymmetrie abhängig von der Aufgabenkomplexität ist. Bei einem Vergleich zwischen der Güte intermodaler Längenurteile (einfache Aufgabe) und intermodalen Formvergleichen (komplexe Aufgabe) zeigten sich für Formvergleiche Kombinationen mit visuellem Standard genauer als solche mit haptischem. Die visuell intramodalen Zuordnungen wurden am besten gelöst.

In seinem Überblick zu visuell-haptischen Formzuordnungen gelangte Jones (1981) zu der Ansicht, daß die visuelle Modalität grundsätzlich besser für diese Aufgaben geeignet ist als die haptische.

Garbin (1988) kritisierte an den Befunden zu intermodalem Formvergleich, daß Befunde zu intermodaler Asymmetrie abhängig von der tatsächlichen Äquivalenz der Stimuli für visuelle und haptische Modalität sind. Bei Experimenten zu intermodalem Matching wird eine solche Äquivalenz jedoch immer vorausgesetzt. Er konnte Auswirkungen unterschiedlicher Äquivalenzstufen auf intermodale Vergleiche zeigen. Bei Nichtäquivalenz der Stimuli fand sich das typische Muster besserer intramodal visueller als intramodal haptischer Zuordnungen. Beide intermodalen Vergleiche waren dann schlechter als intramodale. Dagegen erfolgten für visuell und haptisch äquivalente Formen in allen Vergleichen unabhängig von der Modalitätskombination gleich gute Zuordnungen.

#### 4.2.1.3 Neigung

Proffit, Bhalla, Gossweiler und Midgett (1995) untersuchten die intramodal visuelle Wahrnehmung geneigter Flächen im Vergleich zu intermodalen Zuordnungen visuell vorgegebener Neigungen zu verbalen und haptischen Urteilen. Die hier gewonnenen Daten weisen auf eine genauere haptische Zuordnung im Vergleich zu den beiden anderen Matchingvarianten hin.

In einer ähnlichen Transferaufgabe mit intramodal haptischer und intermodal visuell-haptischer Reproduktion vorgegebener Neigungen fanden dagegen Hellmann und Huber (2002) eine generelle Unterschätzung bei einem Transfer von visueller Vorgabe zu haptischer Zuordnung. Haptisch intramodal fanden sich Unterschiede zwischen Extremitäten: Die Hand-Hand-Zuordnungen erwiesen sich als sehr genau, Hand-Fuß-Zuordnungen führten dagegen zu Unterschätzungen ähnlich den visuell-haptisch intermodalen Zuordnungen.

#### 4.2.2 Matching mit Konflikt

Einen weiteren Ansatz zur Untersuchung intermodaler Organisation bilden Experimente über sensorische Konflikte. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen, einfachen Zuordnungsaufgaben wird hier Information gleichzeitig in zwei (selten mehr) Modalitäten gegeben und für diese eine entsprechende Zuordnung gefordert. Dabei sind die Informationen zur gleichen Objekteigenschaft in diesen Modalitäten nicht übereinstimmend. Ein Beispiel solcher auch in der Natur vorkommenden Inkongruenzen ist ein im Wasser stehender Stab. Durch die unterschiedliche Lichtbrechung von Luft und Wasser erscheint der Stab optisch geknickt, bei haptischer Exploration besteht die Wahrnehmung eines geraden Stabes. Am häufigsten werden Inkongruenzen zwischen visueller und haptischer Modalität auch experimentell über Veränderung der optischen Information, z.B. mittels Prismen, Spiegeln oder Linsen, erzeugt. Da die haptisch erfahrbare Information dadurch nicht verändert wird, entstehen so Inkongruenzen zwischen der Wahrnehmung beider Modalitäten.

Untersuchungen mit experimentell erzeugten Inkongruenzen sind weniger mit der Prüfung beschäftigt, ob überhaupt Integration zustande kommt. Vielmehr steht die Frage im Vordergrund, wie die Information aus den verschiede-

nen Sinnesmodalitäten zu einer einheitlichen Wahrnehmung integriert wird und welches Gewicht einzelnen Modalitäten innerhalb einer solchen Integration zukommt.

Interessant ist, ob die Informationsunterschiede zwischen den Modalitäten überhaupt wahrgenommen werden oder ob eher die Tendenz zu einer einheitlichen konfliktfreien Wahrnehmung besteht. Weiter bedeutsam ist die Art der Anpassung bzw. des Einflusses einer Modalität auf die Abbildung von Information in einer anderen. Die Gewichtung der einzelnen Modalitäten bei der Gesamtwahrnehmung kann dabei entweder zu einer Kompromißbildung zwischen beiden Modalitäten führen oder zur Dominanz einer der konfligierenden Modalitäten.

Es gibt hier zwei Untersuchungsvarianten: (a) Der Einfluß von inkongruenter Information aus zwei oder mehr Modalitäten auf Kalibrierungsprozesse bei sensumotorischer Adaption wird über einen längeren Zeitraum gemessen (insbesondere für Untersuchungen von Raumwertverortungen genutzt) und (b) es wird die umgehende Reaktion auf die intersensorischen Diskrepanzen in Zuordnungsaufgaben erhoben. Beide schließen einander nicht aus. Sensumotorische Aktivität beeinflusst die kognitive Repräsentation der Umwelt und wird gleichzeitig über diese Repräsentation in Auswahl und Planung von Explorationsprozeduren gelenkt.

Da sich die in Kapitel 5 vorgestellten Experimente mit den umgehenden Reaktionen auf multimodal inkongruente Informationen beschäftigen, sollen Befunde zur Kalibrierung hier nicht weiter vertieft werden.

Eine klassische Untersuchung zu umgehender Reaktion auf intersensorische Diskrepanzen stellt der von Rock und Victor (1964) experimentell erzeugte Konflikt zwischen visueller und haptischer Form von Figuren dar.

Die Teilnehmer erfüllten ein Quadrat durch ein Tuch hindurch, während sie dieses Quadrat gleichzeitig durch eine Linse zu einem Rechteck verzerrt betrachteten. Danach sollten sie entweder durch Auswahl eines von mehreren visuellen Objekten, eines von mehreren zu greifenden Objekten oder mittels Zeichnen die Form des konflikthaltigen Standardstimulus beurteilen. In den

Kontrollbedingungen erfolgte ein rein intramodales Matching (ohne Konflikt) nur mittels Abtasten oder Betrachten.

Für die intramodal haptische Exploration lag das Urteil nahe dem physikalischen Wert. Stand nur die visuelle Modalität zu Verfügung, entsprach die Schätzung der optisch verzerrten Form. Standen den Pbn die inkongruenten Informationen aus beiden Modalitäten zur Verfügung, glichen die Schätzungen denen der rein visuellen Bearbeitung. Interpretiert wurde dies als Dominanz des visuellen Eindrucks.

„In other words vision is so powerful in relation to touch, that the very touch experience itself undergoes a change”

Rock und Victor, 1964, S. 595

#### 4.2.2.1 Raumverortung

In einem Experiment zu konfligierenden Informationen zur Objektverortung von Hay, Pick und Ikeda (1965) sahen Probanden ihren Zeigefinger durch ein Prisma (optisch verschobenes Bild des Fingers um ca.  $14^\circ$ ) mit der Aufgabe, auf die Position dieses Zeigefingers mit der anderen, nicht sichtbaren Hand zu zeigen. Die angezeigte Position war deutlich in Richtung der optisch verschobenen Position verzerrt. Die Teilnehmer orientierten sich hauptsächlich an der optischen, kaum an der propriozeptiv wahrzunehmenden Position. Es gab kaum einen umgekehrten Einfluß. Aufgrund der starken visuellen Dominanz umschrieben die Autoren diesen Effekt mit dem von Tastevin entliehenen Begriff des „Visual Capture“, der sich im folgenden für entsprechende Ergebnisse durchsetzte. Ähnliche Ergebnisse finden sich bei Pick, Warren und Hay (1969).

Nach Warren (1980) ist die Lösung des Raumkonfliktes abhängig von der Aufmerksamkeit auf die unterschiedlichen Komponenten: Gibt es aufgrund der Versuchsanordnung eine stark propriozeptive Komponente, erfolgt auch eine stärkere Gewichtung dieser Information im Konfliktfall. Bei bimodaler Vorgabe forderte er entweder nur eine visuelle oder eine haptische Reaktion. Eine visuelle Zuordnung führte eher zu einem Bias in Richtung visueller Information, umgekehrt stieg der haptische Einfluß auf die geschätzte Position mit Forderung einer haptischen Reaktion. Die Aufmerksamkeit wird also unter anderem durch die geforderte Antwortmodalität verschoben und verändert damit auch die Ge-



wichtung der Sinnesmodalitäten bei der Integration der Informationen zu einer Gesamtwahrnehmung.

Das Visual Capture haptischer Information fanden auch Pavani, Spence und Driver (2000). Die Aufgabe bestand in der Lokalisation der Position von Vibrationen. Dazu hielten Probanden Schaumstoffwürfel mit je zwei integrierten Vibratoren in der Hand (am Daumen= unten, am Zeigefinger= oben). Die Hände selbst waren nicht sichtbar, stattdessen sahen die Teilnehmer Würfel haltende Dummyhände. Bei diesen waren an der entsprechenden Stelle LEDs statt Vibratoren angebracht. Das Aufleuchten der LEDs konnte entweder kongruent oder inkongruent mit der Position der Vibration sein. Die LEDs waren jedoch für die haptische Lokalisationsaufgabe nicht relevant. Trotzdem ergaben sich kürzere Reaktionszeiten (RZ), wenn visuelle und haptische Information kongruent waren. Dieser Effekt wurde stärker, erfolgte die visuelle Stimulation auf derselben Seite (Hand) wie die taktile. Umgekehrt erhöhte sich die Fehlerrate bei inkongruenter Information. Die Autoren interpretierten dieses Ergebnis als Visual Capture der taktilen Position. Sobald die sichtbaren Dummyhände orthogonal zur eigenen Handposition gedreht waren, hatten die visuellen Anzeigen keinen Einfluß mehr auf RT und Fehlerhöhe. Der korrigierende Einfluß propriozeptiver Rückmeldung auf die Handposition ist bei eher konstanter, passiver Haltung (Hände aufgestützt) sehr gering. Solange die visuelle Information innerhalb einer ähnlichen Raumposition liegt, wird die Aufmerksamkeit stärker der visuellen Information zugewandt und daher wird die visuelle Information stärker gewichtet.

„Only real hands will typically be seen in everyday life, and so vision should usually provide veridical information about their posture, rather than source of conflict“.

Pavani, Spence und Driver, 2000, S. 358

#### 4.2.2.2 Größe

Im Gegensatz zu den oben genannten Befunden zu konfligierenden Informationen von Raumverortungen sind die Ergebnisse hinsichtlich der Dominanz einer Modalität im intersensorischen Bias für konfligierende Größeninformationen eher uneinheitlich. In einer Variation des Experimentes von Rock und Victor (1964, siehe S. 34) zu intermodalem Formmatching fanden Rock, Mack, Adams

und Hill (1965) bei konfligierender visueller und haptischer Größeninformation ebenfalls Zuordnungen entsprechend der visuellen Information ohne erkennbaren Einfluß der haptischen.

Kinney und Luria (1970) kritisierten die Künstlichkeit der im Labor durchgeführten Linsenexperimente und stellten diesem ein Experiment mit natürlicher Konfliktumgebung an die Seite. Bei Wahrnehmung unter Wasser entspricht die haptische Wahrnehmung derjenigen in Luftumgebung, visuell (mit Tauchmaske) erscheinen jedoch aufgrund der anderen Lichtbrechung Objekte um ein Drittel größer und ein Viertel näher als in Luftumgebung. Aus einem Set von 16 Vergleichsscheiben waren diejenigen herauszusuchen, die vier bekannten Münzgrößen entsprachen. Die Scheiben wurden entweder ausgewählt und an den Versuchsleiter gegeben (multimodale Bedingung) oder mittels Nummer der Scheibe angegeben (visuelle Bedingung). Für die rein haptische Wahrnehmung erfolgte die Auswahl über und unter Wasser mit verbundenen Augen. Über Wasser wurde diese Aufgabe aus dem Gedächtnis sowohl für Modalitätskombination als auch rein haptisch alleine mit geringen Abweichungen gelöst. Unter Wasser entsprachen die Ergebnisse bei Modalitätskombination dem zu erwartenden visuellen Verzerrungsfaktor. Hier ist jedoch einschränkend anzumerken, daß die visuell-haptische Aufgabe nicht unbedingt sehr viele haptisch relevante Aspekte enthielt. Greifen und Weiterreichen führt nicht unbedingt zu dem gleichen explorativen Ausmaß wie vorheriges Betrachten und bedeutet nicht automatisch das Zustandekommen einer haptischen Repräsentation.

McDonnel und Duffett (1972) fanden für multimodale Größenkonflikte eher Kompromißlösungen, das heißt die Experimentalgruppe mit bimodal verfügbarem Stimulus lag in den Zuordnungen zwischen denen der jeweiligen visuell bzw. haptisch unimodalen Kontrollgruppe. Mit zunehmendem Konflikt zwischen visueller und haptischer Information wurde die haptische Modalität stärker gewichtet (haptische Dominanz). Dabei zeigte sich, daß die Modalitätsdominanz individuell konstant entweder visuell oder haptisch ausgeprägt ist.

In einer Untersuchung zu haptisch-visuellen Wahrnehmungskongruenzen in Neigung, Textur und Länge von Objekten fanden auch Fishkin, Pishkin und

Stahl (1975) für Länge Konfliktauflösungen, die einen annähernden Kompromiß zwischen beiden Modalitäten bildeten.

Als weiteren Faktor für unterschiedliche Dominanzausprägungen konnten Hershberger und Misceo (1996) die Abhängigkeit von der Zuordnungsmodalität zeigen. In sequentiellen Zuordnungen mit bimodal verfügbarem Standard entsprachen die visuellen Vergleiche eher der visuellen Information. Für haptische Vergleiche wurden Testitems entsprechend des haptischen Standardanteils gewählt. Beide Dominanzen waren nicht vollständig. Hershberger und Misceo schlossen daraus, daß die konfligierenden Größeninformationen multimodal registriert werden. Dadurch kommt es zu einer gegenseitigen Beeinflussung des haptischen und visuellen Eindrucks. Diese ist dann wiederum annähernd symmetrisch. Ergebnisse einer rein visuellen Dominanz in anderen Untersuchungen rühren nach Ansicht der Autoren gegebenenfalls daher, daß die haptische Information zuerst nicht oder kaum beachtet wird. Dadurch liegen nur aus der visuellen Modalität Informationen über den Standard vor. Im Falle einer haptischen (sequentiellen) Zuordnungsaufgabe kann daher kein Matching auf einen bimodalen Standard stattfinden. Hier liegt vielmehr ein intermodales Matching zwischen visuellen Standard und haptischem Vergleichsstimulus vor.

In einer weiteren Untersuchung zeigten Misceo, Hershberger und Mancini (1999) eine Altersabhängigkeit dieses gegenseitigen Einflusses. Sie fanden für die visuelle Antwortmodalität unabhängig vom Alter eine visuelle Dominanz. Für Zuordnungen mit haptischen Vergleichen war für Sechsjährige der visuelle Einfluß stärker. Neunjährige integrierten beide Modalitäten gleich stark und für Zwölfjährige entsprach das Ergebnis dem der Erwachsenen mit stärkerem haptischen Einfluß. Die Autoren interpretierten das Ergebnis dahingehend, daß die haptische Information von den jüngeren Kindern möglicherweise als zusätzliche Komplikation ausgeblendet wurde.

Heller, Calcaterra, Green und Brown (1999) fanden für intersensorische Größenkonflikte bei Zuordnungsaufgaben einen Kompromiß zwischen visueller und haptischer Größe, wenn die Vergleichsobjekte simultan und ohne Zeitbegrenzung exploriert werden konnten.

Absolute Urteile über die Stimulusgröße in Zentimetern mit einem Maßband als vorgegebenem visuellen Anker führten zu Einschätzungen, die immer noch einen Kompromiß zwischen beiden Informationen darstellten. Jedoch lagen hier die Urteile näher an einer unimodal visuellen Schätzung. Durch den visuellen Anker wurde die Aufmerksamkeit auf diese Vergleichsmodalität verschoben, wodurch sich der stärkere Einfluß dieser Modalität erklären läßt.

Eine umgekehrte Verankerung in der haptischen Modalität wurde durch die Modifizierung der Antwortreaktion erreicht. Erfolgte die Wiedergabe nur in der haptischen Modalität mittels Anzeigen des Abstandes durch Pinzettengriff, lagen die Kompromißlösungen sehr viel näher an der unimodal haptischen Antwort.

#### 4.2.2.3 Form

Neben den bereits genannten Ergebnissen von Rock und Victor (1964) für eine visuelle Dominanz multimodaler Wahrnehmung in Konfliktsituationen zeigten sich auch bei Miller (1972) Hinweise für eine visuelle Dominanz bei Formurteilen in der Konfliktsituation. Sobald Probanden die unterschiedlichen Informationen als zum gleichen Objekt zugehörig bezogen auffaßten, lagen die Zuordnungen aller Konfliktdurchläufe näher zu unimodal visuellen als zu unimodal haptischen Einschätzungen. Weder Durchlaufwiederholungen noch verlängerte Explorationsdauer führten zu einer stärkeren Gewichtung haptischer Information.

Auch Power (1980, 1981) und Power und Graham (1976) fanden in mehreren Experimenten eine Dominanz der visuellen Modalität. Diese änderte sich weder für in haptischer Wahrnehmung geübte Probanden noch durch den Einsatz bekannter Stimuli (Münzen). Power kam daher zu dem Schluß, daß haptisches Training die visuelle Dominanz nicht reduziert. Hinweise auf Einschränkungen des Visual Capture liefern allerdings die Aussagen von zwei der haptisch geübten Probanden. Nach Aufklärung über den Konflikt gaben diese an, sie hätten automatisch angenommen, es habe sich um zwei verschiedene Objekte gehandelt. Für die Formzuordnung hätten sie die haptische nicht beachtet. In diesen Fällen handelt es sich eigentlich um ein rein intramodales Matching. Gemessen

wurde dann nicht der Einfluß konfligierender Informationen auf die Gesamtwahrnehmung. Auch bei der Überprüfung der Robustheit der visuellen Dominanz über die haptische Wahrnehmung mittels bekannter Objekte gab es trotz Bekanntheit der Objekte kaum Hinweise auf Kompromißlösung. McGurk und Power (1980) replizierten die Ergebnisse zur visuellen Dominanz bei Formurteilen mit Vorschulkindern als Probanden.

Dagegen konnte Heller (1983, 1992) für experimentell erzeugte Konflikte der Formwahrnehmung eine Dominanz der haptischen Modalität nachweisen. Ausgehend von einer explorationsbedingten schlechteren Auflösung der haptischen Information setzte er zur Herstellung einer äquivalenten Aufgabenschwierigkeit die Genauigkeit des visuellen Reizmaterials mittels Milchglasscheiben herab. Die Objektidentifikation mittels Matching führte für große Unterschiede in der Formwahrnehmung (haptisch Quadrat, visuell Dreieck) zu einer starken haptischen Dominanz auf die zugeordneten Formen. Komplementär zu Probanden in den Experimenten von Power und Graham (1976) gaben einige Teilnehmer die Rückmeldung, daß sie die sichtbare Information teilweise bewußt ignoriert hätten, da die Formen nicht klar sichtbar waren. Auch für weniger diskrepante Forminformationen in den beiden Modalitäten (gefühltes Quadrat im Gegensatz zu gesehenem Rechteck) dominierte der haptische Einfluß auf die Gesamtwahrnehmung. Heller interpretierte dieses Ergebnis dahingehend, daß sich Beobachter auf die Modalität verlassen, der sie unter den gegebenen Umständen das größere Vertrauen entgegenbringen.

#### 4.2.2.4 Textur

Für bimodale Aufgaben mit konfligierenden Informationen der Stimulustextur fanden Fishkin, Pishkin und Stahl (1975) im Gegensatz zu ihren Ergebnissen hinsichtlich der Länge eine Auflösung der Diskrepanz in Richtung der haptischen Modalität.

Ein Experiment zu Diskrepanz zwischen sichtbarer und zu fühlender Textur findet sich auch bei Lederman und Abbott (1981). Die intramodalen Wahrnehmungsurteile entsprachen den unterschiedlichen Vorlagen. Für intermodale Zuordnungsaufgaben mit diskrepanter Textur visuell (feinere Auflösung) zu

haptisch (Textur rauher) lagen die subjektiven Zuordnungen zwischen den intramodalen Matchingantworten. Nach Ansicht der Autoren sind für Texturunterscheidungen beide Sinnesmodalitäten gleich ökologisch valide und von gleicher psychophysischer Genauigkeit. Daher sind auch beide Modalitäten gleich stark an der Kompromißlösung der Wahrnehmung beteiligt. Zusätzlich zeigte sich auch hier die Tendenz, den sensorischen Kompromiß in Richtung der Antwortmodalität zu verschieben. War eine visuelle Antwort gefordert, überwog der visuelle Einfluß. Umgekehrt erhöhte sich der Einfluß des haptischen Systems auf die Wahrnehmungsurteile bei diskrepanter Texturinformation, wenn eine haptische Antwort gefordert war. Wurden visuell-haptische Antworten gefordert, entstand ein Kompromiß genau zwischen beiden intramodalen Textururteilen.

In Abhängigkeit des speziellen Aspektes der Textur, der aufgrund der Aufgabe stärker in den Vordergrund tritt, fanden Lederman, Thorne und Jones (1986) eine Veränderung der relativen Gewichtung, die dem Sehen bzw. der Haptik bei der Einschätzung der Oberfläche zukommt. Bestand die Aufgabe in der Beurteilung der Oberflächenrauheit bzw. Grobkörnigkeit, wiesen die Zuordnungen einen stärkeren Einfluß der haptischen Modalität auf. Dagegen wurde die visuelle Modalität stärker gewichtet, wenn Texturgradient und räumliche Auflösung der (gleichen) Oberflächen aufgabenrelevant waren. Dies läßt den Schluß zu, daß Textur eine eher multidimensionale Eigenschaft ist.

#### 4.2.2.5 Neigung

Die bereits erwähnte Studie von Fishkin, Pishkin und Stahl (1975) enthielt als Schwerpunkt Experimente mit visuell-haptischem Konflikt in bezug auf die Neigung von Linien. Hier fand sich prinzipiell eine visuelle Dominanz in der Gesamtwahrnehmung. In zwei weiteren Experimenten testeten die Autoren die Auswirkungen von Training in einer der beiden Modalitäten sowie die Effekte von zusätzlicher Information und von der Qualität der Information auf die Kompromißbildung. Die kurze Trainingseinheit führte zu keiner Veränderung in der Konfliktauflösung. Wurde dagegen die Auflösung der visuellen Information verringert, verringerte sich auch die visuelle Dominanz. Eine zusätzliche Anrei-

cherung der haptischen Information durch Variation der Oberflächentextur wirkte sich dagegen verstärkend auf die Dominanz der visuellen Modalität aus. Die Autoren interpretierten letzteres dahingehend, daß möglicherweise die Aufmerksamkeit auf die haptische Neigungsinformation durch die zusätzliche Information herabgesetzt wird.

### **4.2.3 Gewichtung der Modalitäten**

Es gibt verschiedene Erklärungsansätze bezüglich der Asymmetrien im konfliktfreien intermodalen Matching und der Gewichtung der Modalitäten im intersensorischen Bias bei Konflikt zwischen den Modalitäten. Die Ansätze umfassen dabei den Bereich der Reaktionsvariablen, der Passung von Modalität zur Aufgabe sowie der auf eine bestimmte Modalität gerichteten Aufmerksamkeit.

Speziell als ausschlaggebender Faktor für das Zustandekommen von Dominanzen im Konfliktfall sowie für das Ausmaß der jeweiligen Verzerrung ist weiterhin das Bewußtsein für das Vorhandensein eines Modalitätskonfliktes bzw. die wahrgenommene Objekteinheit zu nennen.

Auf diese Faktoren der Modalitätsgewichtung soll im folgenden genauer eingegangen werden.

#### **4.2.3.1 Reaktionsvariablen**

Wie bereits gesehen, hängen Asymmetrien und Dominanzen intermodaler Wahrnehmungsurteile von der Modalität ab, in der ein passendes Vergleichsitem ausgewählt oder reproduziert werden soll.

Ist eine der informationsaufnehmenden Sinnesmodalitäten auch gleichzeitig Antwortmodalität, kommt dieser auch in der Bearbeitung eine größere Bedeutung zu. Damit erhöht sich auch der Einfluß auf die Gesamtwahrnehmung (Heller, Calcaterra, Green & Brown, 1999; Hershberger & Misceo, 1996; Lederman & Abbott, 1981; Warren, 1980). Über die hier zugrunde liegende Änderung des Fokus auf eben diese Modalität soll speziell unter dem Punkt 4.2.3.3 eingegangen werden.

In Herstellungsexperimenten sind nach Vorgabe des Standards äquivalente Werte durch Probanden zu reproduzieren. Eine solche Umsetzung wird hauptsächlich für Länge und Neigung, weniger für Formzuordnungen eingesetzt. Für die haptische Modalität führt dies häufig aufgrund der Umsetzung zu einer Einschränkung auf die propriozeptiven Informationsanteile. Dadurch steht für die haptische Zuordnung meist weniger Gesamtinformation zur Verfügung als für Vergleiche auf Basis der visuellen Modalität. Hinzu kommt außerdem, daß visuell oft durch zusätzliche Referenzinformationen aus der Umgebung (allozentrischer Referenzrahmen) größere Informationsmengen zur Verfügung stehen. Leistungsunterschieden zwischen den Modalitäten (intermodal asymmetrisch mit  $k_v > k_h$ ) liegen also möglicherweise die geringere Menge haptischer Information zugrunde (Diewert & Stellmach, 1977; Marteniuk & Rodney, 1979). Wird die visuelle Informationsmenge für Standard und Wiedergabe der haptischen angeglichen (wenig allozentrische Information über relative Objektlänge, keine Information über Gesamtdistanz), findet sich keine intermodale Asymmetrie und auch intramodal sind die Modalitäten gleich genau.

In Zuordnungsaufgaben mit Vergleichsitems entstehen Unterschiede insbesondere bei der Auswahl aus mehreren Vergleichsobjekten. Visuell sind simultane Mehrfachvergleiche möglich, haptisch kann dagegen grundsätzlich nur sequentiell exploriert werden. Gleichzeitig bewirkt eine zeitverzögerte Wiedergabe Unterschiede in der Wiedergabequalität. Je größer die Pause zwischen Exploration und Auswahl ist, desto ausgeprägter werden auch die Unterschiede zwischen visueller und haptischer bzw. propriozeptiver Wiedergabe (Connolly & Jones, 1970; Marteniuk & Rodney, 1979; Posner, 1967).

Eine größere Anzahl an Vergleichsobjekten wirkt sich haptisch wie eine zeitverzögerte Wiedergabe aus, da diese nur sequentiell zu bearbeiten sind. Die geringsten Unterschiede für visuell-haptische Zuordnungsaufgaben sind für nur ein Vergleichsobjekt anzunehmen. In einer Untersuchung zu sequentiellem Formmatching (Goodnow, 1971) wurden erst ein Standard, dann nacheinander ein, drei oder fünf Vergleichsitems vorgelegt. Je mehr Vergleichsobjekte angeboten wurden, desto mehr Fehler wurden haptisch gemacht. Zeit und/oder



Interferenz durch die Ähnlichkeit der Vergleichsstimuli wirkten sich dabei auf die haptischen Urteile weit stärker aus als auf visuelle.

Andererseits findet sich in Raumverortungsaufgaben eher eine Abnahme des Einflusses der (verzerrten) visuellen Information auf die propriozeptive Wahrnehmung mit steigender Länge des Pausenintervalls zwischen Ende der Exploration (Stimulus-Offset) und Beginn der Reaktion (Warren, 1980).

#### 4.2.3.2 Modalitäts-Aufgabenpassung

Nach Rose (1994) sind die Asymmetrien im Transfer stark verknüpft mit der Verarbeitungsrate. Häufig können Objekte visuell schneller exploriert werden. Dies erlaubt bei gleicher Bearbeitungszeit durch visuelle und haptische Systeme eine genauere und umfassendere Exploration in der visuellen Modalität. Die hieraus entstehenden Unterschiede in Qualität und Quantität der aufgenommenen Information wirken sich wiederum auf die Wahrnehmungsurteile in den Transferaufgaben aus. Zudem werden spontan eher verschiedene Eigenschaften durch die Modalitäten aufgegriffen, die dann unterschiedlich gut in der jeweils anderen Modalität repräsentiert werden.

Ausgehend von den Daten von 1970 (Connolly und Jones, Jones & Connolly) modifiziert Jones (1981) seinen ursprünglichen Erklärungsansatz einer grundsätzlichen visuellen Überlegenheit hin zu einer Modalitäts-Aufgabenpassung. Die Leistung in intermodalen Zuordnungsaufgaben ist abhängig von der Verarbeitung innerhalb der Modalität, die von mehreren für eine bestimmte Aufgabe die effizienteste ist. Ist für eine Aufgabe die visuelle Informationsaufnahme genauer, z.B. aufgrund einer sequentiellen Darbietung der zu vergleichenden Stimuli, ist zu erwarten, daß die intramodale visuelle Zuordnung (vv) besser ist als eine intermodal visuell-haptische (vh). Die gute Qualität der visuellen Informationsaufnahme über den Standard ermöglicht eine geleitete haptische Exploration der Vergleichsstimuli. Ineffizienter ist der intermodale Vergleich von haptischer Modalität zum Sehen, da die Information über Standard bei haptischer Erfassung weniger gut gelingt. Am schlechtesten ist der intramodal haptische Vergleich, da sowohl die Standardvorlage als auch die Vergleichsitems schlecht wahrgenommen werden. Im Gegensatz dazu erwartet Jones für

simultane Darbietung von Standard und Vergleich mit ausreichender Zeit für die haptische Exploration keine Asymmetrien für den intermodalen Transfer.

Häufig wird angenommen, daß Sehen die angemessenere Modalität zur Objekterkennung ist. In Experimenten zu Wahrnehmung von Größe, Richtung und/oder Position erscheint das haptische System häufig schlechter als das visuelle. Haptische Wahrnehmung wird auch im Alltag in Hinblick auf Qualität wie Quantität oft unterschätzt. Zudem werden die Vorzüge haptischer Wahrnehmung im Design von Alltagsgegenständen und -umgebungen kaum genutzt. Dagegen konnten Klatzky und Lederman (1993) zeigen, daß die haptische Identifikation von Alltagsgegenständen (multidimensionale Objekte) im Gegensatz zur allgemeinen Annahme sehr präzise ist.

Die Sinnesmodalitäten sind nicht grundsätzlich unterschiedlich gut geeignet zur Informationsaufnahme, sondern die Erfahrung in der Anwendung und Nutzbarkeit führt zu Unterschieden in der aufgenommenen Informationsmenge und damit zu Leistungsunterschieden (vgl. z.B. Apelle, 1991; Streri & Molina, 1994).

Dabei führen unterschiedliche Handbewegungen zur Extraktion bestimmter Objektdimensionen. Einige Bewegungsarten sind spezialisierter und sehr genau, andere allgemeiner, dafür aber mit geringerer Auflösung. Aus der Art der eingesetzten Explorationsbewegungen ergeben sich so unterschiedliche Genauigkeiten für bestimmte Eigenschaften.

### Haptische Explorationsprozeduren

Haptisch erfahrbare Objekteigenschaften sind (a) geometrische Eigenschaften, die immer spezifisch für ein bestimmtes Objekt (Größe und Form) gültig sind und (b) Materialeigenschaften, prinzipiell unabhängig von einem bestimmten Objekt (Textur, Konsistenz und Temperatur) sowie (c) das Objektgewicht (Klatzky und Lederman, 1990).

In allen Sinnesmodalitäten ist die Art der verwendeten Explorationsprozeduren (Ep) meist gekoppelt an bestimmte Objekteigenschaften und optimal darauf abgestimmt. Gleichzeitig bedeutet dies, daß je optimaler eine Ep auf eine Eigenschaft abgestimmt ist, desto spezifischer ist diese Ep und desto weniger andere Eigenschaften werden daneben ermittelt. Spezifische Ep sind

präzise auf die zu extrahierende Information abgestimmt und damit für andere Eigenschaften nur eingeschränkt oder nicht nutzbar. Für das haptische System können nach Lederman und Klatzky (1990) Explorationsprozeduren für Informationen über Textur (laterale Bewegungen über die Oberfläche), Festigkeit (Druck), Temperatur (statischer Kontakt), Gewicht (Halten), Größe und ungefähre Form (Umfassen) und genaue Form (Konturfolgen) unterschieden werden.

Abhängig von der Vorgehensweise bei der haptischen Exploration kann es zu systematischen Unterschieden in der Wahrnehmung der gleichen Objekt-dimension kommen. So ließen Hohmuth, Phillips und VanRomer (1976) intermodale Zuordnungen einer haptisch explorierten Länge zu einer subjektiv visuell gleich langen vornehmen. Dabei durfte entweder der Pinzettengriff<sup>12</sup> (entspricht einer speziellen Variante des Umfassens) oder das Entlanggleiten am Objekt mit einem Finger (Konturfolgen) als haptische Abgreifvarianten genutzt werden. Abhängig von der haptischen Exploration fanden Hohmuth et al. erhebliche Unterschiede in den intermodal als subjektiv gleich eingeschätzten visuellen Längen.

Ausgeführte Bewegungen bestimmen also Art und Menge haptisch extrahierter Information. Umgekehrt beeinflussen Erwartungen über die Art der verfügbaren Information, welche Abgreifvariante gewählt wird (Top-Down-Verarbeitung). Die Menge und Qualität der zu extrahierenden Eigenschaften hängen mit dem antizipierten Aufwand einer bestimmten Explorationsart und der Kompatibilität verschiedener Epn zusammen.

Prinzipiell teilt sich die freie haptische Exploration in zwei Phasen: (1) Umfassen- und Halten-Routine und (2) spezielle für die Identifikation kritische Ep. Es erfolgt also erst eine allgemeine Exploration (bottom-up) und dann darauf aufbauend eine gezielte Ep-Auswahl (top-down). Damit stehen zuerst Informationen über Materialeigenschaften, dann über Oberflächendiskontinuitäten und zuletzt über räumliche Aspekte zur Verfügung (Klatzky & Lederman, 1993).

In Untersuchungen mit Kindern fand Abranavel (1981) einen erhöhten Einsatz der jeweils effektivsten Exploration mit zunehmendem Alter der Kinder. Dies äußerte sich in einem gezielteren Einsatz systematischer Epn (konzept-

---

<sup>12</sup> Benutzung von Daumen und Zeigefinger bzw. Mittelfinger

gesteuerte Auswahl) sowie einer besseren Feinkoordination der Finger. Zudem wurden die relevanten Komponenten der Objekte bei der Exploration stärker berücksichtigt. Insgesamt zeigte sich eine verbesserte haptische Objekterkennung. Es wurden stärker simultan aufnehmende, miteinander kombinierbare Epn eingesetzt, die eher eine Gesamtverarbeitung fördern.

### Nutzung von Redundanz in der haptischen Objekterkennung

Der Umfang der Kompatibilität zweier Explorationsbewegungen hat Einfluß auf die Integration verschiedener Objektdimensionen. Lederman, Klatzky und Reed (1993) fanden Redundanzvorteile für das Erkennen von Objekten durch paarweises Auftreten von Dimensionen und entsprechend nachteilige Effekte, wenn die Information über eine dieser Dimensionen nicht zugänglich waren. Ein Wegfall redundanter Informationen wurde nicht komplett ausgeglichen und für die Aufgabe nicht bedeutsame, orthogonale Informationen wurden nicht komplett ignoriert. Die Autoren folgerten daraus, daß die Integration weitestgehend nicht bewußt kontrollierbar ist. Eine gleichzeitige Verarbeitung ist jedoch abhängig davon, ob Epn gemeinsam durchgeführt werden können. Die Kompatibilität ist abhängig von 1. motorischer Vereinbarkeit und 2. dem Abgreifpunkt am Objekt (Rand vs. Mitte). Der Wegfall inkompatibler Epn verhindert gleichzeitig das Wissen über die damit zu extrahierenden Eigenschaften. Für flache Objekte (z.B. Darstellungen im Halbre relief) sind z.B. Epn für geometrische Eigenschaften und Materialeigenschaften kaum effektiv zu kombinieren, und damit steht kaum redundante Information für die weitere Verarbeitung zur Verfügung. Für dreidimensionale Objekte findet sich dagegen auch eine Integration über Geometrie-Material-Kombinationen, wenn Form und Textur am gleichen Objektpunkt abgenommen werden konnten (Lederman, Klatzky & Reed, 1993). Neben motorischer Kompatibilität und Abgreifort ist hierbei auch die Gleichartigkeit der Diskriminierbarkeit für die Integration ausschlaggebend.

Verglichen mit dem haptischen System liegen die Dimensionen beim Sehen häufig räumlich näher beieinander (in der Fovea). Dies begünstigt die visuelle Integration dieser Dimensionen und erhöht damit die Vorteile gemeinsam visuell zu verarbeitender Objektinformation gegenüber haptischer Verarbeitung. Bei

sehr großen Objekten erfolgt aufgrund der stärkeren räumlichen Trennung auch für die visuelle Modalität weniger Integration.

### Haptic Glance

Normalerweise werden für haptische Epn ca. 3,5 Sekunden benötigt. Aber bereits über einen ersten flüchtigen Kontakt (Haptic Glance) sind Objekteigenschaften erfahrbar. Das erste Greifen beinhaltet statischen Kontakt, Umfassen, Druck sowie minimale laterale Bewegungen. In der visuellen Objekterkennung wird die Bedeutung globaler Strukturen betont. Diese sind beim Haptic Glance höchstens für Objekte von der Größe der Fingerkuppe gegeben. Für größere Objekte kann ein solcher flüchtiger Erstkontakt nicht zu einem Eindruck über die Gesamtform bzw. Struktur führen.

Klatzky und Lederman (2000) untersuchten, wie schnell die einzelnen Informationen für die Objekterkennung zusammengefügt werden können. Bei 200 Millisekunden haptischer Exploration wurden ohne jegliche Hinweise 15% der Objekte erkannt. Mit Hinweisen ergab sich mit 72% ein noch deutlich besseres Ergebnis (beide Werte lagen über Zufallsniveau). Selbst durch Haptic Glance werden also einige Eigenschaften ermittelt. Für die Objekterkennung wird diese geringe Datenmenge durch Top-Down-Verarbeitung weiter ausgeglichen. Darauf weist auch hin, daß bei aufgetretenen Verwechslungen zu 75% die Materialeigenschaften der fälschlich genannten Objekte übereinstimmten. War für die Objekte zur Identifikation die Textur wichtig, wurden die Leistungen mit zunehmender Größe des Objektes besser, da mehr Oberfläche zur spontanen Informationsaufnahme zur Verfügung stand. Mit Form als kritischer Eigenschaft nahm die Identifikationsleistung mit steigender Objektgröße ab. Das Ausmaß der Verschlechterung war abhängig davon, wieviel Auskunft lokale Bereiche über die globale Form gaben. Klatzky und Lederman vermuten, daß hier haptische Basisformen der Objekterkennung ähnlich den häufig für die visuelle Objekterkennung postulierten elementaren Teilkörpern (Primitives) wie z.B.

Geone<sup>13</sup> anzunehmen sind. Auch können zusätzlich Materialeigenschaften Hinweise auf die Form geben.

Einschränkungen der haptischen Wahrnehmung durch Bewegungsrestriktionen auf eine rein taktile oder kinästhetische Stimulation, wie sie häufig in Untersuchungen zur haptischen Formerkennung und intermodal visuell-haptischer Integration zu finden sind, führen meist zu einer eher schlechten haptischen Formerkennung. Implizit findet sich daher häufig die Annahme (z.B. Jones, 1981), die schlecht aufgelöste haptische Information werde in visuelle überführt und dann als solche weiterverarbeitet. Es wird also ein Image-Mediating-Modell der haptischen Objekterkennung zugrunde gelegt. Dies betont die Schwächen des haptischen Systems zu stark (Klatzky & Lederman, (2000).

Für reale Objekte erfolgt eine Integration taktiler, kinästhetischer und thermaler Information über direkten Zugriff unabhängig vom Sehen. Zudem werden globale Strukturen wie Form und Größe eher mittels Umfassen eines Objektes als über Konturfolgen gewonnen. Die Untersuchungen von Klatzky und Lederman (1993, 2000; Lederman, Klatzky, Chataway & Summers, 1990) zeigen, daß das haptische System sehr wohl in der Lage ist, innerhalb von 1-2 Sekunden Objekte zu identifizieren. Sie favorisieren daher ein Modell mit direkter Verarbeitung der haptischen Information (Direct-Haptic-Apprehension-Modell) ohne den Umweg über eine visuelle Mediation.

## Zwei- und dreidimensionale Darstellung von Objekten

In Experimenten mit schlechten Ergebnissen in der haptischen Objekterkennung wurden häufig nur flache Stimuli bzw. einfache Punkte und Linien als Vorlagen eingesetzt.

In einem Experiment dazu verglichen Lederman, Klatzky, Chataway und Summers (1990) das Erkennen von zwei- und dreidimensionalen Darstellungen von Objekten im Relief. Während reale dreidimensionale Objekte mit nahezu 100% innerhalb von 1-2 Sekunden haptischer Exploration erkannt wurden, wur-

---

<sup>13</sup> Nach Biederman (nach Guski, 1996) erfolgt in der visuellen Wahrnehmung die Objekterkennung durch das visuelle System durch die Zerlegung von Objekten und Szenen in Basiskomponenten. Diese Zerlegung erfolgt auf Basis der Konturen, insbesondere anstellen mit plötzlicher Änderung des Linienverlaufs. Die von Biederman Geone benannten, so entstehenden Komponenten stellen dreidimensionale Grundbausteine der visuellen Objekterkennung dar.

den selbst bekannte Objekte in Reliefdarstellungen nur zu 33% von sehenden Probanden innerhalb von durchschnittlich 90 Sekunden und nur zu 10% von blinden Teilnehmern identifiziert.

Zweidimensionale Darstellungen enthalten nur Informationen über die flächige Form und Größe. Während das visuelle System, bedingt durch den physiologischen Aufbau, genau darauf abgestimmt ist, aus zweidimensionalen Abbildungen dreidimensionale Repräsentationen zu gewinnen (z.B. Müsseler, 2002), enthalten zweidimensionale Darstellungen zu wenig Informationen für die explorierende Hand. Diese sind haptisch zudem nur durch Konturfolgen aufzunehmen. Oft ist hier nur eine sequentielle Informationsaufnahme möglich. Dies bedeutet für das haptische System mehr Integration und höhere Gedächtnisvergleichsanforderungen (Lederman, Klatzky, Chataway & Summers, 1990). Gegebenenfalls wird dadurch eine Verarbeitung mittels visuell-bildlicher Vorstellung der haptisch gewonnenen Information gefördert. Nach Lederman und Klatzky (1993) führt dies zu einer zu starken Gewichtung visueller Mediation bei der Verarbeitung haptisch aufgenommener Information.

Für eine visuell-bildlich medierte Verarbeitung von zweidimensionalen Darstellungen von Objekten sprechen die Ergebnisse der Studie von Lederman, Klatzky, Chataway und Summers (1990) zum Zusammenhang von Reaktionszeit (RZ) und Genauigkeit der Objekterkennung mit der Höhe der Vorstellungskraft (ermittelt über Fragebogen) sowie mit der Vorstellbarkeit und Komplexität der Objekte.

Personen mit hoher Punktzahl für Vorstellungskraft hatten kürzere RZ und waren im haptischen Erkennen der dargestellten Objekte genauer. Daraus schlossen die Autoren, daß das Visualisieren hier also für die haptische Erfassung der Reliefdarstellungen von Vorteil war. Diese blieb jedoch immer noch hinter dem haptischen Erfassen realer Objekte zurück. Blinde zeigten bei zweidimensionalen Strukturen noch schlechtere Ergebnisse als Sehende. Hier fehlt ein Zugang zum Visualisieren als Vergleichsmedium (bzw. ist nicht in gleicher Form wie bei Sehenden gegeben).

Dreidimensionale Darstellungen über Linienprofile entsprechend visuell-perspektivischer Darstellung stellen eine andere Art der dritten Dimension zur

Verfügung. Für Sehende führen solche Darstellungen zu haptisch langsamerem Erkennen, da noch mehr Verarbeitung notwendig wird. Dagegen findet sich kein zusätzlicher Abfall des Erkennens für Blinde.

Die haptische Wahrnehmung Blinder erfolgt eher über simultan aufnehmende Epn (z.B. Umfassen), die für reale Objekte sehr effizient sind. Sehende setzen stattdessen häufiger das Konturfolgen zur Exploration ein. Möglicherweise führt das Konturfolgen prinzipiell zu visueller Mediation haptischer Information (Abranavel, 1981).

### Sehen als EP

Klatzky, Lederman und Matula (1993) schlagen weiter vor, Sehen als weitere Explorationsprozedur (hier nicht weiter untergliedert) mit einzubeziehen. In der visuellen Objektwahrnehmung liegt mehr Gewicht auf geometrischen Eigenschaften und kaum auf Material. Die unterschiedliche Passung der Modalitäten auf die Gewinnung bestimmter Objekteigenschaften beeinflusst den bevorzugten Einsatz von visuellen bzw. haptischen Epn. Dabei wird Sehen eher für Größe und Form, also geometrische Eigenschaften genutzt, Haptik eher für Materialeigenschaften. Visuelle Epn sind dabei kompatibel mit allen haptischen Explorationsbewegungen. Aufgrund höherer Verarbeitungsgeschwindigkeit wird dann für Kombinationen visueller und haptischer Modalität mehr Gewicht auf dem Sehen liegen.

Nehmen beide Modalitäten gemeinsam Information auf, erfolgt keine Substitution der Information, sondern eine Kombination.

Steht Sehen als Ep zu Verfügung, weisen Daten aus mehreren Experimenten auf ein Visual-Preview-Modell der Exploration hin (vgl. Klatzky, Lederman & Matula, 1993). Erst findet eine kurze visuelle Exploration statt, inwieweit eine semantische Entscheidung über das Objekt bereits möglich ist. Sind weitere Epn notwendig zur Urteilsfindung bzw. Objekterkennung, erfolgt die Auswahl visueller oder haptischer Ep je nach Eigenschaft. Eine haptische Exploration setzt nicht erst dann ein, wenn die visuelle bereits komplett ausgeschöpft wurde. Außerdem werden die Modalitäten nicht gegeneinander austauschbar eingesetzt. Verzögert sich die Zeit, bis haptische Epn eingesetzt werden kön-



nen, werden eher die entscheidenden Epn vorbereitet als die Dimensionen intensiver visuell bearbeitet. (Heller 1982; Klatzky, Lederman & Matula, 1993)

Für Materialeigenschaften zeigt sich auch mit Verzögerung in über 80% der Fälle ein Einsatz haptischer Ep. Dagegen wird für geometrische Eigenschaften Haptik in nur 10% der Fälle eingesetzt und dient eigentlich nur der Manipulation der Objekte zu einer besseren Sicht. Für die relative Gewichtung der Modalitäten bei Urteilen zur Textur ist der spezielle Aspekt dieser Eigenschaft entscheidend. Steht die Oberflächenrauheit im Vordergrund, finden sich eher haptische Ep. Sind dagegen eher Texturgradient und/oder räumliche Auflösung für die Aufgabe entscheidend, wird eher Sehen (Lederman, Thorne & Jones, 1986) zur Beurteilung eingesetzt. Dies hat entsprechende Auswirkungen auf die Gewichtung und damit die Dominanz einer der beiden Modalitäten:

„One might reasonably expect visual dominance in tasks where touch is poor at making judgements, and reliance on touch where that sense excels.”

Heller, 1992, S. 659

Wird eine haptische Ep gewählt, ist fraglich, inwieweit die visuelle Ep überhaupt zur Entscheidung beiträgt (z.B. bei schweren Aufgaben zur Materialeigenschaft)

Objektinformation beinhaltet den Aufbau eines Bezugs zwischen sensorischer Information und Kategorienwissen. Über das visuelle System ist ein einfacherer Zugang zu semantischem Wissen möglich. Ist eine Aufgabenbearbeitung durch den Zugriff auf gespeichertes Wissen möglich (Matching by Recognition), wird gegebenenfalls eine haptische Exploration aufgrund zu hohen Aufwands nicht ausgeführt

Aus dem oben genannten läßt sich ableiten, daß nicht eine grundsätzliche Passung einer bestimmten Modalität für eine spezifische Aufgabe anzunehmen ist. Vielmehr ist der spezialisierte Einsatz der Modalitäten (und damit auch die Modalitäts-Aufgabenpassung) abhängig von den zu explorierenden Eigenschaften, der Wahl der Explorationsprozedur und den Kosten der Exploration in den jeweiligen Modalitäten (Freides, 1975; Heller, 1983, 1992; Warren & Rossano, 1991).

## Stimulus-Äquivalenz

Sowohl visuelles als auch haptisches System kommen beim gleichen Objekt zu ähnlicher Formrepräsentation. Allerdings ist nicht unbedingt eine vollständige Überlappung gegeben. Spontan werden eher verschiedene Eigenschaften je Modalität aufgegriffen, die in unterschiedlicher Güte in einer anderen Modalität wiederzufinden sind. Da für einen intermodalen Vergleich die sensorische Äquivalenz, also das Erkennen von Gleichheit bzw. Ähnlichkeit von Eindrücken verschiedener Modalitäten, ausschlaggebend ist, könnte ein Grund für schlechtere Leistungen intermodal im Vergleich zu intramodalen Zuordnungen, wie sie bei z.B. Jones und Connolly (1970) zu finden sind, der Einfluß der nicht äquivalenten Teile auf intermodales Matching sein.

Repräsentationen können sich in den Objekten und/oder den Beziehungen, die sie repräsentieren, unterscheiden: (a) es werden verschiedene Aspekte (Relationen) des gleichen Objektes abgebildet (Art der Information, Auflösungsgrad und Genauigkeit der Abbildung etc.), (b) Äquivalenz besteht, wenn visuell und haptisch basierte Repräsentation eines Stimulus die gleichen Aspekte der Stimulusinformationen enthalten (z.B. Größe, Komplexität, Form) und eine gleiche Quantifikation dieser Information erfolgt oder (c) Äquivalenz besteht dann, wenn Repräsentationen genau ineinander überführt und verglichen werden können. Letzteres bedingt gemeinsame Funktionen als Grundlage für intermodale Vergleichsaufgaben (Palmer, 1978; Garbin 1980)

Äquivalenz wird häufig als Grundvoraussetzung für Experimente mit intermodalem Matching-Paradigma angenommen. Garbin (1980) testete diese Grundvoraussetzung der Wahrnehmungsäquivalenz mittels multidimensionaler Skalierung von Formvergleichen<sup>14</sup>. Die Daten deuteten darauf hin, daß zwar die meisten, aber nicht alle verwandten Stimuli äquivalent sind. Somit könnte die Wahl der Stimuli bzw. der Präsentation unterschiedliche Ergebnisse verschiedener Experimente erklären. In einem weiteren Experiment untersuchte Garbin die Auswirkungen verschiedener Äquivalenzstufen auf intermodale Vergleiche. Dabei zeigten sich in den Daten für nichtäquivalente Stimuli bessere Leistun-

---

<sup>14</sup> Je weiter die euklidische Distanz ist, desto weiter auseinander liegt die visuelle und haptische Formwahrnehmung, aus der sich eine größere Nichtäquivalenz der Repräsentationen bedingt.

gen in den intramodalen Zuordnungen im Gegensatz zu intermodalen Vergleichen ( $vv > = hh > vh = hv$ ). Für visuell haptisch äquivalente Formvergleiche waren sämtliche intra- und intermodale Zuordnungen von gleicher Qualität ( $vv = hh = vh = hv$ ). Garbin konnte also einen Einfluß der Diskriminabilität der Stimuli in beiden Modalitäten (Äquivalenz der Formrepräsentation) auf die Wahrnehmung und damit intra- und intermodales Matching zeigen.

„Thus, differences in performance between the intra- und cross-modal conditions could have been caused by a combination of representational differences as well as by perceptual and memory process differences, in terms of which researchers have usually interpreted their findings.“

Garbin, 1980, S. 552

Auch Abranavel (1981) weist auf eine Abhängigkeit der Vergleichbarkeit der Prozesse bzw. der Äquivalenz von der gewählten Stimuluseigenschaft, zu der Information aus den Sinnesmodalitäten integriert werden soll, hin. Die Art der Exploration ist mit ausschlaggebend für Qualität und Quantität der aufgenommenen Information und wirkt sich damit wieder auf die Äquivalenz der aufzunehmenden Information aus.

#### 4.2.3.3 Aufmerksamkeit

Für intermodales Matching mit wie ohne Konflikt ist es weiterhin von Bedeutung, auf welcher der beteiligten Sinnesmodalitäten der Fokus der Aufmerksamkeit liegt bzw. inwieweit die Aufmerksamkeit tatsächlich zwischen den Modalitäten gleichverteilt ist. Aufmerksamkeitsprozesse beeinflussen, wie präzise und umfassend die zur Verfügung stehenden Informationen aufgenommen werden und somit die aufgabenrelevanten Eigenschaften besser intern abgebildet werden.

Für multimodale Zuordnungsaufgaben mit konfligierenden Informationen zwischen einzelnen Modalitäten sollte in den Kompromißurteile stärker die Modalität zum Tragen kommen, auf die zum Zeitpunkt von Informationsaufnahme und Wiedergabe mehr Aufmerksamkeit gerichtet ist.

Im Prinzip gibt es zwei Gruppen von Faktoren, die die Aufmerksamkeit stärker auf eine bestimmte Sinnesmodalität lenken können:

(1) Primäre Aufmerksamkeit ergibt sich aufgrund von Erfahrung und Prädisposition. Strukturell bedingt sind die Sinnesmodalitäten verschieden gut in der spontanen Aufnahme unterschiedlicher Objekteigenschaften (vgl. 4.2.3.2)

Auch werden im Verlauf des Lebens individuell unterschiedliche Erfahrungen bezüglich der Qualität der Informationsaufnahme mit bestimmten Modalitäten zu bestimmen Stimuluseigenschaften gemacht. Darauf basierend legen Menschen – entsprechend einer Modalitäts-Aufgabenpassung - mehr Gewicht auf die geübtere und meistens für diese Aufgabe sinnvollere Sinnesmodalität. Weiterhin besteht für bestimmte Aufgaben eine unterschiedliche ökologische Validität der einzelnen Modalitäten (Lederman & Abbott, 1981). So sind sensorische Hinweise in einer Modalität verlässlich präsent, in anderen häufig durch Umweltfaktoren maskiert oder nicht zugänglich. Daher ziehen diejenigen sensorischen Eindrücke, die mit größerer Zuverlässigkeit zu erhalten sind, auch mehr Aufmerksamkeit auf sich als solche, die nur auf irregulärer Basis auftreten.

(2) Sekundäre Aufmerksamkeit ist zeitlich begrenzter und wird durch Instruktionen, aktuelle Erfahrungen innerhalb einer Aufgabe und die aktuellen Aufgabenanforderungen beeinflusst. Eine klare Trennung zwischen beiden Aufmerksamkeitsarten ist kaum möglich, der Übergang kontinuierlich (Welch, 1999; Welch & Warren, 1980).

Untersuchungen zu eher primären Aspekten gerichteter Aufmerksamkeit stammen hauptsächlich aus dem Bereich Entwicklung. So fanden Misceo, Hershberger und Mancini (1999) einen größeren Einfluß haptischer Information auf das Gesamturteil mit fortschreitendem Alter von Kindern. Die Autoren interpretierten dies dahingehend, daß bimodale Aufgaben bei älteren Kindern geübter sind und dadurch tatsächlich auf Informationen in beiden Modalitäten geachtet wird. Jüngere Kinder blendeten dagegen die haptische Information aus (nur Halten statt Explorieren) und beachteten nur die visuelle.

Power und Graham (1976) untersuchten, inwieweit Berufserfahrung zu einer Verschiebung der Aufmerksamkeit und in Folge dessen zu einer anderen Gewichtung der Modalitäten im intersensorischen Bias führt. Unter der Annahme, daß Töpfer durch ihren Beruf geübter in der Nutzung haptischer Information

sind, verglichen sie, inwieweit dies die Gewichtung der Modalitäten bei Auflösung eines bimodalen Wahrnehmungskonfliktes beeinflusst. Intramodal haptisch waren die Töpfer um einiges präziser als die Kontrollgruppe haptisch normalerfahrener Studenten. Es ergab sich allerdings keine Reduktion der visuellen Dominanz bei Formmatching in Konfliktsituation. Andererseits gaben zwei der geübten Probanden nach dem Experiment an, sie hätten bei der Auswahl die haptische Information nicht beachtet, da sie angenommen hätten, es habe sich um zwei verschiedene zu explorierende Objekte gehandelt.

Im Bereich sekundärer, aufmerksamkeitsbeeinflussender Faktoren liegt der Fokus besonders auf der Bedeutung der Antwortmodalität. Wenn durch die Versuchsanordnung die Antwortmodalität für die Probanden klar ersichtlich ist, verschiebt sich die Aufmerksamkeit prinzipiell in Richtung dieser Antwortmodalität. Wird also viel Aufmerksamkeit auf eine Modalität gelegt, ist der Einfluß von dieser auf die andere Modalität eher groß, sie selbst wird dagegen kaum beeinflusst (Heller, 1982; Hershberger & Misceo, 1996).

„Thus, procedural variations can sometimes give the appearance of visual dominance, when that is instead, a consequence of biasing subjects by requiring visual judgements or of overloading the attentional capacities of touch”

Heller, 1999, S. 1397

Eine andere Möglichkeit der Aufmerksamkeitsverschiebung besteht durch Variation der aktuellen Anforderungen (z.B. Heller, 1983). Wird die Qualität der visuellen Information in der Aufnahme gravierend herabgesetzt, verringert sich das Vertrauen seitens der Probanden in die Genauigkeit der visuellen Information. Dies führt zu verstärkter Aufmerksamkeit gegenüber der haptischen Information, was sich in entsprechend stärkerer haptischer Dominanz in der Wahl der Vergleichsitems niederschlägt.

Zusätzlich liegt die unterschiedliche Gewichtung der Modalitäten in der Gesamtwahrnehmung teilweise begründet in (a) der Salienz bestimmter Objekteigenschaften (z.B. der Eye-Catcher Farbe), (b) einer Verquickung von Wahrnehmungs- und Ausführungsaspekten des haptischen Systems, (c) der Koordination der haptischen Informationsaufnahme (z.B. der zehn Finger und zwei Hände) und (d) der unterschiedlichen Wahrnehmungsgeschwindigkeit der Modalitäten (Abranavel, 1981).

#### 4.2.3.4 Objekteinheit

Speziell für die Auflösung multimodaler Wahrnehmung mit konfligierenden Informationen über verschiedene Modalitäten ist auch ausschlaggebend, inwieweit die Information überhaupt auf ein und dasselbe Objekt bzw. Ereignis bezogen wird.

Intermodale Diskrepanz wird häufig nicht bemerkt oder zumindest deutlich unterschätzt. Ein Konflikt im eigentlichen Sinn ist nur dann gegeben, wenn der Wahrnehmende bewußt oder unbewußt die gegebenen Informationen auf das gleiche Objekt bzw. Ereignis bezieht. Konfligierende Informationen zum gleichen Objekt entsprechen einer Verletzung der normalen Gesamtwahrnehmung. Der intersensorische Bias (bis hin zur kompletten Ausblendung der Information aus einer Modalität) kann daher als Ergebnis des Versuchs, eine einheitliche Gesamtwahrnehmung wiederherzustellen, angesehen werden. Nach Welch (1999; Welch & Warren, 1980, 1986) stellt dies eine automatische Reaktion der Wahrnehmung auf intermodale Konflikte dar.

Bei als unabhängig wahrgenommenen Objekten bzw. Ereignissen besteht kein Konflikt und somit kein Grund für intermodale Beeinflussung. Welch (1999) sieht in der wahrgenommenen Objekteinheit (Assumption of Unity) einen kausalen Faktor für das Zustandekommen von intermodalem Einfluß (vgl. Abbildung 3).

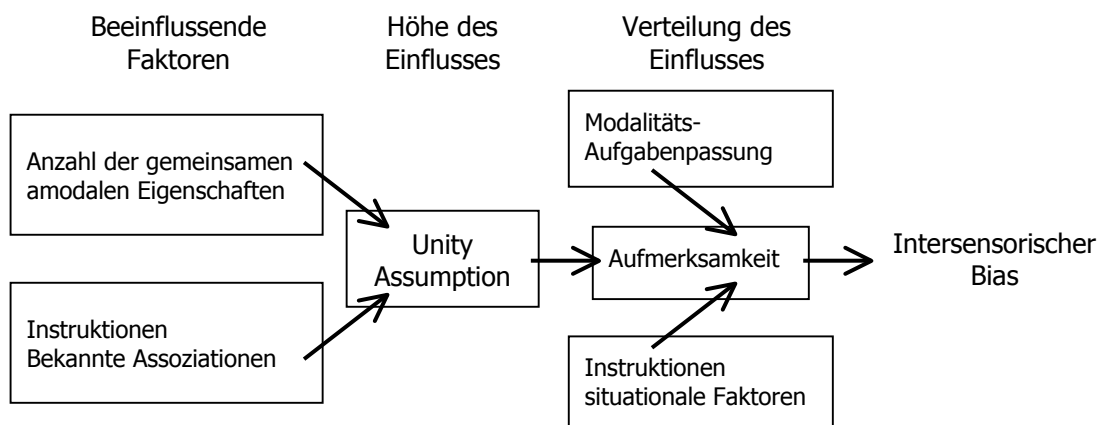


Abbildung 3: Modell zur multimodalen Integration und der Verteilung des intersensorischen Bias nach Welch (1999).

Miller (1972) fand in Untersuchungen zum intersensorischen Bias als Effekt von wahrgenommener Objekteinheit in Nichtkonfliktexperimenten keine Interferenz der Information verschiedener Modalität. Trotz simultaner visueller und haptischer Stimulation fand sich kein Einfluß der visuellen Form auf die Zuordnung zur haptischen, wenn die verschiedenen Figuren gleichzeitig auf zwei Ebenen sichtbar bzw. abzutasten waren. Auch eine gemeinsame räumliche Position allein war nicht ausschlaggebend für die Annahme von Objekteinheit. Wurde dagegen per Instruktion eine Objekteinheitsannahme induziert, waren die Probanden also überzeugt, visuell und haptisch Informationen zum selben Objekt zu erhalten, fand sich auch ohne überlappende Raumposition der Objekte ein Einfluß einer Modalität auf die Auswahl eines passenden Vergleichsitems in der anderen Modalität.

Vroomen (1999) argumentiert dagegen, daß eine auf die Objekteinheit bezogene Instruktion nicht immer zu einer gegenseitigen Beeinflussung führt und im Fall einer entgegengesetzten Instruktion einen solchen Einfluß auf die Urteile in den verschiedenen Modalitäten nicht immer verhindert. Daraus zieht der Autor den Schluß, daß eine intermodale Integration nicht zwangsweise an eine wahrgenommene Objekteinheit gebunden ist. Abbildung 4 zeigt ein an Welch (1999) angelehntes Alternativmodell zum intersensorischen Einfluß in Abhängigkeit von der Anzahl geteilter Eigenschaften ohne eine zugrunde gelegte Objekteinheit.

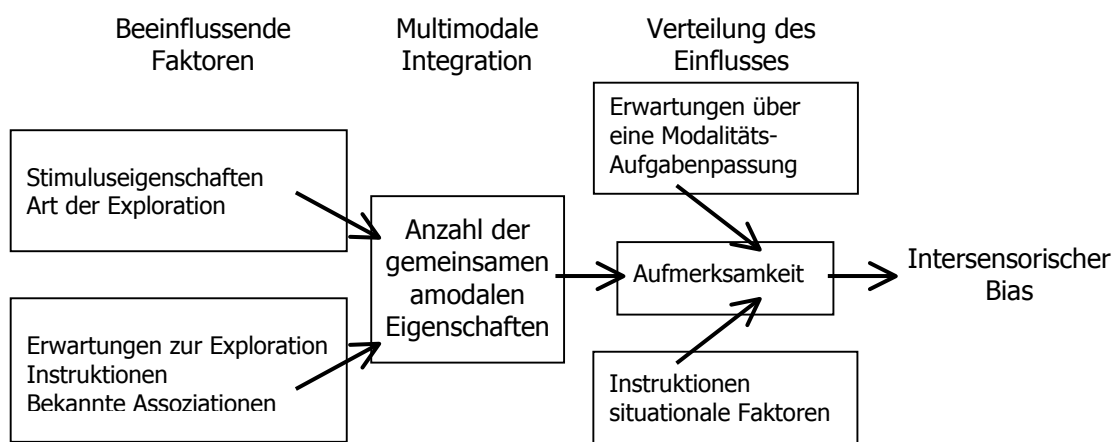


Abbildung 4: Modell zur multimodalen Integration ohne die Assumption of Unity als kausalem Faktor.

## 4.3 Wahrnehmung und Handlung

Wahrnehmung wird sehr häufig nur auf die visuelle Modalität fokussiert betrachtet, der die motorische Handlung bzw. Reaktionsplanung gegenübergestellt wird. Der traditionelle Ansatz geht von unterschiedlichen kognitiven Funktionen aus: Die Wahrnehmung ist afferent, dient der Aufnahme und Analyse von Ereignissen aus der Umwelt. Dem gegenübergestellt ist die Handlung efferent, wird intern generiert und gegebenenfalls ausgeführt und beeinflusst ihrerseits Ereignisse in der Umwelt. Beide sind unabhängig voneinander. Wahrnehmung endet dort, wo Reaktionsauswahl und Ausführung beginnen. Es gibt eine lineare Abfolge in der Informationsverarbeitung, eine Überlappung einzelner Subsysteme ist möglich.

### 4.3.1 Dissoziation von Wahrnehmung und Handlung

Jüngere Entwicklungen in den Neurowissenschaften führten zur Hypothese einer unterschiedlichen Verarbeitung visueller Information abhängig davon, ob sie zur Leitung motorischer Handlung oder zur Objekterkennung und visuellen Wahrnehmung genutzt wird. Am häufigsten wird in der aktuellen Debatte zur Unterscheidung zwischen sensumotorischer und kognitiver Verarbeitung auf den dorsalen und den ventralen Pfad der visuellen Verarbeitung referiert. Evidenzen für eine solche Trennung in der visuellen Verarbeitung bringen Ungerleider und Mishkin (1982). In elektrophysischen und anatomischen Daten sowie Verhaltensdaten aus verschiedenen Läsionsexperimenten an Affen fanden sie eine Dissoziation visueller Defizite nach inferior temporalen (ventraler Verarbeitungspfad) und posterior parietalen (dorsaler Verarbeitungspfad) Läsionen. Dabei gingen temporale Läsionen mit tiefgreifenden Ausfällen bei Objektdiskriminationsaufgaben und parietale Läsionen mit Ausfällen für visuell-räumliche Aufgaben einher. Daraus leiteten Ungerleider und Mishkin ab, daß ein dorsaler Pfad zur Analyse der räumlichen Relation zwischen Objekten (Wo) und dagegen ein ventraler Pfad der Erkennung von Objekten (Was) dient.

Die Ergebnisse der Läsionsuntersuchungen an Rhesusaffen finden sich in den Einschränkungen wieder, die bei Menschen mit Läsionen im Bereich des



temporalen oder parietalen Kortex zu finden sind. Ataxiepatienten mit Schädigung im posterior parietalen Bereich des Kortex haben meist eine intakte Wahrnehmung von Form, Größe und Orientierung von Objekten. Sie sind jedoch nicht in der Lage, diese Information zu nutzen, um gezielt nach dem Objekt zu greifen oder auch die Größe oder Orientierung mittels Positionierung von Hand und Fingern anzuzeigen. Es besteht also insgesamt eine Beeinträchtigung von gerichteter Bewegung bzw. Handlung zu einem Objekt.

Dagegen sind Agnosiepatienten mit einer Schädigung im okzipital-temporalen Bereich bei intakter Bewegungssteuerung zu Objekten unfähig, entsprechende Wahrnehmungsurteile zu denselben Objekten abzugeben (Goodale & Milner, 1992).

Zu erwähnen sind hier insbesondere die neurophysiologischen Untersuchungen von Goodale und Milner. Die Patientin D.F. hatte aufgrund einer Kohlenmonoxidvergiftung eine tiefgreifende visuelle Formagnosie. Mittels MRT-Verfahren wurde gezeigt, daß der Hauptfokus ihrer kortikalen Schädigung in der ventrolateralen Region des okzipitalen Kortex lokalisiert war. Dieser Bereich kann als menschliches Äquivalent des von Ungerleider und Mishkin für Rhesusaffen gezeigten ventralen Pfades angesehen werden. Dabei war der primäre visuelle Kortex zum Großteil intakt. Bei prinzipiell intakten visuellen Fähigkeiten zeigte D.F. eine schlechte Wahrnehmung von Form und Orientierung (Goodale, Milner, Jakobson & Carey 1991; Goodale & Milner 1992). Trotz dieser Defizite zeigte D.F. normale Leistungen, wenn motorische Aufgaben verlangt wurden, die einen Einbezug von Form, Größe und/oder Orientierung von Objekten zugrunde legten. Goodale, Milner, Jakobson und Carey (1991) zeigten unter anderem, daß D.F. nicht in der Lage war, die Orientierung eines Schlitzes verbal oder durch Orientierung einer in der Hand gehaltenen Karte anzugeben. Gleichzeitig gab es keinen Unterschied zu nicht geschädigten Kontrollpersonen, wenn die Aufgabe darin bestand, die Karte mit geschlossenen Augen in eine bestimmte Orientierung zu bringen. Zudem war D.F. in der Lage, dieselbe Karte tatsächlich in den Schlitz zu stecken. In einem weiteren Test lagen die Leistungen D.F.s bei einer Diskriminationsaufgabe von Quadern unterschiedlicher Länge und Breite auf Zufallsniveau. Auch das Anzeigen der Größe eines Quaders mit-

tels Abstand von Daumen und Zeigefinger gelang kaum. Bestand die Aufgabe jedoch darin, die Blöcke aufzuheben, war die Größe der Greifbewegung auf die Größe der Blöcke abgestimmt.

Aus den Daten schlossen die Autoren, daß hier die Weiterleitung zum ventralen Pfad und damit zur bewußten Wahrnehmung beeinträchtigt ist, wohingegen der primäre visuelle Kortex noch immer in der Lage ist, Information zum dorsalen Pfad (und damit dem motorischen System) weiterzuleiten. Dorsale Verarbeitung beinhaltet hier also weniger die Lokation von Objekten an sich, sondern eher die Koordination visuell gesteuerter Handlung. Die Dissoziation zwischen Wahrnehmungsurteilen (ventral) und Handlung (dorsal) spiegelt dann die Unterschiede der Verarbeitungswege wider. Aufgrund ihrer Ergebnisse schlugen Goodale und Milner eine alternative Einteilung der Dissoziation in bewußte Objekterkennung (Was) einerseits und Repräsentation zu visuell geleiteter Handlung (wie) andererseits vor. Weiter nahmen die Autoren die gefundene Dissoziation zwischen dem Greifen nach einem Objekt und dem Wahrnehmen seiner Form als Grundlage für die „Action versus Perception“-Hypothese. Dissoziation ist selbst dann gegeben, wenn Wahrnehmung und Handlung zum selben Objekt getestet werden. Bei Input aus der gleichen Modalität (visuell) gibt es Unterschiede zwischen Wahrnehmung und Erkennen einer Tasse auf der einen Seite und Greifbewegungen nach dieser Tasse auf der anderen. So ist eher ein Informationsfluß von Wahrnehmung hin zur Handlung anzunehmen. Einen Einfluß von der Handlung auf die Wahrnehmung gibt es, sofern überhaupt, nur in Form eines korrigierenden, kalibrierenden Elementes und als zielgerichtete motorische Auswahlmechanismen, die aufmerksamkeitssteuernd wirken.

#### 4.3.1.1 Psychophysische Evidenzen für Dissoziation bei Gesunden

Ausgehend von der Action- vs.-Perception-Hypothese sollte sich eine Trennung von Wahrnehmung und Handlung nicht nur durch Defizite neuropsychologischer Patienten, sondern auch im gesunden, visuellen System niederschlagen. Einen Untersuchungsansatz bilden Experimente zu Wahrnehmungstäuschungen. Wahrnehmungsurteile sind für bestimmte Größentäuschungen (z.B.

Ebbinghaus, Müller-Lyer) anfällig (Coren & Girgus, 1978, Gilliam, 1998). Gleichzeitig können Greifen und Zeigen als visuell gesteuerte Handlung eingesetzt werden. Für Greifen als Handlung ist die maximale Fingeröffnung (Pinzettengriff) linear abhängig von der Objektgröße und gibt damit ein Maß für die vom motorischen System genutzte Größeninformation. Die Korrespondenz zwischen visueller Wahrnehmung der Objektposition und der für die Bewegungskontrolle auf diese Objekte hin (z.B. Greifen) genutzten Wahrnehmung funktioniert normalerweise fehlerfrei. Es handelt sich hier um einen Spezialfall des intermodalen Matching-Paradigmas ohne Konflikt, aber mit Täuschungseinfluß. Gegenübergestellt wird die intramodale, visuelle Wahrnehmung und die intermodale, visuell-haptisch/propriozeptiven Handlung (Greifen) als Maß für einen Transfer von visueller Größeninformation zum motorischen System:

Bei einer Dissoziation zwischen Wahrnehmung und Handlung ist kein Effekt einer Täuschungskonfiguration auf Greif- und Zeigebewegung zu erwarten. Für Handlung ist eher die Relation zwischen Objekt und Akteur ausschlaggebend (egozentrischer Referenzrahmen) und somit die Relationen zwischen Objekten (die hier eine Ursache für die Wahrnehmungstäuschung darstellen) nicht relevant. Dagegen ist für die Objekterkennung die Wahrnehmung von Relationen zwischen Objekten (allozentrischer Referenzrahmen) ausschlaggebend. Daher ist diese für eine Täuschung anfälliger.

Wenn dagegen eine gemeinsame interne Repräsentation der Objektgröße angenommen wird, sollte eine auf das visuelle System wirkenden Täuschung auch einen Einfluß auf die Greifbewegung zeigen.

Bridgeman (1991, 1999) untersuchte den Einfluß visueller Wahrnehmung auf die Handlung mittels der Induzierten-Bewegungstäuschung. In der Roeloff-Täuschung wird das Wahrnehmungsurteil (verbale Beschreibung) zur Position eines Zielpunktes beeinflusst durch die Position dieses Punktes relativ zu einem umgebenden Rahmen statt auf der absoluten Position zum Betrachter. Auf schnelles Zeigen zur Zielposition (nach Verschwinden der Anzeige) fand Bridgeman diesen Effekt nicht. Erfolgte das Zeigen jedoch erst nach einem Pausenintervall, wurde auch die Zeigebewegung durch die Täuschung beeinflusst. Letzteres erklärte Bridgeman mit unterschiedlichen Anforderungen an die Systeme. Die

Bewegungskoordination sollte genau und schnell sein, um ein Agieren im Raum zu gewährleisten. Es bedarf aber nur geringer Gedächtnisanteile, da Objekte im Raum schnell wechseln können. Im Gegensatz dazu muß die Objekterkennung nicht so schnell sein. Das Objekt wird im Kontext evaluiert und ermöglicht eine andauernde Repräsentation. Die kognitive Repräsentation des Objektes ist länger andauernd, die räumliche Information wird jedoch durch den Kontext verzerrt. Das sensumotorische System verfügt dagegen, allerdings nur für ungefähr zwei Sekunden, über einen genauen Zugriff auf die egozentrische Information, daher tritt hier keine Täuschung durch den umgebenden Rahmen auf. Da motorische Information kaum gespeichert wird, führt das Einfügen eines Pausenintervalls zu einem Einfluß der verzerrten Objektwahrnehmung auf die Handlung bzw. Bewegung, da dann nur noch die allozentrische Objektrepräsentation vorhanden ist. Bridgeman geht von unabhängigen Repräsentationen ohne einen räumlichen Gesamtplan aus. Bridgeman (1999) nimmt aufgrund des von ihm postulierten einfacheren Aufbaus des motorischen Systems nur einen Einfluß vom kognitiven System auf das motorische, nicht umgekehrt an.

Aglioti, DeSouza und Goodale (1995) sowie Haffenden und Goodale (1998) untersuchten den Einfluß der Ebbinghaustäuschung auf Wahrnehmungsurteile einerseits und auf Greifbewegungen andererseits. Ein zentraler Kreis wirkt größer, wenn er von kleineren, als wenn er von größeren Objekten (Kreisen) umgeben ist. Für die Greifaufgabe wurde der mittlere Kreis durch eine Scheibe ersetzt, so daß beim Greifen die maximale Fingeröffnung gemessen werden konnte. Die Daten zeigten für die intramodal visuelle Zuordnung (Wahrnehmungsbedingung) den typischen Täuschungseffekt. Dagegen wurde die intermodale Greifbewegung kaum beeinflusst. Die Autoren interpretierten dies als starke Evidenz für die Theorie von Goodale und Milner zur separaten Kodierung von Wahrnehmung und Handlung.

### **4.3.2 Gemeinsame Repräsentation**

Haggard (1999) spricht sich gegen Bridgemans Annahme aus, daß keine Information vom motorischen System in die Wahrnehmung fließt. Er weist in diesem Zusammenhang auf die Wahrnehmungsrepräsentation von Handlung

hin (wann Bewegung, welche von Subjekt selbstgeneriert oder aus der Umwelt). Der Dissoziationismus fokussiere nur auf stimulusgesteuerte Handlungen, das motorische System generiere jedoch selbst gleichfalls Informationen.

Zudem ist Wahrnehmung nicht nur auf die visuelle Modalität begrenzt. Für haptische Wahrnehmung ist die Trennung von Exploration und Transport nicht immer vollständig. Weiterhin entsteht über reafferente und afferent propriozeptive Informationen beim Transport hier auch anteilig Wahrnehmung.

Andere Forscher sprechen sich auf Basis von Untersuchungen zu Täuschungseinflüssen gegen diese strikte Trennung der Kodierung von Wahrnehmungs- und Handlungsaspekten aus. Drapati und Gentilucci (1997) wiesen in diesem Zusammenhang auf die Komplexität der Greifbewegung hin. So muß nicht nur die Hand in eine entsprechende Raumposition, sondern müssen auch die Finger in Koordination mit Orientierung, Größe und Form des Zielobjektes gebracht werden. Die Gesamtbewegung besteht also aus zwei Komponenten: Zum einem dem Transport von Körper(teilen) zum Zielobjekt, für den eher räumliche Relationen zwischen Zielobjekt und Körper (egozentrischer Referenzrahmen) wichtig sind. Zum anderen die Greifbewegung selber, die eher auf Objekteigenschaften wie Größe und Form (Relation zwischen Objekten bzw. innerhalb des Objektes) beruht (allozentrischer Referenzrahmen). Nur wenn lediglich die sequentielle Analyse in egozentrischen Referenzrahmen wichtig für das Greifen ist, ist kein Effekt der sichtbaren visuellen Täuschung zu erwarten. Wenn jedoch erst eine globale Objektanalyse vorgenommen wird, sind auch Auswirkungen der Täuschung auf die Greifbewegung zu erwarten. So wurden Auswirkungen der Wahrnehmungstäuschungen auf die motorische Ausführung nur teilweise in Studien statistisch nicht signifikant, in anderen dagegen schon (einen Überblick hierzu bieten Franz, Bülthoff, Fahle & Gegenfurtner, 2001). Nach Franz, Gegenfurtner, Bülthoff und Fahle (2000) gibt es drei Möglichkeiten des Einflusses: (a) Das Greifen wird nicht durch die visuelle Täuschung beeinflusst. Dies entspricht der starken Trennung von Wahrnehmung und Handlung von Goodale und Milner (1995, Strong-Separate-Representation-Modell). (b) Es gibt zwei getrennte Repräsentationen der Objektgröße für Wahrnehmung auf der einen und Handlung auf der anderen Seite mit einem geringen Einfluß von

Wahrnehmungsurteilen auf die Handlung (schwache Variante des separaten Repräsentationsmodells). (c) Es gibt nur eine Repräsentation der Objektgröße, die durch die Täuschung beeinflusst wird und sowohl für Wahrnehmung als auch für Greifen genutzt wird (Common-Representation-Modell). Die motorische Täuschung sollte der visuellen Wahrnehmungstäuschung im Sinne gleicher Steigung der Funktion entsprechen.

Franz et al. (2000) kritisieren in diesem Zusammenhang die Untersuchungen von Aglioti, DeSouza und Goodale (1995). Hier wurde die gleiche Funktion zwischen physikalischer Größe und subjektiver Wahrnehmung und physikalischer Größe und maximaler Handöffnung angenommen. Ein geringerer Effekt der Täuschung auf das Greifen wäre jedoch nur dann auch als geringerer Einfluß zu werten, wenn beide Funktionen komplett übereinstimmten. Zudem wurden in der Studie von Aglioti et al. beide Täuschungsvarianten der Ebbinghaustäuschung gleichzeitig betrachtet. Das Greifen erfolgte jedoch immer nur auf eine Scheibe. Ein direkter Vergleich zwischen zwei Ebbinghausfiguren führt jedoch zu einer stärkeren Größentäuschung, als bei einfachem Addieren der Einzeleffekte zu erwarten wäre. Für Franz et al. sind daher die Wahrnehmungs- und Handlungsanforderung in der Studie von Aglioti et al. nicht äquivalent. In einer eigenen Untersuchung testeten Franz et al. daher nur jeweils eine Konfiguration (zentrale Scheibe umgeben von größeren Kreisen oder von kleineren) mit Effekten auf Wahrnehmungsurteil und Greifen. Dabei konnte ein gleich hoher Effekt auf beide Urteile nachgewiesen werden. Der Täuschungseffekt auf das Greifen fiel dabei gleich stark aus wie in der Originalstudie, der Effekt auf das Wahrnehmungsurteil war geringer. Das Ergebnis wurde von den Autoren als starker Hinweis für eine gemeinsame internale Repräsentation für Wahrnehmung und Greifen interpretiert.

Entsprechende Effekte sowohl auf Zeigen als auch auf Greifen ließen sich auch für die Müller-Lyer-Täuschung nachweisen (Drapati & Gentilucci, 1997; Franz, Bühlhoff, Fahle & Gegenfurtner, 2001; Gentilucci, Chieffi, Drapati, Saetti & Toni, 1996). Dazu wurde das Greifen eines auf einer visuellen Müller-Lyer-Täuschung liegenden Quaders (Länge der mittleren Linie) mit dem Zeichnen

der subjektiven Länge (Open-Loop-Bewegung<sup>15</sup>) und dem Anzeigen mittels Pinzettengriff (Hand sichtbar) miteinander verglichen. Drapati und Gentilucci (1997) fanden einen Einfluß der Müller-Lyer-Konfiguration auf alle drei Urteile. Dabei fiel der Effekt auf die motorische Reproduktion hier jedoch geringer aus als auf die Wahrnehmungsurteile. Dies galt stärker für das Anzeigen per Fingerabstand als für die Urteile mittels Zeichnen.

Da die von Drapati und Gentilucci verwandten Wahrnehmungsmaße nicht dem üblichen Standard entsprachen, stellt sich die Frage, inwieweit Zeichnen und Anzeige mittels Pinzettengriff nicht bereits motorische Aufgaben darstellen. Unter Verwendung der üblichen Wahrnehmungsurteile der Müller-Lyer-Täuschung replizierten Franz et al. (2001) den Effekt der Täuschung auf Greifen. Weiter erhielten sie für die Funktion der Täuschung von Wahrnehmung und Greifen die gleiche Steigung. Desweiteren untersuchten Franz, Bülthoff, Fahle und Gegenfurtner (2001) die parallele Linientäuschung<sup>16</sup>. Auch hier ließ sich ein Täuschungseffekt auf die Greifbewegung mit gleicher Steigung für Wahrnehmungs- und Greifurteil nachweisen (für das mathematische Modell siehe Franz, Bülthoff, Fahle & Gegenfurtner, 2001). Die Autoren interpretierten dies als Hinweis auf eine gemeinsame Repräsentation der Objektgröße für Wahrnehmung und Handlung. Haffenden, Schiff und Goodale (2001) kritisierten die Täuschungseffekte auf die Greifbewegung als Artefakt. Um nicht anzustoßen, wird der Greifabstand je nach Abstand zwischen zentraler Scheibe und umgebenden Kreisen unbewußt modifiziert. Dagegen konnten Franz, Bülthoff und Fahle (2002) zeigen, daß die Greifbewegung auf Variationen der Distanz zwischen den Kontextelementen und dem Ziel in gleicher Weise wie das Wahrnehmungsurteil reagiert. Es ist somit eher anzunehmen, daß gleiche Signale verantwortlich für die Wahrnehmungs- als auch für die Greiftäuschung sind.

Die letztgenannten Befunde sprechen insgesamt für den von Prinz (1997) und Müsseler (1999) vorgeschlagenen gemeinsamen Kode für Wahrnehmung und Handlung ohne strikte Trennung (common coding). Es bestehen keine fun-

---

<sup>15</sup> Open-Loop-Bewegung= Bewegung ohne visuelle Rückmeldung

<sup>16</sup> In der parallelen Linientäuschung wird die Länge einer Linie, die von zwei kürzeren flankiert wird, kleiner wahrgenommen als die meßbare Länge. Entsprechendes gilt umgekehrt für eine kurze Linie flankiert von zwei langen.

damentalen Unterschiede im repräsentierten Inhalt. So wird der eigene Körper genauso wahrgenommen wie die Umwelt, eine Unterscheidung zwischen beiden findet auf Basis der Kontrollierbarkeit statt. Damit ist keine Translation der Codes notwendig, da gleiche zugrunde liegende Mechanismen und ein gemeinsamer Bereich für die Repräsentation genutzt werden. Unter dieser Voraussetzung ist bei paralleler Kodierung auch ein bidirektionaler Einfluß von Handlung auf Wahrnehmung zu erwarten. Eine absichtliche aktive Handlung wird z.B. möglich über eine Antizipation ihres sensorischen Codes. Über das Erlernen einer Assoziation von motorischer Aktivität und sensorischem Effekt wird dann auch die Umkehrung der Antizipation möglich. Bewegung wird über externe Effekte repräsentiert und aktiviert über „Effektkodes“ (a) reafferent (kinästhetisch, taktil) und (b) afferent (z.B. visuell, akustisch) die Wahrnehmung der Ausführung. Dies impliziert, daß externe Ereignisse auch über Handlungskodes repräsentiert werden können. Wahrnehmungs- und Handlungskodes sind dann überlappend bis identisch als ein für beide zugreifbarer Ereigniskode.

### **4.3.3 Aufgabenbezogene Dissoziation**

Teilweise scheint das motorische System Zugang zu unverfälschter Information zu haben, teilweise wird das motorische System doch durch Täuschungskontexte beeinflusst. Wie kommen die unterschiedlichen Ergebnisse hinsichtlich einer Dissoziation von Wahrnehmung und Handlung zustande? Möglicherweise liegt nicht eine grundsätzliche Dissoziation von Wahrnehmung und Handlung, sondern eine auf die Aufgaben bezogene vor. Wird bedingt durch die Aufgabe auf die gleiche Informationsbasis zugegriffen, unterliegen die Wahrnehmungs- und Handlungsurteile einem gegenseitigen Einfluß. Erfolgt der Zugriff auf unterschiedliche Aspekte der wahrgenommenen Objekte und Ereignisse, ist kein intermodaler Einfluß zu erwarten.

Hinweise dafür finden sich z.B. in einer intermodalen Matching-Studie von Abrams und Landgraf (1990) unter Verwendung der induzierten Bewegungstäuschung. Die subjektiven Urteile zu Bewegung oder Raumposition von sichtbaren Objekten (visuelle Wahrnehmung) unterlagen der oben beschriebenen Täuschung. Mit der nicht sichtbaren Hand (Open-Loop-Bewegung) sollte hier



entweder die subjektiv zurückgelegte Distanz oder die Endposition angezeigt werden. Das Ausmaß, in dem sich die Antwortbewegungen unterscheiden, reflektiert die Unterschiede in den zur Verfügung stehenden räumlichen Informationen. Es können prinzipiell zwei Arten räumlicher Information für Lokalisationsaufgaben unterschieden werden: Distanz im Gegensatz zu Positionsinformationen. Im Gegensatz zum euklidischen Raum sind diese Informationen im Wahrnehmungsraum nicht notwendigerweise ineinander überführbar. Dabei sind in der Distanz Informationen über Relationen zwischen Objekt und Referenzobjekt oder zwischen Positionen bzw. korrespondierenden Punkten innerhalb eines Objektes (allozentrischer Referenzrahmen) enthalten. Dagegen beinhaltet die Position im Raum eher die absolute Lokalisation eines Objektes zum Beobachter (egozentrische Kodierung). Zusätzlich stellt sich die Frage, inwieweit Distanz eine Rauminformation oder vielmehr eine Objekteigenschaft im Sinne von Größe ist. Im Experiment zeigte sich ein stärkerer Einfluß der Täuschung auf die Reproduktion der subjektiv zurückgelegten Distanz des Zielpunktes im Gegensatz zu Endposition. Aber auch die Reproduktion der Endposition wurde durch die induzierte Bewegung beeinflusst.

Der Vergleich zwischen zwei wahrgenommenen Raumpositionen ist also nicht immer gleich der wahrgenommenen Distanz. Dabei verändern verschiedene Muster der Stimulation die vom Beobachter nutzbare Information zur Lokation eines Objektes.

[...]the information used to direct a localization response depends on subtle features of the response: the difference between perceptual and motor response may be due at least in part to differential use of the two different types of spatial information.

Abrams und Landgraf, 1990, S. 358

Auch Post und Welch (1996) sehen den Unterschied nicht zwischen Wahrnehmung und Handlung, sondern in der Beurteilung von Distanzen im Gegensatz zu Positionen. Ihre Probanden sollten jeweils eine Zeigebewegung (open loop) auf die Mitte der zentralen Linie einer Judd-Täuschung<sup>17</sup> ausführen. Für

---

<sup>17</sup> Die Judd-Täuschung ist eine Variation der Müller-Lyer-Figuren, bestehend aus einer Linie, die von zwei in die gleiche Richtung weisenden Winkeln (<-< oder >->) umrahmt wird. Werden zwei gegenläufige Judd-Figuren direkt untereinander gestellt, bewirken die Winkel eine subjektive Verschiebung der mittleren Linien in die Richtung der Winkelspitzen. Zusätzlich wird die subjektive Einschätzung der Linienhalbierenden in Richtung des offenen Winkels verschoben.

die Positionsurteile war im Gegensatz zur Längenhalbierungsaufgabe zusätzlich eine Markierung der Mitte sichtbar. Das Zeigen wurde in der Längenhalbierungsaufgabe durch die Täuschung beeinflusst. Das Zeigen auf vorgegebene Positionen blieb dagegen von der Täuschung unbeeinflusst.

Auch Wraga, Creem und Proffitt (2000) betonen die Frage, inwieweit sich bei dem verwendeten Täuschungsparadigma Wahrnehmungs- und Handlungsurteile auf die gleichen physischen Charakteristika der Täuschungsfiguren beziehen. Auch wenn eine Trennung zwischen dorsaler und ventraler Verarbeitung visueller Information angenommen werden kann, wird eine motorische Handlung nicht immer ausschließlich durch das ventrale System geleitet. Dementsprechend ist dann das motorische Urteil nicht unabhängig von der Wahrnehmungskodierung. Wichtig für die Dissoziation von Wahrnehmung und Handlung ist die Art der Kodierung (egozentrisch vs. allozentrisch). Damit überhaupt eine Trennung zustande kommt, muß für den Handlungsaspekt die egozentrische Kodierung bedeutsam sein. Um diese Unterscheidung zwischen egozentrischer und allozentrischer Kodierung der Stimuli zu untersuchen, wurde zur Einschätzung einer Müller-Lyer-Variante einmal eine eher objektbezogene und einmal eine eher handlungsbezogene Strategie induziert. Die Schätzungen der mittleren Linie erfolgten entweder verbal (subjektives Wahrnehmungsurteil) oder als Reproduktion in Form von Gehen (open loop). Eine Aufstellung entfernt von der Gesamtfigurkonfiguration, das heißt die gesamte Figur überblickend, betont eher den Abstand zwischen Anfangs- und Endpunkt. Damit finden sich eher wenig egozentrische Figurhinweise. In den Daten zeigt sich sowohl für die Einschätzungen mittels Gehen (Handlung) als auch in der verbalen Einschätzung der Länge der mittleren Linie der typische Täuschungseffekt. Bei einem Standpunkt auf einem der beiden Figurenden wird ein persönlicher egozentrischer Bezug zur Figur gefördert. In den verbalen Längenurteilen zeigt sich wieder Täuschung. Für das Gehen wird allerdings die geschätzte Länge der mittleren Linie nicht von der Täuschung beeinflusst. Je nach Konfiguration greifen verschiedene Prozesse für Wahrnehmung und Handlung oder die gleichen. Entsprechend kommt es zu einer Dissoziation von Wahrnehmung und

Handlung oder einer gemeinsamen Verarbeitung. Je ähnlicher die Aufgabe ist, desto mehr gleichen sich Wahrnehmungs- und Handlungsurteile an.

Weitere Belege für einen gemeinsamen Kode von Wahrnehmung und Handlung sind nach Prinz (1997) Induktion und Kompatibilität sowie Interferenz bei gleichzeitigem Zugriff auf gleiche Repräsentationsbereiche. Hat ein Stimulus gemeinsame Merkmale mit einer durchzuführenden Handlung, kommt es je nach Aufgabe zu Interferenz oder Handlungserleichterung (z.B. Stroop-Effekt, Simon-Effekt). Die Handlungsplanung und die Kontrolle erfolgen im Hinblick auf den beabsichtigten Effekt. Weiterhin bildet die Handlungsrepräsentation die Grundlage für Schutzmechanismen laufender Wahrnehmungs- und Handlungsprozesse vor neuen identischen Strukturen und vor Prozessen, die auf gleiche Kodierbereiche in Wahrnehmung und Handlung zugreifen. Müsseler (1999) unterscheidet in Hinblick auf gemeinsame Codes von Handlung und Wahrnehmung (z.B. Simon-Effekt, Dual-Task-Paradigmen zur Überprüfung von Handlung auf Wahrnehmung) zwischen (a) unspezifischen Störeinflüssen - die Wahrnehmungsleistung verschlechtert sich bereits ohne Merkmalsüberlappung - und (b) spezifischen Störeinflüssen bei Merkmalsüberlappung von Handlungs- und Wahrnehmungsaufgabe wie z.B. Kompatibilitätseffekten. Wichtig für den Effekt ist die Überlappung des antizipierten Handlungseffektes, nicht unbedingt die tatsächliche Ausführung.

Neben Störeinflüssen durch eine Merkmalsüberlappung ist auch eine Wahrnehmungserleichterung durch bestimmte (Motor-) Ereigniskodes denkbar (Müsseler, 1999). Auch hier ist die Handlungsplanung für den Effekt ausreichend. Wann eine Wahrnehmungserleichterung und wann eine Beeinträchtigung durch eine parallele Handlung eintritt, ist abhängig von (a) unterschiedlichen Zeitcharakteristika, (b) dem Ausmaß der Merkmalsüberlappung und (c) der Stärke der vorhandenen Grundaktivierung eines Merkmalskodes. Ist ein Merkmal kompatibel, führt die Präsentation zu akkumulierter Aktivierung im Merkmalscode. Dies erleichtert eine von dort ausgehende motorische Aktivierung. Sobald ein motorischer Ereigniskode geformt ist, erfolgt eine Abkapselung des zugehörigen Merkmalskodes. Dieser ist damit weniger zugänglich für eine Neuformulierung durch Wahrnehmungsinhalte, wodurch die Wahrnehmungs-

leistung schlechter wird. Eine hohe Basisrate bedingt eine eher schwächere Abkapselung des Kodes, da Unterschiede im Aktivationsniveau schwerer zu entdecken sind. Wenn jedes Ereignis gleichzeitig ein Wahrnehmungs- und Handlungsereignis darstellt, ist die übliche Dissoziation nicht sinnvoll. Stattdessen ist die Art der Verschachtelung der Ereignisse bzw. Interaktionen von Ereignissen, die zu einem gegenseitigen Austausch führen, zu beachten (Jordan, 1999).

Für eine eher aufgabenbezogene Dissoziation sprechen auch Befunde zu haptischen selektiven neuronalen Funktionsausfällen. Ähnlich der Trennung visueller Verarbeitung in dorsale und ventrale Verarbeitung zeigt sich hier eine Dissoziation von Raumverortung und Objekterkennung innerhalb der haptischen Modalität. Paillard (1999) beschreibt den Fall einer Patientin mit zentraler Deafferenz des rechten Unterarmes. Diese war bei gleichzeitiger intakter Motorik insensitiv für taktile, thermale oder nozizeptive Stimulation dieses Unterarmes. Obwohl insensitiv für diese Reize, war die Patientin analog zu Patienten mit dem als Blindsight beschriebenen Phänomen<sup>18</sup> in der Lage, auch ohne visuelle Rückmeldung mit der linken Hand genau die Stelle zu lokalisieren, die zuvor taktil stimuliert worden war.

Reed, Caselli und Farah (1996) beschreiben umgekehrt eine Patientin mit unilateraler selektiver Störung der Objekterkennung nach cerebralem Infarkt bei gleichzeitig normalen räumlichen Fähigkeiten in Lokalisationsaufgaben. Die Patientin E.C. zeigte normale Explorationsprozeduren mit der beeinträchtigten Hand. Die elementaren sensorischen Empfindungen (Berührung, Temperatur, Zwei-Punkt-Diskrimination, Vibration) waren intakt. Auch Einzeleigenschaften wie metrische Informationen zu Gewicht, Größe und Textur waren intakt, sowie ordinale Vergleiche bzw. Relationen von Längen von der Läsion unbeeinflusst. Dagegen war die Patientin in Aufgaben zur Form und Materialerkennung stark beeinträchtigt. Die Ausfälle entsprachen denen einer Person mit apperzeptiver visueller Agnosie. Allerdings lag für die Objekterkennung bei E.C. kein Kom-

---

<sup>18</sup> Patienten mit Blindsight sind trotz eines vollständigen Ausfalls der bewußten visuellen Wahrnehmung aufgrund einer Schädigung des primären visuellen Kortex in der Lage, Ortsangaben zu visuellen Reizen abzugeben, auch manuelles Lokalisieren oder Erkennen von Bewegung werden berichtet (Kiefer, 2002).

plettausfall vor. Die Autoren vermuten, zur haptischen Objekterkennung seien andere Objekteigenschaften zur Diskrimination (Textur, Konsistenz) wichtiger als die Form. Durch diese normalerweise redundante Information kommt in diesem Fall die Objekterkennung zustande. Wenn also eine Trennung von haptischer Raumverortung und haptischer Formerkennung ähnlich der visuellen Dissoziation anzunehmen ist, sind gegenseitige Einflüsse eher dann zu erwarten, wenn für die Aufgabenbearbeitung der gleiche Aspekt wichtig ist.

Es ist also insgesamt weniger eine grundsätzliche Dissoziation von Wahrnehmung und Handlung anzunehmen, sondern eher eine aufgabenbezogene. Erfolgt der Zugriff von Wahrnehmung und Handlung auf gleiche Stimuluseigenschaften, kommt es zu einem gegenseitigen Einfluß. Bei einem Zugriff auf unterschiedliche Aspekte reagieren Wahrnehmung und Handlung unabhängig. Je wichtiger hierbei modalitätsunabhängige amodale Eigenschaften sind, desto eher ist auch ein Einfluß von Wahrnehmung auf Handlung und umgekehrt zu erwarten.

#### **4.4 Assoziierte Hirnstrukturen**

Wenn einer multimodalen Integration eine amodale Repräsentation multisensorischer Information zugrunde liegt, sollten entsprechende subkortikale und/oder kortikale Bereiche zu lokalisieren sein, die Informationen aus verschiedenen sensorischen Pfaden enthalten. Solche heteromodalen Areale erhalten konvergente Informationen aus mehreren unimodalen Bereichen (primären Feldern). Heteromodale Neurone reagieren dementsprechend auf Stimulation in mehr als einer Sinnesmodalität; es gibt keine Spezifität für eine einzelne Modalität (Banati, Goerres, Tjoa, Aggelton & Grasby, 2000; Calvert, Brammer & Iversen, 1998; Jones & Powell, 1970). Läsionen in diesen Bereichen sollten zu Defiziten bei Aufgaben führen, die auf einer multisensorischen Integration basieren.

In Läsionsstudien und bildgebenden Verfahren am Menschen sowie in anatomischen, neurophysiologischen Studien und Verhaltensstudien an Tieren konnten verschiedene, mutmaßlich an multimodaler Integration beteiligte kor-

tikale und subkortikale Hirnareale lokalisiert werden. Zu nennen sind hier präfrontaler Kortex, posterior-parietaler Kortex, lateral-temporaler Kortex, Colliculus superior, Insula/Clastrum, Amygdala und rhinaler Kortex (Banati, Goerres, Tjoa, Aggelton & Grasby, 2000; Jones & Powell, 1970; Murray, Malkova & Goulet, 1998; Streicher & Ettliger, 1987).

Im Vergleich zu den einer multimodalen Integration räumlicher Informationen zugrunde liegenden neuronalen Mechanismen ist relativ wenig über solche bei der zur Objekterkennung bekannt (Calvert, Brammer & Iversen, 1998). Da jedoch die spezifische Aktivierung von Hirnarealen bei multimodaler Integration stark von der spezifischen Kombination sensorischer Inputs und der jeweiligen Aufgabe abhängt, wurde im folgenden nur auf Studien mit Fokus auf visuell-haptische Formzuordnungen Bezug genommen. Leider sind die bislang vorliegenden Ergebnisse der verschiedenen Studien uneinheitlich. Gleichzeitig liegen kaum Replikationsstudien vor (Bischoff, Sammer, Kirsch & Vaitl, 2002).

So untersuchten Hadjikhani und Roland (1998) mittels bildgebender Verfahren (PET) intramodal visuelle und haptische sowie entsprechende intermodale Formzuordnungen. Dabei differenzierten sie ihre Erwartungen hinsichtlich der beteiligten Strukturen zwischen polysensorischer Verarbeitung in heteromodalen Bereichen einerseits und einem intermodalen Austausch zwischen modalitätsspezifischen Bereichen andererseits. Dabei sollte aus einer polysensorischen Verarbeitung eine nicht modalitätsspezifische, amodale Repräsentation resultieren. Daher sollten Bereiche zu lokalisieren sein, die grundsätzlich bei intramodal haptischer wie visueller als auch bei intermodaler Verarbeitung aktiviert werden, also Informationen erhalten. Dagegen sollte ein intermodaler Transfer zwischen modalitätsspezifischen unimodalen Bereichen nur bei spezifisch intermodalen Aufgaben zustande kommen. Für den intermodalen Formtransfer im Vergleich zu intramodalen Zuordnungen fanden die Autoren keine als polymodal zu bezeichnenden Bereiche, die sowohl bei intramodal haptischer, intramodal visueller oder intermodaler Zuordnung gleichermaßen involviert gewesen wären. Stattdessen fand sich in den Aufgaben mit intermodal geforderten Vergleichen erhöhte Aktivität im Bereich des Clastrums. Die Autoren sprachen sich aufgrund dieser Daten gegen eine amodale Repräsentation in

polysensorischen Arealen aus. Sie favorisierten die Idee einer direkten Kommunikation von Kortextfeldern für visuelle und haptische Formrepräsentation mittels Synchronisation der Aktivität, wenn Informationen aus zwei oder mehr verschiedenen sensorischen Bereichen verglichen werden.

Banati, Goerres, Tjoa, Aggleton und Grasby (2000) fanden für visuell-haptische intermodale Zuordnungsaufgaben (Objekterkennung, Ringsegmente) neben einer Aktivierung im Bereich Insula/Clastrum auch Aktivitäten im anterioren cingularen Kortex, inferioren Parietallappen, im dorsolateralen präfrontalen Kortex sowie im Gyrus temporalis superior und medialis. Die Aktivierung im Lobus parietalis inferior und Gyrus temporalis können der Verarbeitung somatosensorischer Information wie Form und Oberflächenrauheit und im Fall des inferioren Parietallappen der Verarbeitung höherer haptischer Ordnung wie z.B. der Forminformation (Banati, Goerres, Tjoa, Aggelton & Grasby, 2000; Reed, Caselli & Farah, 1996) zugeordnet werden. Die Aktivierung im anterioren cingularen Kortex wurde in Hinblick auf verstärkte Aufmerksamkeitsbelastung und Förderung der Kommunikation der Sinnesmodalitäten interpretiert. Im dorsolateralen präfrontalen Kortex findet ein Zusammenfluß aus sensorischen Assoziationsfeldern zweiter Ordnung visuell auditiv und sensorisch statt. Hier werden unter anderen höhere kognitive Funktionen wie die Initiierung von motorischem Verhalten, das räumliche Arbeitsgedächtnis und die exekutive Planung angenommen. Nach Ansicht der Autoren sind diese als kognitive Komponenten einer intermodalen Verarbeitung zu erwarten. Banati et al. (2000) sprechen sich grundsätzlich für eine Verarbeitung in polysensorischen Feldern aus. Sie bemerken allerdings einschränkend, daß der Einbezug von heteromodalen Arealen nicht notwendigerweise auch eine in diesen Bereichen beheimatete amodale Repräsentation bedingt.

Dagegen zeigte sich in einer Replikationsstudie zu Banati et al. durch Bischoff, Sammer, Kirsch und Vaitl (2002) keine Aktivierung im anterioren cingularen Kortex bzw. im Bereich Insula/Clastrum. Stattdessen lokalisierten sie eine verstärkte Aktivierung in Precuneus, Gyrus frontalis (inferior und medius) rechts sowie im linken Gyrus postcentralis und präcentralis und einige Spots im Cuneus (rechts) und Gyrus fusiformis (links). Damit nehmen die Autoren - gegen

Banati et al. (2000), daß das Cingulum einen intermodalen Austausch erleichtere - hier eher allgemeine Aufmerksamkeitseffekte an. Das Fehlen einer Aktivierung im Bereich Claustrum/Insula ist ihrer Ansicht nach eventuell auswertungsbedingt und bedarf weiterer Klärung. Die Spots im Gyrus Fusiformis und Cuneus können als Repräsentation der visuellen Form erklärt werden (vgl. Hadjikhani & Roland, 1998).

Problematisch ist, daß in den Studien meist kein komplettes Kreuzdesign inter- und intramodaler Zuordnungen stattfand. Dadurch kann es gerade bei Subtraktionsmethoden zur Darstellung der Aktivität auch zu einer Konfundierung mit der Zuordnungsrichtung kommen.

Hinzu kommt, daß zwar einerseits einige Kandidaten für polysensorische Felder, aber andererseits nicht die zu erwartenden Ausfälle im intermodalen Transfer in Läsionsstudien mit Affen gefunden wurden (Hörster, Rivers, Ettliger, Skreczek & Hesse, 1989; Streicher Ettliger, 1987). Calvert, Brammer und Iversen (1998) schlagen daher nicht eine amodale Repräsentation an sich vor, sondern einen Bereich gemeinsamer Integration, während die Wahrnehmungskonsequenzen dieser multimodalen Interaktion in den relevanten unimodalen Kortizes realisiert werden.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß häufig heteromodale Kortexbereiche mit Input aus mehreren unimodalen Arealen gefunden wurden. Unklar bleibt allerdings auf Grundlage der Studien, inwieweit ein neuronales Korrelat einer amodalen Repräsentation gegeben ist oder gegebenenfalls eine amodale Repräsentation nur für die Dauer der Bearbeitung zustande kommt und mittels Rückprojektion in modalitätsspezifischen unimodalen Bereichen kodiert wird oder aber es zu einem gegenseitigen Zugriff unter Beibehaltung der Modalitätsspezifität kommt.



## 5 Experimentelle Untersuchungen

### 5.1 Vorbemerkungen

Zusammenfassend läßt sich feststellen: Mehrere Modalitäten können gleichzeitig (a) Informationen über das gleiche Objekt/Ereignis oder (b) Informationen über unterschiedliche Reize aufnehmen. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, daß eine Integration multimodal aufgenommener Informationen stattfindet. Dabei können die Informationen aus den beteiligten Sinnesmodalitäten unterschiedlich stark in die Gesamtwahrnehmung einfließen.

Dabei spricht die Ergebnislage für das Vorhandensein polysensorischer Bereiche, die Informationen aus verschiedenen modalitätsspezifischen Bereichen erhalten. Jedoch ist aufgrund der uneindeutigen Ergebnislage unklar, auf welcher Basis die Integration zustande kommt. Zum Teil favorisieren die Autoren eine grundsätzlich amodale Repräsentation mit gemeinsamem Zugriff einzelner Modalitäten (vgl. Integrationsszenarien 3.4.3). Andere sprechen sich aufgrund ihrer Daten eher für eine Translation der Information unter Beibehaltung der modalitätsspezifischen Repräsentation (Integrationsszenario 3.4.1) im Fall einer Integration aus (vgl. 4.4).

Aus Studien zu selektiven neuronalen Funktionsausfällen kann weiter geschlossen werden, daß visuell wie haptisch die Verarbeitung von Objekterkennung und Raumverortung unterschieden werden kann. Weiterhin weisen die Ergebnisse aus den Experimenten zu Wahrnehmung und Handlung auf eine aufgabenbezogene Dissoziation im Gegensatz zu einer grundsätzlichen Trennung von Wahrnehmung und Handlung hin. Je eher gleiche Eigenschaften für die Aufgabenbearbeitung bedeutsam werden, desto eher findet sich ein gegenseitiger Einfluß. Diesen gegenseitigen Einfluß werten verschiedene Autoren als Hinweis auf einen gemeinsamen amodalen Kode von Wahrnehmung und Handlung (vgl. 4.3). Da hier jedoch immer dasselbe Objekt bearbeitet wurde und somit ein gegenseitiger Austausch der Modalitäten je nach Aufgaben-

stellung sinnvoll erscheint, wäre auch ein direkter Austausch mit Feedback zu unimodalen Bereichen denkbar.

Auch in den Untersuchungen zu intermodalem Transfer zeigte sich ein intermodaler Einfluß der Bearbeitung durch eine Modalität auf die Urteile in einer anderen. Dabei kommt es, wie gesehen, zu unterschiedlichen Ausprägungen der Einflüsse und ihrer Stärke. Diese Einflüsse werden als Versuch interpretiert, eine einheitliche Gesamtwahrnehmung aufrecht zu erhalten. Für getrennt wahrgenommene Ereignisse/Objekte besteht keine Notwendigkeit intermodaler Integration, da kein Konflikt vorhanden ist. Wenn kein direkter Austausch aufgrund der Aufgabe erforderlich ist, stellt sich die Frage, ob überhaupt über die Sinnesmodalitäten integriert wird, also ein Austausch stattfindet (vgl. 4.2).

Wenn andererseits die zeitliche und/oder räumliche Nähe die Hauptdeterminante einer multimodalen Integration bildet, sollten sich bei paralleler Verarbeitung gleicher Objekteigenschaften in mehreren Modalitäten auch ohne wahrgenommene Objekteinheit Integrationseffekte zeigen lassen. Eine solche multimodale Integration ohne wahrgenommene Objekteinheit kann weitere Hinweise auf eine amodale Repräsentation der Eigenschaften geben, da hier Integrationseffekte auch dann zu erwarten sind, wenn die Aufgabe zwar keine multimodale Integration erfordert, jedoch durch die Modalitäten auf die gleiche Informationsbasis zugegriffen wird.

Nimmt man dagegen eine zielabhängige Translation als Basis multimodaler Integration an, ist bei Fehlen einer zugrunde gelegten Objekteinheit eher kein gegenseitiger Einfluß zu erwarten.

Ziel des experimentellen Teils ist die Untersuchung einer möglichen multimodalen Integration simultan aufgenommener unterschiedlicher Reizinformationen anhand stark diskrepanten Materials, das einer wahrgenommenen Objekteinheit entgegensteht.

## **5.2 Experimentelles Paradigma**

In der Forschung (speziell in Dissoziationsexperimenten) sind immer wieder Täuschungen als Untersuchungsparadigma zu finden. Eine der bekanntesten ist

hier die Müller-Lyer-Täuschung<sup>19</sup> mit dem Doppelpfeil (<->) und dem inversen Doppelpfeil (>-<), auch als offene und geschlossene Müller-Lyer-Täuschung bekannt. In dieser Täuschung scheinen die Längen der von den Pfeilspitzen umschlossenen Mittellinien - obwohl bei Wahrnehmung mit Messen physikalisch gleich lang - von unterschiedlicher Länge zu sein. Gleichzeitig ist die Müller-Lyer-Täuschung eine der gesichertesten Täuschungen, die sowohl visuell als auch haptisch nachgewiesen ist ( zur haptischen Müller-Lyer-Täuschung siehe Fry, 1975; Lucca, Dellantonio & Riggio, 1986; Millar & Zainab, 2002; Over, 1966; Patterson & Deffenbacher, 1972; Rudel & Teuber, 1963; Suzuki & Arashida, 1992; Wong, 1975). Für die Höhe der wahrgenommenen Größenunterschiede zwischen Doppelpfeil und inverser Figur werden je nach Neigung der Spitzen und nach Gesamtlänge für visuelle Urteile Täuschungseffekte zwischen 10 und 30 % (Coren & Girgus, 1978; Goldstein, 1986; Predebon, 1998; Pressey & Martin, 1990; Suzuki & Arashida, 1992) bzw. bei Einzelvergleichen zu einer einfachen Kontrolllinie ohne Winkelspitzen Effekte von 5 bis 20% (Pressey & Martin, 1990; Rudel & Teuber, 1963) angegeben. Täuschungseffekte in äquivalenter Höhe wurden auch haptisch nachgewiesen (Lucca, Dellantonio & Riggio, 1986; Over, 1966; Rudel & Teuber, 1963; Suzuki & Arashida, 1992; Wong, 1975). Aufgrund der Gleichartigkeit der Täuschung auf die Wahrnehmung in haptischer und visueller Modalität vermuten verschiedene Autoren gleiche Ursachen für das Zustandekommen der Täuschung in beiden Modalitäten und sehen darin einen Hinweis auf gemeinsame zentrale Mechanismen der Verarbeitung (Franz, Bülhoff, Fahle & Gegenfurtner, 2001; Suzuki & Arashida, 1992; Wong, 1975).

Für die nachfolgenden Experimente erschien die Müller-Lyer-Täuschung besonders geeignet, um Aufgabe und Objekteigenschaft in haptischer und visueller Modalität gleich zu halten, die Wahrnehmung getrennter Stimuli aber zu verstärken. Die Müller-Lyer-Täuschung bietet hier die Möglichkeit, bei gleicher Länge der Testlinie eindeutig unterschiedliche Figuren mit entgegengerichteten Täuschungswirkungen in visueller und haptischer Modalität vorzugeben. So können bei gleicher Reizdimension (Länge) die Figuren trotzdem

---

<sup>19</sup> Täuschung bezeichnet hier die Abweichung zwischen Wahrnehmungsurteilen mit Messen und Wahrnehmungsurteilen ohne Messen. Der Täuschungsbetrag entspricht dann dem Ausmaß der Wahrnehmungsverzerrung durch den täuschungsinduzierenden Kontext.

als zwei physikalische Ereignisse wahrgenommen werden. Intermodal liegt hier ein Formkonflikt ohne gleichzeitigen Längenkonflikt vor. Gleichzeitig beeinflusst die Form die subjektiven Längenuurteile haptisch wie auch visuell. Die Darbietung erfolgt bimodal, gefragt sind aber nur unimodale Urteile zu einem Standarditem. Unbeabsichtigte intermodale Einflüsse zeigen sich dann in veränderten Längenuurteilen im Vergleich zu rein unimodalen Urteilen beider Modalitäten. Anhand des veränderten Täuschungsausmaßes kann der Einfluß jeweils einer Modalität zugeschrieben werden. Ein derartiger ungewollter intermodaler Einfluß zeigt dann die Bedeutung einer zeitlichen und/oder räumlichen Parallelität der Verarbeitung für die multimodale Integration und gibt Hinweise auf eine Integration durch Zugriff auf amodale Repräsentation der Objektinformationen. Zeigen sich dagegen für bimodale Bearbeitung der verschiedenen Objekte keine gegenseitigen Einflüsse, spricht dies eher für eine Translation der Information ohne eine gemeinsame Repräsentation für den Fall der Integration. Beide Möglichkeiten sollen im folgenden Erwartungsmuster verdeutlicht werden.

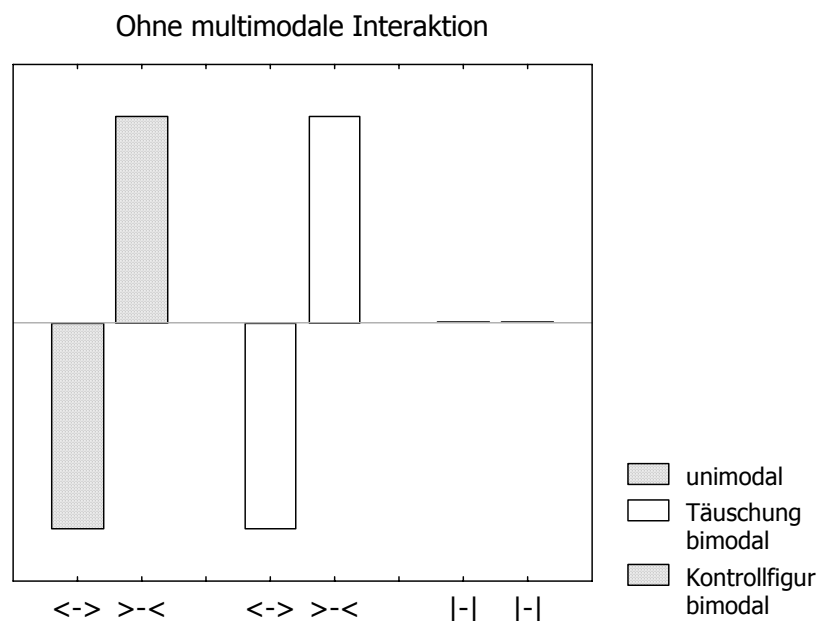


Abbildung 5a: Erwartungsmuster für eine Vorhersage ohne multimodale Interaktion. Dargestellt sind die Abweichungen der Längenschätzungen von den Kontrollfigururteilen in Abhängigkeit von der bearbeiteten Figur. Für die bimodalen Figurkombinationen ist auf der x-Achse nur die jeweils relevante Figur angegeben.

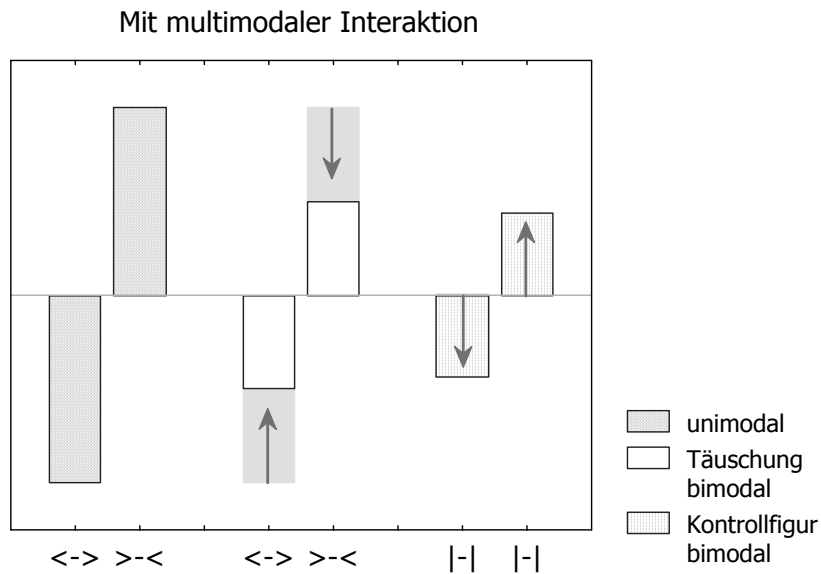


Abbildung 5b: Erwartungsmuster für eine Vorhersage mit multimodaler Interaktion. Dargestellt sind die Abweichungen der Längenurteile von den Kontrollfigursschätzungen in Abhängigkeit der bearbeiteten Figur. Die Pfeile geben die Richtung des Einflusses der parallel bearbeiteten, irrelevanten Figur auf diese Längenurteile an. Für die bimodalen Figurkombinationen ist auf der x-Achse nur die jeweils relevante Figur dargestellt.

Abbildungen 5a und 5b zeigen jeweils links den typischen Täuschungseffekt der Müller-Lyer-Täuschung unimodal. Bei bimodaler Bearbeitung sollte sich das Täuschungsausmaß je nach Vorliegen eines intermodalen Einflusses folgendermaßen verändern: Ohne intermodale Integration sollte sich bei gleichzeitiger Bearbeitung einer Kontrollfigur in der irrelevanten Modalität die Höhe der Täuschung gegenüber der unimodalen Bedingung nicht verändern. Auch die Kontrollbedingung sollte unbeeinflusst von einer simultan bearbeiteten Täuschungsfigur in der irrelevanten Modalität bleiben (Abb. 5a Mitte und rechts).

Dagegen sollte eine intermodale Integration in den Kombinationen von Kontroll- und Täuschungsfiguren dazu führen, daß die Längenurteile sich einander annähern (Abb. 5b Mitte und rechts). Je nach Gewichtung der Modalitäten kann dieser Einfluß asymmetrisch ausfallen.

## 5.3 Experiment 1

### 5.3.1 Methode

#### 5.3.1.1 Teilnehmer

Es nahmen 20 Studenten der Universität der Bundeswehr Hamburg im Alter von 21 bis 29 Jahren teil. Die Probanden (Pbn) waren normalsichtig bzw. korrigiert normalsichtig. Bei keinem Pbn lagen nach eigenen Angaben taktile oder motorische Beeinträchtigungen vor. Alle Pbn stuften sich als rechtshändig ein.

#### 5.3.1.2 Apparate & Materialien

Aus Aluminiumplatten (Breite 63 mm, Länge 200) waren Müller-Lyer-Figuren als Doppelpfeile (<->) oder inverse Doppelpfeile (>-<) oder Kontrollfiguren in Form beidseitig senkrecht begrenzter Linien (|-|) im Halbreliief (Höhe 2 mm, Breite 1,4 mm) mittig herausgearbeitet. Die Pfeillinien der Müller-Lyer-Figuren standen in einem Winkel von 37° zur horizontalen Testlinie und entsprachen in der Länge einem Drittel der Testlinien. Die senkrechten Begrenzungen der Kontrollfigur entsprachen in der Gesamtlänge der aufgespannten Höhe zwischen den Winkeln der korrespondierenden Täuschungsfiguren. Getestet wurde über die Längen 45 mm, 60 mm und 75 mm, weitere Längen (30 mm – 120 mm) dienten als zusätzliches Schätzmaterial.

Die Einschätzungen erfolgten haptisch anhand einer Halbreliieflinie (Höhe 2 mm, Breite 1,4 mm, Länge 180 mm) auf einer weiteren Aluminiumplatte. Auf dieser Linie befand sich ein Schieber aus Acrylglas mit einer für Zeige- oder Mittelfinger passenden Aussparung, durch welche die darunterliegende Linie während des Schiebevorganges erfühlt werden konnte. Zur visuellen Einschätzung diente eine auf eine Folie gedruckte schwarze Linie (Breite 1,4 mm, Länge 180 mm), auf der mittels Folienstift verschiedene Längen markiert werden konnten.

Angeordnet wurden die Stimuli in einem Kasten (Höhe 16 cm, Breite 50 cm, Länge 50 cm) auf dem nicht einsehbaren Boden (= untere Kastenebene) für die haptischen Einschätzungen bzw. auf dem Kasten (= obere Kastenebene) für die visuellen Einschätzungen. Die obere Kastenebene wurde in der Mitte durch

einen Sichtschutz geteilt. Der Kasten war auf einen um die Horizontale frei beweglichen Drehteller montiert.

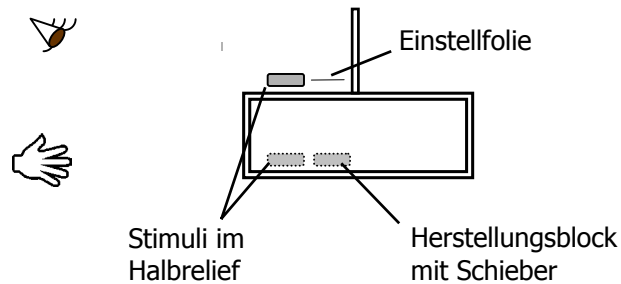


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus in Experiment 1.

### 5.3.1.3 Design

Es sollten jeweils drei Längen in den drei Figuren für beide Modalitäten eingeschätzt werden. Für jede Modalität gab es je einen unimodalen sowie einen gemeinsamen bimodalen Block. Zehn Pbn begannen mit dem unimodal haptischen, die anderen zehn mit dem unimodal visuellen Block. Der bimodale Aufgabenblock erfolgte für alle Teilnehmer zuletzt. In den unimodalen Blöcken ergaben drei Wiederholungen pro Figur und Länge sowie zwölf Durchläufe mit den Zusatzstimuli 39 Durchgänge. Bimodal wurden fünf Figur-Modalitäts-Kombinationen je dreimal pro Größe für beide Modalitäten plus 24 Durchgänge mit verschiedenen Längenkombinationen getestet. Daraus ergab sich ein gemischtes Design mit Anfangsmodalität als Between-Faktor und Länge x Figur x Modalität x Kombination als Within-Faktor.

### 5.3.1.4 Durchführung

Unimodal haptisch: Die Stimuli wurden zehn Zentimeter von der vorderen Kante entfernt auf der unteren Kastenebene zentriert dargeboten (ca. 15 cm vor der Körpermitte der Teilnehmer). Der Herstellungsblock war auf der gegenüberliegenden Seite der Kastenebene ebenfalls zentral, zehn Zentimeter von der Kante entfernt positioniert. Der Schieber befand sich am linken Ende der Linie.

Zu Beginn eines Durchlaufs wurde der Stimulus mit der bevorzugten Hand abgetastet. Sowohl Art als auch Dauer der Exploration stand den Pbn frei. Die Pbn wurden darauf hingewiesen, daß nur Urteile über die Länge der mittleren (Test-) Linie ohne deren Begrenzungslinien abzugeben seien. Nach dem Abtasten drehten die Pbn den Kasten mit der linken Hand um 180°, so daß die Öffnung mit dem Herstellungsblock vor der Pbn zu liegen kam. Der Schieber sollte mit Zeige- oder Mittelfinger der rechten Hand entsprechend der wahrgenommenen Linienlänge nach rechts verschoben werden. Das Ergebnis wurde auf Millimeter genau abgelesen und notiert.

Unimodal visuell: Entsprechend den haptischen Vorlagen wurden Stimuli und Herstellungsfolie auf der oberen Kastenebene des Kastens positioniert. Die Pbn sollten die Stimuli betrachten und nach Drehen des Kastens auf der Folie ausgehend vom linken Ende der aufgedruckten Linie die Länge markieren.

Bimodal: Auf korrespondierenden Positionen der oberen und unteren Kastenebene wurde jeweils ein Stimulus positioniert. Das Material auf der unteren Kastenebene sollte nur haptisch bearbeitet werden, das auf der oberen nur visuell. Die Pbn wurden instruiert, daß sowohl gleiche als auch ungleiche Länge-Figur-Kombinationen vorkommen könnten. Die Dauer der Exploration war unbegrenzt. Kein Pb benötigte mehr als fünf Sekunden. Danach wurde der Kasten durch die Pb auf die Reproduktionsseite gedreht. Erst nach der Drehung wurden die Pbn darüber instruiert, welche der beiden Vorlagen reproduziert werden sollte, um zu vermeiden, daß nur in einer Modalität der Stimulus bearbeitet wurde. Die Längenuurteile waren intramodal (haptisch/haptisch oder visuell/visuell) mittels Schieber bzw. Folie abzugeben. Insgesamt waren folgende Figurenkombinationen bei gleicher Länge der Testlinie möglich:

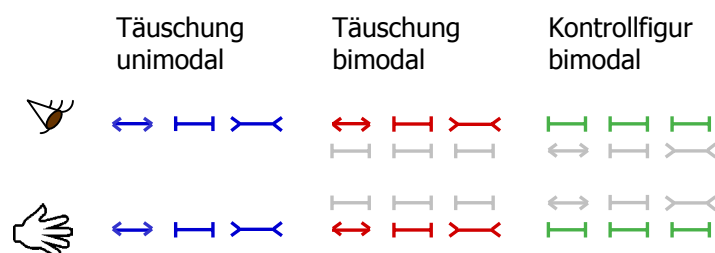


Abbildung 7: Schematische Darstellung der verwandten Figurkombinationen in Experiment 1-4. Die Figuren der abgefragten Modalität sind jeweils dunkel dargestellt, die Figuren der entsprechenden irrelevanten Modalität erscheinen hell.



### 5.3.2 Ergebnisse

Zunächst wurde der Täuschungseffekt als Abweichung zwischen den Schätzwerten und den zu beurteilenden physikalisch metrischen Werten der Testlinien berechnet. Da weder zwischen den Längen noch zwischen den Anfangsmodalitäten Mittelwertsunterschiede auftraten, wurden die Daten für die nachfolgenden Berechnungen über alle drei Längen der mittleren Testlinie sowie den Faktor Anfangsmodalität zusammengefaßt.

Im folgenden werden nur die Ergebnisse der statistischen Analyse der Abweichungen im Hinblick auf die Täuschungseffekte dargestellt. Ein tabellarischer Überblick der mittleren Abweichungen der Urteile von der gemessenen Länge (konstante Fehler) sowie der zugehörigen Standardabweichungen aller Experimente befindet sich im Anhang. In die Analysen gingen sämtliche Meßpunkte der Probanden ein. Getestet wurde in allen Berechnungen auf 5 % Signifikanzniveau. Für die gerechneten Einzelvergleiche wurde der kritische Wert nach Bonferroni korrigiert (vgl. Diehl & Arbinger, 1990)

Abbildung 8 zeigt die mittleren Fehler der Größenschätzungen für haptische und visuelle Urteile als Funktion des täuschungsinduzierenden Kontextes (Doppelpfeil, Kontrolle und inverser Doppelpfeil) und der Darbietungsart (unimodal, bimodal Täuschungsurteil und bimodal Kontrollurteil). Der bildlichen Darstellung der Effekte liegen normalisierte Daten zugrunde. Diese Normalisierung entfernt die Variabilität, die durch konstante Antwortunterschiede zwischen den Teilnehmern zustande kommt (siehe Loftus & Mason, 1994 für eine extensive Diskussion der Normalisierung). Um die Darstellung zu vereinfachen, wurden in einem zweiten Schritt die Mittelwerte der Kontrollfiguren mit den zugehörigen Urteilen der uni- und bimodalen Einschätzungen der Müller-Lyer-Figuren verrechnet. In den Abbildungen sind so nur die Abweichungen der Urteile der Müller-Lyer-Figuren in Abhängigkeit zur Kontrollfigururschätzung und die zugehörigen Within-Fehlervarianzen dargestellt. In Tabelle 2 werden die Abweichungen der Längensurteile der Täuschungsfiguren im Vergleich zu den Urteilen der Kontrollfiguren in Prozent angegeben. Im Anhang befindet sich eine weitere Tabelle, in der diese Täuschungseffekte für alle Experimente zusammengefaßt sind.

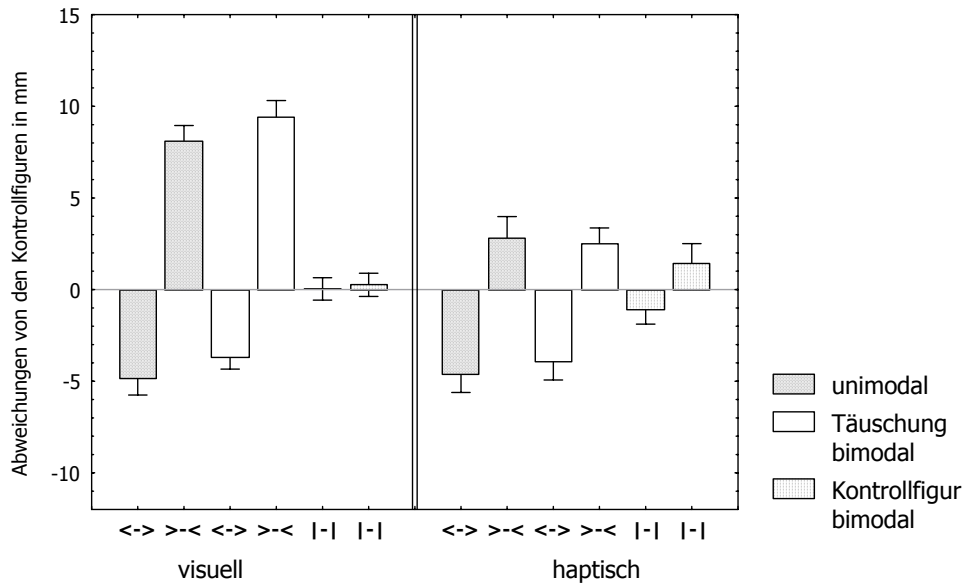


Abbildung 8: Mittlere Abweichungen der Längenurteile von den Kontrollfigururteilen  $\pm 1$  Standardfehler als Funktion der Antwortmodalität, der Darbietungsart und des täuschungsinduzierenden Kontextes für Experiment 1 (Reproduktion der subjektiv gleichen Länge). Den dargestellten Standardfehlern liegen normalisierte Daten zugrunde (siehe Fließtext für eine weitere Beschreibung). Für die bimodalen Kombinationen ist auf der x-Achse nur die jeweils urteilsrelevante Figur angegeben.

Über die zusammengefaßten Daten wurden zwei Varianzanalysen (ANOVA) gerechnet: Eine die unimodale (T) mit der bimodalen Konfliktbedingung zur Täuschung ( $T_k$ ) vergleichend (entspricht in der grafischen Darstellung der jeweils linken und mittleren Gruppierung) und eine zweite über die bimodalen Konfliktbedingungen mit Abfrage der Kontrollfigur ( $K_c$ ) (in der Abbildung jeweils rechts angeordnet).

In der ANOVA für die T/ $T_k$  Kombination auf den Faktoren Modalität (visuell, haptisch), Darbietung (unimodal, bimodal) und Figur (<->, >-<) ergab sich ein Haupteffekt der Modalität ( $F(1, 171) = 27,74$ ;  $p < 0,01$ ). Die Längenurteile zu den haptisch explorierten Figuren lagen unter denen der visuellen. Auch die Haupteffekte der Darbietungsart ( $F(1, 171) = 23,26$ ;  $p < 0,01$ ) und der Figur ( $F(1, 171) = 638,52$ ;  $p < 0,01$ ) wurden signifikant. Die Längenurteile lagen für alle <-> Figuren unter denen der >-< Figuren. Ebenfalls signifikant wurde die Wechselwirkung zwischen Modalität und Figur ( $F(1, 171) = 54,33$ ;  $p < 0,01$ ). Der inverse Doppelpfeil (>-<) wurde in der visuellen Modalität größer beurteilt als in der haptischen. Geplante Kontraste zeigten, daß sich das Verhältnis zwischen den

Längenurteilen der Figuren von unimodaler zu bimodaler ( $T_k$ ) Exploration weder in der haptischen Modalität ( $F(1, 171) = 0,79$ ;  $p = 0,377$ ) noch in der visuellen Modalität ( $F(1, 171) = 0,04$ ;  $p = 0,848$ ) änderte. Weitere Effekte wurden nicht signifikant ( $p > 0,4$ ).

In der Varianzanalyse, in die die Kontrollfigururteile der bimodalen Darbietung ( $K_k$ ) über die Faktoren Modalität (visuell, haptisch) und Kombination mit der irrelevanten Figur ( $<->$ ,  $>-<$ ) eingingen, zeigte sich ein Haupteffekt der irrelevanten Täuschungsfigur auf die Wahrnehmungsurteile der Kontrollfigur ( $F(1, 171) = 9,54$ ;  $p < 0,01$ ). Entsprechend der irrelevanten Täuschungsfiguren wurde die Kontrollfigur in Kombination mit dem Doppelpfeil kleiner beurteilt als in Kombination mit dem inversen Doppelpfeil. Der Haupteffekt des Faktors Modalität wurde nicht signifikant ( $p > 0,9$ ). Dagegen ergab sich eine signifikante Interaktion der Faktoren Modalität und irrelevante Figur ( $F(1, 171) = 5,98$ ;  $p < 0,02$ ). In den geplanten Kontrasten zeigte sich, daß nur in der haptischen Modalität die Kontrollurteile entsprechend den irrelevanten Täuschungsfiguren zu unterschiedlichen Längenurteilen kamen ( $F(1, 171) = 9,99$ ;  $p < 0,01$ ). In der visuellen Modalität unterschieden sich die Kontrollfigururteile nicht ( $F(1, 171) = 0,22$ ;  $p = 6,39$ ).

Tabelle 2: Abweichungen der Längenurteile der Müller-Lyer-Figuren von den Schätzungen der Kontrollfiguren in Prozent gerundet auf die erste Stelle hinter dem Komma. Der direkte Unterschied zwischen den beiden Müller-Lyer-Figuren findet sich in der Spalte gesamt. Negative Werte bezeichnen Abweichungen entgegen den für diese Figur bzw. Kombination zu erwartenden. Für die Kontrollfigururteile unter bimodaler Bearbeitung entspricht die Höhe der Gesamtverzerrung der Höhe des Einflusses der irrelevanten Modalität.

	Darbietungsart und Figurkombination								
	unimodal			bimodal					
Modalität	$<->$	$>-<$	gesamt	$<->_{ - }$	$>-<_{ - }$	gesamt	$ - _{<->}$	$ - _{>-<}$	gesamt
visuell	8,2	13,5	21,6	6,2	15,7	21,9	-0,1	0,4	0,3
haptisch	7,7	4,7	12,4	6,6	4,1	10,7	1,9	2,4	4,3

### 5.3.3 Diskussion

Die Müller-Lyer-Figuren bewirkten unimodal die typischen Verzerrungen der Wahrnehmungsurteile ohne Messen im Vergleich zur physikalisch meßbaren Länge in beiden Modalitäten. Der visuelle Täuschungseffekt entspricht den üblicherweise zu findenden (z.B. Coren & Girgus, 1978; Goldstein, 1986;

Patterson & Deffenbacher, 1972). In der haptischen Modalität deckt sich der gefundene Täuschungseffekt z.B. mit den von Franz et al. (2001) oder Lucca et al. (1986) angegebenen. Wie aus den Prozentangaben zu ersehen, veränderte der inverse Doppelpfeil ( $>-<$ ) das Längsurteil haptisch nicht so stark wie visuell. Für die Doppelpfeil-Figur( $<->$ ) bestand kein modalitätsspezifischer Unterschied.

Bedeutsam sind insbesondere die Effekte des Doppelpfeils auf die Längenschätzungen der mittleren Testlinie in der haptischen Modalität. Im Gegensatz zum inversen Doppelpfeil, dessen Gesamtlänge (Testlinie plus täuschungsinduzierender Winkel) tatsächlich größer ist als die der Kontrollfigur, haben die Kontrollfigur und der Doppelpfeil die gleiche Gesamtlänge. Die unterschiedlichen Längsurteile für Kontrollfigur und Doppelpfeil stellen somit kein Bewegungsartefakt dar, sondern sind als Wahrnehmungstäuschung einzustufen.

Die Längsurteile zu den Täuschungsfiguren zeigten auch bei bimodaler Exploration (in Kombination mit einer Kontrollfigur in der irrelevanten Modalität) Abweichungen entsprechend der unimodalen Bearbeitung in beiden Modalitäten. Es gab also keinen sichtbaren Einfluß der zusätzlich vorhandenen Kontrollfigur.

Das Vorhandensein einer haptischen Müller-Lyer-Täuschung bei bimodaler Bearbeitung spricht gegen eine visuell vermittelte Täuschung. Da die duale Exploration bereits Verarbeitung im visuellen System bedingt, hätte die Täuschung haptisch im Falle der visuell medierten Wahrnehmung nicht zustande kommen dürfen.

Für den Einfluß der Müller-Lyer-Figuren auf die Einschätzung einer Kontrollfigur in der jeweils anderen Modalität finden sich Unterschiede zwischen beiden Modalitäten. Unabhängig davon, ob gleichzeitig keine, eine Täuschungsfigur oder eine Kontrollfigur abgetastet wurde, veränderte sich das Urteil zur Kontrollfigur visuell nicht. In den Urteilen der haptischen Modalität über die Länge der Kontrollfigur ließ sich ein Einfluß durch die visuelle Modalität feststellen. Wurde gleichzeitig visuell eine verkleinernde Täuschungsfigur ( $<->$ ) vorgegeben, verringerten sich die Längsurteile in der haptischen Kontrollbedingung. Bei paralleler visueller Bearbeitung der vergrößernden Täuschungs-

figur (>-<) ergaben sich entsprechend längere haptische Einschätzungen der Kontrollfigur.

Insgesamt ließen sich in Experiment 1 sowohl eine visuelle als auch eine haptische Müller-Lyer-Täuschung feststellen. Desweiteren zeigte sich trotz Wahrnehmung der Figurdiskrepanz ein asymmetrischer Einfluß der visuellen Modalität auf die haptische Modalität bei bimodaler Bearbeitung.

Hier ist anzumerken, daß sich die angewandte Herstellungsmethode im Schwierigkeitsgrad für beide Modalitäten unterschied. Die haptische Informationsaufnahme erwies sich gegenüber einer alltäglichen als eingeschränkt. Zwar waren die Pbn in der Art der Exploration frei, genutzt wurde meist allerdings nur die propriozeptive Information durch Entlangfahren der Figuren mit einem oder zwei Fingern. Es kam kaum zur Anwendung des Pinzettengriffs (Beobachtung der Versuchsleiterin). Möglicherweise versuchten die Pbn durch ein solches Vorgehen, die Explorationsbewegung und vorgegebene Reproduktionsart annähernd gleich zu gestalten. Hier zeigt sich der Einfluß der konzeptgesteuerten Verarbeitung auf die Auswahl der verwendeten Explorationsprozeduren (Klatzky & Lederman, 1993). Die Art der Informationswiedergabe beeinflusst in diesem Fall die Auswahl der geeigneten haptischen Explorationsprozedur und die damit einhergehenden Informationsunterschiede in den beiden Modalitäten. Die Einseitigkeit des bimodalen Einflusses könnte damit auf das Herstellungsverfahren zurückzuführen sein.

Ein anderer Grund für das Fehlen eines haptischen Einflusses auf die visuelle Modalität könnte in der Länge der Explorationsphase zu suchen sein. Die zeitlich nicht begrenzte Explorationsphase ermöglichte eine visuelle Exploration vor dem Beginn der haptischen. In der nachfolgenden Exploration der haptischen Stimuli wurden jedoch die visuellen Vorlagen ebenfalls weiter betrachtet. Nach Paillard (1999) und Calvert, Brammer und Iversen (1998) ist jedoch die räumliche und zeitliche Nähe der Informationsaufnahme für die Integration bedeutsam. Daher bliebe die visuelle Information durch die zeitliche Trennung vom haptischen Längenuurteil unbeeinflusst. Dagegen führt die Integration von haptischer und zusätzlicher visueller Information zu einer Verzerrung der Längenschätzungen der Kontrollfiguren.

## 5.4 Experiment 2

In Experiment 2 sollte zunächst der gefundene Einfluß der irrelevanten Modalität aus Experiment 1 repliziert werden. In der in Experiment 1 verwendeten Herstellungsmethode wurde eine Ursache für die gefundene Asymmetrie des intermodalen Einflusses vermutet, da aufgrund der durch die meisten Pbn gewählten Explorationsbewegung die Gesamtinformation haptisch auf die propriozeptiven Anteile beschränkt wurde (vgl. 4.2.3.1 Reaktionsvariablen). Um Einflüsse der Informationswiedergabe auf die Auswahl der Explorationsprozeduren und damit auf die Gesamtmenge der aufgenommenen Informationen (haptisch) gering zu halten, wurde im folgenden Experiment auf die Methode des direkten numerischen Vergleichs zurückgegriffen. Anstelle einer physikalischen Reproduktion erfolgte die Einschätzung der Testlängen in Relation zu einem Standardmaß von hundert Einheiten (zur Methode siehe Torgerson, 1958). Da hierdurch die Reproduktionsbewegung entfiel, sollte dies zu einem größeren Spielraum in der haptischen Exploration führen. Auch wurde durch die numerischen Urteile eine direktere Wiedergabe bei gleichzeitiger Bearbeitung der Stimuli möglich.

Um eine Asymmetrie aufgrund zeitlich getrennter Exploration zu Gunsten der visuellen Modalität zu verhindern, wurde außerdem die Explorationsphase auf drei Sekunden verkürzt. Dies sollte bei freier Exploration auch haptisch für eine adäquate Informationsaufnahme ausreichen (Klatzky & Lederman, 2000) und eine parallele Verarbeitung in visueller und haptischer Modalität fördern.

### 5.4.1 Methode

#### 5.4.1.1 Teilnehmer

Am Experiment nahmen 20 Studenten und Mitarbeiter der Universität der Bundeswehr Hamburg im Alter von 20 bis 32 Jahren unentgeltlich teil. Wie in Experiment 1 waren die Pbn normalsichtig bzw. korrigiert normalsichtig. Es bestanden auch hier keine taktilen oder motorischen Beeinträchtigungen.

#### 5.4.1.2 Material und Apparate

Teststimuli und Kasten entsprachen Experiment 1. Anstelle der Herstellungsvorlagen wurden Standardlängen in Form einfacher Linien im Halbreief (Höhe 2 mm, Breite 1,4 mm, Länge 100 mm) auf Aluminiumblöcken für beide Modalitäten verwendet.

Design: Das Design entsprach gleichfalls Experiment 1. Je zehn Pbn begannen mit dem unimodal haptischen, zehn mit dem unimodal visuellen Block. Zusätzlich zu den Durchgängen aus Experiment 1 wurden beiden unimodalen Blöcken zehn Probedurchgänge vorgelagert, um eine gleichmäßige Beurteilung des Standards zu gewährleisten.

#### 5.4.1.3 Durchführung

Die Probanden wurden mündlich instruiert, daß sie im folgenden unterschiedliche Länge einschätzen sollten. Dazu sollte jeder Testlänge ein ganzzahliger Wert im Vergleich zu der vorliegenden Standardlänge von hundert Einheiten zugeordnet werden, der der subjektiv empfundenen Länge des jeweiligen Items am besten bzw. genauesten entspräche. Es wurde darauf hingewiesen, daß die verschiedenen Items entweder nur visuell, nur haptisch oder gleichzeitig in beiden Modalitäten dargeboten werden würden.

Unimodal haptisch: Die Stimuli wurden wie im vorangegangenen Experiment auf der unteren Kastenebene positioniert. Anstelle der Herstellungsvorlage wurde die Aluminiumplatte mit der Standardlänge eingefügt. Zunächst tasteten die Pbn diese Standardlänge mit der bevorzugten Hand ab, drehten dann den Kasten um 180° und explorierten die Testlängen. Nach drei Sekunden wurde den Pbn ein Zeichen gegeben, so schnell und so genau wie möglich das numerische Urteil über die Testlänge abzugeben.

Unimodal visuell: Die Testitems und die Standardlinie wurden auf der oberen Kastenebene vorgegeben. Die Probanden begannen mit der (rein visuellen) Betrachtung der Standardlänge, drehten den Versuchsaufbau und konnten dort die jeweiligen Vergleichsitems betrachten. Wie in der unimodal haptischen Bedingung sollte nach drei Sekunden die Testlänge einem subjektiv passenden numerischen Wert zugeordnet werden.

Bimodal: Die Standardlinien wurden parallel visuell betrachtet und haptisch abgetastet. Nach dem Drehen der Apparatur konnten die Pbn das Testmaterial visuell auf der oberen und haptisch auf der unteren Kastenebene explorieren. Dabei wurden die Pbn darauf hingewiesen, daß visuell und haptisch gleiche oder ungleiche Stimuli kombiniert würden. Erst nach der dreisekundigen Exploration beider Stimuli wurden die Probanden instruiert, ob sie die Länge des visuellen oder des haptischen Stimulus einschätzen sollten. Die verwendeten Figurkombinationen entsprachen Experiment 1. Es wurden nur Durchgänge gleicher Stimuluslänge notiert.

### 5.4.2 Ergebnisse

Wie zu Experiment 2 wurden zwei getrennte Varianzanalysen über die konstanten Fehler berechnet. Da weder die Stimuluslänge noch die Anfangsmodalität zu signifikanten Unterschieden führten, wurden auch hier zuvor die Daten entsprechend zusammengefaßt.

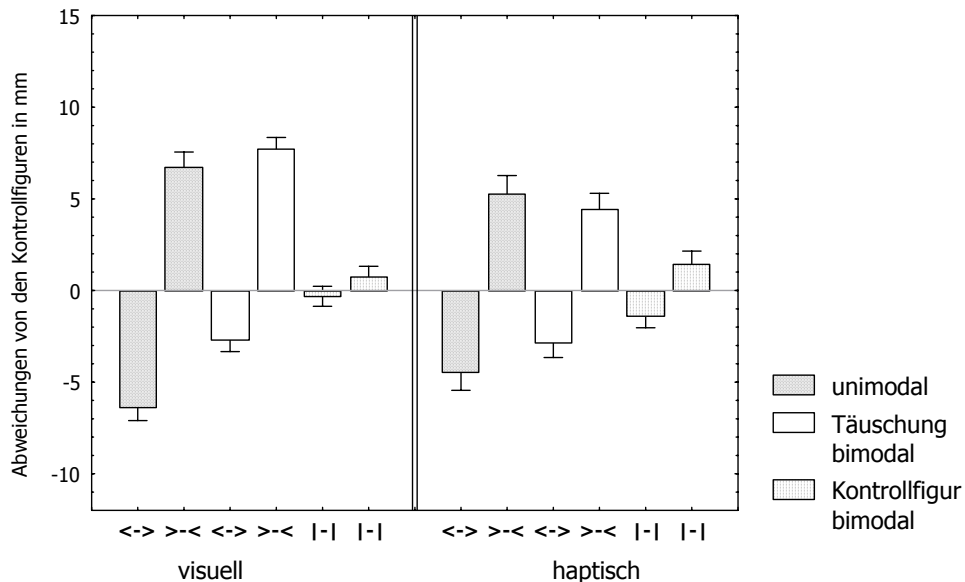


Abbildung 9: Mittlere Abweichungen der Längenurteile von den Kontrollfigururteilen  $\pm 1$  Standardfehler als Funktion der Antwortmodalität, der Darbietungsart und des täuschungsinduzierenden Kontextes für Experiment 2 (numerische Längenurteile der Halbreliéffiguren). Den dargestellten Standardfehlern liegen normalisierte Daten zugrunde. Für die bimodalen Kombinationen ist auf der x-Achse nur die urteilsrelevante Figur angegeben.



Die bildliche Darstellung der Täuschungseffekte als Funktion der Modalität, der Darbietungsart und der Figur findet sich in Abbildung 9, die korrespondierenden prozentualen Angaben zeigt Tabelle 3.

In der Varianzanalyse auf den Faktoren Modalität (visuell, haptisch), Darbietung (unimodal, bimodal) und Figur (<->, >-<) zum Vergleich der Täuschungsbedingungen unimodal (T) gegen bimodal (T<sub>k</sub>) war ein schwacher Haupteffekt der Modalität zu verzeichnen ( $F(1, 171) = 4,06$ ;  $p < 0,05$ ). Die Figuren wurden in der visuellen Modalität prinzipiell größer eingeschätzt als bei haptischer Beurteilung. Weiterhin zeigte sich neben einem Haupteffekt der unimodalen Darbietung zur bimodalen Darbietung ( $F(1, 171) = 20,24$ ;  $p < 0,01$ ) auch ein Haupteffekt der Figur ( $F(1, 171) = 495,28$ ;  $p < 0,01$ ). Die Längenuurteile in der unimodalen Bearbeitung lagen für alle Figuren unter der der bimodalen Bearbeitung. Entsprechend der Ergebnisse aus Experiment 1 wurden die Doppelpfeilfiguren kleiner eingeschätzt als die inversen Doppelpfeile. Auch alle Zweifachinteraktionen zwischen den Faktoren wurden signifikant. Wie in Experiment 1 wurde der inverse Doppelpfeil durch die haptische Modalität kleiner beurteilt als visuell (Interaktion der Faktoren Modalität und Figur:  $F(1, 171) = 22,10$ ;  $p < 0,01$ ). Weiterhin fielen bei bimodaler Bearbeitung die haptischen Urteile größer aus als bei unimodaler (Interaktion der Faktoren Modalität und Darbietung:  $F(1, 171) = 9,16$ ;  $p < 0,01$ ). Im Gegensatz zu Experiment 1 wurde auch die Interaktion von Darbietung (unimodal, bimodal) und Figur (<->, >-<) signifikant ( $F(1, 171) = 16,78$ ;  $p < 0,01$ ). Geplante Kontraste zeigten, daß der Unterschied zwischen den Urteilen von Doppelpfeil und inversem Doppelpfeil visuell ( $F(1, 171) = 12,89$ ;  $p < 0,01$ ) und haptisch ( $F(1, 171) = 5,41$ ;  $p < 0,025$ ) unter bimodaler Bearbeitung geringer ausfiel als die unimodalen Urteile. Die dreifache Interaktion über alle Faktoren erwies sich als statistisch nicht bedeutsam ( $p > 0,8$ ).

In der zweiten Varianzanalyse auf den Faktoren Modalität (visuell, haptisch) und Kombination mit den irrelevanten Müller-Lyer-Figuren über die Fehlerwerte der Kontrollfigururteile ergab sich ein signifikanter Haupteffekt der Modalität ( $F(1, 171) = 12,27$ ;  $p < 0,01$ ) und der irrelevanten Müller-Lyer-Figur ( $F(1, 171) = 32,33$ ;  $p < 0,01$ ). Die Kontrollfiguren wurden in Abhängigkeit der Kombination

mit der irrelevanten Müller-Lyer-Figuren unterschiedlich lang eingeschätzt: Kontrollfiguren, die mit einem Doppelpfeil zusammen dargeboten wurden, wurden kürzer beurteilt als solche, die mit einem inversen Doppelpfeil kombiniert waren. Geplante Kontraste zeigten, daß sowohl die haptischen ( $F(1, 171)=30,90$ ;  $p < 0,01$ ) als auch die visuellen ( $F(1, 171)=6,06$ ;  $p < 0,02$ ) Kontrollfiguren in Abhängigkeit von der irrelevanten Müller-Lyer-Figuren ( $<->$ ,  $>-<$ ) zu unterschiedlichen Längenuurteilen führten. Die Wechselwirkung beider Faktoren wurde ebenfalls signifikant ( $F(1, 171)=7,39$ ;  $p < 0,01$ ). Die Längenuurteile für die visuellen Stimuli unterschieden sich zwischen unimodaler und bimodaler Bearbeitung nicht so stark wie die der haptischen Vorlagen.

Tabelle 3: Abweichungen der Längenuurteile der Müller-Lyer-Figuren von den Schätzungen der Kontrollfiguren in Prozent gerundet auf die erste Stelle hinter dem Komma. Der direkte Unterschied zwischen den beiden Müller-Lyer-Figuren findet sich in der Spalte gesamt. Negative Werte bezeichnen Abweichungen entgegen den für diese Figur bzw. Kombination zu erwartenden. Für die Kontrollfiguren unter bimodaler Bearbeitung entspricht die Höhe der Gesamtverzerrung der Höhe des Einflusses der irrelevanten Modalität.

Modalität	Darbietungsart und Figurkombination								
	unimodal			bimodal					
	$<->$	$>-<$	gesamt	$<->_{ - }$	$>-<_{ - }$	gesamt	$ - _{<->}$	$ - _{>-<}$	gesamt
visuell	10,7	11,2	21,9	4,6	12,9	17,5	0,5	1,3	1,8
haptisch	7,4	8,7	16,4	4,8	7,4	12,2	2,4	2,4	4,7

### 5.4.3 Diskussion

Wie im vorangegangenen Experiment war ein Einfluß der Täuschungsfiguren auf die Einschätzung der Testlinie bei unimodaler Vorgabe der Stimuli in beiden Modalitäten gegeben.

Im Gegensatz zu Experiment 1 wurde der Täuschungseinfluß der Müller-Lyer-Figuren auf die Längenuurteile bei bimodaler Bearbeitung schwächer. Für beide Modalitäten läßt sich also ein Einfluß der irrelevanten Kontrollfigur auf die Einschätzung der Müller-Lyer-Figuren ( $<->$  und  $>-<$ ) konstatieren. Diese Abschwächung des Täuschungseffektes durch die bimodale Exploration irrelevanter Kontrollfiguren war haptisch geringer ausgeprägt. Da der Täuschungseffekt bereits unimodal kleiner ausfiel, bedingt dies gegebenenfalls auch die geringere Veränderung zur bimodalen Bearbeitung. Auch wenn die bimodalen Urteile

grundsätzlich im letzten der drei Experimentalblöcke durchgeführt wurden, handelt es sich bei der Abschwächung des Täuschungseffektes nicht nur um einen Übungseffekt durch längere Exposition mit den Müller-Lyer-Figuren (vgl. Rudel & Teuber, 1963). Dies kann aus den Ergebnissen der Kontrollfigururteile bei bimodaler Bearbeitung geschlossen werden.

Bei dualer Bearbeitung zeigten sich auch auf die Einschätzungen der Kontrollfiguren Einflüsse der Information der nicht abgefragten Modalität. Wurde neben der Kontrollfigur in der jeweils anderen Modalität die <-> Figur exploriert, fielen die Urteile über die Länge der Testlinie in beiden Modalitäten geringer aus als in Kombination mit der >-< Figur. Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Experiment 1 konnten hier gegenseitige Einflüsse beider Modalitäten festgestellt werden. Die Verzerrung der Urteile in Richtung der irrelevanten Müller-Lyer-Figuren ist jedoch auch hier für die haptischen Längenuurteile der Kontrollfiguren deutlich stärker ausgeprägt. Eine mögliche Erklärung dieser Asymmetrie des Einflusses liegt in der Höhe des Täuschungseffektes auf die Modalitäten. Die Täuschung kommt visuell (unimodal) stärker zum Tragen als haptisch. Eine solche höhere Täuschung kann dann auch bei bimodaler Bearbeitung die Einschätzung der Kontrollfigur haptisch stärker beeinflussen als umgekehrt.

Die durch die Verkürzung auf drei Sekunden geförderte parallele Exploration durch die visuelle und die haptische Modalität zeigt sich in Experiment 2 in einem gegenseitigen Einfluß beider Modalitäten. Allerdings sind die Effekte von irrelevanter haptischer Information auf die visuellen Längenuurteile auch in Experiment 2 immer noch schwächer ausgeprägt. Diese Asymmetrie des intermodalen Einflusses wird gegebenenfalls durch eine unvollständige Äquivalenz der Stimuli für visuelle und haptische Modalität bedingt. Neben der (bereits geänderten) Art der Informationswiedergabe beeinflusst auch die eher zweidimensionale Darstellung der Figuren im Halbreliet die Art der gewählten Explorationsprozeduren und damit auch die Integration verschiedener Objekteigenschaften (wie Größe und Form) innerhalb der haptischen Modalität (Lederman, Klatzky, Chataway & Summers, 1990, Lederman, Klatzky & Reed, 1993). Hier führen dann die unterschiedlichen Informationen über die Objektform visuell im Vergleich zu haptisch zu einem geringeren Effekt der Müller-Lyer-Figuren auf

die Wahrnehmung in der haptischen Modalität, wodurch die Asymmetrie im gegenseitigen Einfluß zustande kommt.

## **5.5 Experiment 3**

Darstellungen von Objekten im Halbreliet sind eher den zweidimensionalen Strukturen zu zurechnen. Die haptische Modalität ist dagegen optimal zur Nutzung von Informationen von dreidimensionalen Strukturen ausgerüstet (Lederman, Klatzky, Chataway & Summers, 1990). In Experiment 3 sollte daher durch Einsatz von dreidimensionalen Vollfiguren die Arbeitsweise der haptischen Modalität unterstützt werden.

Zusätzlich ergaben sich bisher Unterschiede in der Informationsmenge zwischen beiden Modalitäten. So waren visuell neben egozentrischen Informationen durch sichtbare Begrenzungen des Materials bzw. durch das Verhältnis von Blockgröße zu Stimuluslänge zusätzliche allozentrische Informationen zugänglich (vgl. 4.2.3.1 Reaktionsvariablen). Durch den Einsatz der Vollfiguren fielen solche direkt umgebenden Referenzrahmen in der visuellen Darstellung weg.

### **5.5.1 Methode**

#### 5.5.1.1 Teilnehmer

Es nahmen 24 Studenten der Universität der Bundeswehr Hamburg sowie der Universität Hamburg unentgeltlich teil. Die Kriterien entsprachen den vorangegangenen Experimenten

#### 5.5.1.2 Apparate und Materialien

Der Kasten wurde , jedoch ohne Drehteller, aus den vorigen Experimenten übernommen. Die Stimuli (<->, |-|, >-<) waren als Vollfiguren aus klarem Acrylglas geschnitten (Höhe 5 mm, Linienbreite 3 mm). Die Enden der Täuschungsfiguren bildeten wie in der Halbrelietdarstellung einen Winkel von 37° zur Horizontalen mit einer Länge von 30% der Testlinie. Die senkrechten Enden

der Kontrollfigur waren 0,35 mal so lang wie die Testlinie. Insgesamt gab es elf Längen in Abständen von je 5 Millimetern (35 mm – 85 mm). Wie in Experiment 1 und 2 wurden 45 mm, 60 mm und 75 mm Längen für die Testitems genutzt. Die restlichen acht Längen je Figur wurden als Zusatzgrößen eingestreut, um eine Kategorisierung der Längen seitens der Pbn zu vermeiden. Den Standard bildeten einfache Rechtecke (Höhe 5 mm, Breite 3 mm, Länge 100 mm), ebenfalls aus Acrylglas gearbeitet

### 5.5.1.3 Design

Das Design entsprach Experiment 1 und 2.

### 5.5.1.4 Durchführung

Wie in Experiment 2 erfolgte die Längenbeurteilung der Testitems im Vergleich zur Standardfigur, deren Länge auf 100 Einheiten festgelegt war.

Unimodal haptisch: Standard- und Teststimuli wurden nebeneinander auf der unteren Kastenebene 10 cm von der vorderen Kante entfernt ausgerichtet. Dabei kamen die Teststimuli auf der Seite der bevorzugten Hand zu liegen. Die Standardlänge konnte während des ganzen Blocks mit der anderen Hand zum Vergleich herangezogen werden. Die Pbn explorierten die Testlängen; nach drei Sekunden wurde den Pbn das Zeichen gegeben, so schnell und so genau wie möglich die Länge des Testitems im Vergleich zum Standard in ganzzahligen Werten abzugeben.

Unimodal visuell: Aufbau und Ablauf entsprachen dem unimodal haptischen Block mit dem Unterschied, daß Stimuli und Standard auf der oberen Kastenebene vorgegeben wurden.

Bimodal: Die Standardlängen waren für die Pbn visuell und haptisch gleichzeitig durchgängig verfügbar. Auf der Seite der bevorzugten Hand konnten die Pbn das Testmaterial visuell auf der oberen und haptisch auf der unteren Kastenebene explorieren. Dabei wurden die Pbn darauf hingewiesen, daß visuelles und haptisches Material sich entsprechen, aber auch verschieden sein könne.

Nach drei Sekunden wurden die Pbn instruiert, ein Urteil über die Länge des haptischen oder visuellen Stimulus abzugeben. Eine Einschätzung zum zweiten Stimulus entfiel.

Die verwendeten Figurkombinationen entsprachen Experiment 1 und 2. Es wurden nur Durchgänge gleicher Stimuluslänge notiert.

## 5.5.2 Ergebnisse

Die Abweichungen der Müller-Lyer-Figururteile in Abhängigkeit der Kontrollfigurschätzungen für Experiment 3 sind in Abbildung 10 und in Tabelle 4 dargestellt. Es wurden dieselben Analysen wie in den beiden vorangegangenen Experimenten durchgeführt. Auch hier gingen sämtliche Meßpunkte der Probanden in die Analysen ein.

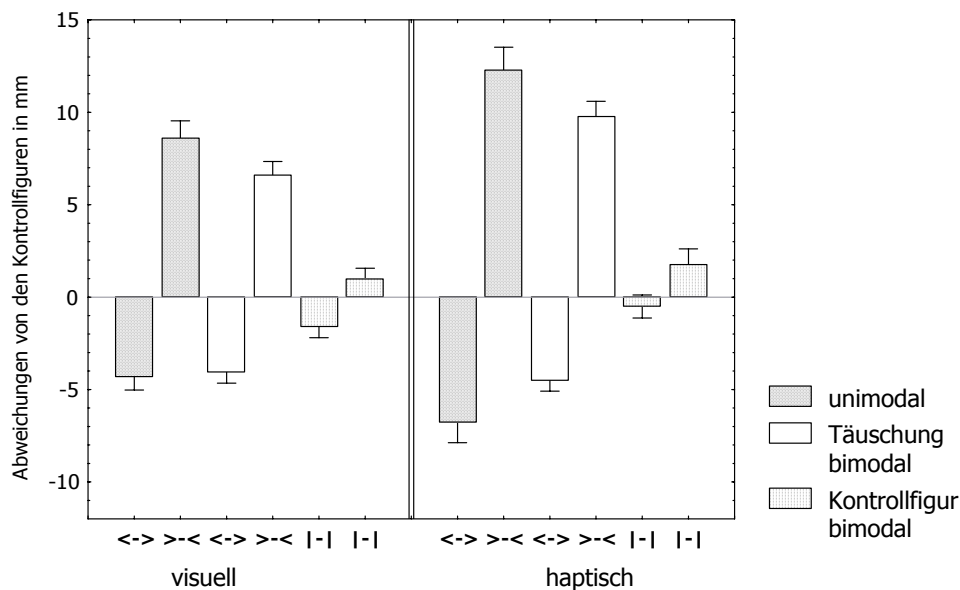


Abbildung 10: Mittlere Abweichungen der Längenurteile von den Kontrollfigururteilen  $\pm 1$  Standardfehler als Funktion der Antwortmodalität, der Darbietungsart und des täuschungsinduzierenden Kontextes für Experiment 3 (numerische Längenurteile über die Vollfiguren). Den dargestellten Standardfehlern liegen normalisierte Daten zugrunde. Für die bimodalen Kombinationen ist auf der x-Achse nur die urteilsrelevante Figur angegeben.

Die Varianzanalyse zu den Täuschungsfiguren über die Faktoren Modalität (visuell, haptisch), Darbietung (unimodal, bimodal) und Figur ( $\leftarrow\rightarrow$ ,  $\rightarrow\leftarrow$ ) ergab neben dem Haupteffekt der Figur ( $F(1, 215) = 1110,53$ ;  $p < 0,01$ ) einen Haupteffekt der Darbietung ( $F(1, 215) = 6,18$ ;  $p < 0,02$ ). Wie in Experiment 1 und 2 wurde der Doppelpfeil kleiner als der inverse Doppelpfeil eingeschätzt. Ebenso lagen die unimodalen Längenuurteile unter denen der bimodalen Darbietung. Die Analyse erbrachte keinen signifikanten Haupteffekt der Modalität ( $p > 0,8$ ). Dagegen wurden sowohl die Interaktion von Modalität und Darbietung ( $F(1, 215) = 6,39$ ;  $p < 0,02$ ) als auch die Interaktion zwischen den Faktoren Modalität und Figur ( $F(1, 215) = 51,35$ ;  $p < 0,01$ ) signifikant. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Experimenten war hier der Unterschied der Längenuurteile in Abhängigkeit der zu explorierenden Figur bei der visuellen Bearbeitung kleiner als bei haptischer Bearbeitung. Desweiteren wurde auch die Wechselwirkung von Darbietung (unimodal, bimodal) und der explorierten Figur ( $\leftarrow\rightarrow$ ,  $\rightarrow\leftarrow$ ) signifikant ( $F(1, 215) = 29,61$ ;  $p < 0,01$ ). Geplante Kontraste zeigten, daß die bimodalen Urteile in beiden Modalitäten unter denen der unimodalen lagen (visuell ( $F(1, 215) = 10,71$ ;  $p < 0,01$ ), haptisch ( $F(1, 215) = 20,89$ ;  $p < 0,01$ )). Die dreifache Interaktion zwischen allen Faktoren erreichte knapp das Signifikanzniveau ( $F(1,215) = 4,19$ ;  $p < 0,05$ ), da der Unterschied der Längenuurteile zwischen unimodaler und bimodaler Darbietung für die haptische Modalität für die Doppelpfeilfigur am stärksten ausgeprägt war.

In der Varianzanalyse auf den Faktoren Modalität (visuell, haptisch) und irrelevante Figur ( $\leftarrow\rightarrow$ ,  $\rightarrow\leftarrow$ ) über die Längenuurteile zu den Kontrollfiguren bei bimodaler Darbietung zeigte sich ein Haupteffekt der irrelevanten Figur ( $F(1,215) = 40,85$ ;  $p < 0,01$ ). Die geplanten Kontraste ergaben sowohl visuell ( $F(1, 215) = 25,05$ ;  $p < 0,01$ ) als auch haptisch ( $F(1, 215) = 15,00$ ;  $p < 0,01$ ) signifikante Unterschiede in den Längenuurteilen der Kontrollfigur in Abhängigkeit von der Kombination mit den irrelevanten Müller-Lyer-Figuren in Richtung der jeweiligen Figur. Alle übrigen Effekte wurden nicht signifikant ( $p > 0,3$ ).

Tabelle 4: Abweichungen der Längenurteile der Müller-Lyer-Figuren von den Schätzungen der Kontrollfiguren in Prozent gerundet auf die erste Stelle hinter dem Komma. Der direkte Unterschied zwischen den beiden Müller-Lyer-Figuren findet sich in der Spalte gesamt. Negative Werte bezeichnen Abweichungen entgegen den für diese Figur bzw. Kombination zu erwartenden. Für die Kontrollfigururteile unter bimodaler Bearbeitung entspricht die Höhe der Gesamtverzerrung der Höhe des Einflusses der irrelevanten Modalität.

Modalität	Darbietungsart und Figurkombination								
	unimodal			bimodal					
	<->	>-<	gesamt	<-> _	>-< _	gesamt	- <->	- >-<	gesamt
visuell	7,2	14,3	21,6	6,8	11,0	17,8	2,7	1,7	4,4
haptisch	11,3	20,5	31,8	7,5	16,3	23,8	0,8	3,0	3,8

### 5.5.3 Diskussion

Auch hier zeigten sich unimodal die typischen Effekte der Müller-Lyer-Figuren auf die Wahrnehmung. Im Vergleich zu den vorangegangenen Experimenten fielen die Täuschungseffekte unter Verwendung der Vollfiguren in der haptischen Modalität (unimodal) stärker aus. Mit Verwendung der Vollfiguren entfiel für die visuelle Exploration zusätzliche allozentrische Information durch die Basis der Halbreliëfstimuli. Entsprechend gab es keine Kontrasteffekte zwischen Rahmen und Figur, die verstärkend auf den Täuschungseffekt hätten wirken könnten. Da jedoch die Gesamthöhe des visuell unimodalen Täuschungseffektes in vergleichbarer Höhe mit der unimodal visuellen Täuschung in Experiment 2 liegt, erklärt sich der Unterschied zwischen visueller und haptischer Müller-Lyer-Täuschung in Experiment 3 mit der Verwendung der Vollfiguren.

Mit Verwendung der Vollfiguren kam es zum verstärkten Einsatz anderer Explorationsprozeduren wie dem Pinzettengriff als Spezialform des Umfassens. Globale Strukturen wie Form und Größe werden eher mittels Umfassens gewonnen (Lederman & Klatzky, 1990). Je mehr lokale Bereiche dabei Auskunft über die globale Form geben, desto eher wird neben der Länge auch die Form des Objektes wahrgenommen. Können Form- und Längeninformatiönen mittels kompatibler Explorationsprozeduren am gleichen Ort abgenommen werden, findet auch eher eine Integration über diese Eigenschaften zur verbesserten Objektidentifikation statt (Lederman, Klatzky & Reed, 1993). Aufgrund einer verbesserten Formwahrnehmung durch effektivere Explorationsprozeduren



kommt es im Fall der Müller-Lyer-Figuren zu einer stärkeren Wahrnehmung der täuschungsinduzierenden Winkel. Über eine Verknüpfung dieser Forminformation mit solchen der Objektlänge bewirkt dies eine Verzerrung der Längenwahrnehmung in Abhängigkeit der explorierten Figur. Dieser Effekt zeigt sich sowohl für den Doppelpfeil als auch für den inversen Doppelpfeil im Vergleich zur Kontrollfigur. Daher kann dies als echter Effekt der Formwahrnehmung auf die Längenwahrnehmung angesehen werden und stellt nicht nur ein Artefakt durch die tatsächlich größere Gesamtlänge des inversen Doppelpfeils dar.

Wie bereits in Experiment 2 fiel die Verzerrung der Wahrnehmungsurteile durch die Müller-Lyer-Figuren bei paralleler Bearbeitung einer Kontrollfigur gleicher Länge kleiner aus als bei unimodaler Bearbeitung. Es kann sowohl visuell als auch haptisch ein Einfluß der irrelevanten Figur auf die Wahrnehmungsurteile angenommen werden. Dieser Effekt ist in Experiment 3 im Gegensatz zu den vorangegangenen haptisch stärker ausgeprägt. Der größere Unterschied zwischen dem haptischen Täuschungseffekt von uni- zu bimodaler Wahrnehmung liegt zumindestens teilweise an der in Experiment 3 deutlich ausgeprägteren haptisch unimodalen Täuschung.

Auch in den Beurteilungen der Kontrollfigurlänge zeigten sich in beiden Modalitäten Einflüsse der Müller-Lyer-Figuren in der jeweils irrelevanten Modalität. Im Gegensatz zu Experiment 1 und 2 ist dieser Einfluß von der irrelevanten haptischen Information auf die visuellen Wahrnehmungsurteile stärker als umgekehrt. Auch hier bleibt der Einfluß der irrelevanten Information hinter dem unimodalen Täuschungseffekt zurück. Es erfolgt also keine komplette Dominanz der irrelevanten Information (Visual- oder Haptic-Capture).

Es gab einen stärkeren Einfluß der haptischen Information auf die visuelle Wahrnehmung als unter Verwendung der Halbreliëfstimuli und insgesamt über alle Kombinationen betrachtet mehr gegenseitige Beeinflussung als in Experiment 1 und 2. Je ähnlicher die Verfügbarkeit von Information in beiden Modalitäten wurde, desto größer wurde trotz wachzunehmender Diskrepanz der Stimuli der intersensorische Einfluß.

## 5.6 Experiment 4

Neben Reizeigenschaften und Modalitätscharakteristika sind auch Beobachterprozesse für das Ergebnis der Wahrnehmung ausschlaggebend. Experiment 3 wurde modifiziert, um die Gewichtung einer Modalität für das Wahrnehmungsergebnis zu ändern, indem der Vergleichsstandard in allen Durchgängen in nur einer Modalität zur Verfügung stand. Durch die Verankerung des Standards in einer Modalität sollte die Aufmerksamkeit verstärkt auf diese Modalität verschoben werden (vgl. Heller, 1982). Daraus ergab sich unimodal ein intramodaler Vergleich und ein intermodaler Vergleich zwischen dem Standard in der einen und dem Vergleichsstimulus in der anderen Modalität. In den bimodalen Durchgängen war somit die Hälfte der Urteile intramodaler Art (visuell-visuell, haptisch-haptisch), die andere intermodal (visuell-haptisch, haptisch-visuell). Insofern die Verankerung des Standards eine Aufmerksamkeitsverschiebung auf die entsprechende Modalität bedingt, sollte sich der intermodale Einfluß in der bimodalen Aufgabe mit der Modalität des Standards verschieben. Abbildungen 11a und 11b soll die Erwartungen bezüglich des intermodalen Einflusses in Abhängigkeit der Standardmodalität für die unterschiedlichen Modalitäts-, Darbietungs- und Figurkombinationen verdeutlichen.

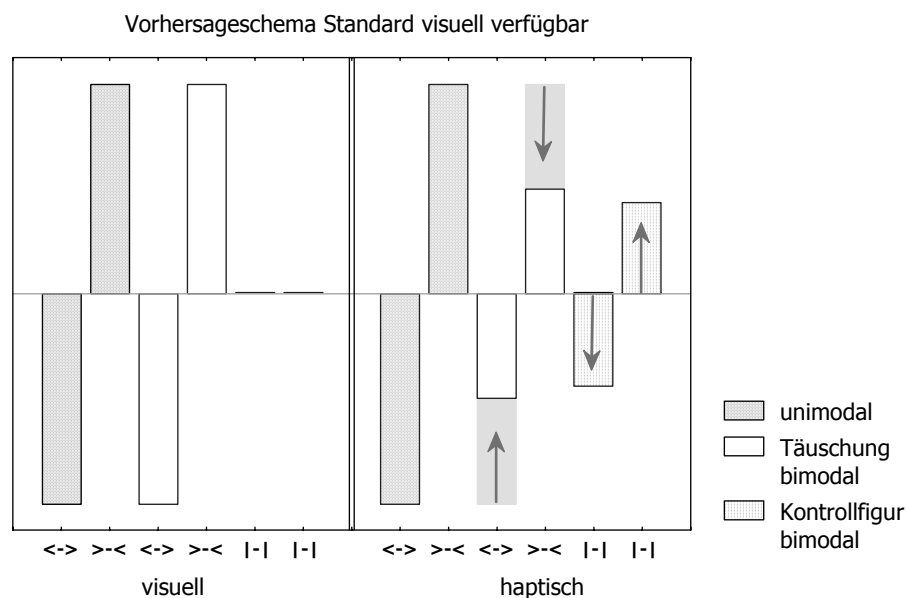


Abbildung 11a: Vorhersagen für Experiment 4a, Standard visuell verfügbar. Für die bimodalen Figurkombinationen ist auf der x-Achse nur die jeweils relevante Figur dargestellt. Die Pfeile geben die Richtung der erwarteten Abweichungen der Längeurteile in Abhängigkeit von der parallel bearbeiteten, irrelevanten Figur an.

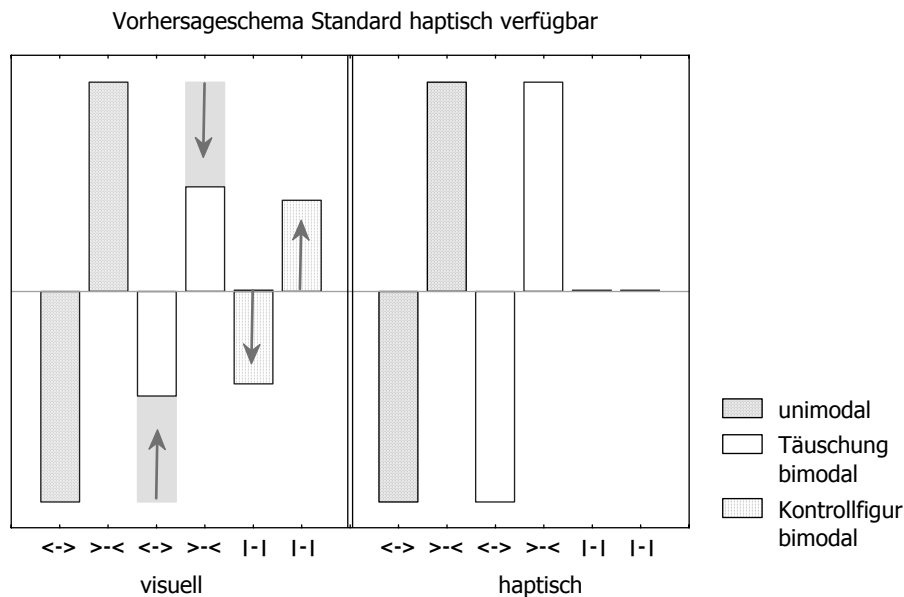


Abbildung 11b: Vorhersagen für Experiment 4b, Standard haptisch verfügbar (unten). Für die bimodalen Figurkombinationen ist auf der x-Achse nur die jeweils relevante Figur dargestellt. Die Pfeile geben die Richtung der erwarteten Abweichungen der Längsurteile in Abhängigkeit von der parallel bearbeiteten, irrelevanten Figur an.

Bei Verschiebung der Aufmerksamkeit in die visuelle Modalität durch Verwendung eines visuellen Standards ist ein deutlicher Einfluß der visuell aufgenommenen Information auf die haptischen Urteile zu erwarten, wohingegen sich haptische Informationen nicht auf die visuelle Modalität auswirken sollten (Abbildung 11a). Unter Verwendung eines haptischen Standards ist umgekehrt für die haptische Modalität mit einer Abnahme des visuellen Einflusses bis zum Ausbleiben desselben zu rechnen. Gleichzeitig sollte sich in der visuellen Modalität ein deutlicher Einfluß der haptisch aufgenommenen Information bemerkbar machen (Abbildung 11b).

## 5.6.1 Methode

### 5.6.1.1 Teilnehmer

Es nahmen 48 Studenten der Universität Hamburg und der Universität der Bundeswehr Hamburg entsprechend den Kriterien der vorangegangenen Experimente an Experiment 4 teil.

### 5.6.1.2 Apparate und Materialien, Design und Durchführung

Experiment 4 entsprach Experiment 3 in allen Punkten mit der Ausnahme, daß die Standardlänge in einer Gruppe (24 Pbn) während des gesamten Experiments nur visuell (Experiment 4a) zugänglich war und in einer zweiten (24 Pbn) nur haptisch (Experiment 4b) zur Verfügung stand (Between-Faktor Standardmodalität).

## 5.6.2 Ergebnisse

Die Täuschungseffekte sind für die Probanden mit visueller Standardmodalität in Abbildung 12 und Tabelle 5, für die haptische Standardmodalität in Abbildung 13 und Tabelle 6 abgetragen. Zunächst wurde analog zu den vorangegangenen Experimenten eine Varianzanalyse über die Längenuurteile der Müller-Lyer-Figuren und eine über die Längenuurteile der bimodalen Kontrollfigur getrennt nach visueller und haptischer Standardmodalität gerechnet. In zwei weiteren Varianzanalysen wurden die verschiedenen Längenuurteile in Abhängigkeit von der Modalität des Standards verglichen.

### 5.6.2.1 Standardmodalität visuell

In der Gruppe mit ausschließlich visuellem Standard (Experiment 4a) zeigten sich in der Varianzanalyse zu den Faktoren Modalität (visuell, haptisch), Darbietung (unimodal, bimodal) und Figur ( $\leftarrow\rightarrow$ ,  $\rightarrow\leftarrow$ ) über die Fehlerwerte der Längenuurteile ein Haupteffekt der Modalität ( $F(1, 215) = 20,16$ ;  $p < 0,01$ ) und der Figur ( $F(1, 215) = 864,78$ ;  $p < 0,01$ ). Die Längenuurteile zum Doppelpfeil lagen unter denen zum inversen Doppelpfeil (vgl. Abbildung 14, linker und mittlerer Graph in jeder Urteilsmodalität). Es gab keinen signifikanten Haupteffekt des Faktors Darbietung ( $p > 0,2$ ). Es zeigte sich eine signifikante Wechselwirkung der Faktoren Modalität und Figur ( $F(1, 215) = 7,81$ ;  $p < 0,01$ ). Wie in Experiment 3 war hier der Unterschied zwischen den Längenuurteilen der Müller-Lyer-Figuren in der haptischen Modalität größer als in der visuellen. Eine weitere Wechselwirkung ergab sich für die Faktoren Darbietung und Figur ( $F(1, 215) = 1110,53$ ;  $p < 0,01$ ). Die Unterschiede zwischen den Längenschätzungen von Doppelpfeil zu inversem Doppelpfeil waren in der unimodalen Darbietung höher

als in der bimodalen Darbietung in Kombination mit der irrelevanten Kontrollfigur. Die geplanten Kontraste zeigten, daß dies für die visuell ( $F(1, 215) = 18,59$ ;  $p < 0,01$ ) abgegebenen Urteile ebenso zutrifft wie für die haptischen ( $F(1, 215) = 37,06$ ;  $p < 0,01$ ). Es gab keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Faktoren Modalität und Darbietung ( $p > 0,3$ ). Die signifikante dreifache Wechselwirkung von Modalität, Darbietung und Figur ( $F(1, 215) = 6,43$ ;  $p < 0,02$ ) kann auf die stärkere Differenz der Urteile von unimodaler zu bimodaler Darbietung in der haptischen Modalität im Vergleich zu den visuellen Urteilen zurückgeführt werden.

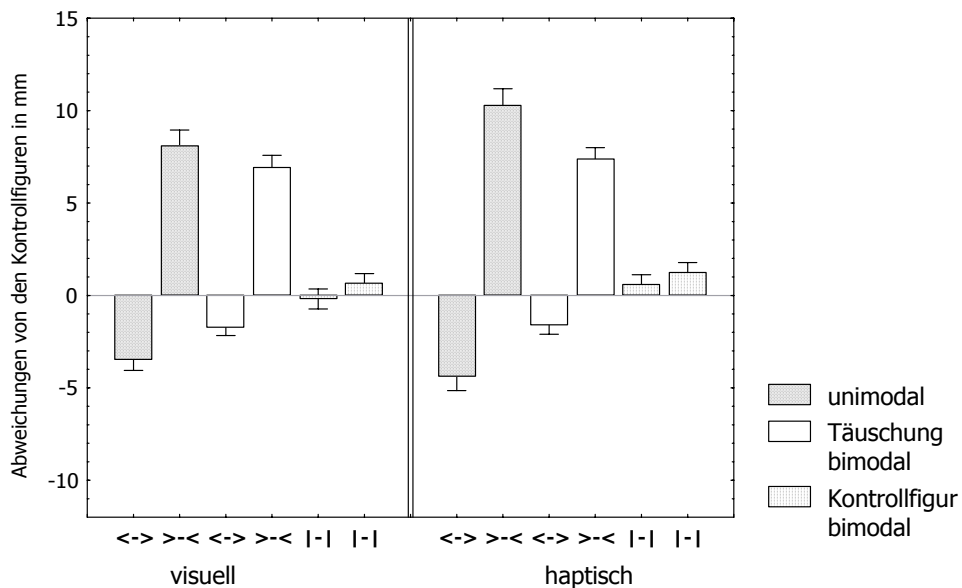


Abbildung 12: Mittlere Abweichungen der Längenurteile von den Kontrollfigururteilen  $\pm 1$  Standardfehler als Funktion der Antwortmodalität, der Darbietungsart und des täuschungsinduzierenden Kontextes für Experiment 4a (Standardmodalität visuell). Den dargestellten Standardfehlern liegen normalisierte Daten zugrunde. Für die bimodalen Kombinationen ist auf der x-Achse nur die urteilsrelevante Figur angegeben.

Die Varianzanalyse über die Fehlerwerte der bimodalen Urteile der Kontrollfigur auf den Faktoren Modalität (visuell, haptisch) und irrelevante Figur (<->, >-<) ergab einen Haupteffekt der Modalität ( $F(1, 215) = 8,26$ ;  $p < 0,01$ ) und einen Haupteffekt der irrelevanten Müller-Lyer-Figuren. ( $F(1, 215) = 6,45$ ;  $p < 0,02$ ). Die Kontrollurteile waren in Kombination mit dem irrelevanten Doppelpfeil aus der jeweils anderen Modalität kleiner als in Kombination mit dem irrelevanten inver-

sen Doppelpfeil. Allerdings zeigten die geplanten Kontraste, daß dieser Effekt bezogen auf die einzelnen Modalitäten visuell nur als Trend ( $F(1, 215) = 4,75$ ;  $p = 0,03$ ) und haptisch ( $F(1, 215) = 1,73$ ;  $p = 0,19$ ) nicht zustande kam. Die Zweifachinteraktion der beiden Faktoren wurde nicht signifikant ( $p > 0,6$ ).

Tabelle 5: Abweichungen der Längenurteile der Müller-Lyer-Figuren von den Schätzungen der Kontrollfiguren in Prozent gerundet auf die erste Stelle hinter dem Komma. Der direkte Unterschied zwischen den beiden Müller-Lyer-Figuren findet sich in der Spalte gesamt. Negative Werte bezeichnen Abweichungen entgegen den für diese Figur bzw. Kombination zu erwartenden. Für die Kontrollfigururteile unter bimodaler Bearbeitung entspricht die Höhe der Gesamtverzerrung der Höhe des Einflusses der irrelevanten Modalität.

Modalität	Darbietungsart und Figurkombination								
	unimodal			bimodal					
	<->	>-<	gesamt	<-> _	>-< _	gesamt	_ <->	_ >-<	gesamt
visuell	5,8	13,5	19,3	2,9	11,6	14,5	0,3	1,1	1,5
haptisch	7,3	17,1	24,5	2,6	12,3	14,9	-1,0	2,0	1,0

### 5.6.2.2 Standardmodalität haptisch

In der Gruppe mit haptischem Standardmaß (Experiment 4b) zeigte sich in der Varianzanalyse zum Täuschungseffekt mit vollständiger Meßwiederholung auf den Faktoren Modalität (visuell, haptisch), Darbietung (unimodal, bimodal) und Figur (<->, >-<) ein Haupteffekt der Modalität ( $F(1, 215) = 40,85$ ;  $p < 0,01$ ), der Darbietung ( $F(1, 215) = 26,49$ ;  $p < 0,01$ ) und der Figur ( $F(1, 215) = 783,11$ ;  $p < 0,01$ ). Die visuellen Reizvorlagen wurden kleiner eingeschätzt als die haptischen. Weiterhin lagen die Längenurteile für die unimodale Darbietung unter denen der bimodalen Darbietung. Wie in den vorangegangenen Experimenten wurden dem Doppelpfeil kürzere Längen zugeordnet als dem inversen Doppelpfeil. Daneben wurden auch die Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Modalität und Darbietung ( $F(1, 215) = 19,91$ ;  $p < 0,01$ ) sowie die Wechselwirkung zwischen den Faktoren Modalität und Figur ( $F(1, 215) = 37,96$ ;  $p < 0,01$ ) signifikant. Hier war der Unterschied zwischen den Längenurteilen von Doppelpfeil und inversem Doppelpfeil haptisch größer als visuell. Signifikant wurde auch der Unterschied zwischen den Urteilen der unimodalen Darbietung und denen der bimodalen Darbietung in Wechselwirkung mit der Figur ( $F(1, 215) = 57,83$ ;  $p < 0,01$ ). Die geplanten Kontraste ergaben, daß der Täuschungseffekt in

beiden Modalitäten bimodal kleiner als unimodal war (visuell:  $F(1, 215) = 18,55$ ;  $p < 0,01$ , haptisch:  $F(1, 215) = 39,20$ ;  $p < 0,01$ ). Auch die Interaktion von Modalität, Darbietung und Figur wurde signifikant ( $F(1, 215) = 4,63$ ;  $p < 0,04$ ). Die Unterschiede zwischen den Längenurteilen der Figuren veränderten sich von unimodaler zu bimodaler Bearbeitung haptisch stärker als visuell.

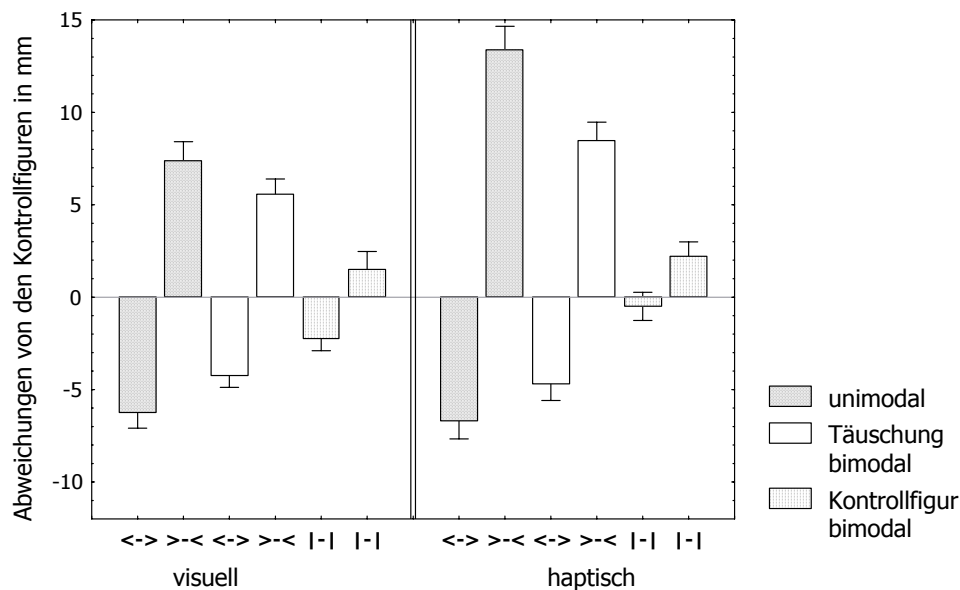


Abbildung 13: Mittlere Abweichungen der Längenurteile von den Kontrollfigururteilen  $\pm 1$  Standardfehler als Funktion der Antwortmodalität, der Darbietungsart und des täuschungsinduzierenden Kontextes für Experiment 4b (Standardmodalität haptisch). Den dargestellten Standardfehlern liegen normalisierte Daten zugrunde. Für die bimodalen Kombinationen ist auf der x-Achse nur die urteilsrelevante Figur angegeben.

Die Analyse, in die nur die Daten der bimodalen Kontrollfigur in Kombination mit den irrelevanten Müller-Lyer-Figuren eingingen, erbrachte einen Haupteffekt der Modalität ( $F(1, 215) = 5,66$ ;  $p < 0,02$ ) und einen Haupteffekt der Figur ( $F(1, 215) = 35,88$ ;  $p < 0,01$ ). Auch hier wurde die Kontrollfigur in Kombination mit dem Doppelpfeil in der nicht abgefragten Modalität kleiner eingeschätzt als in Kombination mit dem (irrelevanten) inversen Doppelpfeil. Diese Unterschiede in den Längenurteilen erwiesen sich anhand der geplanten Kontraste sowohl visuell ( $F(1, 215) = 23,86$ ;  $p < 0,01$ ) als auch haptisch ( $F(1, 215) = 13,92$ ;  $p < 0,01$ ) als statistisch bedeutsam. Wie in Experiment 4a wurde die Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren Modalität und Figur wurde nicht signifikant ( $p > 0,3$ ).

Tabelle 6: Abweichungen der Längenurteile der Müller-Lyer-Figuren von den Schätzungen der Kontrollfiguren in Prozent gerundet auf die erste Stelle hinter dem Komma. Der direkte Unterschied zwischen den beiden Müller-Lyer-Figuren findet sich in der Spalte gesamt. Negative Werte bezeichnen Abweichungen entgegen den für diese Figur bzw. Kombination zu erwartenden. Für die Kontrollfigururteile unter bimodaler Bearbeitung entspricht die Höhe der Gesamtverzerrung der Höhe des Einflusses der irrelevanten Modalität.

Modalität	Darbietungsart und Figurkombination								
	unimodal			bimodal					
	<->	>-<	gesamt	<-> _	>-< _	gesamt	- <->	- >-<	gesamt
visuell	10,4	12,3	22,7	7,1	9,3	16,3	3,7	2,5	6,2
haptisch	11,2	22,3	33,5	7,9	14,1	22,0	0,8	3,6	4,5

### 5.6.2.3 Vergleiche zwischen den Standardmodalitäten

Im folgenden soll nur auf die bezüglich der beiden Standardmodalitäten relevanten Ergebnisse der Varianzanalysen näher eingegangen werden. Ein vollständiger Überblick aller Effekte befindet sich in tabellarischer Form im Anhang.

In der Varianzanalyse, in die die Faktoren Standard (visuell, haptisch), Modalität (visuell, haptisch), Darbietung (unimodal, bimodal) und Figur (<->, >-<) einfließen, ergab sich ein signifikanter Haupteffekt der Modalität des Standards ( $F(1, 430) = 4,03$ ;  $p < 0,05$ ). Unter Verwendung des visuellen Standards lagen die abgegebenen Längenurteile unter denen im Vergleich zu einem haptischen Standard. Weiter wurden die Wechselwirkungen zwischen Standard und Modalität ( $F(1, 430) = 60,92$ ;  $p < 0,01$ ), Standard und Darbietung ( $F(1, 430) = 10,54$ ;  $p < 0,01$ ) und Standard und Figur ( $F(1, 430) = 25,88$ ;  $p < 0,01$ ) signifikant. Die Unterschiede in den Längenurteilen für den Doppelpfeil im Vergleich zum inversen Doppelpfeil waren für Vergleiche zu einem haptischen Standard größer als im Fall eines visuellen Standarditems. Bei den signifikanten Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Standard, Modalität und Darbietung ( $F(1, 430) = 10,58$ ;  $p < 0,01$ ) und zwischen den Faktoren Standard, Modalität und Figur ( $F(1, 430) = 10,58$ ;  $p < 0,01$ ) soll auf die letztere etwas genauer eingegangen werden. Post hoc berechnete Kontraste zeigten hier, daß kein Unterschied zwischen den visuellen Einschätzungen der beiden Müller-Lyer-Figuren in Abhängigkeit von der Modalität des Standards bestand ( $F(1, 430) = 4,53$ ;  $p < 0,03$ ). Dagegen war der Unterschied zwischen den Längenangaben für Doppelpfeil und inversen



Doppelpfeil in der haptischen Modalität unter Verwendung eines haptischen Standards signifikant größer als unter Verwendung eines visuellen Standards ( $F(1, 430) = 31,50; p < 0,01$ ).

Eine Varianzanalyse über die Faktoren Standard (visuell, haptisch), Modalität (visuell, haptisch) und irrelevante Figur (<->, >-<), in die die Fehlerwerte der Kontrollfigururteile eingingen, erbrachte Haupteffekte des Standards ( $F(1, 430) = 18,05; p < 0,01$ ) und der Figur ( $F(1, 430) = 41,93; p < 0,01$ ). Entsprechend der Varianzanalyse über die Täuschungsfiguren (unimodal und bimodal) lagen auch hier die Längenurteile zu einem visuellen Standard unter denen zu einem haptischen Standard. Kombiniert mit einem Doppelpfeil wurden der Kontrollfigur kürzere Längen zugewiesen als bei paralleler Bearbeitung eines irrelevanten inversen Doppelpfeils. Weiterhin wurden die Wechselwirkungen zwischen Standard und Modalität ( $F(1, 430) = 12,61; p < 0,01$ ) und zwischen Standard und Figur ( $F(1, 430) = 16,42; p < 0,01$ ) signifikant. In Kombination mit visuellem Standard ergaben sich bedeutend geringere Unterschiede zwischen den Kontrollfigururteilen in Abhängigkeit zur irrelevanten Figur als unter Verwendung des haptischen Standards. Post hoc gerechnete Kontraste zeigten, daß dies sowohl für die visuellen Längenurteile ( $F(1, 430) = 10,96; p < 0,01$ ) als auch etwas geringer für die haptischen Längenurteile ( $F(1, 430) = 5,97; p < 0,02$ ) zutraf. In keiner weiteren Faktorkombination erreichten die Effekte Signifikanz.

### **5.6.3 Diskussion**

Für die unimodale Beurteilung der Müller-Lyer-Figuren zeigt sich unabhängig von der Modalität des Standards sowohl in der visuellen als auch in der haptischen Wahrnehmung die zu erwartende Verzerrung der Längenurteile. Dabei fällt der Täuschungseffekt für die haptische Exploration bei visuellem Standard kleiner aus als bei Urteilen zu einem haptischen Standard. Post-hoc-Einzelvergleiche unter Hinzunahme der Ergebnisse aus Experiment 3 (gleiche Stimuli mit bimodal verfügbaren Standards) zeigen, daß die Höhe der Verzerrung unter Verwendung des haptischen Standards der in Experiment 3 entspricht. Für die Höhe der visuell unimodalen Täuschung zeigt sich ein ähnlicher Trend im Vergleich zwischen visuellem, haptischen und bimodalem Standard.

Diese Unterschiede bleiben jedoch unter dem korrigierten Signifikanzniveau. Unabhängig von der Modalität der Teststimuli werden die Urteile zu einem visuellen Standard eher weniger durch die Müller-Lyer-Figuren verzerrt.

Für die bimodale Bearbeitung zeigt sich für den visuellen Standard ein schwächerer Täuschungseffekt im Vergleich zur unimodalen Exploration in beiden Modalitäten. Dies spricht auch hier für einen Einfluß der irrelevanten Kontrollfigur auf die Beurteilung der Müller-Lyer-Figuren. Es finden sich allerdings weder für visuelle noch für haptische Urteile signifikante Einflüsse auf die Längurteile der Kontrollfigur in Kombination mit einer der beiden Müller-Lyer-Figuren in der irrelevanten Modalität. Dagegen ergaben sich für die bimodalen Vergleiche zu einem haptischen Standard sowohl visuell als auch haptisch in beiden bimodalen Bedingungen starke Einflüsse der irrelevanten Information auf die Längurteile. Dies zeigt sich insbesondere in den Längurteilen der Kontrollfigur in Abhängigkeit der irrelevanten Müller-Lyer-Figuren.

Die ursprüngliche Erwartung ging von einer Abnahme des Einflusses bei bimodaler Bearbeitung aufgrund einer durch die Modalität des Standards beeinflussten Aufmerksamkeitsverschiebung für intramodale Urteile und von einem asymmetrisch starken Einfluß der irrelevanten Information auf die intermodalen Urteile aus. Es stellte sich stattdessen heraus, daß der Effekt der irrelevanten Modalität unter Verwendung des haptischen Standards unabhängig von der Modalität der Teststimuli höher war als unter Verwendung des visuellen Standards.

Eine Verankerung der Aufmerksamkeit über die Modalität eines Standardmaßes führte also nicht zu einer grundsätzlichen Verschiebung der Gewichtung in diese Modalität. Möglicherweise wurden stattdessen je nach Standardmodalität unterschiedliche Vergleichsprozesse angesprochen. Bushnell (1994) unterscheidet für die intermodale Wahrnehmung zwischen (a) einem „Matching by Analysis“ und (b) einem „Matching by Recognition“. Während beim Matching by Analysis Einzelvergleiche von Werten in der jeweiligen Dimension (Länge, Form, Textur usw.) auf einer den Modalitäten gemeinsamen Skala durchgeführt werden, erfolgt das Matching by Recognition über Vergleiche mit einer gemeinsamen Gedächtnisbasis. Bushnell geht davon aus, daß diese Gedächtnisver-

gleiche schnell und automatisch erfolgen, jedoch nur für bekannte Objekte durchführbar sind. Unter Annahme einer amodalen Repräsentation ist dagegen das Matching by Analysis auch für unbekannte Objekte möglich. Der Einsatz dieser Prozesse erfolgt in Abhängigkeit von Präferenz, Aufgabenparametern, Verarbeitungskapazität und der unterschiedlichen Salienz von Objekteigenschaften in verschiedenen Modalitäten. Die unterschiedlichen Ergebnisse in Experiment 4a/b könnten auf diesen unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen beruhen: (a) Vergleiche zu einem visuellen Standard sind durch häufige Anwendung im Alltag geübt und laufen spontan ab. Gegebenenfalls wird statt einer jeweiligen Überprüfung am vorliegenden Standard dieser einmalig in Bezug zu bekannten Längen gesetzt und danach der schnellere Abgleich über die Gedächtnisbasis genutzt. Daher kommt es kaum zu einer Interaktion der Modalitäten und verursacht daher insgesamt weniger Einfluß. (b) Vergleiche zu einem haptischen Standard führen aufgrund fehlender Übung eher zu einem echten Vergleich des Standards mit der aktuellen Figur. Dieses Matching by Analysis wird sowohl haptisch-haptisch (über beide Hände integriert) als auch haptisch-visuell intermodal durchgeführt und begünstigt damit eine gegenseitige Beeinflussung der Modalitäten. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Ergebnisse aus Experiment 3. Obwohl in den bimodalen Vergleichen durchgängig ein visueller Standard zur Verfügung stand, liegen die Ergebnisse bezüglich des gegenseitigen Einflusses eher zwischen Experiment 4a und 4b. Dies legt nahe, daß hier nicht nur ein Rückgriff auf den visuellen Standard vorliegt, sondern auch der haptische mitverarbeitet wird.

## **5.7 Gesamtdiskussion**

Aus den gezeigten Experimenten läßt sich ableiten, daß auch unter Verwendung eindeutig inkongruenter Stimuli eine Integration von Informationen aus visueller und haptischer Modalität stattfindet, wenn die Informationen auf dieselbe Objektdimension konvergieren. Dies spricht gegen die wahrgenommene Objekteinheit nach Welch und Warren (1980, 1986; Welch, 1999) als kausalem Faktor für die multimodale Integration. Die Grundlage der multimodalen

Integration bildet vielmehr eine zeitliche und/oder räumliche Heuristik (Bushnell, 1994; Paillard, 1999), wobei hier der ungefähr gleiche Zeitpunkt der Verarbeitung sowie ein annähernd gleicher Ort ausreichen, damit eine Integration nicht komplett zu unterdrücken ist. So kann es bei parallelem Zugriff zu einer gegenseitigen Beeinflussung kommen.

Im weiteren zeigen die Experimente 1 - 4, daß durch die Art der Stimuli und der Informationswiedergabe bestimmte Arten visueller und haptischer Exploration begünstigt werden. Dies wirkt sich im weiteren auf die Menge und Qualität der aufgenommenen Informationen aus. Mit der Menge und Qualität der Gesamtinformationen innerhalb einer Modalität und der Salienz einer Modalität variiert dann die Stärke des intermodalen Einflusses und die Gewichtung einer Modalität in der amodalen Repräsentation.

In Experiment 1 zeigt sich deutlich die Bedeutung der konzeptgesteuerten Verarbeitung für die haptische Objekterkennung (Klatzky & Lederman, 1993). Hier bestimmte jedoch nicht die Erwartung über die gesuchte Eigenschaft die Auswahl der geeignetsten Explorationsprozedur. Trotz freier Wahl der haptischen Explorationsprozeduren wurde mit dem Abfahren der Objekte mittels Zeigefinger (Konturfolgen) eine zur Größenschätzung eher suboptimale Explorationsprozedur durch die Mehrzahl der Probanden gewählt. Es ist anzunehmen, daß dies eine Folge der auszuführenden Informationswiedergabe (Herstellen der subjektiv gleichen Länge auf einer vorgegebenen Skala mittels Schieben) ist. Die Erwartungen über die Informationswiedergabe führten (bei freier Explorationsmöglichkeit und -dauer) zu einer Ep-Auswahl, die optimal an die Reaktion (Reproduktionsbewegung) angeglichen war und dominierte somit über einer Ep-Auswahl, die die gesuchte Eigenschaft (Länge) möglichst präzise ermittelt (z.B. Pinzettengriff). Die Beschränkung der Informationsqualität und Quantität durch diese Explorationsprozeduren hatte einen insgesamt geringen asymmetrischen Einfluß der visuellen auf die haptische Modalität zur Folge. Weiterhin zeigte sich in Experiment 1 die Bedeutung der zeitlichen Nähe für das Zustandekommen der multimodalen Integration. Die zeitlich unbegrenzte Explorationsphase ermöglichte eine vorgelagerte Einzelexploration der visuellen Information. In der Folge zeigte sich kein Einfluß der nachgeschalteten hap-

tischen Information. Dagegen war die haptische Exploration mit einer (beabsichtigten) andauernden visuellen Exploration der Stimuli konfundiert. Diese zeitliche Überschneidung schlug sich im asymmetrischen Einfluß visueller Information auf die haptischen Wahrnehmungsurteile nieder (vgl. 5.3.3).

In Experiment 2 wurde eine stärker parallele Exploration in visueller und haptischer Modalität durch eine Verkürzung der Explorationsphase induziert. Dies wirkte sich insgesamt in einem stärkeren gegenseitigen Einfluß der Modalitäten aufeinander aus. Jedoch wurden die haptischen Urteile auch in Experiment 2 stärker durch die visuelle Information beeinflusst als umgekehrt. Eine Ursache für diese Asymmetrie des gegenseitigen Einflusses kann in den verwandten Halbreliéffiguren gesehen werden. Die eher der zweidimensionalen Darstellung zuzurechnenden Halbreliéstimuli förderten die Auswahl anderer haptischer Explorationsprozeduren als reale dreidimensionale Objekte (Lederman, Klatzky, Chataway & Summers, 1990). Dadurch wurden hier neben der Länge wenig zusätzliche Informationen zur haptischen Form der Stimuli extrahiert. Eine Basis der hier verwendeten Müller-Lyer-Täuschung liegt jedoch in einer Integration von Längeninformaton und der Objektform (Gesamtfigur). Die geringere haptische Formwahrnehmung durch die gewählte Explorationsart bewirkt eine schwächere Verzerrung der haptischen Längenwahrnehmung im Vergleich zur visuellen durch die gewählten Stimuli und bedingt damit auch weniger meßbaren Einfluß der haptischen Information auf die visuelle Wahrnehmung.

Anders als in den ersten beiden Experimenten wurden in Experiment 3 (und 4) dreidimensionale Varianten (Vollfiguren) der Müller-Lyer-Figuren eingesetzt. Gleichzeitig veränderte sich die allgemein durch die Probanden genutzte Explorationsroutine. Entsprechend der von Klatzky und Lederman (1993) beschriebenen Abfolge führte die Mehrzahl der Probanden nach einer kurzen Suchbewegung zunächst eine Umfassen- und Haltenroutine aus. Dabei umfaßten sie das gesamte Objekt mit der Hand. Im weiteren erfolgte eine Rotation der Figur innerhalb einer Hand mit nachfolgendem Pinzettengriff zur genaueren Abnahme der Längeninformaton. Sowohl das globale Umfassen als auch der Pinzettengriff erhöhten neben der Aufnahme der Längeninformaton auch die

Aufnahme zusätzlicher Forminformation. Damit einhergehend zeigte sich in Experiment 3 gegenüber Experiment 1 und 2 eine zunehmende Verzerrung der haptischen Längenuurteile in Abhängigkeit der explorierten Figur. Die Effekte der Müller-Lyer-Figuren auf die haptischen Wahrnehmungsurteile übertrafen sogar die der visuellen. Gleichzeitig verstärkte sich der Einfluß der haptischen Information auf die visuellen Längenuurteile, so daß in Experiment 3 mehr gegenseitige Integration zu verzeichnen war. Je mehr sich Qualität und Quantität der zur Verfügung stehenden Gesamtinformation über die verschiedenen Objekte in beiden Modalitäten angleichen, desto symmetrischer wurde die Höhe des intersensorischen Einflusses.

Ziel von Experiment 4 war die Untersuchung von Aufmerksamkeitseffekten auf die Höhe des intermodalen Einflusses. Dabei konnte jedoch eine unterschiedliche Gewichtung der Modalitäten im intersensorischen Einfluß in Folge einer Verankerung der Aufmerksamkeit in einer Modalität mittels einer Vergleichsbasis analog zu Heller (1982) nicht gefunden werden. Stattdessen zeigte sich unter Verwendung eines visuellen Standardobjektes (4a) unabhängig von der Explorations- bzw. Antwortmodalität wenig intermodaler Einfluß. Für den Einsatz eines haptischen Standards (4b) ergaben sich dagegen sowohl hohe visuelle als auch hohe haptische Einflüsse auf die Urteile in der jeweils anderen Modalität. Dieses Ergebnis weist weniger auf eine Verschiebung der Aufmerksamkeit durch Variation der Standardmodalität hin, als vielmehr auf unterschiedliche Prozesse beim Vergleich zwischen Testobjekt und Standard in Abhängigkeit von der Standardmodalität. Anzunehmen ist, daß Vergleiche zu einer visuellen Basis (z.B. anhand Lineal oder Maßband für Längenuurteile) häufiger durchgeführt werden als solche zu einer haptischen Basis. Nach Bushnell (1994) werden für häufig durchgeführte Vergleiche aktuelle Einzelvergleiche in einer Objekteigenschaft (Matching by Analysis) durch ein Matching by Recognition ersetzt. Bezogen auf die Daten in Experiment 4 würde dies für den visuell vorgegebenen Standard einen einmaligen Vergleich dieser Standardlänge mit einer bereits vorhandenen Gedächtnisbasis (z.B. Lineal oder Maßband) nahelegen. Die visuellen und haptischen Teststimuli würden dann in nachfolgenden Vergleichen zu dieser Gedächtnisbasis eingeschätzt. Die geringe Höhe des Ein-

flusses für beide Antwortmodalitäten in dieser Bedingung könnte dann auf eine fehlende Interaktion der Modalitäten zurückgeführt werden. Vergleiche zu einem haptischen Standard werden in der Regel selten gefordert. Somit wird für jeden Stimulus hier ein Einzelvergleich (Matching by Analysis) zum haptischen Standard durchgeführt.

Daneben zeigen sich in den vorliegenden Experimenten eindeutige Effekte der Müller-Lyer-Figuren auf die Längenwahrnehmung in visueller und haptischer Modalität. In der Literatur wird unter anderem eine visuell vermittelte Wahrnehmung der Müller-Lyer-Figuren mittels visueller Vorstellung als Ursache der haptischen Täuschungseffekte diskutiert (vgl. Gillam, 1998). Die typische Verzerrung der Längenuurteile in Abhängigkeit zur Figur bleibt in den vorliegenden Experimenten haptisch jedoch ebenso wie visuell unabhängig von zusätzlicher Information auch bei bimodaler Bearbeitung prinzipiell bestehen. Im Fall einer visuell mediierten haptischen Wahrnehmung der Müller-Lyer-Figuren sollte eine parallele Belastung des visuellen Systems durch die Verarbeitung ähnlicher Objektinformation (bimodale Exploration) zu einer einseitigen Reduktion der Täuschungseffekte in der haptischen Wahrnehmung führen. In Experiment 1 zeigt sich dagegen kein Abfall der Täuschungsstärke und in den nachfolgenden Experimenten ist die Abnahme der Täuschungseffekte bei bimodaler Bearbeitung visuell ebenso stark wie haptisch. Auch die Einflüsse haptisch explorierter Müller-Lyer-Figuren auf die visuellen Längenuurteile der Kontrollfigur bei bimodaler Bearbeitung sprechen gegen eine visuell mediierte haptische Müller-Lyer-Täuschung. Die vorliegenden Ergebnisse sprechen daher wie auch Ergebnisse aus Untersuchungen zur Längenwahrnehmung von Müller-Lyer-Figuren bei Blinden (z.B. Patterson & Deffenbacher, 1972) für die Annahme einer eigenständigen geometrisch-haptischen Müller-Lyer-Täuschung.

Aufgrund der gefundenen gegenseitigen Beeinflussung der Wahrnehmungsurteile in der visuellen und haptischen Modalität kann weiterhin eher eine amodale Repräsentation bestimmter Objekteigenschaften wie der hier verwendeten Länge als Basis für eine multimodale Integration angenommen werden. Eine zielabhängige Translation modalitätsspezifischer Informationen als Ursache der gefundenen multimodalen Integration scheint dagegen auf-

grund der stark diskrepanten Objekte und der geforderten intramodalen Urteile (Experiment 1 - 3) eher unwahrscheinlich.

Auch die Ergebnisse in Experiment 4 lassen sich mit einer amodalen Kodierung der Information aus den verschiedenen Sinnesmodalitäten in Einklang bringen. Unter Annahme einer gemeinsamen amodalen Repräsentation der Informationen der Objektlängen ist der hohe symmetrische Einfluß (unter Verwendung eines haptischen Standards) der visuellen und haptischen Modalität auf Wahrnehmungsurteile in der jeweils anderen zu erklären. Mit einer Translation der modalitätsspezifischen Information als Ursache für eine multimodale Integration ist dieser symmetrische Einfluß auf beide Antwortmodalitäten schwerer zu vereinbaren. Für ein Matching by Analysis (in der Variante des haptischen Standards) wäre nur für die visuelle Modalität ein Einfluß haptischer Information zu erwarten, da hier ein intermodaler Austausch für den Vergleich von visuellem Stimulus zu haptischem Standard notwendig ist. Vergleiche von einem haptischen Testitem zu dem haptischen Standard erfordern dagegen einen intramodalen Vergleich. Da keine Translation für diesen Vergleich erforderlich ist, wird auch ein Einfluß eines visuellen Stimulus auf die Einschätzung des haptischen Stimulus unwahrscheinlich.

Dies gilt allerdings nur, solange man eine zielgerichtete Translation als Grundlage der Integration voraussetzt. Besteht dagegen grundsätzlich ein direkter, nicht zielgerichteter Austausch modalitätsspezifischer Information mit einem kompletten Feedback in modalitätsspezifische Bereiche der Verarbeitung, kann daraus ebenfalls ohne eine wahrgenommene Objekteinheit eine gegenseitige Beeinflussung der Modalitäten für intramodale Vergleiche resultieren. Dies entspricht dem von Calvert, Brammer und Inversen (1998) vorgeschlagenen Bereich einer gemeinsamen Interaktion bei einer modalitätsspezifischen Repräsentation der daraus resultierenden Wahrnehmungskonsequenzen. Auf Grundlage der vorliegenden Verhaltensdaten ist eine solche quasi automatische Translation, in der sämtliche parallel verarbeiteten Informationen zur gleichen Objekteigenschaft multimodal integriert und dann in modalitätsspezifische Bereiche der Verarbeitung zurückgegeben und kodiert werden nicht von einer amodalen Repräsentation zu unterscheiden.



## 6 Schlußbemerkung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit einer Fragestellung aus dem Themenbereich der multimodalen Integration. Über verschiedene Sinnesmodalitäten werden parallel Reizinformationen aus der Umwelt aufgenommen. Dabei können sich diese gleichzeitig bearbeiteten Informationen auf die gleichen oder auf verschiedene Objekte bzw. Ereignisse beziehen. Hier stellt sich die Frage nach den Faktoren, die zu einer multimodalen Integration und daraus folgernd zu einer einheitlichen Gesamtwahrnehmung führen. Weiterhin ist hier von Interesse, ob den Sinnesmodalitäten für die Gesamtwahrnehmung prinzipiell die gleiche Bedeutung zukommt, das heißt die Informationen mit gleichen Gewichten in die Gesamtwahrnehmung eingehen, oder ob es systematische Verzerrungen zu Gunsten einer Sinnesmodalität gibt. Welch (1999; Welch & Warren, 1986) streichen in diesem Zusammenhang die wahrgenommene Objekteinheit als kausalen Faktor für eine multimodale Integration heraus. Dies legt nahe, daß für stark diskrepante Reizinformationen in verschiedenen Modalitäten, die einer Objekteinheit zuwider laufen, keine Integration erfolgt. Andere Autoren (Bushnell, 1994; Calvert, Brammer & Inversen, 1998; Paillard, 1999) vermuten in der räumlichen und/oder zeitlichen Nähe der Informationsverarbeitung in den beteiligten Modalitäten die Grundlage für eine multimodale Integration. Dies kann dann im weiteren zu einer wahrgenommenen Objekteinheit führen (z.B. Bauchredner-effekt). In diesem Fall sollte sich allerdings auch für diskrepante Reizinformationen Integration finden lassen, soweit eine zeitliche und/oder räumliche Nähe der Verarbeitung gegeben ist.

Konform mit den Untersuchungsergebnissen von Pavani, Spence und Driver (2000) sprechen die vorliegenden Daten insgesamt gegen die von Welch (1999) postulierte Bedeutung der wahrgenommenen Objekteinheit als Ursache für einen intersensorischen Einfluß bei bewußter Konfliktwahrnehmung. Je ähnlicher die Information, die durch die Modalitäten aufgenommen wird, ist und je höher die Anzahl der von beiden Modalitäten geteilter Eigenschaften ist, desto höher und symmetrischer ist der intersensorische Einfluß.

Entsprechende Effekte sollten sich neben der hier untersuchten Länge auch für andere über mehr als eine Sinnesmodalität aufnehmbare Eigenschaften zeigen.

Desweiteren erscheint eine Klärung der Ergebnisse aus Experiment 4 im Hinblick auf eine Nutzung unterschiedlicher Vergleichsprozesse (Matching by Analysis oder Matching by Recognition) als Ursache unterschiedlicher Effekte in der multimodalen Integration interessant. Denkbar wäre hier z.B. der Einsatz eines haptischen Trainings, um auch für die haptische Modalität eine Gedächtnisbasis analog der für visuelle Längennurteile zu schaffen.

Interessant ist eine automatische multimodale Integration getrennter Ereignisse bzw. Objekte auch in der Alltagsanwendung, z.B. im Bereich der rechnergestützten Informationsverarbeitung. Da durch die zur Zeit vorwiegend genutzte Art der Darstellung der Daten die visuelle Modalität bereits stark ausgelastet wird, wird hier verstärkt über den Einsatz haptischer und auditiver Modalität diskutiert. Liegt jedoch der Wahrnehmung eine amodale Repräsentation gemeinsamer Eigenschaften zugrunde, muß auch hier durch multimodale Integration eine gegenseitige Beeinflussung mit berücksichtigt werden.

## 7 Zusammenfassung

Reizinformationen aus verschiedenen Sinnesmodalitäten werden zu einer Gesamtwahrnehmung integriert. Die Bedingungen einer solchen multimodalen Integration werden häufig anhand von Material untersucht, das eine wahrgenommene Objekteinheit begünstigt. In einer Serie von vier Experimenten wird untersucht, ob eine multimodale Integration auch für stark diskrepante Reize, die der Wahrnehmung einer Objekteinheit entgegenwirken, nachgewiesen werden kann. In visueller und haptischer Modalität wurden gleichzeitig unterschiedliche Objekte in Halbreliëfdarstellung (Exp. 1 & 2) oder als dreidimensionale Figur (Exp. 3 & 4) bearbeitet. Es handelte sich um Stäbe (45, 60, 75 mm), begrenzt durch zwei Senkrechten (Kontrollfigur) oder durch ein- oder auswärtsgerichtete Winkel (Müller-Lyer-Täuschung). Gefordert war ein Längenurteil über den zentralen Stab. Je nach Figurenkombination führten Wechselwirkungen zwischen den Modalitäten zu einer Abschwächung der Täuschung oder Verzerrung der Kontrollfigureinschätzung in Richtung der Täuschung. Die Dominanz einer Modalität variierte zwischen den Experimenten in Abhängigkeit von Antwortmodus, Stimulusbeschaffenheit und Modalität der Standardvergleichslänge. Es konnte somit nur durch die zeitliche Synchronisation der Bearbeitung bei gleicher Aufgabenstellung unabhängig von einer wahrgenommenen Objekteinheit eine Integration der Information gezeigt werden.



## 8 Literaturverzeichnis

- Abrams, R. A. & Landgraf, J. Z. (1990). Differential use of distance and location information for spatial localization. *Perception & Psychophysics*, 47 (4), 349-359.
- Abravanel, E. (1981). Integrating the information from eyes and hands: a developmental account. In R. D. Walk & H. L. Pick (Hrsg.), *Intersensory Perception and Sensory Integration*. (S. 71-108). New York: Plenum.
- Abravanel, E. (1971). The synthesis of length within and between perceptual systems. *Perception & Psychophysics*, 9 (4), 327-328.
- Aglioti, S., DeSouza, J. F. X. & Goodale, M. A. (1995). Size-contrast illusions deceive the eye but not the hand. *Current Biology*, 5 (6), 679-685.
- Appelle, S. (1991). Haptic perception of form: activity and stimulus attributes. In M. A. Heller & William Schiff (Hrsg.), *The psychology of touch*. (S.169-188). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Banati, R. B., Goerres, G. W., Tjoa, C., Aggleton, J. .P. & Grasby, P. (2000). The functional anatomy of visual-tactile integration in man: a study using positron emission tomography. *Neuropsychologia*, 38, 115-124.
- Bischoff, M., Sammer, G., Kirsch, P. & Vaitl, D. (2002). Intermodale Verarbeitung visuell-taktiler Wahrnehmung untersucht mittels fMRT. In H. H. Bülhoff, K. R. Gegenfurtner, H. A. Mallot & R. Ulrich (Hrsg.), *Beiträge zur 5. Tübinger Wahrnehmungskonferenz*. (S. 144). Kirchentellingsfurt: Knirsch Verlag.
- Bridgeman, B. (1999). Separate representations of visual space for perception and visually guided behavior. In G. Aschersleben, T. Bachmann & J. Müsseler (Hrsg.), *Cognitive contributions to the perception of spatial and temporal events*. (S. 3-13) Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Bridgeman, B. (1991). Separate visual representations for perception and for visually guided behavior. In S. R. Ellis (Hrsg.), *Pictorial communication in virtual and real environments*. (S. 316-327) London: Taylor & Francis.

- Bushnell, E. W. (1994). A dual processing approach to cross-modal matching: implications for development. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Hrsg.), *The development of intersensory perception*. (S. 19-38). Hillsdale: Erlbaum.
- Calvert, G. A., Brammer, M. J. & Inversen, S. D. (1998). Crossmodal identification. *Trends in Cognitive Sciences*, 2 (7), 247-253.
- Conolly, Kevin & Jones, B. (1970). A developmental study of afferent-reafferent integration. *British Journal of Psychology*, 61 (2), 259-266.
- Coren, S. & Girgus, J. S. (1978). *Seeing is deceiving: The psychology of visual illusions*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Daprati, E. & Gentilucci, M. (1997). Grasping an illusion. *Neuropsychologia*, 35 (12), 1577-1582.
- Degenaar, M. (1996). *Molyneux's problem. Three centuries of discussion on the perception of forms*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Diehl, J. M. & Arbinger, R. (1990). *Einführung in die Inferenzstatistik*. Eschborn: Dietmar Klotz.
- Diewert, G. L. & Stelmach, G. E. (1977). Intramodal and intermodal transfer of movement information. *Acta Psychologica*, 41, 119-128.
- Driver, J. & Spence, C. (2000). Multisensory perception: beyond modularity and convergence. *Current Biology*, 10 (20), R731-R735.
- Fishkin, S. M., Pishkin, V. & Stahl, M. L. (1975). Factors involved in visual capture. *Perceptual and Motor Skills*, 40, 427-434.
- Franz, V. H., Bühlhoff, H. H. & Fahle, M. (2002). Grasp effects of visual illusions: simply artifacts? In H. H. Bühlhoff, K. R. Gegenfurtner, H. A. Mallot & R. Ulrich (Hrsg.), *Beiträge zur 5. Tübinger Wahrnehmungskonferenz*. (S. 138). Kirchentellingsfurt: Knirsch Verlag.
- Franz, V., Bühlhoff, H. H., Fahle, M. & Gegenfurtner, K. R. (2001). Effects of visual illusions on grasping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27 (3), 1124-1144.
- Franz, V., Gegenfurtner, K. R., Bühlhoff, H. H. & Fahle, M. (2000). Grasping visual illusions: No evidence for a dissociation between perception and action. *Psychological Science*, 11 (1), 20-25.

- Freides, D. (1975). Information complexity and cross-modal functions. *British Journal of Psychology*, 66 (3), 283-287.
- Freides, D. (1974). Human information processing and sensory modality: cross-modal functions, information complexity, memory, and deficit. *Psychological Bulletin*, 81 (5), 284-310.
- Fry, C. L. (1975). Tactual illusions. *Perceptual and Motor Skills*, 40, 955-960.
- Garbin, C. P. (1988). Visual-haptic perceptual nonequivalence for shape information and its impact upon cross-modal performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 547-553.
- Gentilucci, M., Chieffi, S., Daprati, E., Saetti, M. C. & Toni, I. (1996). Visual illusion and action. *Neuropsychologia*, 34(5), 369-376.
- Gillam, B. (1998). Illusion at century's end. *Perception and Cognition at century's end*. (S. 95-136). New York: Academic Press.
- Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Goodale, M. A. & Milner, A.D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15 (1), 20-25.
- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S. & Carey D. P. (1991). A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, 349, 154-156.
- Goodnow, J. J. (1971). Eye and hand: differential memory and its effect on matching. *Neuropsychologia*, 9, 89-95.
- Grüsser, O. J. (1983). Multimodal structure of the extrapersonal space. In A. Hein & M. Jeanerd (Hrsg.), *Spatially oriented behavior*. (S. 327-352). New York: Springer.
- Guski, R. (1996). *Wahrnehmen: Ein Lehrbuch*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hadjikhani, N. & Roland, P. E. (1998). Cross-modal transfer of information between the tactile and the visual representations in the human brain: A positron emission tomographic study. *The Journal of Neuroscience*, 18 (3), 1072-1084.
- Haffenden, A. M. & Goodale, M. A. (1998). The effect of pictorial illusion on prehension and perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10 (1), 122-136.

- Haffenden, A. M., Schiff, W. & Goodale, M. A. (2001). The dissociation between perception and action in the Ebbinghaus illusion: No illusory effects of pictorial cues on grasp. *Current Biology*, 11 (3), 177-181.
- Haggard, P. (1999). The new dissociations: Implications for action. In G. Aschersleben, T. Bachmann & J. Müssele (Hrsg.), *Cognitive contributions to the perception of spatial and temporal events*. (S. 15-18) Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Hay, J. C., Pick, H. L. & Ikeda, K. (1965). Visual capture produced by prism spectacles. *Psychonomic Science*, 215-216.
- Heller, M. A. (1992). Haptic dominance in form perception: vision versus proprioception. *Perception*, 21, 655-660.
- Heller, M. A. (1983). Haptic dominance in form perception with blurred vision. *Perception*, 12, 607-613.
- Heller, M. A. (1982). Visual and tactual texture perception: Intersensory cooperation. *Perception and Psychophysics*, 31 (4), 339-344.
- Heller, M. A., Calcaterra, J. A., Green, S. L. & Brown, L. (1999). Intersensory conflict between vision and touch: The response modality dominates when precise, attention-riveting judgements are required. *Perception & Psychophysics*, 61 (7), 1384-1398.
- Hellmann, A. & Huber, J. W. (2002). Visuelle und haptische Wahrnehmung der Neigung von Flächen. In H. H. Bülhoff, K. R. Gegenfurtner, H. A. Mallot & R. Ulrich (Hrsg.), *Beiträge zur 5. Tübinger Wahrnehmungskonferenz*. (S. 135). Kirchentellingsfurt: Knirsch Verlag.
- Hershberger, W. A. & Misceo, G. F. (1996). Touch dominates haptic estimates of discordant visual-haptic size. *Perception-and-Psychophysics*, 58 (7), 1124-1132.
- Hohmuth, A., Phillips, W. D. & VanRomer, H. (1976). A discrepancy between two modes of haptic length perception. *Journal-of-Psychology*, 92 (1), 79-87.
- Hörster, W., Rivers, A., Schuster, B., Ettliger, G., Skreczek, W. & Hesse, W. (1989). The neural structures involved in cross-modal recognition and tactile discrimination performance: an investigation using 2-DG. *Behavioural Brain Research*, 33, 209-227.



- Jones, B. (1981). The developmental significance of cross-modal matching. In R. D. Walk & H. L. Pick (Hrsg.), *Intersensory Perception and Sensory Integration*. (S. 109-136). New York: Plenum.
- Jones, B. & Connolly, K. (1970). Memory effects in cross-modal matching. *British Journal of Psychology*, 61 (2), 267-270.
- Jones, B. & O'Neil, S. (1985). Combining vision and touch in texture perception. *Perception & Psychophysics*, 37 (1), 66-72.
- Jones, E. G. & Powell, T. P. S. (1970). An anatomical study of converging sensory pathways within the cerebral cortex of the monkey. *Brain*, 93, 793-820.
- Jordan, S. J. (1999). Induction and Impairment during event-control: A means of resolving the perception-action dissociation? In G. Aschersleben, T. Bachmann & J. Müsseler (Hrsg.), *Cognitive contributions to the perception of spatial and temporal events*. (S. 149-151) Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Kappers, A. M. L. (2002). Haptic and visual perception of space. In H. H. Bühlhoff, K. R. Gegenfurtner, H. A. Mallot & R. Ulrich (Hrsg.), *Beiträge zur 5. Tübinger Wahrnehmungskonferenz*. (S. 45). Kirchentellingsfurt: Knirsch Verlag.
- Kappers, A. M. L. (1999). Large systematic deviations in the haptic perception of parallelity. *Perception*, 28, 1001-1012.
- Kappers, A. M. L. & Koenderink, J. J. (1999). Haptic perception of spatial relations. *Perception*, 28, 781-795.
- Kiefer, M. (2002). Bewußtsein. In J. Müsseler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kinney, J. A. S. & Luria, S. M. (1970). Conflicting visual and tactual-kinesthetic stimulation. *Perception & Psychophysics*, 8 (3), 189-192.
- Klatzky, R. L. & Lederman, S. J. (2000). The haptic glance: A route to rapid object identification and manipulation. *Perception and Performance*, 165-196.
- Klatzky, R. L. & Lederman, S. J. (1993). Toward a computational model of constraint-driven exploration and haptic object identification. *Perception*, 22 (5), 597-621.

- Klatzky, R. L., Lederman, S. J. & Matula, D. E. (1993). Haptic Exploration in the presence of vision. *Journal of Experimental Psychology: Perception and Performance*, 19 (4), 726-743.
- Klatzky, R. L., Lederman, S. J., Pellegrino, J. W., Doherty, S. & McCloskey, B. P. (1990). Procedures for haptic object exploration vs. manipulation. In M. A. Goodale (Hrsg.), *Vision and action: The control of grasping. The Canadian Institute for Advanced Research series in artificial intelligence and robotics*. (S 110-127). Stamford: Ablex.
- Kolb, B. & Wishaw, I. O. (1993). *Neuropsychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Lechelt, E. C., Eliuk, J. & Tanne, G. (1976). Perception orientational asymmetries: A comparison of visual and haptic space. *Perception and Psychophysics*, 20, 463-469.
- Lederman, S. J. & Abbott, S. G. (1981). Texture perception: studies of intersensory organization using a discrepancy paradigm, and visual versus tactual psychophysics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7 (4), 902-915.
- Lederman, S. J. & Klatzky, R. L. (1990). Haptic exploration and object representation. In M. A. Goodale (Hrsg.), *Vision and action: The control of grasping. The Canadian Institute for Advanced Research series in artificial intelligence and robotics*. (S 98-109). Stamford: Ablex.
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L. & Reed, C. L. (1993). Constraints on haptic integration of spatially shared object dimensions. *Perception*, 22 (6), 723-743.
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L., Chataway, C. & Summers, C. D. (1990). Visual mediation and the haptic recognition of two-dimensional pictures of common objects. *Perception & Psychophysics*, 47 (1), 54-64.
- Lederman, S. J., Thorne, G. & Jones B. (1986). Perception of texture by vision and touch: multidimensionality and intersensory integration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12 (2), 169-180.

- Lewkowicz, D. J. (1994). Development of intersensory perception in human infants. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Hrsg.), *The development of intersensory perception*. (S. 165-203). Hillsdale: Erlbaum.
- Lobb, R. (1970). Asymmetrical transfer fo form discrimination across sensory modalities in human adults. *Journal of Experimental Psychology*, 86 (3), 350-354.
- Loftus, G. R. & Masson, M. E. J. (1994). Using confidence intervals in within-subject design. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1 (4), 476-490.
- Loomis, J. M. & Lederman, S. J. (1986). Tactual perception. In K. R. Boff, L. Kaufman & T. P. James (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance*. (S. 1-41). New York: Wiley and Sons.
- Lucca, A., Dellantonio, A. & Riggio, L. (1986). Some observations on the Poggendorff and Mueller-Lyer tactual illusions. *Perception-and-Psychophysics*, 39 (5), 374-380.
- Marks, L. E. (1978). *The unity of the senses. Interactions among the modalities*. New York: Academic Press.
- Marteniuk, R. G. & Rodney, M. (1979). Modality and retention effects in intra- and cross. modal judgements of kinaesthetic and visual information. *British Journal of Psychology*, 70, 405-412.
- McDonnell, P. M. & Duffett, J. (1972). Vision and touch: A reconsideration of conflict between the two senses. *Canadian Journal of Psychology*, 26 (2), 171-180.
- McGurk, H. & Power, R. P. (1980). Intermodal coordination in young children: Vision and touch. *Developmental Psychology*, 16, 679-680.
- Milewski, A. E. & Iaccino, J. (1982). Strategies in cross-modality matching. *Perception & Psychophysics*, 31 (3), 273-275.
- Millar, S. (1994). *Understanding and representing space: Theory and evidence form studies with blind and sighted children*. New York: Oxford University Press.
- Millar, S. & Zainab, A.-A. (2002). The Mueller-Lyer illusion in touch and vision: Implications for multisensory processes. *Perception & Psychophysics*, 64 (3), S. 353-365.

- Miller, E. A. (1972). Interaction of vision and touch in conflict and nonconflict form perception tasks. *Journal of Experimental Psychology*, 96 (1), 114-123.
- Misceo, G. F., Hershberger, W. A. & Mancini, R. L. (1999). Haptic estimates of discordant visual-haptic size vary developmentally. *Perception & Psychophysics*, 61 (4), 608-614.
- Morgan, M. J. (1977). *Molyneux's Question, Vision, touch and the philosophy of perception*. New York: Cambridge University Press.
- Murray, E. A., Malkova, L. & Goulet, S. (1998). Cross-modal associations, intramodal associations, and object identification in macaque monkeys. In A. D. Milner (Hrsg.), *Comparative neuropsychology*. Oxford: Oxford University Press.
- Müsseler, J. (1999). How independent from action control is perception? An event-coding account for more equally-ranked crosstalks. In G. Aschersleben, T. Bachmann & J. Müsseler (Hrsg.), *Cognitive contributions to the perception of spatial and temporal events*. (S. 121-147) Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Müsseler, J. (2002). Visuelle Wahrnehmung. In J. Müsseler & W. Prinz (Hrsg.), *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Newell, K. M., Shapiro, D. C. & Carlton, M. J. (1979). Coordinating visual and kinaesthetic memory codes. *British Journal of Psychology*, 70, 87-96.
- Over, R. (1966). A comparison of haptic and visual judgements of some illusions. *American Journal of Psychology*, 79, 590-595.
- Paillard, J. (1999). Motor determinants of a unified world perception. In G. Aschersleben, T. Bachmann & J. Müsseler (Hrsg.), *Cognitive contributions to the perception of spatial and temporal events*. (S. 95-111) Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Palmer, E. S. (1978). Fundamental aspects of cognitive representation. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Hrsg.), *Cognition and categorization*. (S. 259-303). Hillsdale: Wiley and Sons.
- Patterson, J. & Deffenbacher, K. (1972). Haptic perception of the Mueller-Lyer illusion by the blind. *Perceptual-and-Motor-Skills*, 35 (3), 819-824.

- Pavani, F., Spence, C. & Driver, J. (2000). Visual capture of touch: out-of-body experiences with rubber gloves. *Psychological Science*, 11 (5), 353-359.
- Pick, H. L., Warren, D. H. & Hay, J. C. (1969). Sensory conflicts in judgements of spatial direction. *Perception & Psychophysics*, 6, 203-205.
- Posner, M. I. (1967). Characteristics of visual and kinesthetic memory codes. *Journal of Experimental Psychology*, 75, 103-107.
- Post, R. B & Welch, R. B. (1996). Is there dissociation of perceptual and motor responses to figural illusions? *Perception*, 25 (5), 569-581.
- Power, R. P. (1981). The dominance of touch by vision: occurs with familiar objects. *Perception*, 10, 29-33.
- Power, R. P. (1980). The dominance of touch by vision: sometimes incomplete. *Perception*, 9, 457-466.
- Power, R. P. & Graham, A. (1976). Dominance of touch by vision: generalization of the hypothesis to a tactually experienced population. *Perception*, 5, 161-166.
- Predebon, J. (1998). Decrement of the Brentano Müller-Lyer illusion as a function of inspection time. *Perception*, 27, 183-192.
- Pressey, A. & Martin, N. S. (1990). The effects of varying fins in Mueller-Lyer and Holding illusion. *Psychological Research*, 52 (1), 46-53.
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of cognitive Psychology*, 9 (2), 129-154.
- Proffitt, D. J., Bhalla, M., Gossweiler, R. & Midgett, J. (1995). Perceiving geographical slant. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2 (4), 409-428.
- Reed, C. L., Caselli, R. J. & Farah, M. J. (1996). Tactile agnosia: Underlying impairment and implications for normal tactile object recognition. *Brain*, 119, 875-888.
- Révész, G. (1934). System der optischen und haptischen Raumlösungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 131, 292-375.
- Rock, I. & Victor, J. (1964). Vision and touch: An experimentally created conflict between the two senses. *Science*, 143, 594-596.
- Rock, I., Mack, A., Adams, L. & Hill, A. L. (1965). Adaptation to contradictory information from vision and touch. *Psychological Science*, 3, 435-436.

- Rose, S. A. (1994). From hand to eye: findings and issues in infant cross-modal transfer. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Hrsg.), *The development of intersensory perception*. (S. 265-283). Hillsdale: Erlbaum.
- Rudel, R. G. & Teuber, H. L. (1963). Decrement of visual and haptic Müller-Lyer Illusion on repeated trials: A study of crossmodal transfer. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 125-131.
- Seizova-Cajic, T. (1998). Size perception by vision and kinesthesia. *Perception & Psychophysics*, 60 (4), 705-718.
- Streicher, M. & Ettliger, G. (1987). Cross-modal recognition of familiar and unfamiliar objects by the monkey: the effects of ablation of polysensory neocortex or of the amygdaloid complex. *Behavioural Brain Research*, 23, 95-107.
- Streri, A. & Molina, M. (1994). Constraints on intermodal transfer between touch and vision in infancy. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Hrsg.), *The development of intersensory perception*. (S. 285-307). Hillsdale: Erlbaum.
- Suzuki, K. & Arashida, R. (1992). Geometrical haptic illusions revisited: Haptic illusions compared with visual illusions. *Perception and Psychophysics*, 52, 329-335.
- Torgerson, W. A. (1958). *Theory and methods of scaling*. New York: Wiley & Sons.
- Turkewitz, G. (1994). Sources of order for intersensory functioning. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Hrsg.), *The development of intersensory perception*. (S. 3-17). Hillsdale: Erlbaum.
- Ungerleider, L. G. & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J.W. Mansfield (Hrsg.), *Analysis of visual behavior*. (S. 549-586). Cambridge: MIT Press.
- Vroomen, J. (1999). Ventriloquism and the nature of the unity decision. In G. Aschersleben, T. Bachmann und J. Müsseler (Hrsg.), *Cognitive contributions to the perception of spatial and temporal events*. (S. 389-393). Amsterdam: Elsevier Science B.V.

- Vromen, J. & de Geldern, B. (2000). Sounds enhances visual perception: Cross-modal effects of auditory organization of visual perception. *Journal of Experimental Psychology*, 26 (5), S. 1583-1590.
- Walk, R. D. & Pick, H. L. (1981). Introduction. In R. D. Walk & H. L. Pick (Hrsg.), *Intersensory Perception and Sensory Integration*. (S. 71-108). New York: Plenum.
- Walker-Andrew, A. (1994). Taxonomy for intermodal relations. In D. J. Lewkowicz & R. Lickliter (Hrsg.), *The development of intersensory perception*. (S. 39-55). Hillsdale: Erlbaum.
- Warren, D. H. (1980). Response factors in intermodality localization under conflict conditions. *Perception & Psychophysics*, 27 (1), 28-32.
- Warren, D. H. & Rossano, M. J. (1991). Intermodality relations: Vision and touch. In M. A. Heller & W. Schiff (Hrsg.), *The psychology of touch*. (S.119-137). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Welch, R. B. (1999). Meaning, attention, and the "unity assumption" in the intersensory bias of spatial and temporal perceptions. In G. Aschersleben, T. Bachmann & J. Müsseler (Hrsg.), *Cognitive contributions to the perception of spatial and temporal events*. (S. 371-387). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Welch, R. B. & Warren, D. H. (1986). Intersensory interactions. In K. R. Boff, L. Kaufman & T. P. James (Hrsg.), *Handbook of perception and human performance*. (S. 25/1-25/36). New York: Wiley and Sons.
- Welch, R. B. & Warren, D. H. (1980). Immediate perceptual response to intersensory discrepancy. *Psychological Bulletin*, 88 (3), 638-667.
- Wong, T. S. (1975). The respective role of limb and eye movements in the haptic and visual Muller-Lyer illusion. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 27, 659-666.
- Wraga, M., Creem, S. H. & Proffitt, D. R. (2000). Perception-action dissociation of a walkable Müller-Lyer Täuschung configuration. *Psychological Science*, 11 (3), 239-243.





## 9 Anhang

Der Anhang enthält die mittleren konstanten Abweichungen der Längenurteile von den meßbaren Längen sowie die zugehörigen Standardabweichungen der Experimente 1 bis 4a/b in tabellarischer Form. In einer weiteren Tabelle werden die prozentualen Abweichungen der Längenurteile zu den Müller-Lyer-Figuren von denen der Kontrollfiguren für alle Experimente zusammengefaßt dargestellt. Für Experiment 4 ist zusätzlich eine komplette Aufstellung der varianzanalytischen Effekte der über 4a und 4b zusammengefaßten Daten wiedergegeben.

Tabelle 7: Experiment 1, Halbreliedstimuli & Längenurteil durch Reproduktion: Mittlere konstante Fehler und Standardabweichungen der Längenurteile in Abhängigkeit von der Modalität, der Darbietung und der beurteilten Figur. Für die bimodalen Figurkombinationen ist die in der irrelevanten Modalität parallel bearbeitete Figur jeweils an zweiter Position tiefgestellt angegeben.

Modalität	Präsentationsart und Figurkombination							
	unimodal			bimodal				
	<->	-	>-<	-   <sub>  -  </sub>	<-> <sub>  -  </sub>	>-< <sub>  -  </sub>	-   <sub>&lt;-&gt;</sub>	-   <sub>&gt;-&lt;</sub>
visuell	-8,67	-3,78	4,31	-3,19	-6,93	6,21	-3,16	-2,94
SD vis	7,94	7,09	8,40	8,96	8,23	10,15	8,11	7,72
haptisch	-10,23	-5,61	-2,77	-3,23	-7,17	-0,75	-4,36	-1,78
SD hap	12,79	12,29	14,04	12,58	13,12	13,07	11,21	14,21

Tabelle 8: Experiment 2, Halbreliedstimuli & numerisches Längenurteil: Mittlere konstante Fehler und Standardabweichungen der Längenurteile in Abhängigkeit von der Modalität, der Darbietung und der beurteilten Figur. Für die bimodalen Figurkombinationen ist die in der irrelevanten Modalität parallel bearbeitete Figur jeweils an zweiter Position tiefgestellt angegeben.

Modalität	Präsentationsart und Figurkombination							
	unimodal			bimodal				
	<->	-	>-<	-   <sub>  -  </sub>	<-> <sub>  -  </sub>	>-< <sub>  -  </sub>	-   <sub>&lt;-&gt;</sub>	-   <sub>&gt;-&lt;</sub>
visuell	-10,90	-4,47	2,23	-5,82	-8,56	1,92	-6,14	-5,07
SD vis	6,95	7,27	8,53	7,16	7,22	7,70	7,72	7,46
haptisch	-11,34	-6,88	-1,64	-3,94	-6,81	0,49	-5,35	-2,51
SD hap	9,00	8,94	10,61	10,00	9,99	11,24	9,02	10,15

Tabelle 9: Experiment 3, Vollfiguren & Standard bimodal: Mittlere konstante Fehler und Standardabweichungen der Längenurteile in Abhängigkeit von der Modalität, der Darbietung und der beurteilten Figur. Für die bimodalen Figurkombinationen ist die in der irrelevanten Modalität parallel bearbeitete Figur jeweils an zweiter Position tiefgestellt angegeben.

Modalität	Präsentationsart und Figurkombination (Standard bimodal)							
	unimodal			bimodal				
	<->	-	>-<	-   <sub>  -  </sub>	<-> <sub>  -  </sub>	>-< <sub>  -  </sub>	-   <sub>&lt;-&gt;</sub>	-   <sub>&gt;-&lt;</sub>
visuell	-7,39	-3,05	5,56	-1,93	-5,99	4,67	-3,55	-0,93
SD vis	9,99	8,49	11,18	9,52	9,58	10,59	9,85	8,60
haptisch	-11,53	-4,77	7,53	-2,46	-6,95	7,32	-2,97	-0,68
SD hap	13,87	13,03	14,95	10,36	10,44	11,41	10,51	11,04

Tabelle 10: Experiment 4a: Vollfiguren & Standard visuell: Mittlere konstante Fehler und Standardabweichungen der Längenurteile in Abhängigkeit von der Modalität, der Darbietung und der beurteilten Figur. Für die bimodalen Figurkombinationen ist die in der irrelevanten Modalität parallel bearbeitete Figur jeweils an zweiter Position tiefgestellt angegeben.

Modalität	Präsentationsart und Figurkombination (Standard haptisch)							
	unimodal			bimodal				
	<->	-	>-<	-   <sub>  -  </sub>	<-> <sub>  -  </sub>	>-< <sub>  -  </sub>	-   <sub>&lt;-&gt;</sub>	-   <sub>&gt;-&lt;</sub>
visuell	-10,09	-3,82	3,55	0,48	-3,75	6,05	-1,73	2,00
SD vis	11,70	11,56	13,18	12,79	12,49	13,71	13,19	11,83
haptisch	-7,90	-1,21	12,18	0,78	-3,95	9,23	0,28	2,96
SD hap	14,44	13,91	14,43	13,37	14,29	13,73	12,93	13,85

Tabelle 11: Experiment 4b: Vollfiguren & Standard haptisch: Mittlere konstante Fehler und Standardabweichungen der Längenurteile in Abhängigkeit von der Modalität, der Darbietung und der beurteilten Figur. Für die bimodalen Figurkombinationen ist die in der irrelevanten Modalität parallel bearbeitete Figur jeweils an zweiter Position tiefgestellt angegeben.

Modalität	Präsentationsart und Figurkombination (Standard visuell)							
	unimodal			bimodal				
	<->	-	>-<	-   <sub>  -  </sub>	<-> <sub>  -  </sub>	>-< <sub>  -  </sub>	-   <sub>&lt;-&gt;</sub>	-   <sub>&gt;-&lt;</sub>
visuell	-6,03	-2,56	5,56	-2,73	-4,46	4,23	-2,92	-2,05
SD vis	7,75	7,43	9,43	8,64	8,73	9,70	8,95	8,17
haptisch	-9,75	-5,34	4,94	-4,54	-6,11	2,82	-3,93	-3,33
SD hap	12,00	12,06	12,05	10,20	9,75	10,76	9,64	10,28

Tabelle 12: Prozentuale Abweichungen der Längenurteile der Müller-Lyer-Figuren von den Längenurteilen der Kontrollfiguren gerundet auf die erste Stelle hinter dem Komma. Der direkte Unterschied zwischen den beiden Müller-Lyer-Figuren findet sich in der Spalte gesamt. Negative Werte bezeichnen eine Abweichung entgegen der für die Figur bzw. Kombination zu erwartenden.

Modalität Experiment		Präsentationsart und Figurkombination								
		unimodal			bimodal					
		<->	>-<	gesamt	<-> _	>-< _	gesamt	- <->	- >-<	gesamt
visuell	1: Herstellen	8,2	13,5	21,6	6,2	15,7	21,9	-0,1	0,4	0,3
	2: Halbrelied	10,7	11,2	21,9	4,6	12,9	17,5	0,5	1,3	1,8
	3: Vollfiguren	7,2	14,3	21,6	6,8	11,0	17,8	2,7	1,7	4,4
	4a: St visuell	5,8	13,5	19,3	2,9	11,6	14,5	0,3	1,1	1,5
	4b: St haptisch	10,4	12,3	22,7	7,1	9,3	16,3	3,7	2,5	6,2
haptisch	1: Herstellen	7,7	4,7	12,4	6,6	4,1	10,7	1,9	2,4	4,3
	2: Halbrelied	7,4	8,7	16,4	4,8	7,4	12,2	2,4	2,4	4,7
	3: Vollfiguren	11,3	20,5	31,8	7,5	16,3	23,8	0,8	3,0	3,8
	4a: St visuell	7,3	17,1	24,5	2,6	12,3	14,9	-1,0	2,0	1,0
	4b: St haptisch	11,2	22,3	33,5	7,9	14,1	22,0	0,8	3,6	4,5

Tabelle 13: Übersicht über alle Effekte der Varianzanalyse der zusammengefaßten Daten aus Experiment 4a/b über die Faktoren Standard (visuell, haptisch), Modalität (visuell, haptisch), Darbietung (unimodal, bimodal) und Figur (<->, >-<).

Effekt	F	p-Wert
Standard	F(1,430)= 4,03	p< 0,05
Modalität	F(1,430)= 5,55	p< 0,05
Darbietung	F(1,430)= 21,71	p< 0,05
Figur	F(1,430)= 1597,81	p< 0,05
Standard x Modalität	F(1,430)= 60,92	p< 0,05
Standard x Darbietung	F(1,430)= 10,54	p< 0,05
Standard x Figur	F(1,430)= 25,88	p< 0,05
Modalität x Darbietung	F(1,430)= 9,22	p< 0,05
Modalität x Figur	F(1,430)= 43,63	p< 0,05
Darbietung x Figur	F(1,430)= 109,70	p< 0,05
Standard x Modalität x Darbietung	F(1,430)= 17,88	p< 0,05
Standard x Modalität x Figur	F(1,430)= 10,58	p< 0,05
Standard x Darbietung x Figur	F(1,430)= 1,27	p= 0,26
Modalität x Darbietung x Figur	F(1,430)= 10,63	p< 0,05
Standard x Modalität x Darbietung x Figur	F(1,430)= 0,01	p= 0,90