

**THEORETISCHE UND EXPERIMENTELLE  
UNTERSUCHUNG ÜBER DEN ZUSAMMENHANG VON  
PERZEPTION UND HANDLUNG**



**Dissertation**

zur Erlangung des Doktorgrades  
der Philosophischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von  
René Gilster

Kiel  
(2008)

Erstgutachter: Prof. Dr. Roman Ferstl

Zweitgutachter: Prof. Dr. Johann P. Kutzt-Buschbeck

Tag der mündlichen Prüfung: 21.11.2008

Durch den Prodekan zum Druck genehmigt am: 24.11.2008

## **DANKSAGUNG**

Mein herzlicher Dank gilt allen, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Ganz besonders möchte ich mich für die Betreuung durch Herrn Prof. Dr. Roman Ferstl und durch Herrn Prof. Dr. Johann P. Kuhtz-Buschbeck bedanken. Herrn Kuhtz-Buschbeck bin ich zu ausdrücklichem Dank verpflichtet, da er mir in allen erdenklichen Bereichen tatkräftig und hilfreich zur Seite stand. Hierbei sind insbesondere die zahlreichen Diskussionen hervorzuheben, aus denen immer wieder neue Anregungen für diese Untersuchung resultierten.

Frau Ria Neumann möchte ich für ihren unermüdlichen Einsatz bei der Datenaufbereitung und Durchführung der Studie 5 danken.

Herrn Prof. Dr. Michael Illert möchte ich danken, dass er die Voraussetzungen für diese Arbeit überhaupt erst ermöglicht hat.

Bei Frau Heidrun Künzel und Lena Wensien möchte ich mich für ihre wertvollen Korrekturvorschläge ganz herzlich bedanken.

Lena Wensien möchte ich auch deshalb danken, weil sie mir vor allem in emotionaler und motivationaler Hinsicht eine unschätzbar große Hilfe war.

# INHALT

<b>EINFÜHRUNG</b>	<b>7</b>
<b>THEORETISCHER UND EMPIRISCHER HINTERGRUND</b>	<b>10</b>
<b>1 Zwei wahrnehmungspsychologische Konzeptionen</b>	<b>10</b>
1.1 Externalistische Sicht	11
1.2 Internalistische Sicht	16
1.3 Realität versus Illusion bei der Wahrnehmung?	19
<b>2 Motorik der Augen und der Hand</b>	<b>26</b>
2.1 Motorik der Augen	26
2.2 Reichen und Greifen	35
<b>3 Der Zusammenhang von Perzeption und Handlung</b>	<b>38</b>
3.1 Stufenmodelle	40
3.2 Theory of Event Coding (TEC)	41
3.3 Two Visual Systems Hypothesis (TVSH)	51
3.3.1 Klinische Befunde	57
3.3.2 Das Paradigma der visuellen Illusionen zur Überprüfung der TVSH	65
3.3.2.1 Ebbinghaus	70
3.3.2.2 Müller-Lyer	75
3.3.2.3 Ponzo Illusion	84
3.3.2.4 Andere Illusionen	88
3.3.2.5 Reviews	89
3.3.3 Bewertung und weiterführende Überlegungen	89
3.3.3.1 Fairness	90
3.3.3.2 Das Paradigma der visuellen Illusionen	103
3.3.3.3 Fazit über die TVSH	110
<b>4 Zusammenfassung</b>	<b>110</b>
<b>EXPERIMENTELLER TEIL</b>	<b>115</b>
<b>5 Fragestellung</b>	<b>115</b>
5.1 Inhaltliche Hypothesen	118
5.2 Übersicht über die Studien	120



# Inhaltsverzeichnis

<b>6</b>	<b>Studie 1: Die Müller-Lyer Illusion</b>	<b>121</b>
6.1	Experiment 1: Perzeptueller Längenabgleich	122
6.1.1	Methode	122
6.1.2	Ergebnisse	129
6.2	Experiment 2: Sakkaden	139
6.2.1	Methode	139
6.2.2	Ergebnisse	149
6.3	Ergebnisse für den Vergleich perzeptueller und motorischer Effekte	158
6.4	Diskussion	160
<b>7</b>	<b>Studie 2: Die Steg Illusion</b>	<b>164</b>
7.1	Experiment 1: Perzeptueller Längenabgleich	165
7.1.1	Methode	165
7.1.2	Ergebnisse	170
7.2	Experiment 2: Sakkaden	174
7.2.1	Methode	174
7.2.2	Ergebnisse	178
7.3	Ergebnisse für den Vergleich des perzeptuellen und des motorischen Effektes	183
7.4	Diskussion	184
<b>8</b>	<b>Studie 3: Die Ponzo Illusion</b>	<b>186</b>
8.1	Experiment 1: Perzeptueller Längenabgleich	188
8.1.1	Methode	188
8.1.2	Ergebnisse	191
8.2	Experiment 2: Sakkaden	193
8.2.1	Methode	193
8.2.2	Ergebnisse	196
8.3	Ergebnisse für den Vergleich des perzeptuellen und des motorischen Effektes	200
8.4	Diskussion	201
<b>9</b>	<b>Studie 4: Die Ponzo Illusion (Kontrolle)</b>	<b>204</b>
9.1	Experiment: Sakkaden	205
9.1.1	Methode	205
9.1.2	Ergebnisse	208
9.2	Diskussion	213
<b>10</b>	<b>Studie 5: Die Ponzo Illusion (Greifen)</b>	<b>214</b>
10.1	Experiment: Greifen	217
10.1.1	Methode	217
10.1.2	Ergebnisse	225
10.2	Diskussion	231

## Inhaltsverzeichnis

<b>11</b>	<b>Allgemeine Diskussion</b>	<b>235</b>
11.1	Zusammenfassung der Studien	238
11.2	Konsequenzen für die Betrachtung des ZPH	245
11.3	Einschränkungen der durchgeführten Studien	250
	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>253</b>
	<b>LITERATUR</b>	<b>254</b>
	<b>ABKÜRZUNGEN</b>	<b>272</b>
	<b>ANHANG</b>	<b>273</b>
A	Theoretischer und empirischer Hintergrund	273
B	Studie 1	274
C	Studie 2	279
D	Studie 3	284
E	Studie 4	285
F	Studie 5	286

# EINFÜHRUNG

Es gibt wahrscheinlich kaum etwas, das uns natürlicher und einfacher erscheint als die Welt um uns herum zu sehen und sich in ihr zu bewegen. Der Griff zum Kaffeebecher oder das Fangen eines Balles sind Selbstverständlichkeiten, über die wir uns im Allgemeinen keine besonderen Gedanken machen.

Die Frage danach, wie unsere Wahrnehmungen und Handlungen sowie der Zusammenhang zwischen diesen zu erklären ist, beruht auf einer langen Forschungstradition, die an die Frühzeit der akademischen Psychologie heranreicht und mit James (1890) und Wundt (1903) prominente Vertreter aufzuweisen hat. Zu den wichtigsten Erkenntnissen, die seither gewonnen wurden, gehören einerseits die Feststellungen, dass Perzeptionen (Wahrnehmungen) und Handlungen zum einen viel komplexer sind, als man aus einer Alltagsintuition heraus meinen könnte. Es ist in der Tat gerade eine Leistung des Gehirns, uns glauben zu machen, dass wir einen direkten Zugriff auf die Welt um uns herum besitzen. Andererseits entwickelte sich die Einsicht, dass verschiedene Ebenen benötigt werden, um adäquate Beschreibungen dieser beiden Aspekte zu erhalten. Zu diesen Ebenen gehören vor allem die (Neuro-) Physiologie und die Psychologie.

Diese Untersuchung beschäftigt sich jedoch nicht mit der Frage, wie Perzeption (Wahrnehmung) und Handlung jeweils „für sich betrachtet“ beschrieben werden können, sondern wie der *Zusammenhang* zwischen diesen beiden konzipiert werden kann. Um zu umreißen, was man sich unter diesem Zusammenhang vorzustellen hat, kann folgende Beschreibung dienen: Ein Betrachter hat einen bewussten Eindruck über ein Objekt in einer bestimmten Szene. Zu diesem Eindruck gehören die Größe, die Form, die Festigkeit, die Farbe, das Gewicht usw. Fordert man ihn auf, eine Handlung an diesem Objekt auszuführen, wie etwa Greifen, Treten, Drücken, Quetschen usw. wird man bestimmte Abhängigkeiten der *motorischen Handlungen* von dem *wahrgenommenen Eindruck* feststellen können. Misst man die Griffkraft beim Heben von zwei Objekten, wird diese beim als schwerer wahrgenommenen Objekt erhöht sein, im Vergleich zum leichteren Objekt (Johansson, 1996). Unter einer Handlung wird nach dieser Beschreibung ein *zielgerichtetes Verhalten* verstanden, und damit eine Abgrenzung zu Bewegungen geschaffen, bei denen Muskelaktivitätsmuster und ungerichtete Körperbewegungen im Vordergrund stehen.

## Einführung

Ein wesentliches Ziel verschiedenster Ansätze besteht darin, etwas über die Art der abstrakten (psychologischen) *Kodierung* perzeptueller und motorischer Inhalte auszusagen. Zwei bedeutende Konzeptualisierungen können hier derzeit unterschieden werden: Nach den *common-coding* Ansätzen (Franz, Gegenfurtner, Bühlhoff & Fahle, 2000; Hommel, Müsseler, Aschersleben & Prinz, 2001) sind perzeptuelle und motorische Kodierungen in einer gemeinsamen Repräsentationsebene organisiert. Diese Kodierungen sollen auf *Features* (Treisman & Gelade, 1980) basieren, die als voneinander unabhängige Objektmerkmale, wie etwa Farbe, Form oder Größe bezeichnet werden. Dem gegenüber steht ein *separate-coding* Ansatz (Milner & Goodale, 1995), der zurzeit als die einflussreichste Theorie des Zusammenhangs von Perception und Handlung aufgefasst werden kann. Es werden zwei Systeme postuliert: ein visuell-perzeptuelles und ein visuell-motorisches. Während ersteres die Transformation visueller Informationen in perzeptuelle Repräsentationen leisten soll, soll das zweite System visuell-gesteuerte motorische Handlungen, wie etwa Reich- und Greifbewegungen nach Objekten, ermöglichen. Diese beiden Systeme werden als (weitgehend) unabhängig voneinander operierend angenommen, so dass entsprechend von getrennten perzeptuellen und motorischen Repräsentationen gesprochen wird.

Eine besondere Rolle bei experimentellen Überprüfungen stellen die so genannten visuellen Illusionen dar. Diese werden verwendet, um bei Probanden „illusorische“ Wahrnehmungen zu erzeugen. Die Stärke der Täuschung auf die Wahrnehmung wird als perzeptueller Effekt ausgedrückt. Die Versuchspersonen führen außerdem motorische Handlungen an diesen Illusionen durch, wie etwa das Greifen nach tatsächlich gleich großen, aber unterschiedlich groß wahrgenommenen Figuren. Das Ausmaß der Täuschung auf die Handlung wird in Form motorischer Effekte angegeben. Es existiert ein allgemein akzeptierter Konsens darüber (Aglioti, DeSouza & Goodale, 1995; Daprati & Gentilucci, 1997; Westwood, Dubrowski, Carnahan & Roy, 2000b; Franz, 2001), wie Ergebnisse eines solchen Paradigmas interpretiert werden sollen: Dissoziationen (d.h. Unterschiede zwischen den perzeptuellen und motorischen Effekten) werden als Beleg für die Gültigkeit des *separate-coding* Ansatzes aufgefasst, während Assoziationen (d.h. keine Unterschiede zwischen den perzeptuellen und motorischen Effekten) als Hinweis auf eine gemeinsame Kodierungsebene angesehen werden.

Diese Schlussfolgerungen basieren auf der Annahme einer sinnvollen Trennung von „realen“ und „illusorischen“ Wahrnehmungen. Aus einer internalistischen Sicht, die diese Trennung nicht vollzieht, ergeben sich jedoch andere Schlussfolgerungen, die die bisherigen Konzeptualisierungen infrage stellen. Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es folglich, diese internalistische Sicht auf die Problematik des

## Einführung

Zusammenhangs von Perzeption und Handlung anzuwenden, um somit eine adäquatere Konzeptualisierung über diesen zu erhalten.

In der Darstellung des theoretischen und empirischen Hintergrundes werden zunächst Perzeption und Handlung getrennt voneinander betrachtet, bevor näher auf Theorien über den Zusammenhang der beiden eingegangen wird. Die dargestellten Befunde und weiterführenden Überlegungen münden in fünf Studien, anhand derer sich die Tauglichkeit einer internalistischen Perspektive in Bezug auf die Problematik erweisen muss. Die Ergebnisse werden anschließend hinsichtlich der Konsequenzen für die Betrachtung des Zusammenhangs von Perzeption und Handlung diskutiert.

# THEORETISCHER UND EMPIRISCHER HINTERGRUND

## 1 Zwei wahrnehmungspsychologische Konzeptionen

Vorbemerkungen: Die Begriffe Externalismus und Internalismus werden häufig sehr unterschiedlich verwendet. Hier sollen die Begriffe lediglich eine allgemeine Ausrichtung kennzeichnen, nach der ein Externalist „Bedeutung“ nach außen verlagert, d.h. die Kategorien der Wahrnehmung werden mit den Kategorien der uns umgebenden Welt gleichgesetzt. Diese Sicht geht folglich einher mit der Auffassung, dass die Wahrnehmung die „Realität“ widerspiegeln soll, man also die Welt so sieht, wie sie tatsächlich beschaffen ist. Der Internalist hingegen betont die Wichtigkeit intern verfügbarer Konzeptstrukturen, mit denen die Wahrnehmung *konstruiert* wird. Die internen Kategorien und die Kategorien der Außenwelt (beschrieben durch die Physik) sind nicht identisch. Eine „reale“ Wahrnehmung gibt es folglich für den Internalisten nicht. Diese „einfache“ Einteilung externalistischer und internalistischer Konzeptionen ist für den intendierten Zweck, nämlich die Gegenüberstellung von Ansätzen, die „reale“ und „illusorische“ Wahrnehmungen trennen (Externalisten) und solchen, die dies nicht tun (Internalisten), völlig ausreichend.

Der externalistische Ansatz ist für das Verständnis bisheriger Ansätze, die sich mit dem Zusammenhang von Perzeption und Handlung (Kapitel 3) beschäftigen, essentiell. Ein bedeutsamer internalistischer Ansatz hierzu existiert bisher nicht. In dieser Arbeit wird der Versuch unternommen, eine internalistische Sichtweise auf die Problematik über den Zusammenhang von Perzeption und Handlung anzuwenden.

Eine zentrale Stellung nehmen dabei die so genannten (visuellen) Illusionen ein. Diese werden zum einen explizit aus den theoretischen Überlegungen und experimentellen Paradigmen ausgeschlossen (Hommel et al., 2001), da sie als Sonderfälle der Wahrnehmung deklariert werden. Zum anderen wird diese Sonderstellung genutzt, um Theorien über den Zusammenhang von Wahrnehmung und Handlung zu überprüfen (Milner & Goodale, 1995, Franz et al., 2000).

Bevor mit der Besprechung verschiedener Ansätze begonnen werden kann, sollen die Begriffe Wahrnehmung und Wahrnehmungspsychologie genauer bestimmt werden. Unter Wahrnehmung (Perzeption) soll hier der bewusste, d.h. von einer Person erlebte Eindruck von der Außenwelt verstanden werden. Das Erleben drückt sich in der Regel durch die Fähigkeit aus, es zu verbalisieren oder durch eine andere Art der Messung,

wie z.B. durch Abgleichen von Farben, anderen mitzuteilen. Dies grenzt den Begriff von der Verarbeitung auf physiologischer Ebene ab.

Die Wahrnehmungspsychologie als Fach beschäftigt sich mit der Frage, was die Inhalte der Wahrnehmung sind und wie diese zustande kommen. Die externalistischen und internalistischen Ansätze unterscheiden sich dabei erheblich voneinander, wie sich bei ihrer Besprechung im Folgenden zeigen wird.

## 1.1 Externalistische Sicht

Unwillkürlich stellt sich aus alltagspsychologischer Erfahrung die Frage, warum es überhaupt einen Bedarf an einer Untersuchung der Wahrnehmung gibt. Haben wir nicht den Eindruck einer sich sofort erschließenden Wirklichkeit, sobald wir nur die Augen öffnen? Liefern uns die Sinne nicht einen unmittelbaren Zugriff auf die Realität? Wenn man diese Fragen bejaht, gibt es keinen besonderen Bedarf an einer Wahrnehmungspsychologie. Ein Beobachter sieht beispielsweise einen Baum, *weil* ein Baum vor ihm steht. Die Wahrnehmung hat demnach die Aufgabe, die Eigenschaften des Objekts zu rekonstruieren. Nach dieser Sichtweise „besitzen“ die Blätter des Baums die Farbe grün, sie „besitzen“ ebenfalls eine fühlbare Oberflächenbeschaffenheit, zudem eine Festigkeit usw. Es gibt demnach nichts zu erklären, denn der Baum enthält als Reiz bereits alle Informationen, die man braucht, um seine Eigenschaften zu rekonstruieren.

Der „klassische Empirismus“ (Locke, 2006<sup>1</sup>; Hume, 1993<sup>2</sup>), nach dem der Geist bei der Geburt leer ist („Tabula rasa“), stellt eine Spielart dieser Sicht dar. Einzig aus dem sensorischen Input und dem Mittel der Induktion wird der Geist nach und nach gefüllt. Die sich bildenden Assoziationen verknüpfen sich in der Folgezeit zu immer komplexeren Strukturen, bis die gesamte Reichhaltigkeit unseres Denkens und Erlebens schließlich erreicht ist. Die „Erfahrung“ nimmt in diesem Modell einen großen Platz ein.

In einer abgeschwächten Form dieser Haltung finden sich Ansätze, die ebenfalls die Eigenschaften des Reizes betonen und die Rolle der Wahrnehmung darin sehen, diese Eigenschaften erlebbar zu machen. Es wird versucht aufzuzeigen, wie der Input (z.B. visueller Art) zunächst in „grundlegende Einheiten“ (häufig *Features* genannt) zerlegt und in späteren Verarbeitungsschritten wieder zusammengefügt wird. Diese Ansätze sehen die Aufgabe der Wahrnehmungspsychologie also darin, aufzuklären, nach

---

<sup>1</sup> Das Werk selbst wurde 1690 fertiggestellt.

<sup>2</sup> Diese Arbeit wurde bereits 1748 veröffentlicht.

welchen Prinzipien diese Dekomposition und anschließende Rekonstruktion funktioniert. Die erwähnte Abschwächung zum alltagspsychologischen Ansatz besteht darin, dass eine Diskrepanz zwischen der physikalischen Beschreibung der Welt und dem Erleben anerkannt wird, was Mausfeld illustrativ für diese Ansicht beschreibt (die jedoch nicht seine Auffassung widerspiegelt):

*Inbesondere sind wir überzeugt, dass die Kategorien unserer Wahrnehmung auch Kategorien der Außenwelt sind und dass wir - bis auf einige ‚Sinnestäuschungen‘ - die Welt so sehen, wie sie wirklich ist. Wobei wir natürlich bereit sind, einige ‚Spitzfindigkeiten‘ zu berücksichtigen, zu denen uns die Physik zwingt, die ja ihrerseits beansprucht, die Welt so zu beschreiben, wie sie wirklich ist: Natürlich nehmen wir beim Schmecken nicht die chemische Struktur von Molekülen wahr, sondern Geschmacksqualitäten, wie süß, sauer, salzig oder bitter, natürlich sehen wir nicht Wellenlängen des Lichtes, sondern Farben. [...] Doch mindert dies kaum unsere grundsätzliche Überzeugung, dass die Wahrnehmung - abgesehen von solchen ‚subjektiven Sinnesqualitäten‘ und einigen Sinnestäuschungen - wirklichkeitsgetreu ist. (Mausfeld, 2005a, S. 107)*

Externalistische Konzeptionen finden sich in einigen der einflussreichsten Theorien der Wahrnehmungspsychologie. So nimmt Gibson in seinem ökologischen Ansatz (1979) explizit an, dass die nötige Information für „richtige“ Wahrnehmungen vollständig in der Umwelt zu finden ist. Die Wahrnehmung erfolgt direkt, ohne die Vermittlung interner Konzepte. Darüber hinaus betont er, dass Perzeption und Handlung nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Die Wahrnehmung führt zu Handlungen, diese wiederum führen zu neuen perzeptuellen Informationen. Seine Forschungen haben sehr wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Frage geleistet, wie es möglich sein kann, aus komplexen Reizen Informationen zu gewinnen. Wahrnehmung ist für ihn nicht statisch, sondern ein dynamischer Prozess. Für ihn gibt es Invarianten (auch Muster konstanter Variation) höherer Ordnung in einer visuellen Situation, wie das optische Fließmuster bei Bewegung, wie etwa bei dem klassischen Beispiel des Landeanfluges eines Flugzeuges. Vom Ziel der Bewegung aus (etwa die Landebahn) scheint die Umgebung in entgegengesetzter Richtung der Bewegung zu „fließen“. Vom Zielpunkt ausgehend bewegen sich die einzelnen Punkte dabei nach außen, sie expandieren. Diese Relativbewegungen sind umso stärker, je näher man sich an einem dieser Punkte befindet. Die Struktur dieses Fließmusters ist konstant (sofern nicht die Richtung geändert wird) und somit nach Gibson invariant. Das perzeptuelle System extrahiert diese Invarianten aus dem optischen Feld. Nach Gibson geschieht dies direkt. Die von ihm gefundenen Invarianzen sind seiner Ansicht nach ausreichend zur Erklärung der Wahrnehmung. Der Reiz selbst bietet „Bedeutung“ in Form von



*affordances*<sup>3</sup> an. Diese bieten Möglichkeiten für das Individuum, mit dem Gegenstand oder der Umwelt zu interagieren. So bietet ein Stuhl an, sich auf ihn zu setzen (“sit-on-able“), der Boden ist begehbar (“walk-on-able“), die Luft fordert zum Atmen auf, das Wasser hingegen zum Trinken (Gibson, 1979, S.127ff). Im Gegensatz zu internalistischen Konzeptionen verlagert Gibson das Problem der Bedeutung nach außen. Er sieht es nicht als Aufgabe der Wahrnehmungspsychologie an, zu klären, wie Bedeutung zustande kommt, sondern nimmt sie als gegeben im Reizmuster an. Dabei ist er allerdings nicht konsequent genug, da *affordances* charakteristisch für unterschiedliche Spezies sein sollen, d.h. der jeweiligen Spezies werden spezielle interne Eigenschaften zuerkannt, die zu spezifischen Wahrnehmungsinhalten führen.

Der wohl einflussreichste Ansatz des letzten Vierteljahrhunderts bezüglich der (visuell vermittelten) Objektwahrnehmung findet sich bei Treisman und Kollegen und wurde bekannt unter dem Namen *Feature Integration Theory* (FIT).

Die Theorie hat seit ihrer ersten zusammenhängenden Veröffentlichung (Treisman & Gelade, 1980) einen erheblichen Einfluss sowohl auf die Theoriebildung als auch auf die empirische Forschung gehabt. Im Laufe der letzten 25 Jahre hat die FIT einige Veränderungen durchgemacht. Bedingt wurde dies durch weitere Forschungsergebnisse (Kahneman et al. 1992; Treisman 1993; Treisman 1996; Treisman 1998) sowie durch andere Forschergruppen (Allport, 1987; Prinzmetal, 1995; Prinzmetal et al., 1995), die weitere einflussreiche Ansichten einbrachten. Für die beispielhafte Darstellung der Grundidee dieses Ansatzes haben diese „Verfeinerungen“ jedoch keine nachhaltige Bedeutung für diese Arbeit.

Die *Feature Integration Theory* (FIT) versucht die Perzeption von Objekten mittels visueller Aufmerksamkeit zu erklären. Wesentlicher Bestandteil der FIT ist die Annahme von unabhängigen Objektmerkmalen (*Features*), die zusammengesetzt ein Objekt bilden. Die Verarbeitung visueller Information soll in zwei Stufen verlaufen: einer präattentiven und einer attentiven. In der präattentiven Stufe werden die *Features* automatisch und parallel im gesamten visuellen Feld registriert. Mögliche Dimensionen der *Features* umfassen Farbe, Orientierung, Form, Raumfrequenz, Helligkeit, Bewegungsrichtung und einige mehr (Treisman & Gelade, 1980). In der zweiten Verarbeitungsstufe (attentive Stufe) werden die *Features*, mittels eines angenommenen Prozesses, des so genannten *Bindings*, miteinander verbunden. Für die Verbindung der einzelnen *Features* ist nach der FIT Aufmerksamkeit nötig.

---

<sup>3</sup> “The affordances of the environment are what it offers the animal, what it provides or furnishes, either for good or ill [...] It implies the complementarity of the animal and the environment.“ (Gibson, 1979, S. 127)

In diesem Zusammenhang kommt der Frage danach, was die *Features* konstituiert, eine wichtige Stellung zu. Diese werden in der FIT als explizit zum Objekt gehörend bezeichnet:

*Functional features are defined, in terms of the theory, as properties for which we have evolved or acquired separate sets of detectors responding in parallel across the visual scene. The detectors need not be individual neurones; they could be groups or hierarchies of cells so long as they respond directly to their particular properties without attentional control and without (much) crosstalk from other functional detectors.* (Treisman, 1993, S. 7)

Nach dieser Vorstellung liegen Detektoren vor, welche die zum Objekt gehörenden Eigenschaften auslesen. Es handelt sich bei diesem Ansatz somit um die Rekonstruktion<sup>4</sup> der Umwelt: “Feature integration theory claims that objects are initially analyzed into separate features, independently processed.” (Treisman & Schmidt, 1982, S. 118) Um das bereits oben genannte Beispiel aufzugreifen, sei auf Folgendes hingewiesen: Nach der FIT sieht ein Beobachter einen Baum, *weil* ein Baum vor ihm steht. Demzufolge steht dieser Ansatz in der Tradition einer externalistischen Konzeption der Wahrnehmung. Aufgabe für die Erforschung des perzeptuellen Systems ist es herauszufinden, wie die external vorhandenen Objekteigenschaften erst zerlegt und dann wieder zusammengesetzt werden. Aus dieser Ansicht wird in Kapitel 1.3 deutlich werden, wieso ein solcher Ansatz zwischen realer und illusorischer Wahrnehmung unterscheidet.

Wenn über Detektoren gesprochen wird, ist manchmal unklar, auf welcher Ebene (psychologisch oder physiologisch) diese betrachtet werden. Auf einer psychologischen Ebene würde man den Detektor als Abstraktion für einen „Merkmalsentdecker“ bezeichnen. Wie dieser physiologisch implementiert ist, stellt eine zweite Frage dar. Hierbei ist es allerdings alles andere als selbstverständlich, dass es eine „direkte Übersetzung“ von der psychologischen Theorie auf anatomisch zuordbare Strukturen geben muss. Sofern nicht anders beschrieben, soll im Folgenden unter Detektor zunächst ein psychologisches Konzept verstanden werden.

Zu den *Features* bemerken Hommel und Kollegen: “In theories on perception, attention, and memory it has become *common* practice to think of stimuli being represented by composites of feature codes.” (Hommel et al., 2001, S. 860) Diese Aussage ist mit Sicherheit angemessen. Es wird sich jedoch im nächsten Kapitel zeigen, dass

---

<sup>4</sup> Goldstein (1997) behandelt die FIT als *Konstruktivistischen Ansatz*. In Anlehnung an die beschriebene Anschauung dieses Ansatzes erscheint jedoch die Zuschreibung “Rekonstruktivistischer Ansatz” passender. Dies betont das theoretische Bild (externalistisch), das dem Ansatz zugrunde liegt.

internalistische Ansätze *Features* anders verstehen. Diese werden zwar durch den Reiz „getriggert“, repräsentieren aber keine im Objekt *verankerten*, sondern vielmehr dem Objekt *zugeschriebene* Eigenschaften. Das Objekt selbst stellt dabei eine Konstruktion des Betrachters dar.

Es ist wohl keine Übertreibung, die FIT (oder allgemeiner: das der FIT zugrunde liegende Prinzip) als das favorisierte Modell im Bereich der Perzeption von Objekten zu bezeichnen. Dies wurde nicht zuletzt auch durch physiologische Erkenntnisse begünstigt, wie beispielsweise die Forschungen von Hubel und Wiesel (1959; 1961, 1977), die bahnbrechende (physiologische) Einsichten über den Aufbau des visuellen Systems erbrachten. Ihre Befunde über rezeptive Felder und deren Organisation zu „Farb-, Bewegungs- oder Orientierungsdetektoren“ werden oftmals gleichsam als Grundlage der psychologischen Konstrukte und als Bestätigung für die Angemessenheit dieser angesehen. Bei diesen Detektoren handelt es sich nun um Neurone in der Area striata, die selektiv auf bestimmte Reize, wie Farben, Bewegungen oder Orientierungen in Form von Aktionspotentialen reagierten. Der Aufbau von Standardlehrbüchern der Wahrnehmungspsychologie (z.B. Goldstein, 1997) ist Zeugnis dieses Vorgehens, nach dem die psychologische Theoriebildung an physiologische Erkenntnisse geknüpft wird.

Befürworter sehen dies als notwendig an, da die psychologische Ebene nicht getrennt von der Ebene des Gehirns betrachtet werden soll bzw. kann. Kritiker befürchten eine mögliche Verwechslung von „Erklärungsebenen“.<sup>5</sup> So unterscheidet Marr (1982) drei Ebenen: (1) *Computational theory* - Diese Ebene beschreibt die abstrakte Logik einer Aufgabe. Man fragt danach, was das Ziel der Aufgabe ist und wie dieses logisch erreicht wird. (2) *Representation and algorithm* - Auf dieser Ebene wird danach gefragt, wie die Aufgabe (logisch) implementiert wird, d.h. also wie der Input und der Output repräsentiert werden und wie der Algorithmus für die Transformation beschaffen sein muss. (3) *Hardware implementation* - Auf dieser Ebene wird beschrieben, wie die Repräsentation und der Algorithmus physiologisch implementiert sind.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> “There must exist an additional level of understanding at which the character of the information-processing tasks carried out during perception are analyzed and understood in a way that is independent of the particular mechanisms and structures that implement them in our heads. This was what was missing - the analysis of the problem as an information-processing task. Such analysis does not usurp an understanding at the other levels - of neurons or of computer programs - but it is a necessary complement to them, since without it there can be no real understanding of the function of all those neurons.” (Marr, 1982, S.19)

<sup>6</sup> Marr weist explizit darauf hin, dass diese Ebenen zwar miteinander verbunden sind, manche Phänomene aber nur auf einer oder zwei der Ebenen erklärt werden können. So attribuiert man Nachbilder auf die physiologischen Eigenschaften der Photorezeptoren, ohne dem Phänomen in irgendeiner Weise eine Funktion zuzuschreiben. In Kapitel 1.3 wird mit der Adelson Illusion ein ausführliches Beispiel dafür besprochen, wieso die Ebene der physiologischen Implementierung wederum keine Hilfe zur Erklärung des Phänomens ist (obwohl selbstverständlich auch hier eine physiologische Implementierung vorhanden ist).

Bei einem Computer können wir die Hardware (z.B. Festplatte, Prozessor, Eingabe- und Ausgabemedien usw.) und seinen funktionellen Aufbau (die Logik des Zusammenspiels der Komponenten um ein bestimmtes Ziel, z.B. die Speicherung von Daten oder die Ausgabe auf einem Monitor) voneinander unterscheiden. Die gleiche funktionelle Architektur kann nun auf theoretisch unendlich viele Möglichkeiten der Implementierung basieren. Beim Menschen ergibt sich eine ähnliche Problematik. Es existiert eine zu erklärende psychologische Ebene (Marrs Ebenen 1 und 2 vereinfacht zusammengefasst) und eine Ebene der physiologischen Implementierung. Bei dem Versuch der Verknüpfung dieser Ebenen stellt sich die Frage, ob etwa die „Detektoren“ (Neurone) von Hubel und Wiesel den funktionellen psychologischen Einheiten (wie z.B. die von der FIT angenommenen „Detektoren“ für die jeweiligen *Features*) entsprechen oder ob die Implementierung anders geartet ist. Die Schwierigkeit ergibt sich aus zwei Aspekten: Es gibt zum einen kein Kriterium, den „richtigen Auflösungsgrad“ für die Abbildung der psychologischen Ebene auf die physiologische Ebene zu bestimmen. Stellen also die von Hubel und Wiesel entdeckten physiologischen Detektoren (die Neurone der Area striata), die selbst nur Teil der visuellen Verarbeitungskette sind, die richtige Analyseeinheit dar? Zum anderen wird suggeriert, mit der Identifikation bestimmter physiologischer Aspekte gleichzeitig funktionelle (psychologische) Architektur aufzudecken. Dies ist aber nicht gerechtfertigt, da kein Kriterium für eine solche Abbildung vorliegt.

## 1.2 Internalistische Sicht

Dem externalistischen Ansatz steht eine internalistische Sichtweise gegenüber. Die internalistische Sicht wird hier auch als „konstruktivistisch“ bezeichnet, da diese die Wahrnehmung als Konstrukt aus internen Repräsentationen auffasst. Im Gegensatz zu externalistischen Ansätzen werden diese Konstrukte aber nicht als Abbild der Wirklichkeit aufgefasst, denn Objekte werden nicht rekonstruiert, sondern konstruiert.<sup>7</sup> Das oben bereits mehrfach erwähnte „Baumbeispiel“ wird nach internalistischer Lesart so aufgefasst, dass ein Beobachter einen Baum deshalb sieht, weil er einen Baum *konstruiert*, nicht weil ein Baum da ist. Dies darf nun nicht so missverstanden werden, dass der Beobachter halluziniert oder sich seine Umwelt nur „einbilden“ würde. Die

---

<sup>7</sup> Die hier vorgenommene Gleichsetzung von konstruktivistischem und internalistischem Ansatz ist nicht identisch mit anderen Autoren (z.B. Goldstein, 1997). Dieser versteht unter konstruktivistischen Ansätzen alle diejenigen, bei denen eine „kognitive Verarbeitung in den Mittelpunkt [ge]stellt“ wird. (Goldstein, 1997, S. 573) Nach der hier beschriebenen Einteilung kann jedoch auch ein externalistischer Ansatz wie die FIT die kognitive Verarbeitung als wichtigen Teil der Theorie begreifen. Da das Wesen der Theorie jedoch *rekonstruktivistisch* und nicht konstruktivistisch ist, wird die hier vorgenommene Einteilung als sinnvoll erachtet.

Verursachung für die Wahrnehmungen ergibt sich aber nach dieser Sicht aus dem Zusammenspiel des physikalischen Reizes und der internen Verarbeitung dieses Reizes mittels interner Konzeptstrukturen. Mögliche Reize, z.B. visuelle, taktile oder auditorische, stellen für den Organismus „Zeichen“ oder „Symbole“ dar. Diese Zeichen werden dann anhand der internen Repräsentationen ausgewertet. Selbstverständlich kann die Wahrnehmung dabei nicht beliebig sein. Es muss eine Anbindung an die physikalische Welt geben, um ein erfolgreiches Überleben des Organismus in seiner Umwelt zu ermöglichen.

Da sich interne Repräsentationen für unterschiedliche Lebewesen unterscheiden, werden sie entsprechend zu anderen Wahrnehmungen gelangen. Ein Schnabeltier kann elektrische Felder wahrnehmen (Scheich et al., 1986), Tauben können sich nach magnetischen Feldern orientieren (Walcott, Gould & Kirschvink, 1979), die Fledermaus orientiert sich und ortet Beute mittels Ultraschall (Moss & Surlykke, 2001). Nehmen unterschiedliche Spezies nun „mehr“ oder „weniger“ wahr, im Sinne von mehr oder weniger Wahrnehmung der Realität, oder sind ihre Wahrnehmungen grundsätzlich unterschiedlich, d.h. also qualitativ verschieden? Nach der internalistischen Sichtweise trifft letzteres zu.

Diese Vorstellung kann man sich anhand einer *Signal-Empfänger Analogie* verdeutlichen. Ein Geigerzähler etwa knattert nicht, weil Radioaktivität die Eigenschaft *knattern* besitzt, sondern weil das Gerät den Reiz Radioaktivität in eine solche Antwort umsetzt. Ein Fernseher zeigt ein Bild nicht deshalb, weil es eine „natürliche“ Verbindung zwischen den empfangenen Signalen und dem Output „bewegtes Bild“ gibt, sondern weil das Gerät die Signale aufgrund der Implementierung in Bilder wandelt. Analog dazu *besitzt* elektromagnetische Strahlung nicht die Eigenschaft „sichtbar zu sein“. Stattdessen braucht es einen *Empfänger*, wie den Menschen und unzählige andere Lebewesen, die Teile dieser Strahlung aufgrund ihrer biologischen Ausstattung in den Output „Sehen“ umsetzen. Interessanterweise würde wohl niemand auf die Idee kommen, der elektromagnetischen Strahlung *selbst* die Eigenschaft „hormonausschüttend“ (Melatonin etwa wird beim Menschen durch Lichteinfall reguliert) oder „sonnenbranderzeugend“ zuzuweisen. Hier akzeptiert jeder die spezielle Rolle des Empfängers, ohne den es diese Wirkungen nicht geben würde.

Als ein wichtiger Wegbereiter einer internalistischen Sicht muss Helmholtz<sup>8</sup> aufgefasst werden, der den Begriff der *Zeichentheorie* prägte (1867). Mit seinen Ansichten nahm er erheblichen Einfluss auf die Vorstellungen nachfolgender Generationen. Am Ende

---

<sup>8</sup> Helmholtz blieb trotzdem davon überzeugt, dass Erfahrung einen wichtigen Mechanismus darstellt, um zu komplexen Wahrnehmungen zu gelangen.

des 19. Jahrhunderts und zu Beginn des 20. Jahrhunderts bildeten sich unterschiedliche „Schulen“ heraus, von denen einige der internalistischen Sicht folgten. Zu diesen gehörten u.a. die Gestaltpsychologen, bedingt auch die Funktionalisten und später auch die Ethologen.

Die einflussreiche Gestaltpsychologie kann wohl als „Prototyp“ einer internalistischen Sicht aufgefasst werden. Ihre Vertreter, wie Wertheimer (1922), Köhler (1971) oder Koffka (1922), wehrten sich vehement gegen elementaristische Vorstellungen. Ihr Credo ist auch im heutigen Sprachgebrauch zu finden: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“.<sup>9</sup> Sie betonten die Notwendigkeit innerer Konzepte, welche dem Organismus angeboren wären und nicht durch Assoziationen gelernt werden müssten.

Der ethologische Ansatz ist den meisten Menschen nur ein Begriff hinsichtlich der Erforschung des Verhaltens von Tieren. Manchmal wird auch von Vergleichender Verhaltensforschung oder Tierpsychologie gesprochen. Der Begriff Ethologie leitet sich aus dem Griechischen ab und bedeutet so viel wie die „Lehre vom Charakter“. Ihre berühmtesten Vertreter Lorenz (1978), Heinroth (1977) oder Tinbergen (1951) forschten zwar überwiegend an Tieren, ihrer Erkenntnisse sind aber auch für das Verständnis über die menschliche Psyche von großem Interesse. Tinbergen (1963) bezeichnet die Ethologie als „the biological study of behaviour“. Gemeint sind mit dieser Definition eine Herangehensweise (die biologische Methode) und das Beobachtbare (das Verhalten). Das beobachtbare Verhalten dient den Ethologen als Indikator für angenommene interne Konzeptstrukturen. Zu den bekanntesten Begriffen der Ethologie gehören *der Schlüsselreiz*, *der Instinkt*, *die Übersprungshandlung* oder auch *der Angeborene Auslösemechanismus*. Auch sind einige Experimente, wie die an Stichlingen, Silbermöwen oder Goldfischen, vielen Menschen ein Begriff. Charakteristisch für den ethologischen Ansatz ist die Idee, dass ein so genannter Schlüsselreiz ein Verhalten auslösen kann. Besonders interessant sind die Erkenntnisse über die Eigenschaften dieser Schlüsselreize. Die Ethologen erkannten dabei die Bedeutung bestimmter Merkmale, die, wenn vorhanden, zur Auslösung des Verhaltens führten. Der Reiz kann dabei durchaus „unnatürlich“ sein und zwar in dem Sinn, dass er in einer „natürlichen“ Umgebung nicht vorkommt. Durch Attrappenversuche kann so gezielt nach auslösenden Merkmalen gesucht werden. So löst ein Stichling mit einem roten Bauch aggressives Verhalten bei einem anderen Stichling aus. Präsentiert man jedoch nur einen roten Karton, wird dasselbe (oder zumindest sehr ähnliches) Verhalten ausgelöst. Die bloße Anwesenheit eines anderen Stichlings (ohne roten Bauch)

---

<sup>9</sup> Dieser Leitgedanke geht schon auf Aristoteles zurück: "Das was aus Bestandteilen so zusammengesetzt ist, daß es ein einheitliches Ganzes bildet, nicht nach Art eines Haufens, sondern wie eine Silbe, das ist offenbar mehr als bloß die Summe seiner Bestandteile." (*Metaphysik* 1041 b 10; VII. Buch (Z))

hingegen löst kein solches Verhalten aus. Die Parallelen zu Helmholtz' Zeichentheorie (1867) sind offensichtlich. Der Stimulus fungiert als Zeichen (als Trigger) für interne Konzepte. Auch wenn mittlerweile bestimmte Vorstellungen als überholt gelten, bleibt der ethologische Ansatz aufgrund seiner generellen Vorgehensweise von großer Bedeutung für Vertreter eines internalistischen Ansatzes. Gerade die Erkenntnisse über minimale (adäquate) Stimuli sind heute ein wichtiges Konzept in der psychologischen Forschung.

Auch wenn die hier kurz skizzierten Ansätze unterschiedliche Begrifflichkeiten verwenden und scheinbar für viele Jahre eigene Herangehensweisen und Untersuchungsmethoden entwickelten, so eint sie doch ihre Annahme interner Konzepte. Mausfeld (2005b) sieht dementsprechend in der Konvergenz dieser unterschiedlichen Ansätze eine vielversprechende Möglichkeit, ein gut fundiertes theoretisches Bild über die Wahrnehmung zu erhalten.

### 1.3 Realität versus Illusion bei der Wahrnehmung?

“The world that we effortlessly - and usually accurately - perceive [...]”  
(Treisman, 1996, S.171)

“[...] to examine the effects of various visual illusions, which by definition induce misperceptions [...]” (Knox & Bruno, 2007, S. 277)

„Das Sinnesorgan täuscht uns dabei nicht, es wirkt in keiner Weise regelwidrig, im Gegenteil, es wirkt nach seinen festen, unabänderlichen Gesetzen und es kann gar nicht anders wirken. Aber wir täuschen uns im Verständnis der Sinnesempfindung.“ (Helmholtz, 1855, S. 100)

Mit der Vorstellung von externalistischen und internalistischen Konzeptionen der Wahrnehmung ist die Grundlage geschaffen, um über mögliche Konsequenzen für den Umgang mit den so genannten Illusionen zu sprechen. Diese nehmen eine wichtige Rolle bei verschiedenen Ansätzen ein, die sich mit dem Zusammenhang von Perzeption und Handlung beschäftigen. Typischerweise werden Illusionen in diesen „als Mittel zum Zweck“ benutzt. Die Illusion dient in den experimentellen Paradigmen dazu, perzeptuelle Effekte (d.h. die Stärke der Illusion, wie z.B. wahrgenommene Größenunterschiede) zu messen und diese dann mit motorischen Effekten (d.h. Unterschiede bei motorischen Maßen, wie z.B. Unterschiede von Griffaperturen beim Greifen nach Objekten) zu vergleichen. Charakteristisch für diese Ansätze ist die theoriefreie Behandlung der verwendeten Illusionen. Diese werden als „Sonderfall“ der

Wahrnehmung angesehen, den man nutzen kann, um über den Vergleich perzeptueller und motorischer Maße Schlussfolgerungen über die Existenz oder Nichtexistenz unterschiedlicher visueller Systeme zu ziehen. Dieses Vorgehen zum Vergleich von Perzeption und Handlung steht ganz in externalistischer Tradition. Aus einer internalistischen Sichtweise hingegen werden sich andere Interpretationen und Vorhersagen ergeben.

Im Folgenden soll zunächst geklärt werden, was es mit der Unterscheidung von realer und illusorischer Wahrnehmung auf sich hat. Es wird sich später in Kapitel 3.3.3 zeigen, dass die Sichtweise über die Einteilung in Realität und Illusion nicht nur einen theoretischen Wert besitzt, sondern auch Konsequenzen für die Untersuchung über den Zusammenhang von Perzeption und Handlung hat.

Eine Illusion oder auch Wahrnehmungstäuschung wird typischerweise so definiert: Eine Täuschung liegt dann vor, wenn die Wahrnehmung von einer physikalischen Beschreibung abweicht. Gemeint sind hier zwei unterschiedliche Situationen, die zwar nicht unabhängig voneinander sind, jedoch im Folgenden zunächst getrennt voneinander betrachtet werden sollen.

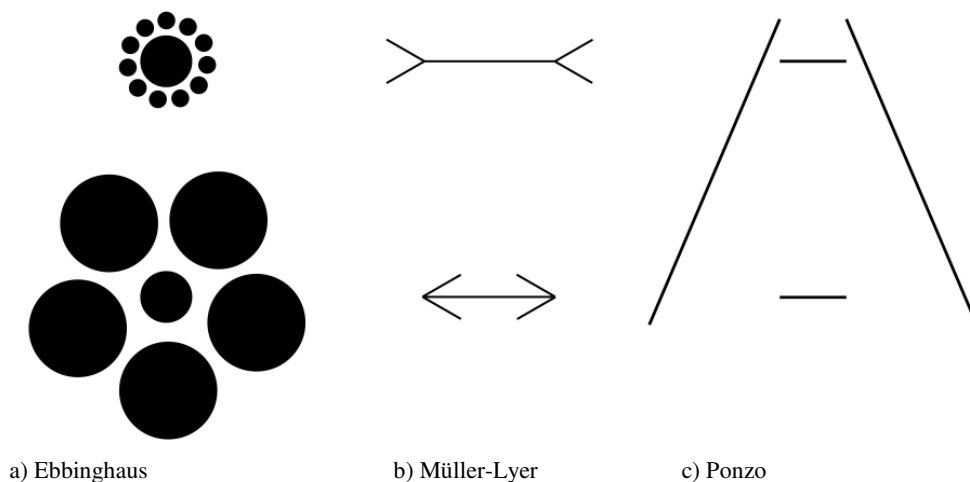


Abb. 1.1: Drei Beispiele bekannter visueller Illusionen: a) Ebbinghaus Illusion: Die mittleren Kreise sind physikalisch gleich groß, der obere Kreis wird im Vergleich zum unteren Kreis meist als größer beurteilt. b) Müller-Lyer: Die horizontalen Balken sind physikalisch gleich groß, der obere Balken wird meist als größer beurteilt im Vergleich zum unteren Balken. c) Ponzo: Die horizontalen Balken sind physikalisch gleich groß, der obere Balken wird meist als größer beurteilt im Vergleich zum unteren Balken.



Im ersten Fall spricht man von einer Illusion, wenn zwei *physikalisch gleiche* Reize *unterschiedliche* Wahrnehmungen erzeugen. Bekannte Beispiele für solche Täuschungen sind die Ebbinghaus- oder Titchener Illusion, die Müller-Lyer Illusion oder auch die Ponzo Illusion (siehe Abb. 1.1), bei denen die tatsächlichen (physikalischen) Größen von Kreisen bzw. die Längen von Strichen gemessen und mit den wahrgenommenen Größen verglichen werden. Diese Illusionen werden oft als *geometrisch-optische* Täuschungen bezeichnet. Selbstverständlich beschränkt sich das Konzept der Illusion dabei nicht auf die visuelle Modalität, sondern kann auch auf alle anderen Modalitäten angewendet werden.

Diese Definition einer Wahrnehmungstillusion kann noch weitgehend als theoriefrei bezeichnet werden. Die Bedeutung der Wahrnehmung spielt hier zunächst nur eine untergeordnete Rolle. Die wichtige Feststellung liegt darin, dass zwei unterschiedliche Wahrnehmungen bei gleichem Reiz auftreten.

Der zweite Fall über das Vorliegen einer Täuschung ist bereits durch eine Theorie des Beobachters gekennzeichnet. Nach dieser zweiten Ansicht liegt eine Illusion dann vor, wenn zwei *physikalisch unterschiedliche Reize* zur gleichen Wahrnehmung führen. Hier gibt es immer bereits eine Annahme (eine Theorie des Beobachters) darüber, was der richtige physikalische Reiz für eine bestimmte Wahrnehmung sein soll. Weicht der „illusorische“ Reiz von dem „richtigen“ Reiz ab, führt aber zur gleichen Wahrnehmung, muss es sich um eine Illusion handeln. Ein einfaches Beispiel ist das Kaltempfinden. Dieses wird über die Erregung von Kaltrezeptoren vermittelt, die temperaturabhängige Entladungsraten zeigen (Klinke & Silbernagl, 2003). Jedoch wird eine Kaltempfindung auch durch Menthol ausgelöst (ebenfalls über die Erregung von Kaltrezeptoren). Das Menthol wird demnach als illusorischer Stimulus klassifiziert, weil es selbst nicht „kalt“ ist.

Ein zweites Beispiel zeigt jedoch die Problematik auf, die mit dieser Sicht verbunden ist. Als metamere Lichter werden solche bezeichnet, die perzeptuell nicht voneinander zu unterscheiden sind, obwohl sie physikalisch verschieden sind. Welche Zusammensetzung des Lichtes ist nun die „richtige“, welche illusorisch? Dies deutet auf ein tieferes Problem hin, welches in der Definition der Illusion zu finden ist. Demnach liegt eine Illusion dann vor, wenn die Wahrnehmung von der physikalischen Beschreibung abweicht. Dies ist aber letztlich immer der Fall: Ein Photometer als physikalisches Messgerät zeigt ja keine Farben an, sondern Intensitäten bestimmter Wellenlängen der elektromagnetischen Strahlung. Es wird also offenbar als nicht besonders bedeutend angesehen, dass hier zwei Ebenen, nämlich die physikalische und die psychologische, auseinanderfallen. Es trifft demzufolge nicht zu, dass unser

Wahrnehmungssystem uns über die physikalischen Eigenschaften eines Objektes und der Umwelt informiert: Wir schmecken nicht die Molekülstruktur des Salzes; wir sehen auch nicht die Wellenlängen des Lichtes, sondern eine Farbe; und wir empfinden auch nicht die Druckschwankungen der Luft, sondern hören einen Ton.

Die internalistische Sichtweise verwahrt sich dementsprechend gegen die Einteilung von realer zu illusorischer Wahrnehmung. Dies lässt sich am besten mit dem Konzept des Alberti-Fensters erläutern (Abb. 1.2). Das Alberti-Fenster war in der Renaissance der Versuch der Maler, die Natur bestmöglich durch die Projektion der dreidimensionalen Welt auf eine zweidimensionale Leinwand zu imitieren. Diese Leinwand wurde als Fenster betrachtet, durch das der Maler die Welt anschaut (nach Lindberg, 1976). Das Alberti-Fenster kann als analoges Problem für die visuelle Wahrnehmung aufgefasst werden, denn schließlich gelangt das Licht aus einer dreidimensionalen Welt auf die zweidimensionalen Retinae.<sup>10</sup>

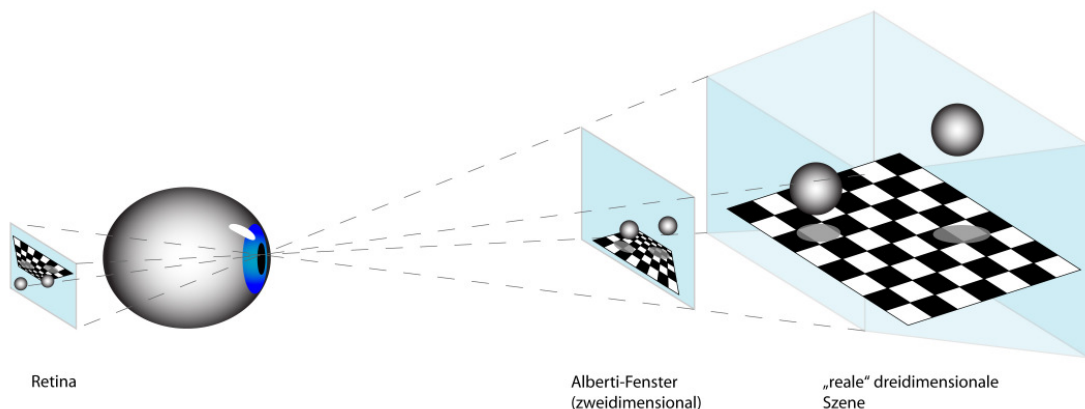
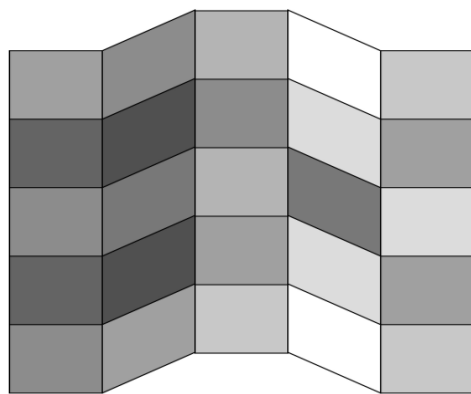


Abb. 1.2: Das Alberti-Fenster als zweidimensionale Projektion einer „realen“ dreidimensionalen Welt. Das Alberti-Fenster ist nicht von Eigenschaften des Beobachters abhängig. Die Projektion auf die Retina wird auch oftmals als proximaler Reiz aufgefasst. Hierbei werden in der Regel schon Eigenschaften des Beobachters (wie z.B. Verarbeitung durch die Photorezeptoren) betont. Unter einer „realen“ dreidimensionalen Szene soll zunächst nur verstanden werden, dass eine durch die Physik beschreibbare dreidimensionale Welt den Grund für die Projektion eines raum-zeitlichen Energiemusters in Form des Alberti-Fensters gibt (siehe auch Mausfeld, 2002). Prinzipiell können aber auch unendlich viele andere dreidimensionale Szenen das gleiche Alberti-Fenster verursachen.

<sup>10</sup> Selbstverständlich sind die Informationen auf den Retinae nicht redundant. So können die Stellung der Augen oder die Querdisparation genutzt werden, um Tiefeninformationen zu generieren. Natürlich ist es auch denkbar, zwei Alberti-Fenster gleichzeitig (als Analogie zu den Retinae) zu betrachten. Bei der Darstellung des Alberti-Fensters hier werden aber nur monokulare Kriterien herangezogen. Dies ist sowohl für die Darstellung des Prinzips als auch für die nachfolgenden Überlegungen ausreichend.

Mit dieser Projektion gibt es unendlich viele Möglichkeiten, wie die dreidimensionale Szene beschaffen sein kann, die Grund zur zweidimensionalen Projektion gibt. Als Konsequenz hieraus stellt Mausfeld fest: „Wahrnehmungssysteme bilden also [...] auf der Menge der sensorischen Inputs Äquivalenzklassen und ordnen sie einem internen Code zu.“ (Mausfeld, 2005a, S. 117) Aus internalistischer Perspektive hat das Wahrnehmungssystem daher nicht die Aufgabe, mit Hilfe des Alberti-Fensters die physikalische Verursachung der Wahrnehmung festzustellen. Stattdessen wird gefragt, nach welchen internen Konzepten das Alberti-Fenster ausgewertet wird: “The only physics of the external world that figures in a formal theory of visual perception is the physico-geometric properties of the incoming light array.” (Mausfeld, 2002, S. 88) Am Beispiel der Adelson Illusion (Adelson, 1993, Abb. 1.3) kann erläutert werden, wie unterschiedlich das Alberti-Fenster nach internalistischer und externalistischer Konzeption betrachtet wird.



Adelson Illusion

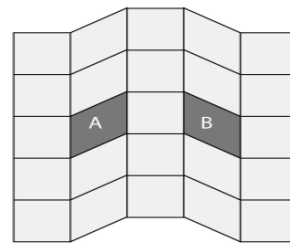


Illustration der isoluminanten Felder A und B

Abb. 1.3: Die Adelson Illusion. Die Felder A und B sind isoluminant (gleichhell). Ein Beobachter wird jedoch angeben, diese Felder als unterschiedlich hell wahrzunehmen (modifiziert nach Adelson, 1993).

Bei der Adelson Illusion erscheinen die Felder A und B einem Betrachter als unterschiedlich hell, obwohl beide Felder isoluminant (von gleicher Lichtintensität) sind. Die Kriterien einer Illusion sind somit nach obiger Definition in diesem Kapitel erfüllt. Die Adelson Illusion ist für die Darstellung hier besonders interessant, da es allgemein akzeptierte „Erklärungen“ für sie gibt. Genau dies führt bei Externalisten zu konzeptionellen Verwirrungen, die schließlich darin enden können, dass unter Umständen noch nicht einmal mehr von einer Illusion gesprochen wird, obwohl die gesetzten Kriterien dafür erfüllt sind. Zunächst soll aber über die „Erklärung“ gesprochen werden. Diese beinhaltet die Konzepte „Oberfläche“ und „Beleuchtung“. Demnach sind die unterschiedlich gegrauten Felder Teil einer gefalteten Oberfläche, die von einer auf der rechten Seite postierten Lichtquelle beschienen wird. Nach dieser *Szeneninterpretation* wird Feld A von wenig Licht beschienen, Feld B hingegen von

mehr Licht. Da aber beide Felder die gleiche Lichtintensität zum Auge bringen, muss Feld B eine geringere Reflektanz aufweisen als Feld A, denn schließlich berechnet sich die Luminanz (Intensität des abstrahlenden Lichtes) einer Oberfläche als Produkt von Illuminanz (Beleuchtung) und Reflektanz (Anteil des reflektierten Lichtes). Natürlich gibt es auf dem Stück Papier keine gefaltete Oberfläche und kein von rechts einfallendes Licht. Es handelt sich stattdessen um eine Interpretation „als ob eine dreidimensionale Szene“ vorliegen würde (Abb. 1.4a und 1.4b). Ein Beobachter wird entsprechend angeben, auf eine zweidimensionale Zeichnung zu blicken, die er dreidimensional interpretiert. Dies ist genau dieselbe Situation, die man von der Betrachtung eines gemalten Bildes, wie beispielsweise eine Allee aus Bäumen, kennt.

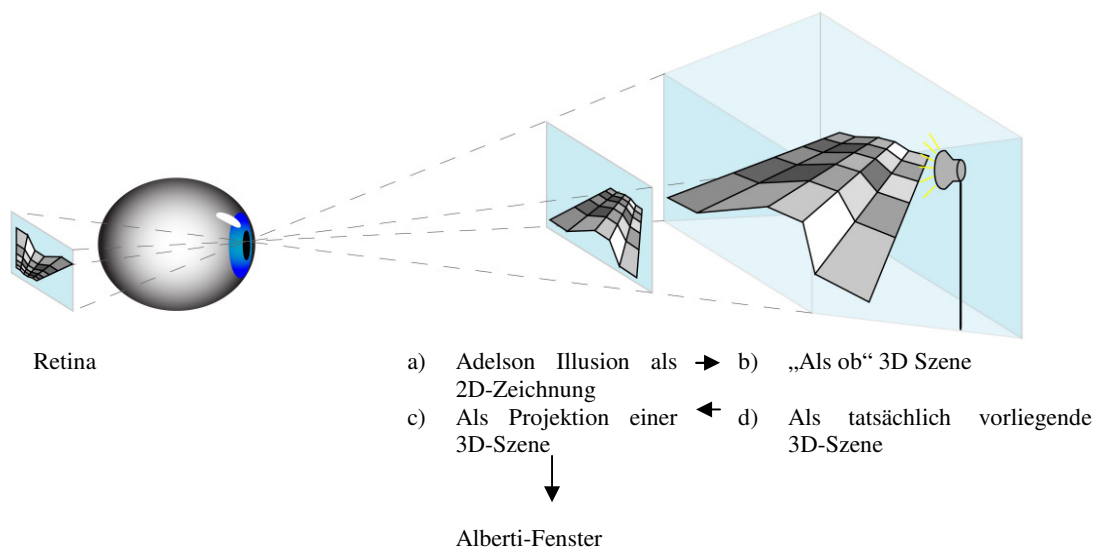


Abb. 1.4: Unterschiedliche Betrachtungsweisen der Adelson Illusion. a) Die Adelson Illusion als zweidimensionale Zeichnung. b) Der dreidimensionale Eindruck bei Betrachtung der zweidimensionalen Adelson Illusion. d) Eine tatsächlich vorliegende dreidimensionale Szene, die der „als ob“ Szene (b) gleicht. c) Die Projektion der tatsächlich vorliegenden dreidimensionalen Szene. Die Projektion gleicht der Adelson Illusion (a). Weitere Erläuterungen siehe Text.

Eine interessante Frage stellt sich nun danach, wie eine entsprechende „reale“ dreidimensionale Szene (Abb. 1.4d), also beispielsweise eine „reale“ gefaltete Oberfläche, die von einer „realen“ Lichtquelle angestrahlt wird, von Externalisten und Internalisten betrachtet wird.<sup>11</sup> Der entscheidende Unterschied der beiden Betrachtungsweisen liegt dabei in der Behandlung der physikalischen Verursachung einer Wahrnehmung.

<sup>11</sup> Unter „real“ wird hier und im Folgenden verstanden, dass eine „Kopplung“ von Wahrnehmungsinhalt und physikalischer Beschreibung der Szene insofern besteht, dass die wahrgenommene gefaltete Oberfläche eine der Konvention entsprechende Übereinstimmung mit einer physikalischen Beschreibung des Konzeptes „gefaltete Oberfläche“ aufweist. Diese stellt beispielsweise im Gegensatz zu einer „virtuellen Mauer“ ein „wirkliches“ Hindernis für den Betrachter dar, wenn er sich in dieser dreidimensionalen Welt bewegt. „Real“ wird in diesem Zusammenhang oft als das beschrieben, was die physikalische Beschreibung innerhalb „unserer wahrgenommenen dreidimensionalen Welt“ vorgibt.

Zunächst wird man feststellen, dass auch der Externalist vom Alberti-Fenster ausgehen muss, denn die Projektion einer dreidimensionalen Szene auf eine zweidimensionale Ebene (also letztlich die Netzhaut) kann nicht infrage gestellt werden und bildet den Startpunkt jedweder Verarbeitung des visuellen Inputs. Er wird dann davon ausgehen müssen, dass diese Projektion nach bestimmten Regeln oder Konzepten ausgewertet werden muss, damit er schließlich zur angenommenen „richtigen“ Wahrnehmung gelangt. Entscheidend ist für ihn jedoch, dass die Verursachung der Wahrnehmung auf einer tatsächlichen dreidimensionalen Szene beruht.

Der Internalist wird im Gegensatz zum Externalisten die Projektion (Abb. 1.4c) der dreidimensionalen Szene (Abb. 1.4d) theoretisch gleichwertig behandeln wie die zweidimensional gezeichnete Adelson Illusion (Abb. 1.4a). Er wird die Adelson Illusion gewissermaßen als „wahrgenommenes Alberti-Fenster“ auffassen, d.h. als ob ein Beobachter auf diese Projektion schaut. Gleichzeitig wird er keine theoretische Unterscheidung zwischen der „als ob 3D-Szene“ (Abb. 1.4b) und der tatsächlichen 3D-Szene (Abb. 1.4d) vornehmen. Es geht ihm einzig und allein darum, dass eine dreidimensionale Konstruktion durch das Alberti-Fenster angeregt wird. Er wird die physikalische Verursachung zwar angeben können, diese ist theoretisch, d.h. für das Verständnis der Wahrnehmungsinhalte, aber nicht von Bedeutung.<sup>12</sup>

Der Externalist wird nun behaupten, er sehe die dreidimensionale Szene (Abb. 1.4d) genau *richtig*, also ein helles Feld (hohe Reflektanz) unter wenig Beleuchtung und ein dunkles Feld (niedrige Reflektanz) unter stärkerer Beleuchtung. Würde man darauf hinweisen, dass die gleiche Menge Licht (Luminanz) von den beiden Feldern zum Auge kommt (dies entspricht der zweidimensionalen Projektion des Alberti-Fensters) und man nach der Konzeption eines Messinstrumentes (Mausfeld, 2002) der Wahrnehmung doch auch erwarten müsste, die gleiche Intensität zu sehen, so würde hier für den Externalisten eine Fallentscheidung notwendig. Er wäre jetzt gezwungen zu sagen, dass es ja „in dieser Situation“ nicht um die lokale Intensität an sich, sondern um das Erkennen des Objektes und der Umwelt gehen würde. Die Beleuchtung wäre dann gewissermaßen aus dem Objekt „herausgerechnet“, so dass die Reflektanz der Objekte sich in der Wahrnehmung widerspiegelt. Mit anderen Worten: Was als physikalisch korrekte Beschreibung genutzt wird, hängt von der Theorie ab, die über die wahrzunehmenden Inhalte besteht. In diesem Fall soll die Wahrnehmung also nicht über

---

<sup>12</sup> In einem „überzeugenden“ *virtual reality* setting wird auch die Frage nach der physikalischen Verursachung für einen Beobachter nicht mehr aufgrund seines visuellen Eindruckes zu lösen sein. Es gibt keine prinzipiellen Hürden einen Beobachter glauben zu lassen, sich einer „realen“ dreidimensionalen Welt gegenüberzusehen, auch wenn dieser Eindruck einzig und allein auf Lichter in einer aufgesetzten Brille zurückgeht und eben nicht auf eine „reale“ 3D-Szene.

die Luminanz (Menge des zum Auge kommenden Lichtes), sondern über die Reflektanz (und mit Abstrichen auch noch die Illuminanz) Auskunft geben. Über die zweidimensionale Adelson Illusion (Abb. 1.4a) würde der Externalist nun urteilen, dass die Prinzipien, die für die Wahrnehmung der realen gefalteten Oberfläche (Abb. 1.4d) richtig angewendet wurden, nun falsch verwendet werden, da ja keine dreidimensionale Verursachung in der Strichzeichnung auszumachen ist. Die Illusion tritt nun also für den Externalisten auf, da sich die Betrachtungsweise von der dreidimensionalen Szene auf eine zweidimensionale Ebene hin ändert und damit anstatt der Reflektanz und Illuminanz nun nur noch die Luminanz als entscheidender Faktor für die Beurteilung herangezogen wird.

Noch deutlicher wird diese „Kriterienverschiebung“ (Luminanz statt Reflektanz) dann, wenn entweder keine oder nur wenige Erklärungen vorliegen. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Simultankontrast, der in Standardlehrbüchern der Psychologie und Physiologie (Goldstein, 1997; Klinke & Silbernagl, 2003) mittels der lateralen Inhibition auf der Netzhaut, also einem physiologischen Mechanismus, erklärt wird. Auch hier gibt es jedoch gute Gründe anzunehmen, dass es sich um eine Verwechslung implementierungsspezifischer Mechanismen (laterale Inhibition) und der funktionellen Bedeutung (Versuch des visuellen Systems, die Szene in Oberflächen und Beleuchtung aufzuteilen) handelt (Katz, 1911; Hoffman, 1998; Mausfeld & Andres, 2002).

## 2 Motorik der Augen und der Hand

Im Folgenden werden die neuronalen Grundlagen für die Steuerung von Augenbewegungen und für Bewegungen der Hand besprochen. Zudem werden die für diese Arbeit wichtigsten Bewegungen, Sakkaden der Augen und der Präzisionsgriff der Hand, behandelt. Da die später zu schildernden Ansätze zum Thema Zusammenhang von Wahrnehmung und Motorik (Kapitel 3) und auch die Experimente dieser Studie diese Bewegungen als abhängige Maße nutzen, ist ein Verständnis der Augen- bzw. Handbewegungen essentiell.

### 2.1 Motorik der Augen

Augenbewegungen lassen sich in verschiedene Klassen mit zugehörigen Funktionen einteilen (Leigh & Zee, 1999). Der *vestibulo-okuläre Reflex* wird durch eine Reizung des Vestibularorgans bei Kopfdrehung ausgelöst und besteht in einer kompensatori-

schen Bewegung der Augäpfel (relativ zum Kopf), die dafür sorgt, dass die Blickrichtung trotz der Kopfbewegungen stabil bleibt. Eine *Fixation* hält das Bild stabil auf der Fovea. Der *optokinetische Nystagmus*, bei dem sich langsame Folgebewegungen und Sakkaden abwechseln, wird durch optische Fließmuster ausgelöst, etwa wenn man aus einem fahrenden Zug auf Telegrafmasten blickt. Die *langsame Folgebewegung* hält das Bild des Objektes stabil auf der Fovea. *Sakkaden* stellen sehr schnelle (bis mehrere hundert Grad/s) Augenbewegungen dar. Die schnelle Phase des Nystagmus ist eine Sakkade, die durch anhaltende Rotation des Auges ausgelöst wird. Unter *Vergenz* versteht man die Bewegung der Augen in gegensinnige Richtung, so dass das Bild eines Objektes auf beide Foveae fällt, wie z.B. beim Fixieren eines sich nähernden Gegenstandes. Auch wenn unter „natürlichen“ Bedingungen praktisch immer kombinierte Kopf- und Augenbewegungen auftreten (und damit auch unterschiedlichste Kombinationen von ausgelösten Augenbewegungen), wird der Schwerpunkt der nachfolgenden Erläuterungen auf Sakkaden liegen.

Im Allgemeinen wird der Sakkade die Funktion so zugeschrieben, wie es einer der Pioniere der Sakkadenforschung,<sup>13</sup> Dodge formuliert hat: „[...] to move the eyes so that the point of interest will be seen with the visual centre of the retina.“ (Dodge, 1903, S. 316) Das gemeinte visuelle Zentrum beim Menschen ist die Fovea, der Ort des schärfsten Sehens. In Tabelle 2.1 (nach Leigh & Zee, 1999) werden unterschiedliche Formen von Sakkaden unterschieden.

Eine Einteilung in unterschiedliche Formen von Sakkaden ist sinnvoll, da die Auslösung von Sakkaden auf teils sehr unterschiedlichen Mechanismen beruht. Hierbei gilt, wie auch in vielen anderen Bereichen, dass eine kortikale Kontrolle besteht, welche die Auslösung von reflexgesteuerten Sakkaden beeinflussen kann, d.h. also „übersteuern“ kann<sup>14</sup>. Man sollte sich bei einer solchen Einteilung bewusst sein, dass sie auf dem Versuch beruht, eine gewisse Ordnung in die Phänomenologie der Sakkaden zu bringen. Die Einteilung beruht in dieser Form nicht (nur) auf „natürlichen“ Beobachtungen, sondern ist schon bestimmten experimentellen Paradigmen geschuldet. Dies wird insbesondere bei der Einteilung der volitionalen Sakkaden deutlich, zu denen immer eine besondere „Instruktion“ und/oder eine bestimmte Präsentation von Stimuli gehören. Eine für diese Arbeit wichtige Unterscheidung liegt in der Klassifikation von reflektorischen und volitionalen Sakkaden (Tab. 2.1). Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal liegt darin, dass das Ziel bei reflektorischen Sakkaden unerwartet und an

---

<sup>13</sup> Dodge verwendete allerdings nicht die Bezeichnung „Sakkade“ sondern den Begriff „Type 1“. Die Bezeichnung Sakkade ist französischen Ursprungs und bezieht sich auf die Kopfdrehung von Pferden als Reaktion auf einen (heftigen) Zügelzug.

<sup>14</sup> Die Bezeichnung in Tabelle 2.1 über reflektorische Sakkaden ist nicht glücklich, da auch die schnellen Komponenten des Nystagmus (optokinetisch oder vestibulär) durch einen Reflex ausgelöst werden.

einem beliebigen Ort in der Umgebung auftreten kann. Auch gibt es keine besondere „Anweisung“, auf auftretende Stimuli zu reagieren. Bei volitionalen Sakkaden hingegen dient die Sakkade immer einer Aufgabe oder einem Ziel, welches entweder external (z.B. durch einen Versuchsleiter) oder internal (aus eigenem Antrieb) vorgegeben wird.

Tab. 2.1: Klassifikation von Sakkaden.

Klassifikation	Definition
Volitionale Sakkaden	Willentlich initiierte Sakkaden, durchgeführt als Teil <i>zweckgerichteten</i> Verhaltens
<i>Vorhergesagt, antizipatorisch</i>	Sakkaden, durchgeführt in Antizipation oder aufgrund der Suche nach einem Ziel an einer bestimmten Stelle
<i>Gedächtnis geleitet</i>	Sakkaden, gerichtet auf den Ort, an dem das Ziel zuvor gesehen wurde
<i>Antisakkaden</i>	Sakkaden, gerichtet in die entgegengesetzte Richtung nach Erscheinen des Ziels (nach Instruktion)
<i>Auf Kommando</i>	Sakkaden, generiert nach einem Signal
Reflektorische Sakkaden	Sakkaden, generiert als Reaktion auf neue Stimuli (visuelle, auditorische oder taktile), die <i>unerwartet</i> auftauchen
Express Sakkaden	Sehr kurze Latenz Sakkaden, die initiiert werden können wenn der neue Reiz präsentiert wird, nachdem der Fixationsreiz verschwunden ist ( <i>gap stimulus</i> )
Spontane Sakkaden	Scheinbar zufällige Sakkaden die auftreten, wenn der Proband nicht aufgefordert wird, irgendwelche speziellen Aufgaben durchzuführen
Schnelle Phasen	Schnelle Phasen des Nystagmus, generiert während vestibulärer oder optokinetischer Stimulation

übersetzt nach Leigh & Zee, 1999

Die sechs wichtigsten Parameter einer Sakkade sind die Geschwindigkeit, die Dauer, die (Kurven-)form, die Trajektorie (die Richtung), die Latenz und die Genauigkeit (Leigh & Zee, 1999).

Die Spitzengeschwindigkeit (ebenfalls die Durchschnittsgeschwindigkeit) nimmt mit der Amplitude (der „Größe“) der Sakkade zu. Eine Sakkade kann in der Spitze bis zu 700 Grad/s erreichen. Der Zusammenhang von Spitzengeschwindigkeit und Amplitude wird oft als *main sequence* beschrieben (Boghen, Troost, Daroff, Dell’Osso & Birkett, 1974; Bahill, Clark & Stark, 1975c). Dieser ergibt sich aus der Art und Weise, wie eine Sakkade durch Aktivierung der Augenmuskeln generiert wird. Hieraus erklärt sich auch die ballistische Natur der Sakkade. Unter einer ballistischen Bewegung wird eine Bewegung verstanden, die nach ihrem Beginn nicht mehr beeinflussbar ist. Ein klassisches Beispiel ist ein geworfener Ball. Die Flugbahn ist (zumindest durch den Werfer) nicht mehr veränderbar.



Auch die Dauer nimmt mit der Größe der Sakkade zu und kann etwa 30 - 40 ms bei kleinen Sakkaden (ca. 3 Grad Amplitude) oder bis zu 100 ms bei großen Sakkaden (30 Grad Amplitude) betragen. Während einer Sakkade kommt es zur so genannten *sakkadischen Suppression* (Burr, Morrone & Ross, 1994). Die sakkadische Suppression beschreibt die Unfähigkeit, während der Sakkade Veränderungen im Sehfeld wahrzunehmen. Man kann dies leicht vor einem Spiegel demonstrieren. Schaut man sich im Spiegel von einem Auge ins andere, hat man keinen Eindruck über die Bewegung der Augen. Ein Beobachter hingegen sieht diese Bewegungen sehr deutlich.

Die so genannten sakkadischen Kurvenformen sind Darstellungen der Position, der Geschwindigkeit oder der Beschleunigung des Auges im zeitlichen Verlauf. Abbildung 2.1 zeigt diese drei Formen schematisch auf.

Manchmal wird nach einer Sakkade ein *postsaccadic drift*, eine *Glissade*, beobachtet (Weber & Daroff, 1972). Die Autoren glauben, diese kommen durch fehlende Passung zwischen phasischer und tonischer Aktivierung zustande. Die phasische Aktivierung bewegt das Auge, die tonische Aktivierung hält es an ihrem neuen Zielort. Die neuronalen Grundlagen hierfür werden weiter unten im Kapitel beschrieben. Beim *dynamic overshoot* handelt es sich um eine zweite Sakkade im Anschluss (ohne Verzögerung) an die primäre Sakkade in entgegengesetzter Richtung (Bahill, Clark & Stark, 1975a; van Gisbergen, Robinson & Gielen, 1981; Lehman & Stark, 1983; Kapoula, Robinson & Hain, 1986). Der *dynamic overshoot* ist eine Sakkade, da er sich auf der *main sequence* befindet und von entsprechenden neuronalen Signalen in Form der Aktivierung der Antagonisten zu denjenigen Muskeln initiiert wird, welche die Sakkade ausgelöst haben (Bahill, Clark & Stark, 1975a; Bahill, Clark & Stark, 1975b). Diese Sakkade stellt keine Korrektur dar, denn sie tritt selbst dann auf, wenn das Ziel unterschritten wird. Die Richtung des *dynamic overshoots* führt dann sogar noch weiter vom Ziel weg und kann somit nicht korrigierend wirken.

Die Trajektorie, d.h. der Weg der Sakkade durch den Raum, unterscheidet sich im Allgemeinen für horizontale und vertikale Sakkaden von schrägen bzw. diagonalen Sakkaden. Bei horizontalen und vertikalen Sakkaden ist der zurückgelegte Weg annähernd gerade. Schräge Sakkaden hingegen weisen oft einen leicht kurvenförmigen Verlauf auf (Becker & Jürgens, 1990).

Die Latenz beschreibt die Zeit, die von der Präsentation eines Stimulus bis zum Beginn der Augenbewegung vergeht. Die Latenz ist von vielen Faktoren, wie z.B. Instruktion, Aufmerksamkeit oder Struktur des Stimulus abhängig (Doma & Hallett, 1988; Groner & Groner, 1989).

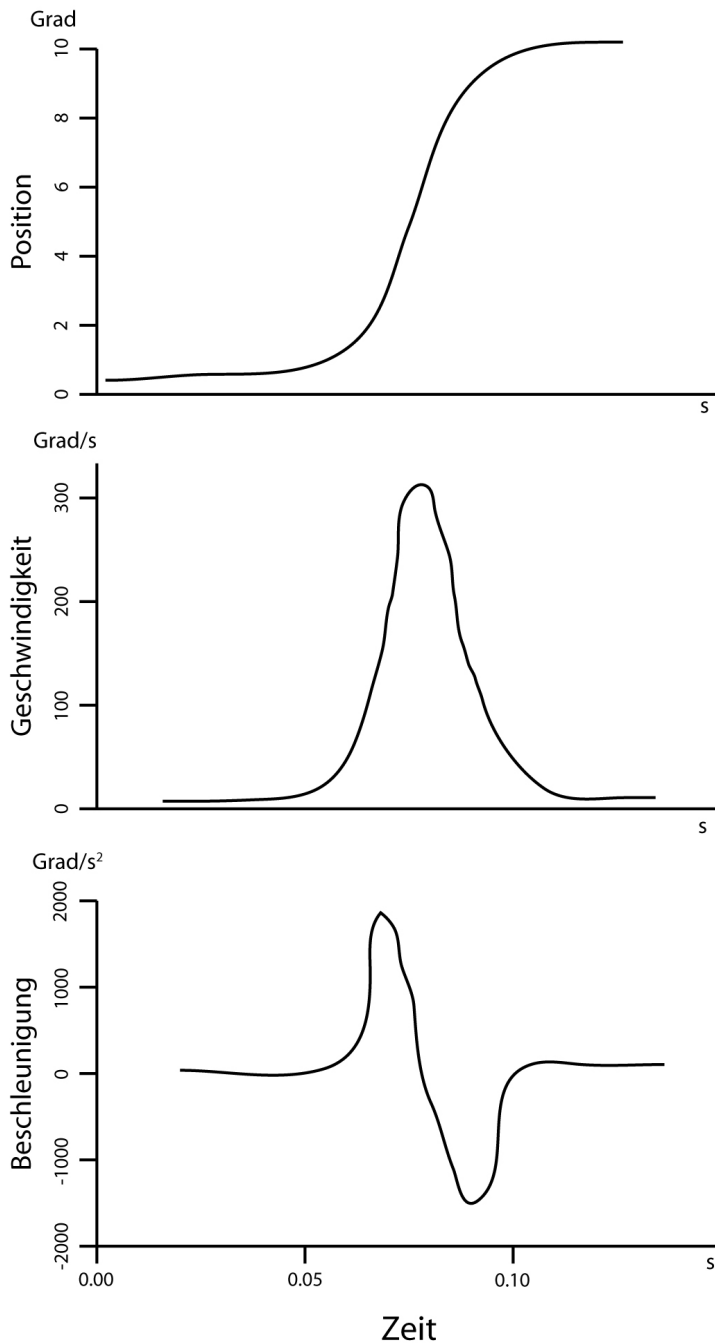


Abb. 2.1: Sakkadische Kurvenformen schematisch (nach Leigh & Zee, 1999). Oben: Die Veränderung der Position des Auges über die Zeit. Mitte: Die Veränderung der Geschwindigkeit des Auges über die Zeit. Unten: Die Veränderung der Beschleunigung des Auges über die Zeit.

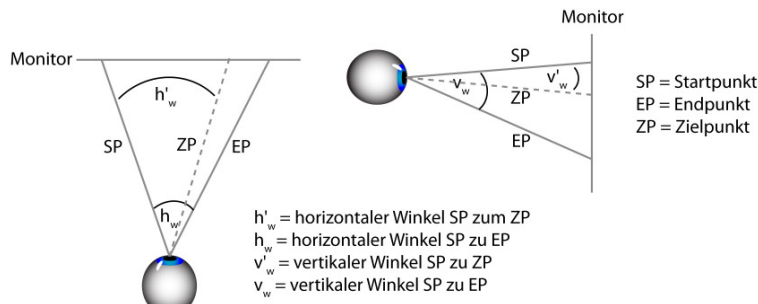
Ein für diese Arbeit wichtiger Parameter von Sakkaden stellt die Genauigkeit (bzw. die relative Genauigkeit) dar. Die absolute Genauigkeit ist in Abbildung 2.2c schematisch dargestellt. Die Abbildung zeigt (auf einer zweidimensionalen Ebene wie einem Monitor) einen Startpunkt (SP), einen Zielpunkt (ZP) sowie den tatsächlich erreichten Endpunkt (EP) der Sakkade. Üblicherweise wird unter der absoluten Genauigkeit die

Differenz des tatsächlich erreichten Endpunktes einer Sakkade zu einem Zielpunkt verstanden ( $g$  in Abb. 2.2c). Zahlreiche Studien existieren für die Genauigkeit sowohl nach stationären als auch sich bewegenden Objekten (Weber & Daroff, 1972; Wong & Mack, 1981; Findlay, 1982; Sailer, Flanagan & Johansson, 2005). Häufig werden zwei Formen von Fehlern unterschieden, nämlich zum einen die *sakkadische Pulsdysmetrie* und zum anderen der *postsakkadische Drift*. Wie bereits oben erläutert, wird der *postsakkadische Drift* als eine Fehlpassung zwischen phasischer und tonischer Aktivierung angesehen. Diese Art von Fehler ist aber eher selten und die Abweichung ist häufig sehr gering. Größere Abweichungen vom Ziel würden üblicherweise zu einer zweiten Korrektursakkade führen. Bei der *sakkadischen Pulsdysmetrie* (Kommerell, Olivier & Theopold, 1976) geht man von einer nicht passenden phasischen Aktivierung aus. Ist diese zu stark, so fällt die Sakkade zu groß aus (*overshoot*), ist die Aktivierung zu gering, führt dies zu einer zu kleinen Sakkade (*undershoot*). Es ist nicht ungewöhnlich, dass Probanden häufig einen *undershoot* aufweisen (Becker & Fuchs, 1969; Troost, Weber & Daroff, 1974). Auch hier gibt es viele Faktoren, die berücksichtigt werden müssen, beispielsweise, ob das Ziel unerwartet auftaucht oder wie weit das Ziel entfernt ist.

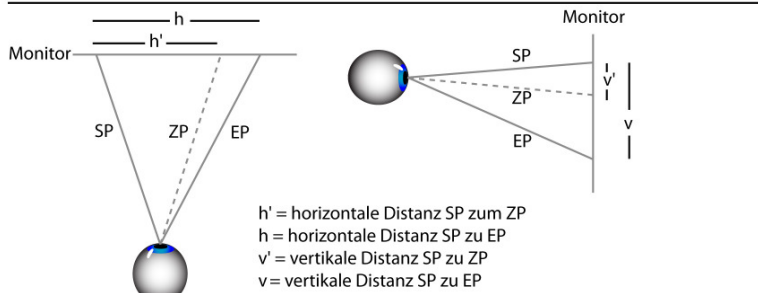
Im Hinblick auf Studien, die in Kapitel 3.3.2 dargestellt und die in dieser Untersuchung noch durchgeführt werden, ist eine zweite Messung der Genauigkeit, hier als *relative Genauigkeit* bezeichnet, von besonderer Wichtigkeit. Hierfür müssen zunächst einige Begriffe erläutert werden:

Unter der *Amplitude einer Sakkade* versteht man im Allgemeinen die Veränderung der Position des Auges beim Start der Bewegung bis zur Position am Ende der Bewegung (Leigh & Zee, 1999). Die Positionsänderung wird dann üblicherweise als Winkel angegeben. Augenbewegungen können in einem Bezugssystem mit drei Achsen angegeben werden: die Torsions-, die Horizontal- und die Vertikalachse. Für die Darstellung hier kann bei der Beschreibung von Amplituden auf den Betrag der Torsionsachse verzichtet werden, da dieser nur sehr gering ausfällt.

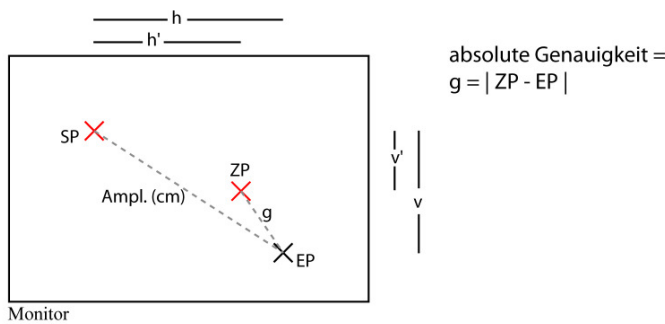
In Abbildung 2.2a sind die horizontalen ( $h_w$ ) und vertikalen ( $v_w$ ) Winkel für die Sakkade schematisch dargestellt. Ebenso können die Sehwinkel ( $h'_w$ ) und ( $v'_w$ ) angegeben werden, unter denen Start- und Zielpunkt dem Auge erscheinen. Die Amplitude der Sakkade kann nun entweder für die beiden Winkel  $h_w$  und  $v_w$  getrennt oder als resultierender Winkel angegeben werden. Die Größe des zurückgelegten Winkels kann über den Arcus Tangens bestimmt werden, wenn die Entfernung der Strecke (d.h. des Monitors) vom Beobachter bekannt ist.



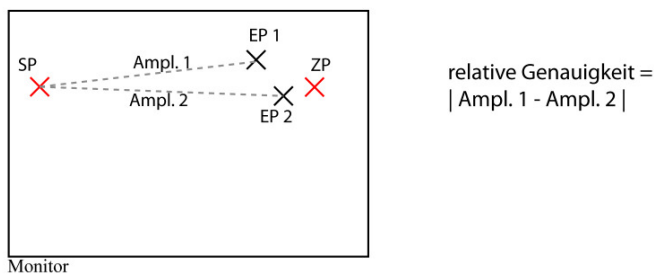
a) Winkel für horizontale und vertikale Augenbewegungen



b) Distanzen (cm) für horizontale und vertikale Augenbewegungen



c) absolute Genauigkeit (g)



d) Vergleich der Amplituden als Maß für relative Genauigkeit

Abb. 2.2: Darstellung von Augenbewegungen im Zusammenhang mit absoluter und relativer Genauigkeit. a) Winkel für Augenbewegungen:  $h_w$  und  $v_w$  bezeichnen die tatsächlich zurückgelegten horizontalen und vertikalen Augenbewegungen von einem Start- zu einem Endpunkt. Die Winkel  $h'_w$  und  $v'_w$  bezeichnen den Schinkel, unter dem der Abstand eines Start- zu einem Zielpunkt dem Betrachter erscheint. b) Distanzen der Augenbewegungen auf dem Monitor: Die Augenbewegungen ( $h$  und  $v$ ) können als zurückgelegte Distanzen (in horizontaler und vertikaler Richtung) auf dem Monitor umgerechnet werden. Die Distanzen  $h'$  und  $v'$  bezeichnen die Abstände von Start- zu Zielpunkt in horizontaler und vertikaler Richtung. c) Die absolute Genauigkeit ( $g$ ) wird berechnet als Betrag aus der Differenz von Zielpunkt zu Endpunkt. d) Die relative Genauigkeit wird als Betrag aus der Differenz von zwei Amplituden berechnet. Weitere Erläuterungen siehe Text.

Alternativ zu einer Betrachtung über Winkel kann man jedoch auch die Distanzen betrachten, die auf einer zweidimensionalen Projektion (wie einen Monitor auf den man schaut) „zurückgelegt“ werden (Abb. 2.2b). Mit  $h'$  wird die horizontale Distanz, mit  $v'$  die vertikale Distanz bezeichnet. Die Distanz von Start- zu Endpunkt wird dann über die Anwendung des Satzes von Pythagoras vorgenommen und mit Amplitude (cm) bezeichnet (Abb. 2.2c).<sup>15</sup>

Nun kann auch der Begriff der *relativen Genauigkeit* erläutert werden. Betrachtet werden zwei Sakkaden, die vom gleichen Startpunkt aus das gleiche Ziel erreichen sollen (Abb. 2.2d). Für beide Sakkaden können Amplituden (cm) berechnet werden (Ampl. 1 und Ampl. 2). Die Differenz dieser beiden Amplituden stellt die *relative Genauigkeit* dar. Ein solches Vorgehen wird deshalb in den später dargestellten Studien angewendet, da diese die so genannten visuellen Illusionen nutzen, um die *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) zu testen. Bei diesem Vorgehen erscheinen die Distanzen von Start- zu Zielpunkt den Probanden je nach Bedingung der verwendeten Illusionen unterschiedlich groß (obwohl die Figuren die gleiche Größe aufweisen). Anhand des Vergleiches der verschiedenen Bedingungen versuchen die Autoren herauszufinden, ob sich die Amplituden der Sakkaden unter diesen unterscheiden. Würde man hier als Maß die absolute Genauigkeit verwenden, so würden diese Abweichungen der Endpunkte vom Ziel keinen Aufschluss über die tatsächliche Größe der Sakkade geben. Eine systematische Unterschätzung könnte den gleichen Wert für die absolute Genauigkeit erbringen wie eine systematische Überschätzung, sofern die Differenzen von den Endpunkten der Sakkaden zum Ziel gleich groß sind.

Im Folgenden sollen die neuronalen Grundlagen der Sakkadensteuerung beschrieben werden. Die Augen werden durch sechs extraokulare Muskeln gesteuert. Vier Muskeln verlaufen gerade (M. rectus superior und inferior, M. rectus lateralis und medialis), zwei von ihnen (M. obliquus superior und inferior) verlaufen schräg (Klinke & Silbernagl, 2003). Die Bewegungen des Auges werden in einem Koordinatensystem beschrieben, in dem drei Achsen definiert werden, um die das Auge bewegt werden kann: die Torsions-, die Horizontal- und die Vertikalachse. Die extraokularen Muskeln zur Steuerung der Augenbewegungen werden durch drei Hirnnerven, den N. trochlearis (M. obliquus superior), den N. abducens (M. rectus lateralis) und den N. oculomotorius (M. rectus superior und inferior, M. rectus medialis, M. obliquus inferior) innerviert.

---

<sup>15</sup> Die Berechnung der Amplituden (cm) erweist sich später als vorteilhaft bei der Datenauswertung mit dem Eyetracker.

Die Motoneurone der Kerne dieser Nerven erhalten die Signale für Sakkaden aus einer Zellpopulation der *Formatio reticularis* (van Gisbergen, Robinson & Gielen, 1981). Diese Zellen werden „premotor burst neurons“ genannt. Sie weisen hohe Aktionspotentialfrequenzen, auch als phasische Aktivierung bezeichnet, vor Beginn (ca. 12 ms) einer Sakkade auf (Scudder, Kaneko & Fuchs, 2002). Die entsprechenden Augenmuskeln kontrahieren, die Antagonisten werden gehemmt. Die Übertragung auf die Motoneurone geschieht monosynaptisch (Horn, Büttner-Ennever, Suzuki & Henn, 1995). Horizontale Sakkaden werden in der paramedianen pontinen retikulären Formation (PPRF) (Strassman, Highstein & McCrea, 1986), vertikale Sakkaden in der rostralen mesenzephalen Retikulärformation (MRF) generiert (Klinke & Silbernagl, 2003). Nach einer Sakkade muss das Auge stabil an der neuen Position gehalten werden. Hierfür wird eine tonische Aktivierung der Motoneurone benötigt. Das Signal für diesen Tonus stammt aus dem N. *praepositus hypoglossi*. Von dort und wohl auch noch anderen Gebieten wie dem Kleinhirn (Leigh and Zee, 1999) wird die phasische und tonische Aktivierung integriert. Die beteiligten Gebiete werden dabei als Sakkaden-Generator bezeichnet (Gancarz & Grossberg, 1998), die einen gut koordinierten Bewegungsablauf des Auges gewährleisten. Die Sakkade selbst stellt dabei eine ballistische Bewegung dar (siehe oben), d.h. die phasische und tonische Aktivierung sind mit dem Ende der „Programmierung“ der Sakkade festgelegt. Mehrere kortikale und subkortikale Areale werden mit der Steuerung von Sakkaden in Verbindung gebracht. Sie weisen dabei entweder direkte oder indirekte Verbindungen zu den prämotorischen Kernen im Hirnstamm auf.

Zu den bestuntersuchteten Arealen hinsichtlich der der Steuerung von Sakkaden gehören das *frontal eye field* (FEF), das *supplementary eye field* (SEF) und das *parietal eye field* (PEF). Es gibt aus diesen Gebieten entweder direkte oder indirekte Verbindungen zur Vierhügelplatte (*Colliculi superiores*), die ebenfalls eine wichtige Struktur für die Generierung von Sakkaden darstellt (Hikosaka, Takikawa & Kawagoe, 2000). Die *Colliculi superiores* weisen direkte Verbindungen zum Sakkaden-Generator auf (Klinke & Silbernagl, 2003). Läsionen in diesen Gebieten führen zu charakteristischen Störungen für die Ausführung von Sakkaden. Eine Übersicht darüber geben Leigh und Kennard (2004).

Generell lässt sich sagen, dass kompensatorische Bewegungen im Hirnstamm, Zielfolgebewegungen dagegen im Kortex generiert werden. Tauchen unerwartet Reize im Gesichtsfeld auf, werden reflektorische Sakkaden, vermittelt über die *Colliculi superiores*, ausgelöst (Klinke & Silbernagl, 2003). Man spricht hier auch vom visuellen Greifreflex. Dieser kann beim gesunden Menschen durch Beteiligung kortikaler Strukturen unterdrückt werden. Bei der Exploration von Szenen hat der *posteriore*

*parietale Kortex* (Area 7 nach Brodmann) eine besondere Bedeutung, der auch direkte Projektionen zu den *Colliculi superiores* und auf das *frontale Augenfeld* aufweist.

## 2.2 Reichen und Greifen

Möchte man ein Objekt greifen oder ergreifen, so muss die Hand zunächst durch eine Reichbewegung des Armes zum Ziel gebracht werden. Diese beiden Aspekte, das Reichen und das Greifen, werden häufig als zwei voneinander unterscheidbare Komponenten aufgefasst und sind Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, von denen die Arbeiten von Jeannerod die wohl einflussreichsten darstellen (Jeannerod, 1981; Jeannerod, 1984). Beim Reichen sind die räumlichen Beziehungen zwischen Körper und Objekt von Bedeutung. Der Arm muss so bewegt werden, dass die Hand die intendierte Manipulation mit dem Zielobjekt vornehmen kann. Für die Hand hingegen stellt Jeannerod fest: „Das der Greifbewegung zugrundeliegende Koordinatensystem hat [...] keine Beziehung zum Körper, sondern zur Hand und zum Objekt, unabhängig (innerhalb gewisser Grenzen) von der Position der Hand im extrapersonalem Raum.“ (Jeannerod, 1994, S. 509). Diese Anpassung der Hand an das Objekt betrifft beispielsweise die Handöffnung, die Handformung oder die Kraft, mit der ein Objekt erfasst wird.

Beim Reichen wird eine Richtungs- von einer Amplitudenkodierung unterschieden. Bei der Richtungskodierung soll der Arm auf ein Ziel im körperzentrierten Raum orientiert werden (Jeannerod, 1994). Entlang dieser Richtung werden Arm und Hand mit charakteristischen Geschwindigkeitsprofilen bewegt, um zum Zielobjekt zu gelangen. Wichtige Funktionen bezüglich des Reichens erfüllen der *posteriore parietale Kortex* (Hyvärinen & Poranen 1974; Mountcastle, Lynch, Georgopoulos, Sakata & Acuna, 1975), der *prämotorische*- und der *primäre motorische Kortex* (Gentilucci, Fogassi, Luppino, Matelli, Camarda & Rizzolatti, 1988). Nach Jeannerod (1994) sind der *prämotorische*- und der *primäre motorische Kortex* an der Initiierung der Bewegung, der *parietale Kortex* hingegen hauptsächlich an der Überwachung der Ausführung des Reichens beteiligt. Eine häufig genutzte Methode, um die zugrunde liegenden Prinzipien des Reichens zu erfassen, besteht darin, Störungen vor oder während des Reichens einzuführen (Paulignan, MacKenzie, Marteniuk & Jeannerod, 1990). Auf diese Weise fand man heraus, dass eine sehr schnelle Online-Korrektur möglich ist (ca. 100 ms), z.B. bei Veränderung der Position des Zieles. Die Hand wird dann während der Bewegungsausführung rasch auf die neue Zielposition ausgerichtet. Greifbewegungen dauern in der Regel länger als Zeigebewegungen (Marteniuk, MacKenzie, Jeannerod, Athenes & Dugas, 1987). Auch der Kontext einer Handlung ist

bedeutsam für die Bewegungszeit. In der Studie von Marteniuk et al. (1987) war die Bewegungszeit beim Greifen nach Objekten unterschiedlich: kürzer, wenn diese anschließend geworfen werden sollten bzw. länger, wenn sie nach dem Greifen in einen Behälter eingepasst wurden.

Unter *Greifen* oder *Ergreifen* versteht man „die Aneignung von Objekten mit dem Ziel der Manipulation, Identifikation oder Benutzung“ (Jeannerod, 1994). Das Besondere an der menschlichen Hand sind der opponierbare Daumen, der feingesteuertes Halten und Manipulieren von Gegenständen ermöglicht sowie die Fähigkeit, die Finger einzeln und unabhängig voneinander zu bewegen. Napier (1956) führte die bis heute klassische Unterscheidung zwischen dem Kraft- und dem Präzisionsgriff ein.

Beim Kraftgriff sind die Finger gebeugt, so dass das Objekt wie in einer Klammer zwischen Fingern und Handinnenfläche eingeschlossen ist. Auf diese Weise können vergleichsweise große Kräfte entwickelt werden.

Der Präzisionsgriff (manchmal auch als Pinzettengriff bezeichnet) ist durch kleinere Kräfte gekennzeichnet. Der Daumen steht dabei den anderen Fingern gegenüber (Fingerkuppen mit Gegenüberstellung). Dieser Griff kann genutzt werden, um feine Manipulationen an Objekten vorzunehmen. Die aufzuwendende Kraft kann beim Menschen sehr genau gesteuert werden (Flanagan, 1996; Forssberg, 1998).

Beim präzisen Greifen nach einem Objekt findet eine spezifische Formung der Hand bereits während des Reichens statt. In der Regel kommt es zunächst zu einer fortschreitenden Öffnung der Hand mit zunehmender Streckung der Finger. Den größten Anteil an der zunehmenden Apertur hat der Zeigefinger, während der Daumen sich nur wenig bewegt. Nach Erreichen eines Maximums (im Folgenden maximale Griffapertur oder maximale Griffweite genannt) verringert sich die Griffapertur wieder, bis das Objekt schließlich ergriffen wird (Abb. 2.3). Die maximale Griffweite wird ungefähr nach 60-70 % der Dauer der Bewegung erreicht (Jeannerod, 1984). Dies ist ein Zeitpunkt, der meist nach der Maximalgeschwindigkeit erreicht wird (Paulignan & Jeannerod, 1996; Grosskopf & Kuhtz-Buschbeck, 2006). Einen wichtigen Befund für diese Arbeit stellt der Zusammenhang von Objektgröße und maximaler Griffapertur dar. Je größer das Objekt, desto größer ist auch in der Regel die maximale Griffweite (Jeannerod, 1981; 1984; Wing & Fraser, 1983). Dieser Zusammenhang wird meistens als annähernd linear beschrieben, wobei die Steigung in der Regel  $< 1$  ist.



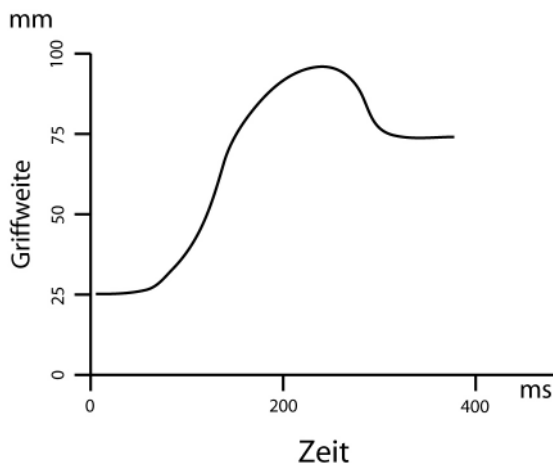


Abb. 2.3: Die Veränderung der Griffweite beim Greifen nach Objekten mit dem Präzisionsgriff (schematisch). Die Griffweite steigt zunächst bis zu einem Maximalwert (maximale Griffapertur). Nach Erreichen des Maximums nimmt der Abstand von Daumen und Zeigefinger wieder ab, bis schließlich das Objekt ergriffen wird (nach Jeannerod, 1994).

Dieser Zusammenhang besteht auch beim Greifen nach Objekten ohne visuelles Feedback (open-loop), wobei die Griffweiten insgesamt ansteigen (Jeannerod, 1981; Grosskopf & Kutz-Buschbeck, 2006). Trotzdem sind Probanden auch im Dunkeln noch bemerkenswert gut dazu in der Lage, das Objekt zu erfassen. Das Objekt wird dabei meist in einer flüssigen Bewegung ergriffen. Die Korrelation von Objektgröße zu maximaler Griffweite wird in vielen Studien genutzt, die den Zusammenhang von Wahrnehmung und Handlung untersuchen.

Eine Übersicht über beteiligte Muskeln am Präzisions- und Kraftgriff geben Hepp-Reymond, Huesler und Maier (1996). An der Steuerung dieser Muskeln sind hauptsächlich der *primäre motorische*, der *prämotorische* und *parietale Areale* des Kortex beteiligt (Jeannerod, 1994). Muir und Lemon (1983) konnten spezifische Aktivitäten von Neuronen im *primären motorischen Kortex* für die Steuerung einzelner Hand- und Fingermuskeln nachweisen und zeigten mit ihren Experimenten, dass monosynaptische Verbindungen zu spinalen Motoneuronen für diese Steuerung bestehen. Solche monosynaptischen Verbindungen sind eine Voraussetzung für die Durchführung feinmotorischer Fingerbewegungen. Kutz-Buschbeck et al. (2008) konnten zeigen, dass entgegen bisheriger Annahmen (Ehrsson, Fagergren & Forssberg, 2001) keine unterschiedlichen kortikalen Aktivierungsmuster (d.h. unterschiedliche Areale) bei Verwendung eines „einfachen“ Präzisionsgriffes (keine Stabilisierung oder Manipulationen am Objekt) und eines Kraftgriffes auftreten.

### 3 Der Zusammenhang von Perzeption und Handlung

Die Frage nach *dem* Zusammenhang von Perzeption und Handlung (ZPH) ist zunächst eine sehr allgemeine. Da eine ausführliche Würdigung der bisherigen Ansätze zu dieser Problematik den Rahmen dieser Arbeit weit übersteigen würde, kann nur kurz auf die historische Entwicklung eingegangen werden. Für ausführlichere Darstellungen sei auf Neumann und Prinz (1990) hingewiesen. Am Beispiel des Stufenmodells von Sanders (1983) und der *Theory of Event Coding* (TEC, Hommel, Müsseler, Aschersleben & Prinz, 2001) sollen verschiedene Ansichten und Konzeptualisierungen der Problematik vorgestellt werden. Anschließend wird die *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) als der wohl zurzeit einflussreichste Ansatz erläutert. Die Überlegungen und Kritik, die zu diesen Theorien angestellt werden, führen schließlich zu spezifischen Fragestellungen und testbaren Hypothesen, die in den *Studien 1-5* bearbeitet werden.

Die folgenden Probleme werden bei der Betrachtung unterschiedlicher Theorien immer wieder auftreten: 1) Welche Wahrnehmungen und welche Handlungen werden untersucht? 2) Nach welchem theoretischen Verständnis werden Perzeption und Handlung betrachtet? 3) Welches ist die Analyseebene der Betrachtung von Perzeption und Handlung?

Diese Probleme sind eng miteinander verbunden und machen es teilweise schwierig, verschiedene Theorien miteinander zu vergleichen. Eine erste wichtige Feststellung bezieht sich dabei auf die verwendeten experimentellen Paradigmen. Diese sind in der Regel auf sehr kleine und ausgewählte Bereiche beschränkt. Sowohl die Art der verwendeten Reize, auf die eine Antwort erfolgen soll, als auch die Handlung selbst bilden nur einen kleinen Teil aus dem Katalog der Möglichkeiten ab. Hierbei kann es sich etwa um das Drücken eines Hebels nach einem Ton, um das Greifen nach einem Objekt oder auch das Zeichnen von Kurven auf einen Bildschirm handeln.

Die Definition einer Handlung (sowie des perzeptuellen Inhalts) in einem experimentellen Setting hängt natürlich vom theoretischen Standpunkt ab. So kann das Interesse eines Experimentators nur darin bestehen, ob ein Proband auf einen bestimmten Ton hin den rechten oder linken Knopf drückt. Ein anderer Experimentator hingegen hält es für wichtig, die Dauer der Handbewegung oder die Geschwindigkeit der Hand zu erfassen.

Das Problem der Analyseebene ist ein schwerwiegendes. Unter Analyseebene sollen hier unterschiedliche Betrachtungsweisen der verschiedenen Disziplinen wie Physik,

Chemie, Biologie oder Psychologie verstanden werden. Für die Frage nach dem Zusammenhang von Perzeption und Motorik haben sich zwei Ebenen etabliert, die (neuro-)physiologische (als Teil der Biologie) und die psychologische. Als ein besonderes Problem stellt sich dabei heraus, dass oft zwischen den Ebenen wie selbstverständlich „gesprungen“ wird, was zu konzeptionellen Schwierigkeiten führen kann. Ein damit verwandtes Problem ist die Übertragbarkeit von Erkenntnissen einer Ebene auf die andere (siehe Kapitel 1).

Eine *Handlung* (action) soll im Folgenden nach der Definition von Prinz so verstanden werden: “[...] action refers to any meaningful segment of an organism’s intercourse with its environment.“ (Prinz, 1990, S.167) Dies ist zunächst noch eine eher vage Definition. Eine bessere Vorstellung bekommt man, wenn die Begriffe *Antworten* (responses) und *Bewegungen* (movements) vom Begriff der *Handlung* abgegrenzt werden. Bei den *Antworten* liegt das Augenmerk auf dem auslösenden Stimulus, der eine Antwort erzeugt. Unter dem Begriff *Bewegungen* werden Muskelaktivitätsmuster und die Kinematik der Körperbewegungen verstanden. Bei der *Handlung* hingegen wird die intentionale Kontrolle des Handelnden betont. Der Handlungsansatz richtet den Fokus damit auf die Konsequenzen, die durch die Bewegung erreicht werden (Neisser, 1985). Damit kann auch eine wichtige Feststellung getroffen werden: Der Startpunkt eines Experiments wird nicht etwa durch die Präsentation eines Stimulus markiert, sondern durch die Instruktion für die Versuchsperson. Die Versuchsperson muss diese Instruktion verstehen und (im Allgemeinen) auf einen Reiz hin mit einer bestimmten motorischen Antwort reagieren. Sie wendet somit eine oder mehrere Regeln an.

Die systematische Beschäftigung mit dem Zusammenhang von Perzeption und Handlung (ZPH) geht auf einige der einflussreichsten Psychologen des 19. und des beginnenden 20. Jahrhunderts wie James (1890), Wundt (1903) oder Ziehen (1920) zurück. Sie sahen es als eine wichtige Frage an, diesen Zusammenhang aufzuklären. Alle drei gingen davon aus, dass eine Hierarchie hinsichtlich der sensomotorischen Kontrolle besteht. In dieser Hierarchie nehmen „höhere mentale Prozesse“ einen besonderen Stellenwert ein, indem sie Handlungen überhaupt erst ermöglichen. Andere wichtige Vorstellungen entwickelte Lotze (1852). Er bemerkte, dass die Wahrnehmung von Bewegung bei einem Betrachter oft auch Bewegungen auslöst oder zumindest den Impuls, sich ebenfalls zu bewegen. Nach seinem Ansatz lösen mentale Prozesse, die so genannten *Vorstellungen*, Handlungen aus. Zu den *Vorstellungen* gehören Gedanken und Wahrnehmungen. Mit dem Aufkommen des Behaviorismus und der Gestaltpsychologie wurde die Beschäftigung mit dem Zusammenhang von Wahrnehmung und Handlung schlicht „unmodern“, wie Neumann und Prinz es formulieren (1990). Über den Behaviorismus bemerken sie folgendes: “The aim was to

predict which stimuli lead to which responses, not so much to analyze how perception and action are functionally interrelated.” (Neumann & Prinz, 1990, S. 12) Die Gestaltpsychologen hingegen verlegten sich auf die Feststellung, dass Handlungen ausgelöst werden, um das psychophysikalische Feld in eine bessere Organisation zu bringen (u.a. Koffka, 1935). Wie dies geschieht, bleibt Koffka allerdings schuldig zu beantworten. Zur Gestaltpsychologie bemerken Neumann und Prinz: “[...] just as perception became lost in action in behaviorism, action became lost in perception in Gestalt psychology.“ (Neumann & Prinz, 1990, S.13) Ein wiedererstarktes Interesse an Wahrnehmung und Motorik kam mit dem Aufkommen der Kybernetik zustande (Wiener, 1948). Die Forschung auf dem Gebiet des Maschinen-Sehens und -Handelns unterscheidet sich natürlich grundlegend von der Forschung am Menschen, denn der Maschine werden die „internen Konzepte“ eingebaut und sind deshalb bekannt, beim Menschen sind diese erst noch zu entdecken. Auch die Wissenschaftler im so genannten folgenden Zeitalter der Informationsverarbeitung ab den 60er Jahren waren deutlich mehr an Perzeption und Kognition als am Zusammenhang von Perzeption und Motorik interessiert.

Eine bedeutende Ausnahme bildete der bereits in Kapitel 1.1 vorgestellte Ansatz von Gibson (1979). Was Gibson in diesem Zusammenhang besonders auszeichnet, ist seine Sicht auf die Wahrnehmung und Handlung. Im Gegensatz zu vielen anderen Vertretern betrachtete er die Notwendigkeit des Individuums, in der Umwelt zu handeln, als einen wichtigen Ansatzpunkt für die Theoriebildung. Damit isolierte er nicht Wahrnehmung von Motorik, sondern versuchte beides zu vereinen. Leider bleibt er in seinen Ausführungen wenig konkret, *wie* man sich den Zusammenhang von Perzeption und Motorik vorstellen kann. Genau so, wie er Bedeutung externalisiert und damit eine direkte Wahrnehmung propagiert, externalisiert er auch die *affordances*, also die Handlungsmöglichkeiten, die sich einem Individuum in der Umwelt ergeben.

Wie kann nun eine mögliche Konzeptualisierung über den Zusammenhang von Perzeption und Handlung aussehen? Um dies zu verdeutlichen, sollen ein „prototypisches“ Stufenmodell (Sanders, 1983), die *Theory of Event Coding* (TEC, Hommel et al., 2001) und die *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) besprochen werden.

### 3.1 Stufenmodelle

Die so genannten *Linearen Stufenmodelle* zeichnen sich durch eine Abfolge verschiedenster angenommener Prozesse aus, die in eine zeitliche Reihenfolge gebracht

werden. Im einfachsten Fall folgt dabei ein Verarbeitungsschritt auf den nächsten, wobei jeder folgende Schritt vom vorhergehenden abhängig ist. In anderen Modellen werden hingegen auch Rückkopplungen von späteren Schritten auf vorherige zugelassen. Bezogen auf den Zusammenhang von Perzeption und Handlung wird in einem solchen Modell häufig der Weg der Informationsverarbeitung von den Rezeptoren bis zu den Effektoren skizziert. Bekannte Stufenmodelle stammen von Donders (1869), Sternberg (1969) oder auch Sanders (1983). Sanders' Modell (welches eigentlich ein Stress-Modell ist) kann beispielhaft illustrieren, welche Stufen angenommen werden und wie der Zusammenhang zwischen Perzeption und Handlung dort gesehen wird.

Die Theorie von Sanders nimmt vier Stufen an, die zeitlich nacheinander durchlaufen werden. In einer ersten Stufe findet ein „Vorprozessieren“ des Reizes statt. In einer zweiten Stufe werden die Merkmale des Reizes extrahiert. Diese beiden Stufen gehören zur perzeptuellen Auswertung. Erst anschließend wird eine mögliche Antwort ausgewählt und schließlich in einer vierten Stufe die motorische Antwort ausgelöst. Diese Ansicht über die sequentielle Folge von Perzeption und Motorik kann wohl als „Standardsicht“ über den ZPH bezeichnet werden, was wohl vor allem damit zu erklären ist, dass viele Ansätze entweder an Perzeption oder an Handlung interessiert sind, aber nur die wenigsten versuchen, beide Aspekte gleichzeitig zu betrachten.

### 3.2 Theory of Event Coding (TEC)

Die *Theory of Event Coding* (TEC, Hommel et al., 2001) ist aus mehreren Gründen relevant. Zum einen bildet sie zusammen mit der *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) den wohl zurzeit ausführlichsten Versuch einer Theoriebildung über den ZPH, zum anderen stellen die Annahmen über das *common-coding* auch einen Gegensatz zur TVSH dar. Die verwendeten experimentellen Paradigmen dieser Ansätze unterscheiden sich dabei grundsätzlich voneinander.

Die erste Fassung dieser Theorie wurde von Prinz (1990) als *Common Coding Approach to Perception and Action* vorgestellt. Einige Aspekte dieses Ansatzes finden sich auch schon in vorherigen Veröffentlichungen (siehe z.B. Prinz, 1984; Prinz 1987). Durch zahlreiche weitere Studien in den darauffolgenden Jahren (Prinz, 1997a; Prinz 1997b; Hommel 1998; Hommel 1997) wurde der Ansatz schließlich weiterentwickelt zur *Theory of Event Coding* (Hommel et al., 2001). Diese versteht sich als ein Grundgerüst, mit dem der Zusammenhang von Perzeption und Handlung (bzw. Handlungsplanung) erklärt werden kann. Die Autoren selbst räumen ein, dass es sich

bei der TEC nicht um eine formale Theorie handelt, nach der klare Vorhersagen gemacht und getestet werden können. Das Grundgerüst dient vielmehr als Leitlinie zur Erforschung des ZPH.

Nach der Grundidee dienen kognitive Repräsentationen von so genannten *Events* (dies sind alle *to-be-perceived* oder *to-be-generated* Ereignisse (Hommel et al., 2001)) nicht nur repräsentationalen Funktionen (diese umfassen die Wahrnehmung eines Ereignisses oder auch die Möglichkeit sich an das Ereignis zu erinnern) sondern auch handlungsbezogenen Funktionen (diese beinhalten sowohl die Handlungsplanung als auch die Initiierung). Ermöglicht werden soll dies durch eine gemeinsame Repräsentationsebene. *Stimulus codes* und *Response codes* werden demnach nicht als Entitäten unterschiedlicher Art aufgefasst, sondern repräsentieren lediglich unterschiedliche Events. Damit gibt es keine Notwendigkeit mehr, *Stimulus-* von *Response codes* zu unterscheiden. Sie werden deshalb auch zusammengefasst als *Event codes*. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass die TEC als Bindeglied zwischen „späten“ perzeptuellen Prozessen und „frühen“ Handlungsplanungsprozessen fungieren soll. Bezogen auf das Stufenmodell von Sanders (1983) würde man die hier angenommenen Prozesse wohl als Bindeglied zwischen den *Stufen 2* und *3* einordnen. Die TEC behandelt demnach nicht die Frage, wie ein *Event code* aus den „afferenten Informationen“ generiert wird (aus perzeptueller Sicht) bzw. befasst sich auch nicht damit, wie der *Event code* schließlich in Muskelaktivität umgesetzt wird (aus motorischer Sicht).

Die gemeinsame Repräsentationsebene für die *Event codes* der Perzeption und der Handlungsplanung hat die Aufgabe, externe *Events* internal zu repräsentieren. Gerade weil sich die Kodierung auf externe *Events* bezieht, sollen die Repräsentationen identisch sein. Ein Standardbeispiel (dargestellt nach Hommel et al., 2001) verdeutlicht diesen Punkt: Eine Person möchte nach einer Tasse Tee greifen. Die Tasse dient als Stimulus, die Reich- und Greifbewegung stellt die Antwort dar. Die intendierte Reichdistanz sollte jetzt idealerweise mit der wahrgenommenen Distanz übereinstimmen. Ebenso sollte die Griffweite mit der wahrgenommenen Größe des Objekts übereinstimmen (bzw. etwas größer sein). Die Merkmale der Wahrnehmung (wahrgenommene Größe und Entfernung) decken sich also mit den Merkmalen der Handlung (Griffweite und Reichdistanz). Interessanterweise weisen die Autoren an anderer Stelle darauf hin, dass die TEC nicht behandelt, wie Bewusstsein und Zeige- oder Greifbewegungen miteinander verbunden sind. Dies ist schon bemerkenswert, wenn man das eben geschilderte Beispiel der Autoren mit dieser Aussage vergleicht.

Sie bemerken außerdem zum Thema Dissoziationen von Perzeption und Handlung, die von einigen Autoren (Milner & Goodale, 1995) unter Verwendung visueller Illusionen berichtet werden: “Although these demonstrations are interesting and challenging, we do not see how they could provide a basis for the general theory of intentional action we aim at.” (Hommel et al., 2001, S.850) Dieser Aussage liegt offensichtlich eine externalistische Konzeption der Wahrnehmung zugrunde. Die Autoren trennen zwischen illusorischer und realer Wahrnehmung und schließen deshalb Bedingungen mit vermeintlichen Illusionen aus ihren Experimenten und ihrer Theoriebildung aus. Aus internalistischer Sicht hingegen würde man fordern, dass „Illusionen“ Teil der Theoriebildung sind, da diese von der „Realität“ nicht abgegrenzt werden können.

Das Kernstück der TEC bildet der *Event code*. Dieser besteht aus dem Verbund einzelner Merkmale (im Folgenden als *Features* bezeichnet). Die Idee einer merkmalsbasierten Kodierung ist nicht neu. Bei der Besprechung der *Feature Integration Theory* (FIT, Treisman & Gelade, 1980) wurde bereits die Vorstellung solcher Kodierungen erläutert. Da TEC von der Repräsentation durch *Features* ausgeht, und *Stimulus codes* sowie *Response codes* von derselben Art sein sollen, ergibt sich, dass auch Handlungspläne aus *Features* bestehen. Eine wichtige Eigenschaft der *Features* ist ihre Unspezifität für einen bestimmten Stimulus oder eine bestimmte Antwort (Response). Sie registrieren Input aus verschiedenen sensorischen Systemen und modulieren die Aktivität verschiedener motorischer Systeme.

Bei diesen Vorstellungen handelt es sich damit um einen so genannten *common-coding approach*. Dieser wird abgegrenzt von den *separate-coding* Ansätzen, zu denen die klassischen Stufenmodelle (z.B. Sanders, 1983) gehören. Die Annahme einer gemeinsamen Kodierung führt bei TEC zur Verwendung bestimmter experimenteller Paradigmen, die sich an die FIT (Treisman & Gelade, 1980) anlehnen.

An der Unterscheidung *common-coding* versus *separate-coding* können an dieser Stelle Schwierigkeiten verdeutlicht werden, die auf einem Wechsel der Analyseebenen beruhen. Prinz schreibt über den *separate-coding approach*: “The separate-coding view of the perception-action interface is based on the conviction that afferent and efferent codes are incommensurate at all levels of coding.” (Prinz, 1990, S. 169) Unter *afferent codes* versteht er dabei die “patterns of stimulation“, unter *efferent codes* versteht er die “patterns of muscle activity“. Die Einführung einer “translation metaphor“ (Welford, 1960; Proctor und Reeve, 1985) sieht er als Beleg für die getrennte Kodierung von Wahrnehmung und Handlung. Es ist hier wichtig zu bemerken, dass Prinz im Zusammenhang mit dem *separate-coding approach* die Begriffe Afferenz und Efferenz verwendet, also definierte Begriffe aus der Physiologie bzw. Anatomie, die den Weg

der Reizleitung aus der Peripherie zum ZNS bzw. den umgekehrten Weg beschreiben. Mit anderen Worten: Das Kriterium für *separate-coding* basiert nach dieser Ansicht auf „codes“, die in Nervenleitungen kodiert sind. Die Trennung wird anhand der Richtung der Informationen vorgenommen.

Im Gegensatz dazu wird der *common-coding approach* (bei TEC sind dies die *Event codes*) nicht (nur) an physiologische Strukturen gebunden. Die angenommenen *percept-codes* und *act-codes* werden auf einer abstrakten (psychologischen) Ebene beschrieben. Entscheidend ist hier nun die Annahme, dass diese Ebene sensorische Informationen nutzt um *Event codes* zu generieren. Damit wird also beim *common-coding approach* nicht mehr der Fokus auf eingehende oder ausgehende Information gerichtet, sondern auf eine angenommene „zwischengeschaltete“ Ebene.

Beim Vergleich von *separate-coding*- versus *common-coding* Ansätzen werden also offensichtlich verschiedene Dinge gegenübergestellt. Beim *separate-coding* liegt das Augenmerk auf der Reizleitung und damit auf einer physiologischen Ebene, beim *common-coding* Ansatz auf der abstrakten Verarbeitung der Information und damit auf einer psychologischen Ebene. Nach einer solchen Darstellung stehen diese Ansätze also streng genommen noch nicht einmal im Konflikt miteinander. Würde man die Logik des *common-coding* Ansatzes auf den des *separate-codings* anwenden, wäre letzterer wahrscheinlich besser charakterisiert durch zwei Kodierungsebenen, von denen eine perzeptuelle Inhalte, die andere motorische Inhalte aufweisen würde, so wie es bei der *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) der Fall ist.

Eine entscheidende Frage stellt sich danach, wie die experimentellen Paradigmen beschaffen sind, die die Annahmen des *common-codings* überprüfen. Der wichtigste Ansatz (wenn auch nicht der einzige) kann als *assoziatives Paradigma* beschrieben werden. Verallgemeinert läuft ein Experiment in diesem Paradigma folgendermaßen ab: Dem Probanden werden verschiedene Stimuli präsentiert. Die Art der Stimuli und ihre theoretische Betrachtung sind eng angelehnt an die *Feature Integration Theory* (FIT, Treisman & Gelade, 1980; Treisman, 1993). So wird etwa ein roter oder ein grüner Stimulus auf einem Bildschirm präsentiert. Dem Probanden wird eine bestimmte Verhaltensregel mitgeteilt, z.B. Drücken des rechten Knopfes, wenn ein roter Stimulus erscheint bzw. Drücken des linken Knopfes, wenn ein grüner Stimulus erscheint. Als abhängige Variable dient meist die Reaktionszeit. Diese wird als Indikator für die zugrunde liegenden Prozesse interpretiert. Die Grundlage für ein solches Vorgehen stammt aus den Annahmen über die *Event codes*. Wie bereits geschildert, bestehen die *Event codes* aus einzelnen Merkmalen, den *Features*. Diese werden in Anlehnung an die FIT gesehen. Darüber hinaus werden aber auch „komplexere“ *Features* wie die *sit-on-*



*ableness* aus Gibsons ökologischem Ansatz (1979) angenommen. Genau wie in der FIT sollen die *Features* zunächst unabhängig voneinander vorliegen. Erst durch den Prozess des *Bindings* (siehe FIT, Kapitel 1.1) werden die *Features* zu einem *Event code* verknüpft. Sind die *Features* zu einem *Event* verknüpft, sind sie für andere *Events* nicht oder nur eingeschränkt verfügbar. Da eine ganz zentrale Annahme nun darin besteht, dass jedes *Feature* nur ein einziges Mal „intern“ vorhanden ist, kann dies zu einer eingeschränkten bzw. verzögerten Wahrnehmung eines *Events* führen, wenn dieses Merkmale mit einem anderen *Event* teilt. Hier folgt TEC ebenfalls den Vorstellungen von Treisman und Kollegen (Treisman, 1996; Kahneman & Treisman, 1992; Treisman & Gelade, 1980).

In einem Experiment von Allport, Tipper und Chmiel (1985) wird die Vorstellung über die Integration von *Features* deutlich. In diesem Experiment wurden den Probanden rote oder grüne Buchstaben präsentiert. Sobald ein roter Buchstabe erschien, sollte ein Knopf gedrückt werden. Bei einem grünen Buchstaben sollte nicht reagiert werden. Um welchen Buchstaben es sich handelte war für die Aufgabe irrelevant. Es zeigte sich, dass die Reaktionszeit verlangsamt war, wenn dem roten Zielbuchstaben des aktuellen Durchgangs derselbe Buchstabe als Distraktor (in der Farbe grün) vorausging. Nach der TEC würde sich dieses Ergebnis so erklären lassen: Wenn die Distraktorfarbe (grün) noch integriert ist mit dem Buchstaben, der nun das neue Ziel ist (jetzt in rot), dann sollte der neue Zielbuchstabe nicht so schnell perzipiert werden. Das zugehörige *Feature* (die Form) ist also noch an die falsche Farbe gebunden. Dieses so genannte *Negative Priming* findet sich bei einer Vielzahl von Experimenten und unterschiedlichen Stimuli (May, Kane & Hasher, 1995; DeSchepper & Treisman 1996).

Zahlreiche Studien nach dem assoziativen Paradigma (Stoet & Hommel, 1999; Elsner & Hommel, 2001; Elsner & Hommel, 2004; Hommel, 2007) sollen die Annahmen von TEC stützen. Grundlage ist immer die vollständige, teilweise oder nicht vorhandene Überschneidung der präsentierten *Features*. Der Proband wird aufgefordert, eine oder mehrere Handlungen in einem Versuchsdurchgang auszuführen. Es wird ausgewertet, ob die vorherige Planung und/oder Ausführung einer Handlung Auswirkungen auf eine nächste Handlung haben (z.B. indiziert durch verzögerte Reaktionszeit).

Bei der Bewertung der TEC gibt es eine ganze Reihe von Punkten, die den Ansatz als wenig geeignet für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Perzeption und Handlung erscheinen lassen. Es handelt sich zwar um einen sehr ambitionierten Ansatz, der durch eine große Zahl an Forschungsarbeiten seit den frühen 1980er Jahren bis heute gewachsen ist. Letztlich stehen diese Arbeiten aber fast ausschließlich in der

Tradition des assoziativen Paradigmas,<sup>16</sup> welches es schwierig macht, den hohen Anspruch, den TEC an sich hat, zu erfüllen, denn schließlich sollte mit TEC ein „Grundgerüst“ konzipiert werden, welches Objektwahrnehmung und Handlungsplanung in einen übergeordneten Zusammenhang bringt.

Zweifelhaft ist allerdings, ob dies mit Hilfe des assoziativen Paradigmas gelingt. Zunächst ist festzuhalten, dass der Proband nach bestimmten Regeln agieren muss. Er lernt Assoziationen zwischen einem Stimulus und einer Handlung. Nur diese aufgestellten Regeln entscheiden über Erfolg bzw. Misserfolg in einem Durchgang. Darüber hinaus ist die Handlung, die an einem Objekt durchgeführt wird, eine willkürliche, die in der Regel nichts mit dessen Eigenschaften wie Größe, Form usw. gemein hat. Oft handelt es sich um einfachste Operationen wie das Drücken eines Knopfes (z.B. zur Erfassung von Reaktionszeiten). Jedes Objekt wird in diesem Sinne „gleichbehandelt“. Die Handlung selbst ist unspezifisch. Die entscheidenden abhängigen Variablen sind daher ebenfalls unspezifisch. Beispiele hierfür sind Reaktionszeiten, Richtigkeit der Antwort (z.B. richtigen Knopf gedrückt) oder auch Bewegungszeiten (z.B. wie lange die Hand braucht, um von ihrem Startpunkt zu ihrem Ziel zu gelangen).

Dieses assoziative Paradigma unterscheidet sich grundlegend von einem „Matching-Experiment“, bei dem es eine gewisse Übereinstimmung zwischen dem Objekt selbst und der Handlung geben muss, damit diese erfolgreich ist. Möchte man etwa ein Objekt mit einem Präzisionsgriff erfassen, muss die Griffweite entsprechend groß gewählt werden. Die Handlung ist in diesem Sinne spezifisch für das jeweilige Objekt. Neben abhängigen Maßen wie Reaktions- oder Bewegungszeiten können hier ganz spezifische Maße wie die Griffweite beim Präzisionsgriff (insbesondere die maximale Griffweite) oder die Griffstärke erhoben werden. Zwar könnte man nun einwenden, dass der Proband ja auch eine Regel anwendet, die der Versuchsleiter vorgibt (z.B. Greifen nach dem Objekt mit einem Präzisionsgriff), diese Regel ist aber für die unterschiedlichen Objekte immer gleich. Wenn nun Unterschiede in den abhängigen Maßen auftreten, kann dies nur noch auf die Unterschiede bei den Objekten zurückgeführt werden, nicht auf die Verwendung unterschiedlicher Regeln.

Genau dies ist aber im assoziativen Paradigma nicht möglich. Der Proband sieht sich hier Regeln ausgesetzt, die auf vom Versuchsleiter zugewiesenen Zusammenhängen

---

<sup>16</sup> Hier gab es in den letzten Jahren noch neue Entwicklungen mit einem neuen Paradigma, dem SORT = Serial Overlapping Response Task (Schubö, Aschersleben & Prinz, 2001; Schubö, Prinz & Aschersleben, 2004). Prinzipiell gelten aber auch hier die gleichen Schwierigkeiten für die Interpretation der Ergebnisse aufgrund der Verwendung von Regeln.

beruhen. Es gibt keine „natürliche“ Zuweisung für die Benutzung der linken Hand wenn ein roter Stimulus zu sehen ist. Der Proband muss bei der Planung seiner Handlung die vom Versuchsleiter vorgegebene Regel erinnern und schließlich in eine Handlung umsetzen. Es ist nun genau diese kognitive Anforderung an den Probanden, die eine Interpretation der Ergebnisse dieses Paradigmas erschwert, denn wenn eine Regel für einen bestimmten Stimulus eine andere Antwort vorgibt als für einen zweiten Stimulus, dann können die erhaltenen Unterschiede in den abhängigen Variablen auf die unterschiedliche Verarbeitung der Regeln zurückzuführen sein und eben nicht zwangsläufig auf eine unterschiedliche Integration der angenommenen *Features*. Es wäre also denkbar, dass die abhängigen Maße solcher Experimente eher die Schwierigkeit erfassen, eine vorgegebene Regel zunächst intern zu verarbeiten und anschließend auch anzuwenden. Gerade wenn es eine Überschneidung von *Features* bei zwei Handlungen gibt, könnte man erwarten, dass ein Proband länger braucht um sicher zu sein, dass seine Handlung im Sinne der Regel richtig ist. Erstaunlich ist hierbei, dass „Matching-Experimente“ von den TEC Autoren nicht durchgeführt werden, obwohl eines ihrer Standardbeispiele, nämlich das Reichen und Greifen nach einer Tasse (siehe oben) genau eine solche Art von Experiment nahelegt. Statt also Wahrnehmung und Handlung in „Szenen“ zu untersuchen, wird die motorische Antwort im assoziativen Paradigma so unspezifisch, dass die Frage erlaubt sein muss, ob hier der Zusammenhang von Perzeption und Handlung oder die kognitiven Prozesse beim Verstehen und Anwenden von gelernten Regeln untersucht werden.

Ein weiterer Kritikpunkt ergibt sich aus einer internalistischen Sicht in Bezug auf die angenommenen *Features*. Hier integriert die TEC in weiten Teilen die Ansätze der *Feature Integration Theory* (FIT). Es rückt somit die Frage in den Vordergrund, ob die Konzeptualisierung der *Features* als angemessen betrachtet werden kann. Die FIT (und damit auch die TEC) geht von einer unabhängigen Kodierung der *Features* aus. Diese werden dabei meist in Anlehnung an alltagspsychologische Konzeptualisierungen wie Farbe, Form, Größe usw. formuliert. Dem liegt die Vorstellung von „Detektoren“, die einen Stimulus erst in seine *Features* zerlegen um ihn anschließend wieder zu rekonstruieren, zugrunde. Gestützt werden diese Annahmen durch zahlreiche Studien, die nach den klassischen Paradigmen der FIT (z.B. visuelle Suche, illusorische Verbindungen) konzipiert sind. Die Vorstellungen über die *Features* sind zudem eng angelehnt an neurophysiologische Erkenntnisse, wie die von Hubel und Wiesel (siehe Kapitel 1.1).

Eine solche externalistische Konzeption steht im Widerspruch zu internalistischen Annahmen, nach denen die Stimuli lediglich als Zeichen für die Anregung interner Konzepte angesehen werden. Es stellt sich dann die Frage, ob diese internen Konzepte

mit denen aus der FIT (Farbe, Form, Größe) übereinstimmen oder nicht. Zahlreiche Befunde (von denen einige beispielhaft im Folgenden beschrieben werden) sprechen gegen eine solche Übereinstimmung.

Um die Einwände besser nachvollziehen zu können, muss noch einmal kurz auf die verwendeten Paradigmen der FIT eingegangen werden. Ein erstes wesentliches Merkmal der klassischen Paradigmen (z.B. visuelle Suche, illusorische Verbindungen; siehe hierzu Treisman & Gelade, 1980) ist die durch den Versuchsleiter vorgegebene Zuschreibung vorhandener *Features*. Diese werden verbalisiert und in Form einer Regel (wie bei der TEC) für das Experiment genutzt. Der Proband erhält also eine Handlungsanweisung („Suche das grüne X.“), die auf diesen angenommenen *Features* basiert. Ein zweites Merkmal ist die „Unzweideutigkeit“ der verwendeten Stimuli. Diese sind so konstruiert, dass beispielsweise ein „grün“ unter allen getesteten Bedingungen (grünes X oder grünes O) immer gleich erscheint. Stimuli wie der (farbige) Simultankontrast, bei dem die Lichter zwei Flächen physikalisch exakt identisch sind, die wahrgenommene Farbe dieser Flächen sich jedoch unterscheidet, werden in den experimentellen Paradigmen der FIT (und der TEC) vermieden. Diese Stimuli werden als illusorisch klassifiziert und damit als ungeeignet, um die „unverzerrte“ Wahrnehmung zu untersuchen. Damit gelingt es der FIT (und der TEC), bei der Betrachtung der Stimuli „lokal verhaftet“ zu bleiben. Das wahrgenommene „grün“ wird dann betrachtet als Folge der Detektion der „wahren grünen“ Eigenschaft des Objekts. Das „grün“ wird damit zwangsläufig assoziiert mit einer ganz bestimmten lokalen Erregung der Photorezeptoren durch das Licht, welches vom Objekt auf das Auge trifft. An drei Beispielen soll die Unangemessenheit dieses Ansatzes kurz verdeutlicht werden:

1) Ein erstes Gegenargument ist die scheinbare Beliebigkeit, mit der *Features* in experimentellen Settings benutzt werden können. So wurde in einem Experiment von Müsseler und Hommel (1997) als Stimulus ein „Pfeil“ („<“ bzw. „>“) nach links oder nach rechts präsentiert, auf den hin ein Tastendruck erfolgen sollte. Nach der Logik des Experiments wird der „Pfeil“ als ein *Feature* aufgefasst. Wird hingegen den Probanden gesagt, dass der Pfeil (also die Klammer) in die andere Richtung „interpretiert“ werden soll, so zeigen sich entsprechende Ergebnisse für diese neue Interpretation. Sieht man die *Features* als „interne Konzeptstrukturen“ an, so ist es für die Interpretation problematisch, wenn diese „sich bestätigenden“ *Features* von der Instruktion des Versuchsleiters abhängen sollten.

2) Ein weiteres Beispiel ist der Necker Würfel (Abb. 3.1a). Dieser verdeutlicht in einfacher Weise die gegensätzlichen Positionen einer externalistischen und

internalistischen Konzeption der Wahrnehmung. Während nach externalistischer Sicht die *Features* Eigenschaften des zu rekonstruierenden Objekts sind, ergibt sich beim Necker Würfel als „Kippbild“ die Schwierigkeit, welcher denn nun der richtige Würfel ist.<sup>17</sup> Zudem ändert sich beim „Kippen“ nicht nur ein Parameter, sondern es ändern sich alle gleichzeitig (Form, Orientierung im Raum, Drehrichtung (beim bewegenden Würfel) usw.). Dies stellt die Annahmen über eine unabhängige Kodierung der *Features* infrage. Stattdessen legt der Necker Würfel nahe, dass der Stimulus „in seiner Gesamtheit“ verarbeitet wird. Nach den Vorstellungen über das Alberti-Fenster ist der Necker Würfel kompatibel mit zwei möglichen Interpretationen eines dreidimensionalen Würfels. Diese Würfel besitzen bestimmte Parameter, wie z.B. Form, Farbe, Festigkeit, Orientierung im Raum usw. Entscheidend ist nun, dass diese Parameter unterschiedlich „befüllt“ werden, je nachdem, für welche Interpretation sich entschieden wird (Mausfeld, 2005a)<sup>18</sup>. Solche Kippbilder sind im Übrigen nicht auf „gleiche“ Objekte (Necker Würfel in unterschiedlicher Orientierung) beschränkt. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Rubin Vase.

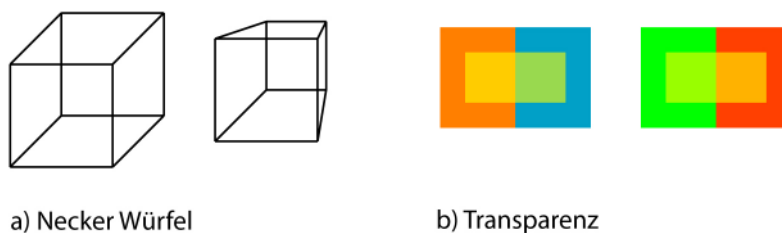


Abb. 3.1: a) Necker Würfel: Bei den Würfeln handelt es sich um so genannte Kippbilder. Je nachdem, welche „Interpretation“ gesehen wird, haben die Würfel unterschiedliche räumliche Ausdehnungen bzw. Formen. b) Transparenz: Die beiden Figuren bestehen jeweils aus vier unterschiedlich gefärbten Rechtecken. Ein Betrachter gibt jedoch an, eine lichtdurchlässige Oberfläche (Filter) vor einem lichtundurchlässigen Hintergrund zu sehen. Die beiden Filter der Abbildungen werden als gleich beschrieben (der „gleiche gelbe Filter“), obwohl kein einziger der hier verwendeten Farbwerte zweimal vorkommt und die Farbe „gelb“ nicht vorhanden ist.

3) Das dritte Beispiel bezieht sich auf perzeptuelle Transparenz (Faul, 1997; D’Zmura, Colantoni, Knoblauch & Laget, 1997). Unter perzeptueller Transparenz soll dabei (vereinfacht) die „subjektive Repräsentation der Objekteigenschaft Lichtdurchlässigkeit“ (Faul, 1997, S. 20) verstanden werden.<sup>19</sup> Perzeptuelle Transparenz ist jedoch nicht an

<sup>17</sup> Im Zweifel könnte man für die 2D-Darstellung annehmen, dass beides Illusionen sind. Im 3D-Fall (bei dem auch zwei unterschiedliche Wahrnehmungen möglich sind, wie man sich leicht an einem Drahtmodell vergegenwärtigen kann) würde man sich nach externalistischer Sicht auf die Wahrnehmung als richtig berufen, die mit den physikalischen Maßen „übereinstimmt“.

<sup>18</sup> Wie diese Entscheidung für das eine oder andere Objekt zustande kommt ist zwar unbekannt. Dies ist für die vorgebrachte Argumentation jedoch unbedeutend.

<sup>19</sup> Eine detailliertere Definition lautet: „Perzeptuelle Transparenz liegt dann vor, wenn ein Beobachter zwei oder mehrere Reizmuster in unterschiedlichen Tiefenebenen wahrnimmt und dabei ein Reizmuster durch andere hindurch sieht.“ (Faul, 1997, S. 23)

physikalische Transparenz gebunden, wie die Abbildung 3.1b verdeutlicht. Die Abbildung besteht (lokal betrachtet) aus vier unterschiedlich gefärbten Flächen. Ein typischer Beobachter wird jedoch angeben, eine homogene, lichtdurchlässige Fläche (einen Filter) vor einem zweifarbigen Hintergrund zu sehen. Für die FIT ergibt sich sofort ein Problem: Während man physikalisch unzweideutig für jede Fläche einen „Farbcode“ zuordnet, kann ein Beobachter sowohl eine „lokale“ Einschätzung abgeben (und damit zum Ausdruck bringen, vier unterschiedliche „gemalte“ Flächen sehen zu können), als auch die Interpretation der perzeptuellen Transparenz, nach der an den Stellen der Überlappung von Filter zu Hintergrund gleichsam zwei Farben wahrgenommen werden können. Diese zweite Form der Wahrnehmung perzeptueller Transparenz kann als Szeneninterpretation verstanden werden, die über die Information des Reizes (vier unterschiedlich gefärbte Flächen) hinausgeht. Aus den Flächen wird eine Wahrnehmung konstruiert, in der es lichtundurchlässige Objekte (Hintergrund) und einen transparenten Filter im Vordergrund gibt. Somit wird neben der Konstruktion von Objekten mit den ihnen zugehörigen Parametern (Farbe, Form, Lichtdurchlässigkeit) gleichsam auch noch Tiefe in die Szene interpretiert. Besonders bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, dass die zugeschriebene Farbe des Filters keiner der dargebotenen Farben entspricht (vgl. die beiden Figuren in 3.1b). Die Abbildungen regen zur Interpretation des gleichen (gelben) Filters an, obwohl die Farbinformationen in beiden Bildern völlig verschieden sind. Mit anderen Worten: Die vier Flächen sind nur Zeichen, die gemäß der internen Konzepte ausgewertet werden. Die Abbildungen zeigen in eindrucksvoller Weise, dass die Wahrnehmungsleistungen über den visuellen Input hinausgehen.

Es stellt sich somit aus Sicht der FIT (und der TEC) die Frage, was denn eigentlich die *Features* einer solchen Szene sind. Sind es die lokal betrachtbaren Farben oder die Farben für die interpretierte Szene? Es ist zu vermuten, dass auch hier die Art der Instruktion sowohl Hinweise auf die erste als auch auf die zweite Möglichkeit liefern wird. Auch hier gilt derselbe Einwand, nämlich dass die *Features* nicht von der Art der Instruktion abhängig sein sollten.

Zusammenfassend lässt sich für die FIT (und damit auch für wesentliche Teile von TEC) konstatieren, dass die Art der verwendeten Paradigmen mit den zugehörigen Instruktionen zwangsläufig zur Bestätigung der angenommenen *Features* führt. Die drei eben dargestellten Beispiele zeigen auf, dass die Betrachtung der *Features* nach Art der FIT (und damit auch nach TEC) mit erheblichen theoretischen als auch praktischen Problemen verbunden ist.

Die enge Bindung von TEC an die FIT erweist sich somit als schwerwiegendes Problem. Darüberhinaus wird, ganz in externalistischer Tradition, eine Unterscheidung

realer und illusorischer Wahrnehmung vorgenommen. Wie bereits mehrfach angesprochen, ist eine solche Sicht aus internalistischer Sicht nicht angemessen. Der Ansatz bleibt zudem auf der einen Seite zu unspezifisch, um konkrete Vorhersagen zu machen, auf der anderen Seite erscheinen einige Vorhersagen schlicht unplausibel. Nimmt man die Ansicht über das *Binding* (d.h. die Verbindung der *Features* zu einem *Event code*) wörtlich, müsste man annehmen, dass ein roter und ein grüner Kreis „nicht so gut“ gleichzeitig wahrgenommen werden wie zwei gleichfarbige Kreise, da sich im ersten Fall nichtüberlappende (rot und grün) als auch überlappende (rund) *Features* ergeben und somit *Event codes* erzeugt werden, die um ein *Feature* „konkurrieren“ (Hommel et al., 2001). Eine solche Vorhersage widerspricht aber ganz offensichtlich den Wahrnehmungseindrücken beim Betrachten verschiedenfarbiger oder gleichfarbiger Kreise. Ein Beobachter wird unter beiden Bedingungen angeben, die Kreise „gleich gut“ wahrzunehmen.

Als Fazit kann somit festgehalten werden, dass die TEC sowohl aus theoretischer als auch experimenteller Sicht wenig geeignet scheint, um den Zusammenhang zwischen Perzeption und Handlung zu untersuchen. Dies gilt zumindest dann, wenn man eine internalistische Sichtweise zugrunde legt.

### 3.3 Two Visual Systems Hypothesis (TVSH)

It cannot be denied, of course, that all visual processing ultimately serves action [...] (Milner & Goodale, 1995, S. 64)

[...] one stream is concerned only with the world “out there” independent of the observer, while the other is concerned only with the observer’s actions within that visual world. (Milner & Goodale, 1995, S. 63)

Bei der *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH) handelt es sich um den wohl zurzeit einflussreichsten Ansatz zum Zusammenhang von Perzeption und Handlung (ZPH). Die Theorie wurde in ihrer ersten Form von Milner und Goodale (1995) vorgestellt und ist bis heute Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten. Es ist nicht zuletzt der Art der empirischen Überprüfung der Theorie mittels eines neuen experimentellen Paradigmas, in dem so genannte visuelle Illusionen verwendet werden, zu verdanken, dass die Theorie nicht nur viel Aufmerksamkeit sondern auch viele Anhänger gewonnen hat. Genau wie die TEC unterliegt auch dieser Ansatz bestimmten Veränderungen, die

immer wieder notwendig wurden, da zahlreiche empirische Befunde nicht mit der ursprünglichen Formulierung in Einklang zu bringen waren.

Die TVSH bricht mit den bisherigen gängigen Einteilungen von visuellen und motorischen Systemen. Es wurde bereits über klassische Stufentheorien (z.B. Sanders, 1983) gesprochen, die von einer strikten Trennung von visuell-perzeptueller und visuell-motorischer Informationsverarbeitung ausgehen. Üblicherweise nehmen diese Theorien eine serielle Verarbeitung für diese Stufen an, wobei die perzeptuelle Verarbeitung der motorischen vorausgeht. Bei der TEC gibt es die Annahme über gemeinsame Kodierungen für perzeptuelle und motorische Inhalte. In der TSVH werden nun hingegen zwei visuelle Systeme postuliert, ein visuell-perzeptuelles und ein visuell-motorisches, die parallel arbeiten und die visuelle Information unterschiedlich aus- und verwerten sollen. Diese beiden Systeme sollen unabhängig voneinander arbeiten, jedoch gleichzeitig auch „interagieren“ können. Es handelt sich damit im Gegensatz zu der TEC um einen *separate-coding approach*. Der Hauptunterschied zu anderen *separate coding approaches* liegt in der Annahme der parallelen Verarbeitung der visuellen Informationen in getrennten Systemen, die anstelle einer seriellen Verarbeitung stattfinden soll. Nach dieser Vorstellung nutzt das motorische System also nicht die Ergebnisse einer perzeptuellen Verarbeitung, wie es beispielsweise bei Sanders (1983) der Fall ist. Charakteristisch für die Theorie ist zudem die enge Verknüpfung der visuellen Subsysteme mit anatomischen Faserzügen, der so genannten dorsalen und ventralen Bahn.

Die Ursprünge zur Formulierung der Theorie leiten sich aus unterschiedlichen empirischen Befunden, sowohl beim Menschen als auch an Tieren, sowie aus theoretischen Ansichten über die Funktion des visuellen Systems ab. Nach Milner und Goodale sind zwei Funktionen der visuellen Informationsverarbeitung zu unterscheiden, nämlich die Durchführung von Handlungen sowie das Erkennen und die interne Repräsentation von Objekten und Ereignissen.

Ausgangspunkt ihres Ansatzes ist die Feststellung, dass zielgesteuerte Handlungen von großer Bedeutung für eine Vielzahl von Lebewesen sind. Elektromagnetische Strahlung bietet eine reichhaltige Quelle an Informationen über die Umwelt. Durch die Entwicklung eines Systems, welches diese verarbeitet, können diese Informationen in (sinnvolle) motorische Handlungen umgesetzt werden. Was eine sinnvolle Handlung ist, ergibt sich immer nur aus den Lebensumständen des betrachteten Organismus. Ein illustratives Beispiel stellt hier das Verhalten eines Wasserkäfers (*Dystiscidenlarve*) dar. Dieser Käfer schwimmt immer zu einer Lichtquelle um zu atmen. Dies Verhalten ist für den Käfer sinnvoll, denn unter *natürlichen* Bedingungen wird Licht von oben, d.h. an



der Wasseroberfläche, scheinen. Wird nun ein Aquarium von unten beleuchtet, schwimmt der Käfer nach unten und bleibt solange dort, bis sich die Beleuchtung umdreht (Schone, 1962). Im Laufe der Evolution bildeten sich bei den unterschiedlichsten Arten die verschiedensten visuellen Systeme heraus, die sich auf bestimmte Aufgaben spezialisiert haben. So war Ingle (1973) in der Lage, durch Läsionsexperimente an Fröschen zwei unterschiedliche Systeme für Fress- und Bewegungsverhalten nachzuweisen. Diese beiden Systeme beruhen auf unterschiedlichen Bahnen von der Retina zu den motorischen Kernen.

Bei den Wirbeltieren und insbesondere bei den Säugetieren werden heutzutage neurophysiologisch fünf funktionell unterschiedliche Systeme unterschieden, die Informationen von der Retina verarbeiten (Zilles & Rehkämper, 1994): Das retino-genikulo-kortikale, das retino-tektale, das retino-hypothalamische (zirkadiane Rhythmik), das retino-prätektale (Pupillen- und Akkommodationsreflexe) sowie das akzessorische optische System (Registrierung von Eigenbewegungen). Diese Einteilung ist nicht erschöpfend in dem Sinne, dass nicht auch weitere Hirnareale an der Verarbeitung visueller Information beteiligt sind. Dies trifft insbesondere für die extrastriären visuellen Areale zu, die vor allem Input aus der Area striata erhalten. Die beiden erstgenannten Systeme bilden die größten bei Wirbeltieren. Das retino-tektale System ist das phylogenetisch ältere und bildet den größten Teil bei Amphibien, Reptilien und Vögeln (Milner & Goodale, 1995). Von der Retina gelangt die visuelle Information in ein Kerngebiet des Tektums im Mittelhirn. Beim Menschen entspricht dieses den Colliculi superiores. Von den Colliculi superiores aus bestehen zahlreiche Verbindungen mit anderen Regionen, die vornehmlich mit motorischen Aufgaben in Verbindung gebracht werden. Die Kerne selbst spielen eine große Rolle bei der Generierung von Sakkaden (Zilles & Rehkämper, 1994).

Das retino-genikulo-kortikale System bildet mit knapp 90 % der vom Auge ausgehenden Nervenfasern bei Primaten das größte der visuellen Systeme (Goldstein, 1997). Die Projektion der visuellen Information erfolgt von der Retina in das Corpus geniculatum laterale des Thalamus bis in den primären visuellen Kortex, auch Area striata genannt. Es ist dieses System, welches mit bewussten Seheindrücken assoziiert ist (Goldstein, 1997). Schädigungen in diesem System können zu teilweiser oder vollständiger Blindheit führen (Campion, Latto & Smith, 1983; Weiskrantz, 1996; Stoerig & Cowey, 1997; Stoerig, 2006). Da bei Nicht-Primaten dieses System kaum vorhanden bzw. weniger ausgeprägt ist, wird ihnen im Allgemeinen eine verminderte Fähigkeit zugesprochen, bewusste Seheindrücke zu besitzen (Milner & Goodale, 1995).

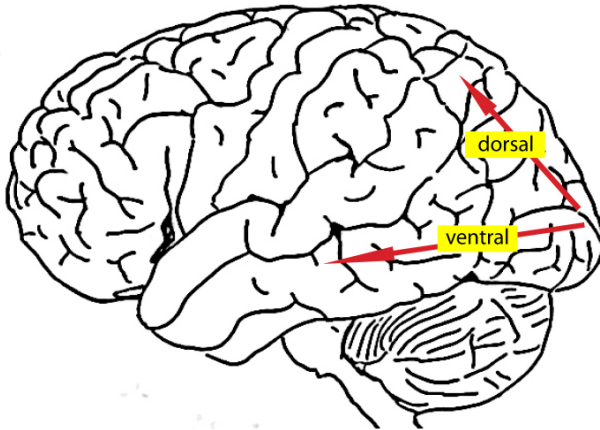


Abb. 3.2: Die dorsale und ventrale Bahn schematisch.

An das Zielgebiet der retino-genikulo-kortikalen Bahn, dem primären visuellen Kortex, schließen sich zahlreiche Areale zur Verarbeitung von visueller Information an (Zeki, 1994). Insbesondere zwei große Faserbahnen, die dorsale und die ventrale Bahn, bilden die Grundlage für die TVSH. Die dorsale Bahn zieht zum posterioren parietalen Kortex, die ventrale Bahn in den inferioren temporalen Kortex (Abb. 3.2).

Ungerleider und Mishkin (1982) waren eine der ersten, die eine funktionelle Interpretation dieser Bahnsysteme vornahmen. Beide Bahnen sind nach ihrer Interpretation wichtig für die Wahrnehmung von Objekten. Während die ventrale Bahn („Was“-Bahn) Informationen über Objekteigenschaften, wie z.B. Form, Farbe oder Größe enthalten soll, kodiert die dorsale Bahn („Wo“-Bahn) die Information über die Position des Objektes. Die Theorie wurde in vielen Experimenten überprüft. Die meisten dieser Experimente wurden an Affen durchgeführt, denen Läsionen in der dorsalen oder ventralen Bahn beigebracht wurden. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Befunde eher uneindeutig sind (einen Überblick geben Gazzaniga, Ivry & Mangun, 1998). Milner und Goodale (1995) deuten die beiden Bahnen funktionell um: Demnach wird die ventrale Bahn als Teil des visuell-perzeptuellen Systems, die dorsale Bahn als Teil des visuell-motorischen Systems angesehen. Um diese funktionelle Neuinterpretation dieser Bahnen nach der TVSH nachvollziehen zu können, sollen zunächst die theoretischen Annahmen zu diesen Systemen besprochen werden.

Es wurde schon über die Ansicht der Autoren gesprochen, dass das Sehen zwei wichtige Funktionen erfüllen soll: zum einen Handeln in der Umwelt und zum anderen eine perzeptuelle Repräsentation von Objekten. Um diese Funktionen erfüllen zu können, müssen nach Milner und Goodale (1995) unterschiedliche Verarbeitungen durchgeführt werden, die diesen Anforderungen gerecht werden.

Bei motorischen Handlungen, wie z.B. dem Ergreifen eines Objekts, ist es demnach notwendig, (unveränderliche) Parameter wie die Größe oder die Form des Objekts möglichst genau zu bestimmen, um die Griffweite von Daumen und Zeigefinger beim Präzisionsgriff anzupassen. Zusätzlich ist es jedoch wichtig, die genaue Orientierung oder auch Bewegungen des Objekts zu erfassen. Diese veränderbaren Parameter erfordern eine egozentrische Kodierung, d.h. also eine Kodierung bezogen auf den Handelnden. Ein solches Koordinatensystem sollte sich auf die Positionen von Retina, Kopf oder Körper beziehen, abhängig vom verwendeten Effektor, wie z.B. der Hand und/oder dem Arm. Da sich die Positionen von Objekt und Handelndem ständig verändern können, ist es notwendig, ständige Aktualisierungen der Koordinaten über die Relation von Objekt und Handelndem durchzuführen.

Anders sieht es nach Ansicht der Autoren bei der perzeptuellen Repräsentation von Objekten aus. Ihrer Meinung nach geht es hierbei lediglich um die Abstraktion von Objekteigenschaften. Dieser Auffassung zufolge sind diese Eigenschaften unabhängig von der räumlichen Entfernung von Objekt zu einem Beobachter, bzw. Handelndem. So nimmt man zwei physikalisch gleich große Objekte für gewöhnlich als gleich groß wahr, auch wenn sich diese Objekte in unterschiedlicher Entfernung vom Beobachter befinden (und damit einen unterschiedlich großen Sehwinkel aufweisen). Dieses Phänomen ist allgemein als *Größenkonstanz* bekannt. Analog dazu werden zwei physikalisch unterschiedlich große Objekte trotz gleichem Sehwinkel (wenn sich die Objekte in geeignetem Abstand zum Betrachter befinden) als unterschiedlich groß wahrgenommen. Nach Milner und Goodale (1995) sind es gerade die Relationen zwischen Objekten und nicht die absoluten Maße, die perzeptuell repräsentiert werden. Die Koordinatisierung dieser perzeptuellen Repräsentation ist demnach allozentrisch, d.h. nicht auf den Beobachter bezogen. Zudem sei diese Art der Repräsentation überdauernd, da es sich um die Repräsentation von den Objekten innewohnenden Eigenschaften handelt. Diese Repräsentationen können genutzt werden, um intelligent und nach Abwägung der Konsequenzen in der Umwelt zu handeln. Das Individuum ist nicht mehr gezwungen, auf visuelle Reize mit einer starren motorischen Handlung zu antworten, sondern wägt aufgrund der perzeptuellen Repräsentation ab, ob und ggf. wie motorisch gehandelt werden soll. Dies ist der entscheidende Schritt zur Annahme zweier unterschiedlicher visueller Systeme, da die unterschiedlichen Funktionen von visuell gesteuerter Motorik und visuell vermittelten Perzeptionen nach der Ansicht von Milner und Goodale eine grundsätzlich verschiedene Art der Repräsentation erfordern:

*[...] to permit maximum flexibility this system [the perceptual system] must be free from rigid linkage to particular possible responses, though the system would be essential for the selection of goals and the selection of actions relating to those goals. This*

*perceptual system would by its nature have to be independent of particular motor outputs.* (Milner & Goodale, 1995, S. 19)

Einen wichtigen Punkt sprechen Milner und Goodale (1995) bei der Frage an, wieso die Existenz der von ihnen angenommenen Systeme bisher verborgen geblieben ist. Dies liegt ihrer Meinung nach an der Fokussierung der Forscher auf perzeptuelle Inhalte bei der Betrachtung der visuellen Informationsverarbeitung. Die Art des visuell vermittelten motorischen Outputs wurde demnach schlichtweg in den meisten experimentellen Paradigmen vernachlässigt und dies hat sich folglich hinderlich auf Erkenntnisse über das visuelle System ausgewirkt. Insbesondere soll dies bei Verwendung visueller Diskriminierungsaufgaben zutreffen. Das Versuchstier (z.B. ein Affe, eine Taube oder eine Katze) oder auch ein Mensch soll auf einen Reiz hin eine vorgegebene Antwort produzieren. Diese Antwort wird den Tieren bzw. Menschen durch verschiedenste Methoden (z.B. operante Konditionierung) beigebracht. Letztlich ist dabei die Art und Weise, *wie* die Aufgabe bewältigt wird ohne Bedeutung. Der Erfolg bemisst sich einzig und allein an der richtigen Diskrimination des Stimulus. *Die Art der motorischen Antwort* kann als willkürlich vom Versuchsleiter gewählt angesehen werden. Ähnliche Vorgehensweisen wurden auch schon bei der *Theory of Event Coding* (TEC) kritisiert. Auch dort legen die meisten experimentellen Paradigmen keinen besonderen Wert auf die Art der motorischen Antwort, etwa wenn ein bestimmter Knopf bei Erscheinen eines roten Kreises gedrückt werden soll. Die Handlung selbst hat somit keinen „direkten“ Bezug zu dem Objekt. Es ist lediglich die Assoziation, die eine bestimmte Handlung im Sinne des experimentellen Paradigmas vorschreibt. Einen solchen direkten Bezug versuchen Milner und Goodale jedoch herzustellen, wie sich bei der Besprechung der experimentellen Befunde (Kapitel 3.3.2) zeigen wird.

In der TVSH werden die postulierten visuellen Systeme an die bereits oben angesprochenen Faserzüge, die dorsale und die ventrale Bahn, gebunden. Anders als Mishkin und Ungerleider (1982), die diesen Bahnen lediglich perzeptuelle Aufgaben zuweisen, nehmen Milner und Goodale eine parallele Verarbeitung visuell-perzeptueller und visuell-motorischer Inhalte an. Die ventrale Bahn wird hierbei mit dem visuell-perzeptuellen System assoziiert, die dorsale Bahn mit dem visuell-motorischen.

Die Autoren tragen viele Einzelbefunde aus den unterschiedlichsten Ansätzen (Einzelzellableitungen, Läsionsstudien, fMRT-Studien) zusammen, um die Annahmen über die Funktion der dorsalen und ventralen Bahn zu stützen. Es sei an dieser Stelle auf Übersichten in Milner und Goodale (1995, 2007) verwiesen. Als problematisch erweist sich dabei für die Interpretation der Funktionen dieser Bahnen die Tatsache, dass sowohl direkte als auch indirekte Verbindungen zwischen diesen bestehen (Rossetti,

Pisella & Vighetto, 2003; Rizzolatti & Matelli, 2003). Aus diesem Grund sind Patienten mit abgegrenzten Störungen in Teilen des Hirns besonders interessant für die Forschung. Im nächsten Abschnitt werden deshalb wichtige klinische Befunde zu diesen Patienten besprochen.

### 3.3.1 Klinische Befunde

Einige Patienten mit bestimmten neurologischen Störungen zeigen Phänomene, die einen wesentlichen Anteil an der Entstehung der TVSH haben. Solche Störungen kommen z.B. durch Unfälle, Tumoren oder Schlaganfälle zustande. Anders als im Tierexperiment kann im Experiment mit Menschen besser eine Aufgabe definiert werden und der Patient kann angeben, wie er ein Objekt wahrnimmt. So können neben der motorischen Handlung auch perzeptuelle Maße erhoben werden, mit denen auf die Fähigkeit bzw. gestörte Fähigkeit der Objektwahrnehmung geschlossen werden kann. Nachteilig wirkt sich hingegen das Ausmaß der betroffenen Areale aus. Selten ist ein genau umrissenes Areal geschädigt. Zudem stellt sich immer die Frage, ob angenommene Funktionen an bestimmte Areale „gebunden“ sind. Dies ist letztlich wieder die Frage nach der Funktion und der Implementierung (Kapitel 1.1). In diesem Abschnitt sollen drei klinische Phänomene besprochen werden, die nach Milner und Goodale (1995) ihre Annahmen über die Funktionen der dorsalen und ventralen Bahnen unterstützen. Es handelt sich hierbei um die so genannte *Blindsicht*, die *visuelle Agnosie* und die *optische Ataxie*.

#### (1) Blindsicht

Der paradox klingende Begriff der Blindsicht beschreibt ein Phänomen, bei dem die Patienten keine bewussten Wahrnehmungen in einem Teil ihres Gesichtsfeldes haben, sie also „blind“ sind, jedoch auf einfache Reize motorisch adäquate Reaktionen zeigen können (Weiskrantz, Warrington, Sanders & Marshall, 1974; Weiskrantz, 1996). Die blinden Felder im Gesichtsfeld werden auch Skotome genannt. Bei vollständiger Blindheit tritt das Phänomen der Blindsicht nicht auf. Die Hirnschädigung muss sich auf die primäre Sehrinde im okzipitalen Kortex beschränken. Es ist umstritten, ob für das Auftreten von Blindsicht Teile der primären Sehrinde erhalten sein müssen (Gazzaniga, Fendrich & Wessinger, 1994; Weiskrantz 1996). Zumindest bei Experimenten an Affen mit komplett läsionierter primärer Sehrinde sind Phänomene ähnlich der Blindsicht beim Menschen beschrieben worden (De Valois, Morgan, Polson, Mead & Hull, 1974; De Valois, Morgan & Snodderly, 1974). Extrastriäre Areale (Areale des visuellen Kortex außer der Area striata) müssen für das Auftreten des Phänomens jedoch unversehrt bleiben (Weiskrantz, 1996). Diese Areale stehen nicht nur mit V1, der

primären Sehrinde, in Verbindung, sondern erhalten ebenfalls Afferenzen von der Retina über die Colliculi superiores, die über den Pulvinar bis in die extrastriären Gebiete projizieren (Rossetti, Pisella & Vighetto, 2003).

In einem typischen Experiment zum Nachweis von Blindsight sitzt der Proband vor einem Schirm, auf dem an verschiedenen Positionen ein kleines Licht für kurze Zeit im Bereich des Skotoms aufleuchten kann. Lässt man den Patienten auf den Schirm zeigen (mit der Aufforderung: „Wenn ein Punkt da gewesen wäre, wo wäre das gewesen“), so zeigen sich bei einigen Probanden über das zu erwartende Maß an Zufälligkeit richtige Antworten (Weiskrantz, Warrington, Sanders & Marshall, 1974). Trotz dieser überzufälligen Erfolge bestehen die Probanden aber darauf, nichts gesehen zu haben, und dass sie nur raten würden.

Das Phänomen selbst war lange umstritten. Campion, Latto und Smith (1983) glauben an Messartefakte, die zu dem Phänomen führen. Sie nehmen an, dass die Gesichtsfeldperimetrie, die zur Bestimmung der blinden Felder mittels Schwellenbestimmung angewendet wird, zu einer Unterschätzung der Sehleistung führt. Damit würden auch Teile des Sehfeldes als blind klassifiziert, in denen aber vielleicht doch noch bewusste Seheindrücke auftreten könnten. Andere Einwände sind die fehlende Kontrolle von Streulicht, welches in intakte Bereiche des Sehfeldes strahlen könnte oder auch die fehlende Kontrolle von Augenbewegungen der Patienten. Diese Einwände wurden jedoch durch geeignete Kontrollen (z.B. Weiskrantz, 1986; Stoerig, Hubner & Pöppel, 1985) widerlegt. Blindsight ist bei einer Mehrheit der Forschergemeinde mittlerweile als genuines Phänomen anerkannt (Danckert und Rossetti, 2005).

Blindsight demonstriert also, dass motorische Reaktionen auslösbar sind, die über einfache Reflexe (z.B. Lichtreflex der Pupille) hinausgehen, obwohl die auslösenden visuellen Reize nicht bewusst erlebt werden. Nach der Interpretation von Milner und Goodale (1995) ist bei Patienten mit Blindsight das visuell-perzeptuelle System gestört, während das visuell-motorische System weiterhin intakt und aktiv ist. Da die motorischen Handlungen auch ohne die bewussten Wahrnehmungen der auslösenden Reize zustande kommen, spricht dies nach Meinung der Autoren für die postulierte Unabhängigkeit der beiden angenommenen Systeme.

Bei zwei weiteren klinischen Phänomenen, die von besonderem Interesse für die TVSH sind, handelt es sich um die visuelle Agnosie und die optische Ataxie, die eine so genannte *Doppeldissoziation* konstituieren sollen. Eine einfache Dissoziation meint das Vorkommen einer Entität (in diesem Fall eine Funktion) ohne die andere, so wie es z.B.

bei der Blindsight beschrieben wurde. Bei einer Doppeldissoziation handelt es sich um zwei Phänomene. Es muss eine erste Entität ohne eine zweite und die zweite Entität ohne die erste vorliegen (Teuber, 1955). Ein Standardbeispiel für eine solche Doppeldissoziation stellen die Broca und Wernicke Aphasien dar (Goodglass, 1993; Hickok, 2000). Der „prototypische“ Broca Aphasiker hat aufgrund einer Läsion im Brodmann Areal 44 (und angrenzenden Gebieten) sein syntaktisches Wissen verloren, kennt aber weiterhin die Bedeutung von Wörtern. Der „prototypische“ Wernicke Aphasiker hingegen hat sein Wissen über die Bedeutung von Wörtern durch eine Läsion im Brodmann Areal 22 (posteriorer Anteil) verloren, nicht jedoch über die richtige Syntax. Daraus wird üblicherweise auf zwei voneinander unabhängige „Module“ oder „Systeme“ der Sprachverarbeitung geschlossen. Heute geht man jedoch nicht mehr von dieser reinen Phänomenologie aus (Gazzaniga, Ivry & Mangun, 1998). Eine generelle Kritik am Konzept und an den Schlussfolgerungen zu Doppeldissoziationen kann bei Van Orden, Pennington und Stone nachgelesen werden (2001).

## (2) Optische Ataxie

Bei der optischen Ataxie soll es sich um ein motorisches Phänomen handeln, gekennzeichnet durch die Unfähigkeit des Patienten, adäquat nach Objekten zu greifen, die sich üblicherweise kontralateral zu einer Schädigung im posterioren parietalen Kortex befinden. Das Defizit darf nicht von einer allgemeinen motorischen und auch nicht von einer perzeptuellen Störung besser erklärt werden (Rossetti, Pisella & Vighetto, 2003).

Bálint (1909) beschrieb als erster ausführlich die Defizite bei einem seiner Patienten mit bilateralem Infarkt in den posterioren parietalen Kortizes. Der Patient wies mehrere klinische Symptome auf: die „Seelenlähmung des Sehens oder Schauens“ (Bálint, 1909, S. 67), einen Neglect des linken Gesichtsfeldes und die von Bálint so bezeichnete optische Ataxie. Letztere zeichnete sich durch die Unfähigkeit des Patienten aus, mit der rechten Hand nach Gegenständen zu greifen. Körperorientierte Bewegungen machten dem Patienten hingegen keine Schwierigkeiten, was eine allgemeine Störung der Armmotorik ausschloss. Er nahm daher als Ursache der motorischen Störungen eine Entkopplung der Bewegungssteuerung von visuellen Informationen an. Holmes (1918) beschrieb mehrere Patienten mit Läsionen im parietalen Kortex, die neben motorischen Störungen aber auch deutliche Defizite in der räumlichen Wahrnehmung sowie in der Erkennung von Objekten aufwiesen. Er glaubte, die motorischen Störungen mit diesen Defiziten besser erklären zu können. Bis heute ergibt sich ein eher heterogenes Störungsbild nach Läsionen im parietalen Kortex (Garcin, Rondot & de Recondo, 1967; Perenin & Vighetto, 1988; Rossetti, Pisella & Vighetto, 2003). Die Gründe hierfür sind vielfältig. Die Läsion kann sowohl ein- als auch beidseitig auftreten, und das Ausmaß

der Läsion ist für jeden Patienten individuell. Wie schon zuvor bei der Blindsight beschrieben, ist es als unwahrscheinlich anzusehen, dass eine Läsion selektiv auf ein interessierendes Areal beschränkt ist. Als Symptome weisen Patienten infolgedessen unterschiedliche Ausmaße der Beeinträchtigung auf perzeptueller und motorischer Seite auf. Manche Patienten haben Störungen nur bei einer Hand, andere Patienten in beiden Händen.

Eine oft zitierte Studie zu optischen Ataxien stammt von Perenin und Vighetto (1988). Da diese Studie eine wichtige Stütze für die Argumente von Milner und Goodale (1995) darstellt, wird diese ausführlich besprochen. Perenin und Vighetto untersuchten zehn Patienten mit unilateralen Läsionen im posterioren parietalen Kortex. Nach Angaben der Autoren zeigten die Patienten keine oder nur sehr geringe allgemeine Defizite im visuellen, propriozeptiven und motorischen Bereichen. Die Patienten wurden hinsichtlich ihrer perzeptuellen (Positionserkennung und Orientierung von Strichen) und ihrer motorischen Leistungen (Reichen nach Objekten und Fingerorientierung) untersucht. Aus nicht näher erläuterten Gründen wurden jedoch nur fünf der zehn Patienten auf ihre Wahrnehmungsleistungen untersucht, d.h. bei den anderen fünf Patienten wird nicht ersichtlich, welche perzeptuellen Einschränkungen diese ggf. aufwiesen. Bei den zehn Patienten zeigten sich im Vergleich mit einer Kontrollgruppe mehr Fehler, sowohl bei der Positions- als auch bei der Orientierungsaufgabe. Auf der Seite der Läsion erzielten die Patienten bessere Ergebnisse als auf der kontralateralen Seite. Die Autoren geben an, dass die Ergebnisse für die ipsilaterale Seite der Patienten noch gerade in der Spannweite der Kontrollgruppe liegen, d.h. der Mittelwert der Patientengruppe lag bei dem schlechtesten Einzelergebnis eines Kontrollprobanden. Die Mittelwerte beider Gruppen unterschieden sich jedoch deutlich voneinander. Dies bedeutet letztendlich, dass die Probanden, die in dieser Studie als „10 cases of 'pure' optic ataxia“ (Perenin & Vighetto, 1988, S. 645) geführt werden, perzeptuelle Defizite bei der Positions- und Orientierungserkennung aufweisen. Diese Tatsache lässt eine Klassifikation als „optische Ataktiker“, also als Patienten mit vornehmlich motorischen Defiziten, fragwürdig erscheinen. Bei den berichteten Defiziten kann nicht ausgeschlossen werden, dass die motorischen Einschränkungen auf die perzeptuellen Defizite zurückführbar sind. Auf motorischer Seite zeigten sich keine bedeutenden Unterschiede zwischen Kontroll- und Patientengruppe beim Greifen mit der ipsiläsionalen Hand auf der ipsilateralen Seite und für das zentrale Augengebiet. Die höchste Fehlerrate trat bei den Patienten auf der kontralateralen Seite der Schädigung auf. Dies betraf, bis auf einen Patienten, beide Hände. Zudem waren die motorischen Leistungen im zentralen Gesichtsfeld deutlich besser als im peripheren. Die Autoren sehen die motorischen Schwierigkeiten hierbei nicht in einem direkten Zusammenhang mit den gemessenen perzeptuellen Einschränkungen. Dies scheinen auch Milner und



Goodale bezüglich dieser Studie so zu sehen: “[...] the patients performed *well above chance* on judgements of spatial location and on the perception of orientation of a single line [...]“ (Milner & Goodale, 1995, S. 95). Für den Nachweis einer tatsächlichen Dissoziation von Wahrnehmung und Handlung erscheint jedoch eine Leistung, die lediglich über dem Rateniveau für perzeptuelle Aufgaben steht, nicht besonders überzeugend.

Eine wichtige Unterscheidung muss zudem zwischen motorischen Handlungen im zentralen oder im peripheren Gesichtsfeld getroffen werden. In mehreren Studien (Milner et al., 1999; Rossetti, Goldenberg & Rode, 2005a; Rossetti et al., 2005b) konnte ebenfalls, wie schon bei Perenin und Vighetto (1988), gezeigt werden, dass motorische Defizite bei Patienten mit optischer Ataxie eher im peripheren und nicht im zentralen Gesichtsfeld (oder dort zumindest deutlich verbessert) auftreten. Dies gilt auch bei bilateralen Läsionen im posterioren parietalen Kortex. Die Ausprägung der motorischen Defizite scheint dabei stark abhängig von den zeitlichen Anforderungen der Aufgaben zu sein. In mehreren Studien (Milner et al., 1999; Milner et al., 2001; Milner et al., 2003) verbesserten sich die motorischen Leistungen der Patienten nach einer Verzögerung im Vergleich mit einer sofortigen Reaktion auf einen Stimulus. Milner et al. (1999) präsentierten ihrer Probandin A.T. (nach Angaben der Autoren diagnostiziert mit optischer Ataxie) einen Punkt für 2 Sekunden. Die Probandin sollte entweder sofort auf diesen Punkt zeigen oder 5 Sekunden warten (in denen der Punkt nicht mehr sichtbar war) und anschließend auf die Position des Punktes zeigen. A.T. zeigte eine verbesserte Positionsbestimmung für die verzögerte Antwort. Kontrollprobanden hingegen wiesen den umgekehrten Effekt auf. Ihre schlechteren Leistungen bei der Verzögerungsbedingung waren allerdings immer noch deutlich besser als die der Patientin. Problematisch für die Interpretation der Ergebnisse ist jedoch die Befundlage über die Patientin. Nach Angaben der Autoren wies sie zum Zeitpunkt der Testung Symptome des Bálints Syndroms auf, welche bei ihr visuelle Desorientierung und Simultanagnosie (Unfähigkeit, mehrere Dinge gleichzeitig wahrzunehmen) umfassten. Es ist deshalb unklar, inwieweit die motorischen Defizite auf die perzeptuellen Beeinträchtigungen zurückzuführen sind. Die Autoren deuten den Befund als Hinweis darauf, dass die Patientin bei der sofortigen Reaktion „nicht anders kann“<sup>20</sup> als ihr visuell-motorisches System zu nutzen, während die Verzögerung zu einem „Verblässen“ der Informationen aus diesem System führt und ein zweites System, das visuell-perzeptuelle, mehr an Bedeutung gewinnt.

---

<sup>20</sup> “[...] when reaching towards target stimuli present within the visual array, A. T. cannot help but use the dedicated visuomotor system, even though the result is that she makes large errors.” (Milner et al., 1999, S.2228)

Um überhaupt erklären zu können, weshalb das visuell-perzeptuelle System von Nutzen sein kann, wenn das visuell-motorische System beschädigt ist, nehmen die Autoren eine weitere Unterteilung des dorsalen Stroms an. Während das schnelle egozentrische visuell-motorische Subsystem beschädigt ist, wird ein zweites, eher allozentrisches und langsames Subsystem durch das visuell-perzeptuelle System mit den nötigen Informationen versorgt.<sup>21</sup> Diese Annahme fand in den folgenden Jahren weitere Anhänger (siehe z.B. Pisella et al., 2006).

### (3) Visuelle Agnosie

Die visuelle (Form-) Agnosie stellt aus Sicht einer Dissoziation von Perzeption und Handlung das Pendant zur optischen Ataxie dar. Bei dieser Störung weisen Patienten Defizite in der Erkennung von Objekten aufgrund einer uni- oder bilateralen Läsion im occipito-temporalen Kortex auf. Die Symptome dürfen dabei nicht besser durch eine allgemeine sensorische Störung,<sup>22</sup> durch eine kognitive Störung, durch eine Aufmerksamkeitsstörung oder durch aphasische Benennungsstörungen erklärt werden (Biran & Coslett, 2003).

Die Defizite können die Erkennung der Größe, Gestalt und Orientierung eines Objekts umfassen. Die Patienten können in der Regel weder verbal noch manuell diese Objekteigenschaften angeben. Lissauer (1890) unterschied dabei eine „apperzeptive“ und eine „assoziative Seelenblindheit“. Erstere meint die Unfähigkeit, überhaupt eine perzeptuelle Repräsentation eines Objekts zu bilden. Die assoziative Blindheit meint so etwas wie eine Wahrnehmung ohne Bedeutung (siehe auch Teuber, 1968). Der Patient kann dann keine semantische Klassifizierung vornehmen, wie z.B. Bett, Stuhl oder Katze. Es sind auch eine Reihe anderer Formen der visuellen Agnosie bekannt, wie die Prosopagnosie (Biran & Coslett, 2003). Bei dieser Form der visuellen Agnosie leiden die Patienten unter der Unfähigkeit, Gesichter zu erkennen.<sup>23</sup>

Im Gegensatz zu den perzeptuellen Defiziten der visuellen Agnosie zeigen manche Patienten mit dieser Störung eine relativ intakte motorische Kontrolle bei Reich- oder Zeigebewegungen nach Objekten. So kann bei einigen Patienten die Fingeröffnung beim Präzisionsgriff oder die Orientierung der Hand an das Objekt angepasst werden. Patienten mit diesen Symptomen sind selten, nicht zuletzt aus den Gründen, die auch

---

<sup>21</sup> “It is only when the visual information in this ‘immediate’ system is not acted upon and is allowed to decay that the second system comes into play. Normally this second system will provide a less accurate spatial metric, designed only to orientate the observer to the general ‘ballpark’ location of a target in preparation for the ‘on-line’ system to come into operation.” (Milner et al., 1999, S. 2228)

<sup>22</sup> Getestet wird dies beispielsweise durch psychophysikalische Methoden, wie das Detektieren von Lichtern oder das Erkennen von Gitterlinien.

<sup>23</sup> Einer breiten Öffentlichkeit bekannt geworden ist die Störung durch das Buch *Der Mann der seine Frau mit einem Hut verwechselte* (Sacks, 1990).

schon für andere Störungen, die nach einer Läsion auftreten, genannt wurden. Einzelfallstudien sind aus diesem Grund auch eher die Regel als die Ausnahme. Die wohl meist untersuchte Patientin mit visueller Form-Agnosie ist bekannt unter der Abkürzung D.F., die eine Kohlenmonoxid Vergiftung erlitt. Durch strukturelle MRT (James et al., 2003) konnten bilaterale Schäden im Lateralen Okzipitalen Komplex (Malach et al., 1995) sowie eine Verminderung des kortikalen Gewebes im intraparietalen Sulcus nachgewiesen werden. In zahlreichen Studien mit unterschiedlichsten experimentellen Paradigmen wurden perzeptuelle und motorische Leistungen bei D.F. überprüft. Ihr größtes Problem stellt die Formerkennung dar. Ihre Farbwahrnehmung und Texturerkennung liegen hingegen in normalen Bereichen (James et al., 2003). In einer Studie (Milner et al., 1991), die als analoge Studie zu Perenin und Vighetto (1988, siehe oben) aufgefasst werden kann, sollte D.F. die Orientierung eines Schlitzes angeben. Die Orientierung konnte zufällig variiert werden, wobei die einzelnen Orientierungen Abstände von 45 Grad aufwiesen. Ihre Angaben wiesen dabei nur wenig Übereinstimmung mit der tatsächlichen Orientierung auf. Anders sah es aus, wenn D.F. aufgefordert wurde, ihre Hand in den Schlitz zu stecken. Tatsächlich orientierte sich ihre Hand an der jeweiligen Orientierung des Schlitzes und wies nur eine etwas größere Varianz auf im Vergleich mit einer Kontrollperson. In ähnlichen Paradigmen wurde dieser Befund bestätigt (Goodale, Milner, Jakobson & Carey, 1991).

Die Studien zu D.F. und anderen Patienten mit visueller Agnosie (Dijkerman, Le, Démonet & Milner, 2004) lassen daher eher als bei der optischen Ataxie den Schluss zu, dass tatsächlich eine Dissoziation von Perzeption und Handlung vorliegt. Da die Schädigungen bei visueller Agnosie auf Regionen des temporal-okzipitalen Kortex zurückzuführen sind, gehen Milner und Goodale (1995) von einem defekten visuell-perzeptuellen und einem intakten visuell-motorischen System aus. In diesem Zusammenhang sind, wie schon bei der Besprechung der optischen Ataxie geschildert, Experimente mit verzögertem Greifen von Bedeutung. Goodale, Jakobson und Keillor (1994) fanden wiederum bei Patientin D.F. eine Verschlechterung ihrer motorischen Leistungen, wenn verzögert gegriffen wurde. Die Autoren interpretieren den Befund mit der stärkeren Nutzung des geschädigten visuell-perzeptuellen Systems bei der verzögerten Aufgabe.

Es stellt sich zusammenfassend die Frage, ob die Befunde über die optische Ataxie und die visuelle Agnosie ausreichen, um von einer Doppeldissoziation von Perzeption und Handlung zu sprechen. Bei der optischen Ataxie sind erhebliche Zweifel hinsichtlich des Phänomens angebracht. Es bleiben vor allem zu viele Fragen hinsichtlich der perzeptuellen und sonstigen kognitiven Einschränkungen der Patienten sowie des starken Einflusses der Testbedingungen auf die motorischen Leistungen offen. Die

optische Ataxie als eine rein visuell-motorische Störung zu bezeichnen, ist somit fragwürdig. Hinsichtlich der visuellen Agnosie sind hingegen mehrere Patienten beschrieben worden, deren perzeptuelle Defizite deutlich von ihren Leistungen in motorischen Aufgaben abweichen. Auch bei dieser Störung scheint die Ausprägung der Defizite deutlich von der Art der Testung abzuhängen. Zusammen betrachtet sind die optische Ataxie und die visuelle Agnosie im Sinne einer Doppeldissoziation der Motorik von der Objekterkennung nicht so überzeugend, wie Vertreter der TVSH es oft darstellen. In zwei Reviews (Rossetti, Pisella & Vighetto, 2003; Pisella, Binkosfki, Lasek, Toni & Rossetti 2006) kommen die Autoren ebenfalls zu dem Schluss, dass die Annahme einer Doppeldissoziation anzuzweifeln ist. Rossetti, Pisella und Vighetto (2003) führen hier vor allem unterschiedliche Leistungen der Patienten für Handlungen im zentralen versus peripheren Gesichtsfeld (Leistungen sind zentral deutlich besser, selbst bei beidseitigen Läsionen), zeitliche Komponenten der Aufgaben (deutlich verbesserte motorische Leistungen wenn die Probanden mehr Zeit für die Aufgabe bekommen) sowie experimentelle Beschränkungen (Patienten zeigen wenig motorische Einschränkungen bei täglichen Handlungen) an. Pisella et al. (2006) nehmen weitere funktionelle und strukturelle Unterteilungen der dorsalen und ventralen Bahnen an. Außerdem gehen sie von einer bedeutend größeren Interaktion zwischen den von ihnen angenommenen Systemen aus. Ein „dorso-dorsal pathway“ (beinhaltet den größten dorsalen Teil des parietalen und prämotorischen Kortexes) soll dabei die schnelle visuell-motorische Kontrolle ermöglichen. Über einen „ventral stream-prefrontal pathway“ (umfasst Verbindungen zwischen der ventralen visuellen Bahn zu präfrontalen Gebieten unter Umgehung der parietalen Bahnen) sollen die Leistungen von optischen Ataktikern bei verzögerten Bewegungen erklärt werden. Diese Bahn soll „vermittelnde“ motorische Kontrolle ausüben. Schließlich nehmen sie noch eine wichtige Funktion für einen „ventro-dorsal pathway“ an (beinhaltet die ventralen Teile des Parietallappens und der prämotorischen und präfrontalen Gebiete). Dieser Pfad soll komplexe Planung basierend auf „high representational levels“ vermitteln.

Zieht man bis hierhin eine erste Bilanz über die Annahmen der TVSH anhand der dargestellten empirischen Befunde an Patienten mit neurologischen Störungen, so ergeben sich Zweifel am Vorhandensein der Doppeldissoziation von Perzeption und Handlung. Als gesichert kann bisher nur festgestellt werden, dass Läsionen in bestimmten Bereichen des Parietallappens oft mit motorischen Störungen (oft auch mit gleichzeitig auftretenden perzeptuellen Störungen) verbunden sind, und dass Läsionen im inferioren temporalen Kortex oft mit perzeptuellen Störungen (mit gleichzeitig auftretenden motorischen Störungen) einhergehen.

### 3.3.2 Das Paradigma der visuellen Illusionen zur Überprüfung der TVSH

Den größten Bekanntheitsgrad und auch einen großen Teil ihrer Popularität gewann die TVSH durch einen zweiten experimentellen Ansatz. Die Grundidee basiert auf folgenden Überlegungen: Wenn die zwei angenommenen Systeme, das visuell-perzeptuelle und das visuell-motorische System, (weitgehend) unabhängig voneinander operieren, dann sollte es möglich sein, unter geeigneten Bedingungen Dissoziationsphänomene auch bei hirngesunden Probanden zu demonstrieren. Konkret würde dies bedeuten, dass eine Situation geschaffen werden soll, in der der perzeptuelle Eindruck über ein Merkmal eines Objektes, wie etwa die wahrgenommene Größe, von einer motorischen Handlung, nämlich dem Ergreifen des Objektes, abweicht und somit dissoziiert wird.

Diesbezüglich stellen sich zwei Fragen: Wann sollte eine solche Dissoziation beobachtbar sein, und bei welchem Ergebnis würde man überhaupt von einer Dissoziation sprechen wollen? Die erste Frage lässt sich aus den theoretischen Annahmen zu den angenommenen visuellen Systemen ableiten. Das visuell-perzeptuelle System vermittelt nach Milner und Goodale nur Relationen zwischen Objekten:

*Our perception of the visual world is by its very nature relative. As we gaze across a room, some of the objects within our field of view will be perceived, in an obligatory fashion, as larger or closer than others. But although we might perceive that one object is larger or closer than another, such relative judgements of size and distance are not enough to calibrate the grasping movement that might be directed at that object [...]*  
(Aglioti, DeSouza & Goodale, 1995, S. 679)

Das visuell-motorische System hingegen unterliegt nach der TVSH anderen Bedingungen:

*[...] the visuomotor systems mediating prehension, when confronted with a goal object - particularly a novel one - must compute the size, the shape, orientation, and distance of the object de novo. Moreover, the temporal constraints on the control of prehension, particularly on the amendments made during its execution, demand that the underlying computations be both fast and robust. In addition, because the required actions must be matched to the location and disposition of the object with respect to the observer, the required computations must be organized within egocentric frames of reference.*  
(Milner & Goodale, 1995, S. 156)

Eine Dissoziation von Perzeption und Handlung sollte sich folglich immer dann ergeben, wenn die Kodierung von Objekteigenschaften durch die relative Arbeitsweise des visuell-perzeptuellen Systems in die eine oder andere Richtung von der „wahren“ Objekteigenschaft abweicht, im Gegensatz zu der immer gleichen (und vermeintlich „richtigen“) Kodierung des visuell-motorischen Systems. Dieses System kodiert nach der TVSH immer hinsichtlich eines Effektors, der auf sein Ziel fixiert ist. Als eine Möglichkeit der Erzeugung von solchen Dissoziationen können nach Aglioti, DeSouza und Goodale (1995) die so genannten visuellen Illusionen verwendet werden:

*Indeed, our judgements of size appear to be so inherently relative that we can sometimes be fooled by visual displays in which visual stimuli of the same size are positioned next to comparator stimuli that are either much smaller or much larger than the target stimuli.* (Aglioti, DeSouza & Goodale, 1995, S.680)

*[...] there is good reason to believe that the calibration of size-dependent motor outputs – such as grip aperture during grasping – would not be.* (Aglioti, DeSouza & Goodale, 1995, S.680)

*It is not enough to know that the target object is larger or smaller than surrounding objects; the visuomotor systems controlling hand aperture must compute its real size.* (Aglioti, DeSouza & Goodale, 1995, S.681)

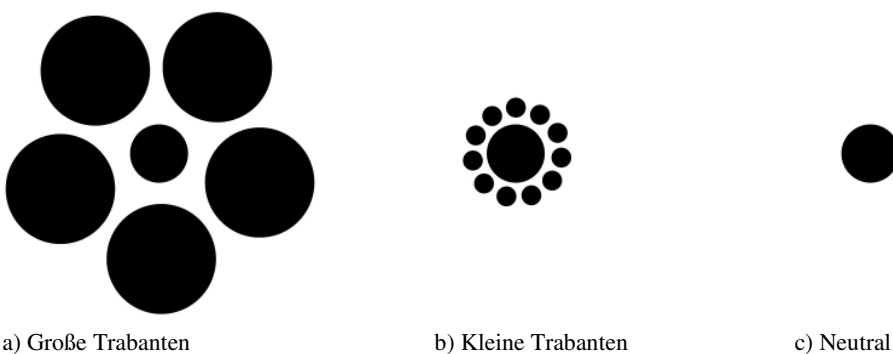


Abb. 3.3: Die Ebbinghaus Illusion. Die Planeten (mittleren Kreise der Figuren a, b und c) haben den gleichen Durchmesser. Einen Betrachter erscheinen sie jedoch unterschiedlich groß. a) Große Trabanten: Diese Bedingung erscheint am kleinsten. b) Kleine Trabanten: Diese Bedingung erscheint am größten c) Neutral: Diese Bedingung erscheint in der Wahrnehmung zwischen den anderen beiden Bedingungen liegend.

Die unterschiedlichen theoretischen Betrachtungsweisen über Illusionen wurden bereits in Kapitel 1.3 besprochen. Offensichtlich fallen Aglioti et al. (1995) in die Kategorie derer, die Illusionen als Sonderfälle betrachten und damit von der „richtigen“ Wahrnehmung abgrenzen. Konkret getestet wurden die Annahmen über die zwei visuellen Systeme unter Verwendung der Ebbinghaus Illusion (Abb. 3.3a und 3.3b), die bereits in Kapitel 1.3 vorgestellt wurde.

In der „Standardversion“ werden zwei gleichgroße Kreise (im Folgenden Planeten genannt) von entweder großen oder kleinen Kreisen umrahmt (im Folgenden große und kleine Trabanten genannt). In einer solchen Anordnung scheint der von großen Trabanten umgebene Planet kleiner zu sein als der von kleinen Trabanten umgebene (Coren & Girgus, 1972). Die Größe eines „neutralen“ Planeten ohne Trabanten wird im Allgemeinen als zwischen den anderen beiden Bedingungen liegend beurteilt (Abb. 3.3c). Aus einer Sicht, die Realität und Illusion voneinander abgrenzt, bildet diese Bedingung die „richtige“ Wahrnehmung der Größe. Es wurde viel spekuliert, wie diese Täuschung erklärt werden kann. Nach Aglioti et al. (1995) ist die Ebbinghaus Täuschung eine Folge des relativen Charakters des visuell-perzeptuellen Systems. Da alle Objekte einer Szene in Relation zueinander betrachtet werden, wobei die Zusatzannahme von lokaler Nähe eingeführt wird (ein Planet wird nur mit kleinen Trabanten verglichen, der andere Planet nur mit großen Trabanten), entstehen „Verzerrungen“ der Größenwahrnehmung in die eine oder andere Richtung. Eine weitere Hypothese (Coren & Girgus, 1978) über das Zustandekommen der Täuschung beruht auf *Größenkonstanz*. Demnach regt die Anordnung der Planeten und Trabanten eine Tiefeninterpretation an. Die Position des Planeten mit den kleinen Trabanten wird als weiter entfernt interpretiert als die Position des Planeten mit den großen Trabanten. Da beide Planeten einen gleich großen Sehwinkel aufweisen, muss der als weiter weg interpretierte Planet in Wirklichkeit größer sein als der nahe Planet (nach Emmert, 1881). Interessanterweise räumt diese Interpretation ein, dass kein wahrgenommener Tiefeneindruck bei einem Beobachter entsteht. Die unterschiedlich wahrgenommene Größe der Planeten wäre also gewissermaßen Ausdruck einer interpretierten Tiefe ohne einen dreidimensionalen Eindruck.

In der Studie von Aglioti et al. (1995) wurden nun die wahrgenommenen Größen der Planeten und Griffweiten nach diesen miteinander verglichen. Den Probanden wurde die Ebbinghaus Illusion mit variablen Planetengrößen präsentiert. Die Probanden sollten zunächst angeben, ob sie die gerade gesehenen Planeten als gleich groß oder als ungleich wahrnehmen. Der gemessene (physikalische) Unterschied zwischen den Planetengrößen für die Angabe „gleich groß“ stellte den *perzeptuellen Effekt* dar. Im Umkehrschluss werden physikalisch gleich große Objekte als unterschiedlich groß

wahrgenommen. Die Größe dieser wahrgenommenen Ungleichheit wird durch den gemessenen perzeptuellen Effekt ausgedrückt.

Die Planeten selbst bestanden aus ca. 3 mm dicken runden Scheiben (Chips), die von den Probanden in einem Greifexperiment in die Hand genommen werden konnten. Bei den Trabanten handelte es sich um auf Karton aufgedruckte Kreise. Im Greifexperiment sollten die Probanden mit einem Präzisionsgriff die Chips erfassen. Als abhängige Variable wurde die maximale Griffweite von Daumen und Zeigefinger während der Annäherung an den jeweiligen Chip gemessen. Der korrelative Zusammenhang von Objektgröße und maximaler Griffweite wurde in Kapitel 2.2 behandelt. Dieser Zusammenhang sollte sich hier zu Nutze gemacht werden. Nach der TVSH sollte die maximale Griffweite allein von der tatsächlichen Größe des Objekts und nicht von der wahrgenommenen Größe abhängen. Ein *motorischer Effekt* wird definiert als die Differenz der maximalen Griffweiten für das Greifen nach den unterschiedlich groß wahrgenommenen Planeten, die physikalisch die gleiche Größe aufwiesen (nach Aglioti et al., 1995).

Nun kann auch die Frage beantwortet werden, wie eine Dissoziation von Perzeption und Handlung in einem solchen Paradigma aussehen sollte. Nach der TVSH müsste die wahrgenommene Größe (unterschiedlich für dasselbe Objekt je nach umgebenden Trabanten) von der motorischen Handlung (immer gleiche Griffweite bei physikalisch gleich großen Objekten) dissoziieren. Eine starke Formulierung einer solchen Dissoziation würde fordern, dass überhaupt keine motorischen Effekte gemessen werden, d.h. die maximale Griffweite wäre konstant. Dies entspräche vollständig unabhängigen Systemen. Eine moderatere Formulierung der TVSH, welche keine vollständige Unabhängigkeit der visuellen Systeme annimmt, wird zwar motorische Effekte erwarten, diese sollten aber kleiner sein als die perzeptuellen. Hier zeigt sich eine große Schwierigkeit für die Überprüfung der Theorie. Es gibt keine klare Formulierung, bei welchem Unterschied zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten von einer Dissoziation gesprochen werden kann.

Für den Vergleich von perzeptuellen und motorischen Effekten ergaben sich bei Aglioti et al. (1995) zwar signifikante statistische Ergebnisse, der Unterschied fiel mit 2,5 mm für den perzeptuellen und 1,7 mm für den motorischen Effekt aber nicht so deutlich aus, wie man es nach der Formulierung der Unabhängigkeit der angenommenen Systeme erwartet hätte. Dennoch interpretierten die Autoren ihr Ergebnis als Hinweis auf die Gültigkeit ihrer Annahmen zu den zwei visuellen Systemen. Der Unterschied der Griffweiten nach physikalisch gleich großen, aber unterschiedlich groß wahrgenommenen Planeten der Ebbinghaus Illusion, war ihrer Meinung nach deutlich



geringer als der perzipierte Größenunterschied. Die Beschreibung ihrer Ergebnisse lässt einige Fragen offen. So wird nicht deutlich, wie sich die erhaltenen Ergebnisse aus den einzelnen Bedingungen zusammensetzen. Bei den graphischen Darstellungen werden die Griffweiten eines Objekts für große und kleine Trabanten bereits zusammengefasst. Es sind aber genau diese Unterschiede von größtem Interesse.

Zwei Punkte sollen an dieser Stelle noch einmal gesondert hervorgehoben werden: Zum einen handelt es sich nicht um einen absoluten Vergleich perzeptueller mit motorischen Maßen. Stattdessen werden immer nur Unterschiede zwischen den gebildeten Differenzen motorischer und perzeptueller Maße gebildet. Für die maximale Griffapertur ergibt sich (siehe Kapitel 2.2) üblicherweise ein Wert, der deutlich größer ist als das Objekt selbst (und die von Beobachtern geschätzte Objektgröße). Zum anderen ist es für das Paradigma der visuellen Illusionen (im Folgenden PVI) unbedeutend, wie die „Täuschung“ zustande kommt. Die Täuschung dient lediglich „als Mittel zum Zweck“. Das einzig entscheidende Kriterium ist, ob ein *perzeptueller Effekt* vorhanden ist. Es wird später diskutiert werden, inwiefern dieses Vorgehen Auswirkungen auf die Interpretationen der Ergebnisse hat.

Diese Art der Testung, der Vergleich perzeptueller und motorischer Maße unter Verwendung von den so genannten visuellen Illusionen, setzte den Standard für zahlreiche experimentelle Studien in den folgenden Jahren bis heute. Es wurden dabei sowohl die verwendeten Illusionen als auch die abhängigen perzeptuellen und motorischen Maße variiert. Hinsichtlich der getesteten Illusionen wurden besonders häufig zwei immer wieder untersucht, nämlich die Ebbinghaus (Titchener) und die Müller-Lyer Illusion (siehe Abb. 1.1). Manche Studien benutzten auch Abwandlungen dieser Illusionen. Hinsichtlich der motorischen Maße wurden besonders häufig die maximale Griffapertur, die Amplituden von Sakkaden und Zeigebewegungen untersucht.

Der Schwerpunkt der Darstellung wird auf folgenden Fragen liegen: Welche Effekte finden sich für den Vergleich motorischer und perzeptueller Maße innerhalb dieses Paradigmas? Wann ist ein Vergleich motorischer und perzeptueller Maße „fair“? Gibt es unterschiedliche Effekte für ein motorisches Maß bei verschiedenen Täuschungen? Gibt es unterschiedliche Effekte für verschiedene motorische Maße bei der gleichen Täuschung?

### 3.3.2.1 Ebbinghaus

#### *Greifen nach der Ebbinghaus Illusion*

Die Studie von Aglioti et al. (1995) wurde bereits zur Erläuterung des Paradigmas besprochen. Marotta, DeSouza, Haffenden und Goodale (1998) verglichen die maximale Griffapertur unter monokularen und binokularen Sehbedingungen bei der Ebbinghaus Illusion. Der Versuchsablauf und die Konfigurationen der Ebbinghaus Illusionen waren analog zu Aglioti et al. (1995). Unter der binokularen Bedingung wurde das Ergebnis von Aglioti et al. (1995) repliziert, bei den monokularen Bedingungen zeigte sich jedoch ein stärkerer motorischer Effekt. Dies wurde von den Autoren als Hinweis auf eine stärker szenenbasierte Kodierung bei monokularen Bedingungen gedeutet. Die von Milner und Goodale angedachte „Überlegenheit“ des motorischen Systems im Sinne einer verbesserten Anpassung an die tatsächliche Größe des Objekts sollte unter monokularen Bedingungen nicht möglich sein. Um welche Hinweisreize es sich handeln soll, die bei monokularen Sehbedingungen fehlen, erläutern die Autoren nicht. Auch gibt es hinsichtlich der Präsentation der Daten Probleme für die Nachvollziehbarkeit ihrer Schlüsse. Bei der graphischen Darstellung der Bedingungen „perzeptuell verschieden/physikalisch gleich“ werden die schon zusammengefassten Vergleiche für die großen und kleinen Trabanten gezeigt. Dies sollte eigentlich der wichtigste Vergleich für diese Studie sein. Stattdessen werden die zusammengefassten Daten für unterschiedlich große Scheibengrößen miteinander verglichen. Die Autoren bemerken allerdings noch, dass “although there was a suggestion that the grasps directed at the target located in the annulus of small surrounding circles was larger than the grasp directed at the target located in the annulus of large surrounding circles, none of these differences was significant in either the binocular or the monocular viewing conditions for the pair of large or for the pair of small discs.” (Marotta et al., 1998, S. 495) Die Autoren nennen hierzu keine weiteren Daten. Auch Aglioti et al. (1995) geben keine Daten an für diese Vergleiche, eine Gesamtzusammenfassung der motorischen Effekte wird jedoch im Gegensatz zu Marotta et al. (1998) angegeben.

Haffenden und Goodale (1998) strebten eine Verbesserung der Studie von Aglioti et al. (1995) an. Sie nahmen drei Veränderungen vor:

(1) Die Probanden sollten im Dunkeln greifen: Mit dieser Maßnahme sollte sichergestellt werden, dass die Probanden nicht über visuelles Feedback ihre aktuelle Griffweite an das Objekt angleichen. Fände solch ein Abgleich statt, würde dies nach den Autoren keinen gerechten Vergleich zwischen perzeptuellen und motorischen Maßen ermöglichen. Hier müssen zwei prinzipielle Möglichkeiten einer „Online-

Korrektur“ durch visuelles Feedback unterschieden werden: Zum einen könnte ein „bewusster“ Abgleich von Griffweite und Objekt durch Hin- und Herschauen zwischen diesen erfolgen. Üblicherweise findet ein solcher Abgleich jedoch nicht statt. Reichhandlungen werden in der Regel in einer fließenden Bewegung ausgeführt. Die maximale Griffweite, die normalerweise deutlich über der Objektgröße liegt, kann hierbei als eine Art Sicherheitsmaß verstanden werden, so dass das Objekt schließlich ohne Verzögerung ergriffen werden kann. Beim Greifen ohne visuelles Feedback (open-loop) erhöht sich jedoch die maximale Griffweite, wobei immer noch eine Korrelation zwischen Objektgröße und maximaler Griffweite vorhanden bleibt (Jeannerod, 1981; Grosskopf & Kuitz-Buschbeck, 2006). Zum anderen könnte es eine „unbewusste Korrektur“ bei Annäherung der Hand an das Objekt geben, ähnlich wie es in einigen Studien berichtet wurde (Prablanc & Martin, 1992; Pisella et al., 2000). In diesen Studien wurde das Ziel der Handbewegung (die Probanden sollten auf einen Punkt zeigen) in manchen Durchgängen versetzt. Diese Verschiebung wurde während der Sakkade von Start- zu Zielpunkt durchgeführt, so dass die sakkadische Suppression, bei der ein Proband während der Durchführung der Sakkade keine bewussten Wahrnehmungen hat (siehe Kapitel 2.1) ausgenutzt werden konnte. Den Probanden war diese Verschiebung des Ziels also nicht bewusst. Ihre Handbewegung passte sich jedoch dem neuen Ziel in einer fließenden Bewegung an. Dies zeigt die Möglichkeit auf, Reichbewegungen „online“ zu modifizieren.

(2) Die perzeptuellen Messungen erfolgten über das Anzeigen der Größe mittels Daumen und Zeigefinger: Die Autoren nehmen an, dass diese manuelle Messung der wahrgenommenen Objektgröße besser sei als die Methode des Vergleichens von Objektgrößen, so wie bei Aglioti et al. (1995). Im Kontext der *Fairness* beim Vergleich von perzeptuellen und motorischen Maßen nimmt dieser Aspekt einen wichtigen Teil ein. Bei der Besprechung von Franz (2003a, siehe unten) wird hierauf genauer eingegangen.

(3) Die dritte Verbesserung betrifft die Untersuchung eines möglichen Hinderniseffekts durch die Trabanten: Dieser Punkt zielt ebenfalls auf die *Fairness*. Die Autoren nahmen an, dass die Trabanten als mögliche Hindernisse für die Hand wirken könnten. Allerdings sollte nach den Autoren dieser Effekt auf die Bedingungen mit den großen Trabanten beschränkt sein, da hier die Hand gerade durch die „Öffnung“, d.h. den Raum zwischen den Trabanten und dem Planeten, passen würde. Bei den kleinen Trabanten sei die Öffnung jedoch so klein, dass gar nicht erst der Versuch gemacht werde, die Hindernisse zu vermeiden (vgl. Abb. 3.3). Folglich sollte sich die Griffweite bei den großen Trabanten verringern, was die bisher gemessenen motorischen Effekte erklären würde.

Die experimentelle Umsetzung der geplanten Verbesserungen dieser Studie können allerdings nicht als gelungen betrachtet werden, um die Behauptungen zu untermauern. Die Autoren zeigten lediglich, dass unterschiedlich große Scheiben in Figuren mit gleichen Abständen der Trabanten als unterschiedlich groß wahrgenommen wurden, wohingegen sie statistische Unterschiede in den maximalen Griffweiten nicht feststellen konnten. Einen direkten Test über die Prüfung des von ihnen angenommenen Hinderniseffekts führten sie nicht durch.

Haffenden und Goodale (2000) legten später eine Reanalyse der eben beschriebenen Studie vor (Haffenden & Goodale, 1998). Zudem führten sie einige Kontrollexperimente mit unterschiedlichen Distanzen und relativen Positionen von flankierenden Elementen durch. Sie ermittelten für verschiedene Distanzen Unterschiede in den perzeptuellen, nicht aber in den motorischen Effekten. Aufgrund dieser Ergebnisse schlossen sie auf die Gültigkeit ihrer Annahmen aus Haffenden und Goodale (1998).

In zwei Studien (Pavani, Boscagli, Benvenuti, Rabuffetti & Farnè, 1999; Franz et al., 2000) wird explizit auf den Aspekt der *Fairness* eingegangen. Demnach seien die Bedingungen für den perzeptuellen Abgleich und die motorische Handlung nicht ausreichend aneinander angeglichen. Während der perzeptuelle Abgleich bisher immer an zwei Figuren stattfand, erfolgte die Handlung an einer Figur. Nach Franz et al. (2000) macht es einen Unterschied für die perzeptuellen Messungen, ob die Planeten der Ebbinghaus Illusion simultan verglichen werden (ihr *Direkter Vergleich*) oder ob ein individueller Abgleich der Planeten an einem neutralen Planeten (Kreis ohne Trabanten, ihr *Indirekter Vergleich*) vorgenommen wird. Beim *Indirekten Vergleich* fiel der perzeptuelle Effekt kleiner aus im Vergleich zur direkten Messung. Beim Greifen sollte nach Argumentation von Franz et al. (2000) der motorische Effekt deshalb mit dieser zweiten Messung verglichen werden. So konnte schließlich bei Pavani et al. (1999) und bei Franz et al. (2000) gezeigt werden, dass die Unterschiede zwischen perzeptuellen und motorischen Maßen nicht mehr auftraten. Das Nichtauftreten der Dissoziation von Perzeption und Handlung wird interpretiert als Hinweis auf eine gemeinsame Kodierung von Perzeption und Handlung. Auf die Problematik des Vergleichs der *Direkten* und *Indirekten Methode* wird in der anschließenden Bewertung der TVSH noch einmal ausführlich eingegangen. In *Studie 1* werden diese beiden Methoden zudem experimentell miteinander verglichen.

Haffenden, Schiff und Goodale (2001) weisen die Kritik von Pavani et al. (1999) und Franz et al. (2000) weitgehend zurück. Sie akzeptieren zwar den Hinweis auf den unfairen Vergleich, nehmen aber trotzdem weiterhin den von ihnen vorgeschlagenen

Hinderniseffekt als ursächlich für das Fehlen einer Dissoziation von Perzeption und Handlung an. Aus diesem Grund vergrößerten sie den Abstand zwischen Planeten und Trabanten bei der Bedingung mit den kleinen Trabanten so, dass dieser dem Abstand unter der Bedingung mit den großen Trabanten gleich. Es wurde nun kein statistischer Unterschied in der maximalen Griffweite zwischen der Bedingung mit den adjustierten kleinen Trabanten und den großen Trabanten festgestellt, wohl aber zu den traditionellen kleinen Trabanten. Die Autoren nahmen daher weiterhin die Gültigkeit ihres postulierten Hinderniseffektes an.

Wie wichtig geeignete Kontrollen für solche Schlüsse sind, zeigen drei weitere Studien zur Ebbinghaus Illusion (Franz, Bühlhoff & Fahle, 2003; de Grave, Biegstraaten, Smeets & Brenner, 2005; Gilster, Kuhtz-Buschbeck, Wiesner & Ferstl, 2006).

De Grave et al. (2005) benutzten Variationen der Ebbinghaus Illusion. Die Figuren in ihrer Studie besaßen jeweils nur vier Trabanten, deren Orientierung um den Planeten variiert wurde. Die Griffweiten und die Orientierung der Hände unterschieden sich bei den Probanden für unterschiedliche Orientierungen der Trabanten.

Franz et al. (2003) konnten durch Variationen der Abstände von Trabanten zu Planeten systematische Zusammenhänge von wahrgenommener Größe der Planeten auf die maximale Griffweite aufzeigen. Dies schien die Existenz eines Hinderniseffektes, so wie von Haffenden et al. (2001) angenommen, zu widerlegen.

Gilster et al. (2006) konnten unter Verwendung eines *Neutralplaneten* (keine Trabanten, siehe Abb. 3.3c) jedoch zeigen, dass die maximale Griffweite generell vermindert ist, wenn die Planeten von Trabanten umgeben sind. Ein Hinderniseffekt ist also nachweisbar, nur wirkt er sich nicht so aus, wie Haffenden et al. (2001) ihn sich vorstellten. Gilster et al. (2006) interpretierten diesen Effekt funktionell: Die Trabanten wirken wie Hindernisse, die von der Hand vermieden werden müssen. Bemerkenswert daran ist, dass die Kreise nur zweidimensional, im Gegensatz zu den dreidimensionalen Planeten, waren. Dennoch, so scheint es, wurden die Trabanten für die interne motorische Kodierung als dreidimensional betrachtet, obwohl die Probanden sich der Zweidimensionalität der Stimuli bewusst waren. Dieser Effekt zeigte sich stabil bei allen getesteten elf Probanden. Hinsichtlich der *Fairness* beim Vergleich perzeptueller und motorischer Maße zeigen Franz et al. (2003) und Gilster et al. (2006) mehrere Aspekte deutlich auf: Was „fair“ ist und was nicht, kann nur durch geeignete Kontrollen bestimmt werden, die mögliche Einflüsse auf die erhobenen Größen aufdecken können. Wie sich gezeigt hat, führte die Kontrolle beim Vergleich der maximalen Griffapertur mit der wahrgenommenen Größe der Planeten einer Ebbinghaus Figur dazu, dass eine

über mehrere Jahre angenommene Dissoziation für die Ebbinghaus Illusion nicht mehr messbar war. Funktionelle Überlegungen können und sollten genutzt werden, um geeignete Kontrollen zu finden. Für das Greifen nach der Ebbinghaus Illusion ergaben sich „functional constraints“ in Form des Reduktionseffektes. Dieser von Gilster et al. (2006) gefundene Effekt lässt daher generell die Frage aufkommen, wie sinnvoll es ist, perzeptuelle und motorische Maße miteinander zu vergleichen.

Ein alternativer Ansatz zur Erklärung von Dissoziationen innerhalb dieses Paradigmas stammt von Glover und Dixon (Glover & Dixon, 2001; Glover, 2002; Glover, 2004). Sie stellen ein Planungs-Kontroll Modell vor, nach dem motorische Effekte zu Beginn einer Handlung stärker ausgeprägt sein sollen als am Ende. In einer Studie (Glover & Dixon, 2002) versuchten sie dies anhand der Ebbinghaus Illusion und der Griffweite beim Präzisionsgriff zu zeigen. Statt nur die maximale Griffapertur zu betrachten, verglichen sie die Griffweiten für die illusorischen Bedingungen über den gesamten zeitlichen Verlauf der Handlung. Sie bildeten dafür ein Maß, welches sie "scaled illusion effect" nannten. Dabei wird der motorische Effekt eines Messzeitpunkts geteilt durch die Steigung, welche zum jeweiligen Zeitpunkt den Zusammenhang von tatsächlicher Objektgröße zur Griffapertur abbildet. Auf diese Weise meinen die Autoren eine Verringerung des scaled illusion effects über den zeitlichen Verlauf der Greifhandlung gefunden zu haben.

In einer Studie von Danckert, Sharif, Haffenden, Schiff und Goodale (2002) wurde das Planungs-Kontroll Modell anhand einer Reanalyse der Daten von Haffenden et al. (2001) getestet. Die Autoren fanden keine Hinweise auf motorische Effekte, selbst nicht in frühen Stadien der Bewegung.

Franz (2003b) hingegen zeigte anhand einer Reanalyse einer großen Stichprobe von 26 Probanden aus der Studie von Franz et al. (2000), dass motorische Effekte sowohl zu Beginn als auch zum Ende einer Handlung konstant auftreten. Franz bemerkt zu Recht, dass die Korrigierung mittels der Steigung für die motorischen Effekte für die Probanden individuell erfolgen sollte. Dies war bei Glover und Dixon (2002) nicht der Fall. Eine einfache Durchschnittsbildung aller Steigungen führt nach Franz (2003b) zu einer Unterschätzung der Variabilität für die *scaled illusion effects*. Außerdem nahm Franz eine andere zeitliche Normalisierung vor, so dass der Zeitpunkt der maximalen Griffapertur den Wert in Höhe von 100 % des zeitlichen Verlaufs zugewiesen bekam. Bei Glover und Dixon (2002) wurde der zeitliche Verlauf bis zum Ende der Greifhandlung normalisiert. Die Hand ist aber zu diesem Zeitpunkt schon sehr nahe am Objekt, so dass manchmal Berührungen mit dem Objekt vorkommen können (siehe hierzu Franz, 2003b).

*Zeigen auf die Ebbinghaus Illusion*

Van Donkelaar (1999) untersuchte bisher als einziger Zeigebewegungen an der Ebbinghaus Illusion. Wichtigstes motorisches Maß war für ihn die Bewegungszeit beim Zeigen auf die Planeten der Ebbinghaus Illusion. Die Bewegungszeit fiel für Bedingungen mit kleiner wahrgenommenen Planeten länger aus als für Bedingungen mit größer wahrgenommenen Planeten. Wurden die Planeten als gleichgroß wahrgenommen (trotz tatsächlicher Größenunterschiede), waren keine Unterschiede bei der Bewegungszeit feststellbar. Die gefundenen Effekte werden mit Hilfe von Fitts' Law (Fitts, 1957) erklärt. Nach diesem Gesetz hängen Bewegungszeit und Zielgenauigkeit voneinander ab. Bei gleicher Zielgenauigkeit soll dabei die Bewegungszeit für größere Objekte verkürzt sein. Aus seinen Ergebnissen zur Ebbinghaus Illusion schloss van Donkelaar, dass Zeigebewegungen von der Illusion beeinflusst werden.

**3.3.2.2 Müller-Lyer**

Auch die Müller-Lyer Illusion (Abb. 3.4) und ihre Abwandlungen sind bis heute Gegenstand zahlreicher Studien innerhalb des TVSH-Paradigmas der visuellen Illusionen. Die bei dieser Illusion untersuchten motorischen Maße sind vielfältiger als in den berichteten Studien zur Ebbinghaus Illusion. Neben der maximalen Griffweite wurden auch Zeigebewegungen und Amplituden von Sakkaden untersucht. Einige Studien untersuchten dabei mehrere Maße gleichzeitig.

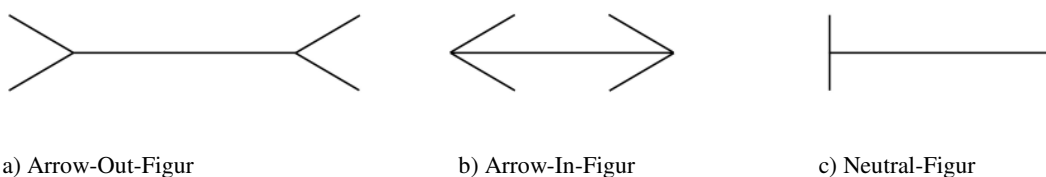


Abb. 3.4: Die Müller-Lyer Illusion. Die horizontalen Balken der drei Figuren sind physikalisch gleich groß. Einem Betrachter erscheinen sie jedoch unterschiedlich groß. a) *Arrow-Out-Figur*: Diese erscheint am längsten. b) *Arrow-In-Figur*: Diese erscheint am kürzesten. c) *Neutral-Figur*: Diese erscheint in der wahrgenommenen Länge zwischen den anderen beiden liegend. Diese Bedingung darf jedoch (aus einer internalistischen Sicht) nicht als „richtige“ Wahrnehmung missverstanden werden.

Bei der Müller-Lyer Illusion handelt es sich genau wie bei der Ebbinghaus Illusion um eine Größenillusion. Der horizontale Balken erscheint länger, wenn die „Flügel der Pfeile“ (im Folgenden auch als *Arrows* bezeichnet) nach außen ragen (*Arrow-Out-Figur*, Abb. 3.4a) im Gegensatz zur Bedingung, bei der die *Arrows* nach innen zeigen (*Arrow-In-Figur*, Abb. 3.4b). Ein horizontaler Balken, der keine *Arrows* besitzt oder bei

dem vertikale Begrenzungen angebracht sind, wird in der Größe als zwischen den beiden anderen Bedingungen liegend beurteilt (*Neutral-Figur*, Abb. 3.4c). Die wahrgenommene Größe des horizontalen Balkens ist dabei von den Winkeln der *Arrows* abhängig (Irtel, 1993). Es gab viele Versuche der Erklärung für die Illusion, die meisten Ansätze gehen dabei von einer dreidimensionalen Winkelinterpretation aus (z.B. Gregory, 1966), die zu einer fehlangewandten Korrektur der Größenkonstanz führt. Da aber auch ähnliche Figuren, wie beispielsweise die Hantelform der Müller-Lyer Illusion (Anhang A), zu unterschiedlichen Größenwahrnehmungen führen, erscheint diese Erklärung zumindest fragwürdig. Es sei jedoch angemerkt, dass diese „Variationen“ auch auf unterschiedlichen Mechanismen beruhen können. Dies kann zumindest zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausgeschlossen werden. Verallgemeinernde Erklärungen der Müller-Lyer Illusion und ihrer Variationen existieren demgemäß nicht. Es sei daran erinnert, dass dies im Paradigma der visuellen Illusionen (PVI) auch nicht nötig ist, da die Illusion lediglich „als Mittel zum Zweck“ genutzt wird.

#### *Greifen nach der Müller-Lyer Illusion*

Im Zusammenhang mit Testungen der TVSH wurde in zahlreichen Studien die (maximale) Griffweite beim Präzisionsgriff nach den Balken der Müller-Lyer Illusion untersucht. Typischerweise besteht dieser Balken bei den Greifexperimenten, genau wie bei den Studien zur Ebbinghaus Illusion, aus einer dreidimensionalen Figur, wohingegen die *Arrows* aus zweidimensionalen Zeichnungen bestehen.

In fast allen Studien wurden signifikante motorische Effekte gefunden. Diese variieren sogar innerhalb der Studien zum Teil deutlich, was auf die Verwendung einer Vielzahl unterschiedlicher Versuchsbedingungen zurückzuführen ist. Dies hat auch Konsequenzen für die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der verschiedenen Autoren. Die Faktoren, die sich als die wichtigsten für unterschiedliche motorische Effekte herausgestellt haben, sind die Art des visuellen Feedbacks während des Greifens und die Art der Messung des perzeptuellen Effektes. Dabei wurden bis auf die Studie von Franz, Fahle, Bühlhoff und Gegenfurtner (2001) perzeptuelle Effekte mittels manueller Adjustierung oder auch gar nicht gemessen. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Studien zusammengefasst.

Dapraiti und Gentilucci (1997), Otto-de Haart, Carey und Milne (1999), Westwood, Chapman und Roy (2000a) sowie Westwood, Heath und Roy (2000c) fanden unter closed-loop Bedingungen (mit visuellem Feedback beim Greifen) kleinere motorische als perzeptuelle Effekte und interpretierten dies im Sinne der TVSH. Unter open-loop Bedingungen (kein visuelles Feedback beim Greifen) fanden letztgenannte jedoch auch



motorische Effekte, die ähnlich groß waren wie die gemessenen perzeptuellen Effekte. Dieses Ergebnis wurde ebenfalls von den Autoren als Beleg für die TVSH gewertet: Während des visuellen Feedbacks sei das motorische System in der Lage, die „richtige“ Griffweite einzustellen. Ohne visuelles Feedback müsse die Greifhandlung jedoch aus der Erinnerung initiiert werden, in diesem Fall würde also das perzeptuelle System hauptverantwortlich für die Griffweite sein. Das Ergebnis wäre demnach bei Formulierung einer „schwachen“ TVSH (interagierende visuelle Systeme) zu erwarten gewesen. Dieses Ergebnis wurde in einer nahezu identischen Studie (zeitliche Variation der open-loop Bedingungen) von Westwood et al. (2001) noch einmal repliziert.

Die Bedeutung der Messung des perzeptuellen Effektes wird bei Franz et al. (2001) deutlich. Für ihre Messungen wurden die illusorischen Konfigurationen der Müller-Lyer Illusion an die *Neutral-Figur* an einem Computer adjustiert. Auf diese Weise ermittelten die Autoren kleinere perzeptuelle als motorische Effekte (open-loop). In einem zweiten Experiment wurde die Parallele-Linien Illusion (Wundt, 1898) untersucht. Bei diesem Experiment wurden kleinere motorische als perzeptuelle Effekte gefunden. Franz et al. (2001) argumentieren, dass „im Mittel“ keine nennenswerten Unterschiede zwischen perzeptuellen und motorischen Maßen bei verschiedenen Illusionen gefunden werden, insbesondere wenn die „Fairness“ des Vergleichs gewährleistet sei. Die Autoren kritisieren insbesondere die Art der perzeptuellen Messung in Studien, die vornehmlich kleinere motorische als perzeptuelle Effekte gemessen haben. Diese perzeptuellen Messungen umfassen z.B. das blinde Zeichnen einer Linie als „Match“ (Abgleich) zur Länge einer Müller-Lyer Figur (Daprati und Gentilucci, 1997) oder das Matchen der Länge mittels Zeigefinger und Daumen (Daprati und Gentilucci, 1997; Otto-de Haart et al., 1999). Franz und Kollegen schlagen die Verwendung „klassischer“ perzeptueller Methoden vor, so wie von Coren und Girgus (1972) beschrieben. Demnach verwendeten Franz et al. (2001) eine perzeptuelle Methode, bei der eine Vergleichslänge zu einer Ziellänge durch die Probanden mittels eines Computers einstellbar ist.<sup>24</sup> Franz (2003a) konnte schließlich wiederum anhand der Ebbinghaus Illusion zeigen, dass die gemessenen perzeptuellen Effekte größer sind für „manuelles Einstellen“ (Anzeigen von Größen durch Zeige- und Mittelfinger) im Vergleich zum perzeptuellen Abgleich von Vergleichs- und Zielobjekt. Nach Korrektur der unterschiedlichen Steigungen (siehe auch Kapitel 3.3.3.1) für die verschiedenen Methoden ergab sich sogar ein größerer motorischer Effekt im Vergleich zu den adjustierten perzeptuellen Messungen. Der Vergleich motorischer Effekte mit dem manuellem Abgleich hingegen zeigte keine statistischen Unterschiede. Daraus schließt

---

<sup>24</sup> Die perzeptuellen Effekte fielen in dieser Studie jedoch mit ~ 2 mm sehr klein aus. Zudem führten die Probanden pro Bedingung nur drei Wiederholungen aus.

Franz (2003a), dass die Ergebnisse besser durch ein *common-coding System* erklärt werden können als durch zwei separate Systeme, so wie in der TVSH angenommen.

Dewar und Carey (2006) bemühen sich wie Franz et al. (2001) um größtmögliche Fairness beim Vergleich perzeptueller und motorischer Maße. Sie ließen ihre Probanden für die perzeptuellen Messungen Müller-Lyer Figuren bimanuell angleichen. Auch das Greifen erfolgte bimanuell (jede Hand griff nach einer Figur) unter closed-loop Bedingungen. Motorische Effekte ließen sich so nicht nachweisen, so dass die Autoren folgern, dass dieser „faire“ Vergleich die Annahmen der TVSH unterstütze.

In den letzten Jahren sind zudem vier Studien (Heath, Rival & Binsted, 2004; Heath, Rival & Neely, 2006; Heath, Rival, Neely & Krigolson, 2006; van Doorn, van der Kamp & Savelsbergh, 2007) erschienen, die dynamische Effekte der Müller-Lyer Illusion auf die Griffweite aufzeigen möchten. In diesen Studien wird auf die Messung perzeptueller Effekte verzichtet. Verglichen werden nur die motorischen Maße unter unterschiedlichem visuellem Feedback im zeitlichen Verlauf. Problematisch für die Interpretation der Ergebnisse ist vor allem die Verwendung einer so genannten „pre-grip aperture“. Die Probanden sollen dabei die Größe der Müller-Lyer Figur zu Beginn eines Trials mit Daumen und Zeigefinger anzeigen (manuelles Abgleichen) und anschließend aus dieser Position nach dem Zielobjekt reichen und greifen. Bemerkenswert ist hier vor allem die Ansicht der Autoren, dass die pre-grip Messung ein motorisches Maß sei. In den oben beschriebenen Studien wurde diese Methode des Abgleichs allgemein als perzeptuell aufgefasst (seit Haffenden und Goodale, 1998) und stellte für einen Großteil der Studien die Grundlage für die Vergleiche mit motorischen Maßen. Diese Umdeutung kann als deutliches Indiz für die konzeptuellen Unsicherheiten hinsichtlich der betrachteten Variablen gedeutet werden. Einen weiteren problematischen Punkt stellt die Greifhandlung in diesen Studien dar. Da die Probanden aus der pre-grip Position (die per Definition bereits an das Objekt angepasst sein soll) starten, ergibt sich eine für den Präzisionsgriff untypische Situation. Während bei einem „normalen“ Präzisionsgriff Daumen und Zeigefinger zu Beginn eher nah beieinander liegen (in einer typischen Ruhesituation der Hand), vergrößert sich dieser Abstand bis zur maximalen Griffweite, die üblicherweise deutlich über der tatsächlichen Objektgröße liegt. Diese erhöhte Griffweite kann funktionell als *Sicherheitsmaß* aufgefasst werden. Die Verkleinerung der Griffweite erfolgt schließlich erst in unmittelbarer Nähe zum Objekt unter Beibehaltung einer flüssigen Bewegung (Jeannerod, 1981; Grosskopf & Kutz-Buschbeck, 2006). Wird die Griffweite hingegen zu klein eingestellt, muss sich die Griffweite wieder vergrößern, was den flüssigen Bewegungsablauf stört. In einer Situation, in der die Griffweite jedoch schon vor dem Greifen an das Objekt angepasst wurde, gibt es prinzipiell gar keine Notwendigkeit, die Griffweite zu verändern. Hier

wäre es also durchaus denkbar, dass die Überlegungen der Probanden mit den automatisierten Abläufen eines typischen Präzisionsgriffs interagieren. Die genannten Schwierigkeiten bei der Verwendung einer *pre-grip aperture* machen eine Einordnung der Befunde somit äußerst schwierig. Dies trifft insbesondere für die Studie von Heath, Rival, Neely und Krigolson (2006) zu, denn hier wurde die *pre-grip aperture* an Objekte angepasst, die entweder kleiner, gleichgroß oder größer waren als die Objekte, nach denen gegriffen werden sollte.

Ellis, Flanagan und Lederman (1999) führten ein Experiment mit einer Variation der Müller-Lyer Illusion, der so genannten Judd Illusion (siehe Anhang A), durch. Diese Variation führt dazu, dass die wahrgenommene Mitte des Balkens in Richtung der *Arrow-In* Seite verschoben ist. Der Balken bestand aus einem Stahlriegel, die Flügel waren hingegen zweidimensional. Die motorische Aufgabe bestand darin, "[...] to lift the bar using only the thumb and index finger of your right hand so that it comes up off the table level or, in other words, so that it is *balanced in your grip*." (Ellis, Flanagan & Lederman, 1999, S. 110). Die Autoren fanden eine Dissoziation perzeptueller und motorischer Maße, da die Probanden den Stahlriegel eher in der Mitte anfassten im Gegensatz zu der Position der wahrgenommenen Mitte. Kritisch bei dieser Studie ist die Darstellung der Ergebnisse. Anstatt diese für die perzeptuellen und motorischen Maße für die unterschiedlichen Richtungen der Flügel der verwendeten Judd Illusion zu mitteln, werden die Effekte addiert. Ein solches Vorgehen ist jedoch nicht gerechtfertigt. Auf diese Weise können kleine Effekte durch Hinzunahme von mehreren Versuchsbedingungen scheinbar vergrößert werden. So scheint nach ihrer graphischen Darstellung (ihre Figur 2A) der perzeptuelle Effekt ~7,1 mm, der motorische ~4,6 mm zu betragen. Wären diese Werte korrekt gemittelt worden, so ergäben sich jedoch nur Werte von 3,58 mm (perzeptuell) zu 2,31 mm (motorisch). Die Studie wurde auch von Mon-Williams und Bull (2000) kritisiert. Diese nehmen die teilweise Verdeckung der Judd Illusion bei Annäherung der Hand als ursächlich für die Effekte an. Die Studie von Ellis et al. (1999) ist aber neben diesen Einwänden für die Diskussion um die *Fairness* des Vergleichs perzeptueller und motorischer Maße höchst interessant, denn ein fairer Vergleich ist hier zu bezweifeln. Verglichen wurde die *wahrgenommene Mitte* mit einem *balancierten Griff* des Balkens. Um zu verdeutlichen wo die Probleme liegen, sollen für ein Gedankenspiel alternative Anweisungen für die Probanden vorgeschlagen werden: Würde man den gleichen motorischen Effekt erzielen, wenn der Proband aufgefordert worden wäre, nach der Mitte des Balkens zu greifen (und damit auch eine Dysbalance in Kauf zu nehmen)? Oder würde man den gleichen perzeptuellen Effekt erzielen, wenn gefragt würde, wo gegriffen werden müsste, um eine Balance beim Anheben des Balkens zu erzielen? Was würde passieren, wenn die Flügel (oder jeweils nur einen Flügel) ebenfalls aus Stahl gefertigt und mit dem horizontalen Balken

verbunden wären? Bei der gegebenen Fragestellung könnte so jedes beliebige Ergebnis für motorische Effekte erzielt werden. Je nachdem, wohin sich das Gewicht verlagert, wird der Proband, um eine Balance zu erzielen, die Griffposition anpassen. Auf diese Weise könnte ein Spektrum von Dissoziationen (mit größeren perzeptuellen oder auch größeren motorischen Effekten) oder auch ein Gleichgewicht zwischen Perzeption und Motorik erzielt werden. Mit anderen Worten: Die jeweilige Aufgabe (perzeptuell und motorisch) in Verbindung mit der spezifischen Situation lässt unterschiedliche perzeptuelle und motorische Effekte erwarten. Die Art der Instruktion ist damit ein sehr wichtiger Faktor bei der Beurteilung der Ergebnisse.

#### *Zeigen auf die Müller-Lyer Illusion*

In zahlreichen Studien wurden Zeigebewegungen an der Müller-Lyer Illusion oder Variationen dieser untersucht (Gentilucci et al., 1996; Bruno & Bernardis, 2003; Meegan et al., 2004; de Grave, Brenner & Smeets, 2004; Bernardis, Knox & Bruno, 2005; Lavrysen et al., 2006; de Grave, Franz & Gegenfurtner, 2006; Thompson & Westwood, 2007).<sup>25</sup> Fasst man die Ergebnisse dieser Studien zusammen, so ergibt sich zumindest für die Art des visuellen Feedbacks ein ähnliches Bild für Zeigebewegungen nach der Müller-Lyer Illusion wie für die Greifbewegungen. Vereinfacht kann man davon ausgehen, dass in Bedingungen, in denen sowohl der Stimulus als auch die Hand während der Zeigebewegung sichtbar sind (closed-loop), die motorischen Effekte eher kleiner als die perzeptuellen Effekte ausfallen (jedoch nicht bei Mendoza et al., 2006). Sind weder Hand noch Stimulus sichtbar, so werden die motorischen Effekte größer (Gentilucci et al., 1996; Meegan et al., 2004; de Grave et al., 2004). Die Probanden scheinen also in der Lage zu sein, visuelles Feedback während des Zeigens zu nutzen, so dass der zeigende Finger näher an die tatsächliche Position des Ziels bewegt wird (siehe hierzu auch Haffenden & Goodale, 1998; Kapitel 3.3.2.1).

Glazebrook et al. (2005) verwendeten sowohl die Müller-Lyer Illusion als auch die Judd Illusion und ließen Probanden Zeigebewegungen durchführen. Ihre perzeptuellen Messungen beruhen auf einem *forced-choice* Paradigma. Aus der Darstellung der Daten können dabei keine eindeutigen Angaben zur Größe der perzeptuellen Effekte getroffen werden. Auch die Größe der motorischen Effekte ist aus den Daten nicht eindeutig ersichtlich. Die Probanden zeigten eine deutliche Tendenz des „undershoots“, d.h. der Endpunkt ihrer Zeigebewegung war deutlich zu kurz (selbst bei der *Arrow-Out* Bedingung). Dies mag darauf zurückzuführen sein, dass die Autoren sehr große Stimuli (25 cm und 35 cm lange Balken) verwendeten. Da sich die Kontrollbedingung

---

<sup>25</sup> Die vier letztgenannten Studien untersuchten auch Sakkaden (siehe Sakkaden nach der Müller-Lyer Illusion).

perzeptuell nicht von der Judd Illusion bezüglich der Länge unterschied, sich jedoch beim Zeigen ein Unterschied ergab, schließen die Autoren, dass die wahrgenommene Position des Endpunktes einen größeren Einfluss auf die Zeigebewegung hat als die wahrgenommene Länge der Balken.

Ist nur der Stimulus sichtbar, die Hand jedoch nicht, wachsen motorische Effekte ebenfalls an (Gentilucci et al., 1996; de Grave et al., 2004). Für Bedingungen, in denen die Hand, jedoch nicht das Objekt sichtbar ist, ist die Befundlage uneindeutig (Bruno und Bernardis, 2003; Meegan et al., 2004; de Grave et al., 2004).

Mendoza et al. (2006) testeten anhand der Müller-Lyer Illusion das Planungs-Kontroll Modell von Glover (2004, Kapitel 3.3.2.1) entgegen ihrer Annahme, dass der „visuelle Kontext“ sowohl die Planung als auch die Kontrolle einer Handlung beeinflusst. Während die Probanden ihre Zeigebewegung von links nach rechts entlang des horizontalen Balkens ausführten, änderte sich die Konfiguration der Figur oder sie blieb gleich. Es zeigten sich motorische Effekte zum einen in den Bedingungen, in denen der Stimulus sich nicht änderte. Zum anderen änderte sich der Endpunkt der Zeigebewegung in Abhängigkeit vom neuen Stimulus, d.h. die Änderung der Stimuluskonfiguration hatte einen „online“ Effekt auf die Handlung.

Bruno und Bernardis (2003) konnten große motorische Effekte sowohl für open-loop als auch closed-loop Bedingungen finden, wenn die Zeigebewegungen an einem „mental gespiegeltem“ Objekt vorgenommen wurde (das Zeigen erfolgte in dieser Bedingung von einem Ende der Figur nicht auf das andere Ende der Figur, sondern an ein gedachtes Spiegelbild).

In weiteren Studien wurde außerdem ein möglicher Einfluss von gleichzeitigen Augenbewegungen auf die Genauigkeit der Zeigebewegungen untersucht (Bernardis et al., 2005; de Grave et al., 2006a; Thompson & Westwood, 2007). Eindeutige Ergebnisse können auch hier nicht getroffen werden. Bernardis et al. (2005) ließen keine Augenbewegungen während des Zeigens zu und fanden deutliche Unterschiede für perzeptuelle und motorische Effekte. Obwohl de Grave et al. (2006a) zwar keine perzeptuellen Maße erhoben haben, konnten sie auch keine deutlichen motorischen Unterschiede zwischen Bedingungen feststellen, bei denen die Probanden entweder einen Punkt fixieren sollten oder eine Kombination von Sakkade und Zeigebewegung durchführten. Sie ermittelten in allen getesteten Kombinationen große motorische Effekte, die deutlich über denen von Bernardis et al. (2005) lagen.

*Sakkaden und die Müller-Lyer Illusion*

An der Müller-Lyer Illusion wurden auch augenmotorische Maße, insbesondere die Amplitude von Sakkaden, untersucht. Sakkaden sind deshalb im Vergleich zu Greif- oder Zeigebewegungen von besonderem Interesse, da sie ballistische Bewegungen darstellen (Kapitel 2.1). Nach Beginn einer Sakkade wird diese ohne die Möglichkeit einer Online-Korrektur im Unterschied zu den oben berichteten Zeigebewegungen zu Ende geführt. Damit wird eine Sakkade also so ausgeführt, wie sie geplant wurde. Folglich entfällt ein großer Teil der Schwierigkeiten, die bei den Studien zum Greifen und Zeigen auftraten, nämlich die Interpretation möglicher Effekte durch diese Online-Korrektur. Wenn die Sakkade ihr Ziel verfehlt, gibt es prinzipiell mehrere Möglichkeiten einer anschließenden Korrektur. Diese Korrekturmaßnahmen, etwa eine zweite Sakkade nach der primären, ist aber in der Regel innerhalb des Paradigmas der visuellen Illusionen nicht von Bedeutung.

Die entscheidenden Maße finden sich stattdessen in der primären Sakkade. Verglichen werden die Amplituden der Sakkaden als Maß für die relative Genauigkeit, die in Kapitel 2.1 erläutert wurde (Abb. 2.2, S. 32). Die absolute Genauigkeit (als Differenz von Zielpunkt zu tatsächlich erreichtem Endpunkt der Sakkade) wird hier vernachlässigt. Es wird vorausgesetzt, dass alle Sakkaden „die gleiche Richtung“ aufweisen.

McCarley, Kramer und DiGirolamo (2003) versuchten in ihrer Studie, unterschiedlich große motorische Effekte für reflektorische und volitionale Sakkaden aufzuzeigen. Reflektorische Sakkaden wurden in ihrer Studie ausgelöst durch ein visuelles Signal an einem Ende der Brentano-Illusion, während volitionale Sakkaden durch verbale Signale (z.B.: „Sakkade nach rechts!“) ausgelöst wurden. Eine solche Klassifikation entspricht nicht der in Kapitel 2.1 besprochenen Einteilung (siehe Tab. 2.1). Nach dieser Klassifikation würden beide hier untersuchten Typen von Sakkaden als volitional bezeichnet werden, denn für beide gibt es eine Instruktion. Das Ziel der Sakkade ist bekannt und tritt nicht unerwartet auf, schließlich waren die verwendeten Brentano Figuren während des gesamten Trials für die Probanden sichtbar. Der einzige Unterschied ergibt sich aus dem Startsignal (visuell versus verbal). Die Autoren verglichen ihre so benannten reflektorischen und volitionalen Sakkaden für bereits adjustierte Längen. Diese wurden allerdings nur anhand von zwei Probanden in einem Vorversuch ermittelt und waren damit nicht individuell für die jeweiligen Probanden im motorischen Experiment. Da bei den reflektorischen Sakkaden kleinere Unterschiede zu längenadjustierten Kontrollstimuli gefunden wurden im Vergleich zu den volitionalen Sakkaden, schließen die Autoren daraus, dass reflektorische Sakkaden resistent gegenüber visuellen Illusionen sind.

Dieser Schluss wird von Knox und Bruno (2007) bezweifelt. Diese untersuchten ebenfalls reflektorische und volitionale Sakkaden. Ihre Definition weicht dabei ebenso von der in Kapitel 2.1 gegebenen ab. Sie ermittelten sogar größere motorische Effekte für ihre reflektorischen Sakkaden (Fixation eine Sekunde, anschließender leerer Bildschirm für 200 ms, Ziel erscheint, Sakkade so schnell und korrekt wie möglich ausführen) als für volitionale Sakkaden (Sakkade erst nach zwei Sekunden memory delay). Auch hier ist fraglich, inwiefern die Operationalisierung von reflektorischen und volitionalen Sakkaden gelungen ist. Es gilt, wie schon bei McCarley et al. (2003), dass sowohl die räumliche Ausdehnung der Stimuli als auch die zeitlichen Vorgaben deutlich eingegrenzt waren und dass die Probanden auf „Instruktion“ hin handelten. Es bleibt zunächst festzuhalten, dass beide Studien für sich in Anspruch nehmen, reflektorische und volitionale Sakkaden untersucht zu haben, jedoch genau gegensätzliche Ergebnisse dabei erzielen.

In weiteren Studien (Binsted & Elliott, 1999; Bernardis, Knox & Bruno, 2005; de Grave et al., 2006a; de Grave, Smeets & Brenner, 2006b; Lavrysen, Helsen, Elliott, Buekers, Feys & Heremans, 2006) wurden deutliche motorische Effekte gefunden. Bernardis et al. (2005) und de Grave et al. (2006b) geben dabei perzeptuelle Maße an, die annähernd den motorischen Effekten gleichen.

Letztgenannte stellten sich in ihrer Studie zudem die Frage, ob die gemessenen Effekte auf einen *center of gravity* Effekt zurückzuführen sind (Abb. 3.5). Dieser wird von manchen Forschern als verursachend für die Illusion angesehen (Searleman, Porac, Dafoe & Hetzel, 2005). Demnach bewirken die gedachten Mittelpunkte eine wahrgenommene Änderung der Länge der horizontalen Balken in Richtung dieser Mittelpunkte. Findlay (1982) geht sogar davon aus, dass der (perzeptuelle) illusorische Effekt darauf zurückzuführen ist, dass die Sakkaden auf den gedachten Mittelpunkt gelenkt werden, also einen systematischen *overshoot* bzw. *undershoot* aufweisen sollten. Diese Ablenkung der Sakkaden führe schließlich dazu, dass die Figuren auch als unterschiedlich groß wahrgenommen werden.

De Grave et al. (2006b) verwendeten zur Testung dieser Annahme vertikal orientierte Brentano-Figuren (siehe Anhang A). Sie ließen ihre Probanden sowohl Sakkaden entlang der Illusion (also vertikale Sakkaden) als auch horizontale Sakkaden von außerhalb der Figur durchführen. Das Ziel der Sakkaden war immer die Spitze des mittleren Pfeils. Die Autoren fanden motorische Effekte für die vertikalen Sakkaden (entlang der Illusion), die vergleichbar groß waren zu den perzeptuellen Effekten. Für die horizontalen Sakkaden (von außen) wurden hingegen keine Ablenkungen in Richtung des gedachten *center of gravity* gefunden. Die Autoren schließen daraus, dass

die Illusion nur dann Sakkaden beeinflusst, wenn die wahrgenommene Länge der Figur relevant für die Planung der Sakkade ist. Auch wenn dieses Ergebnis gegen die Annahmen von Findlay spricht, so kann nicht ausgeschlossen werden, dass die illusorische Wirkung nicht auch auf einem „allgemeinen“ *center of gravity* Effekt beruht, der nicht von der Ausführung einer Sakkade abhängig ist. Das der illusorische Effekt auch vorhanden ist ohne Augenbewegungen zwischen den Enden einer Figur, kann man sich leicht verdeutlichen, wenn man die Mitten der horizontalen Balken fixiert. Die *Arrow-Out-Figur* wirkt auch dann größer als die *Arrow-In-Figur*.

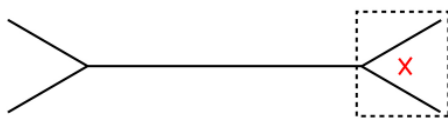
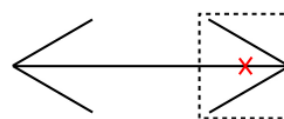
a) *Center of gravity* Effekt der Arrow-Out-Figurb) *Center of gravity* Effekt der Arrow-In-Figur

Abb. 3.5: Der *center of gravity* Effekt schematisch für die Müller-Lyer Illusion. a) Bei der *Arrow-Out-Figur* befindet sich der gedachte Mittelpunkt für das Ende der Figur außerhalb des horizontalen Balkens. b) Bei der *Arrow-In-Figur* befindet sich der gedachte Mittelpunkt des Endes der Figur auf dem horizontalen Balken.

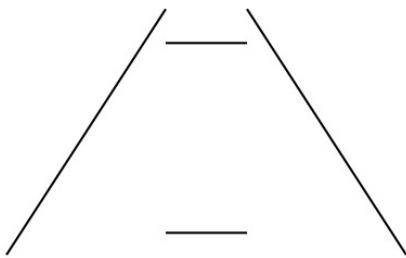
### 3.3.2.3 Ponzo Illusion

Bis hierhin wird allein an der Fülle der Studien zur Ebbinghaus und Müller-Lyer Illusion eine Präferenz der verschiedenen Arbeitsgruppen für diese Illusionen deutlich. Wie bereits oben besprochen mangelt es bei diesen beiden Illusionen an plausiblen und widerspruchsfreien Erklärungsansätzen hinsichtlich der „internen Bedeutung“. Diese Tatsache ist für externalistische Konzeptionen, in deren Tradition das Paradigma der visuellen Illusionen zur Überprüfung der TVSH steht, nicht von Belang, denn schließlich werden die Illusionen als fehlerhafte Wahrnehmungen klassifiziert und ausschließlich als „Mittel zum Zweck“ in diesem Paradigma benutzt. Aus einer internalistischen Perspektive stellt die Verwendung der Ponzo Illusion (Abb. 3.6) nun einen Fall dar, der besonderes Augenmerk verdient, denn hier gibt es einen breiten Konsens hinsichtlich der *Bedeutung* der Illusion.

Die Ponzo Illusion wird auch als „Bahngleistäuschung“ bezeichnet und findet sich häufig in Einführungstextbüchern zu visueller Wahrnehmung (z.B. Goldstein, 1997). Bevor die „Illusion“ mittels einer „realen“ Szene erklärt werden kann, wird nachstehend zunächst die der Erklärung zugrunde liegende „reale dreidimensionale Situation“ erläutert. Diese Situation stellt sich nämlich schon weit komplexer und keinesfalls so trivial dar, wie man vielleicht meinen könnte. Das Phänomen ist zunächst dadurch



gekennzeichnet, dass ein Beobachter, der entlang von Bahnschienen (oder entlang anderer paralleler Linien, die von ihm wegführen) schaut, den Eindruck hat, dass die Parallelität der Bahnschienen und der Bahnschwellen (die horizontalen Linien) sowohl in nächster Nähe als auch in weiterer Entfernung von ihm Bestand hat. Außerdem nimmt er die Bahnschwellen als gleich groß wahr, d.h. eine Schwelle in unmittelbarer Nähe zum Betrachter erweckt den Eindruck der gleichen physikalischen Größe wie eine Schwelle, die 50 Meter von ihm entfernt ist. Es stellt sich die Frage, warum dies ein Phänomen sei, denn schließlich sind doch sowohl die Schienen als auch die Schwellen „in Wirklichkeit“ parallel. Welchen anderen Eindruck sollte es alternativ überhaupt geben können?



a) Ponzo Illusion



b) „Bahngleis“

Abb. 3.6: Die Ponzo Illusion. a) Die Ponzo Illusion in ihrer klassischen Form. Die horizontalen Balken sind physikalisch gleich lang. Ein Betrachter gibt jedoch an, den oberen Balken größer einzuschätzen als den unteren Balken. b) Bahngleise dienen als Illustration für die „Bedeutung“ der Ponzo Illusion. Die Bahnschwellen nehmen in ihrer Größe (bezogen auf das zweidimensionale Bild) gemäß der unterschiedlichen Entfernung vom Beobachter ab. Dem Beobachter erscheinen sie dennoch „gleich groß“. Diese Interpretation bezieht sich auf die dreidimensionale Szene. Würde man bei der Ponzo Illusion den oberen Balken verkürzen, so bekäme man die analoge Situation zu den Bahngleisen. Dem Beobachter würden die Balken dann gleich groß erscheinen, trotz physikalisch unterschiedlicher Länge.

Betrachtet man Abbildung 3.6b, so sieht man augenblicklich, dass die Bahngleise „in der Tiefe“ konvergieren. Ein Beobachter hat hier also gleichzeitig mehrere Eindrücke: Die parallelen Schienen konvergieren in der Tiefe, gleichzeitig nimmt man sie aber immer noch als parallel verlaufend wahr. Die einzelnen Schwellen nehmen in der Größe des Gesichtsfeldes immer weiter ab, je weiter sie vom Betrachter entfernt sind. Dennoch wird der Beobachter angeben, dass die Schwellen alle gleich groß sind. Mit anderen Worten: Der Beobachter ist in der Lage, verschiedene Repräsentationen der gleichen Szene zu unterscheiden. Diese unterschiedlichen Repräsentationen werden manchmal auch als proximale bzw. distale Modi beschrieben (Goldstein, 1997). Der proximale Modus stellt dabei so etwas wie das Pendant zur Projektion der dreidimensionalen Szene auf die Netzhaut (bzw. das Alberti-Fenster) dar, der distale Modus beschreibt die Wahrnehmung über die Objekte selbst, d.h. für die Bahngleise die Wahrnehmung von

parallel verlaufenden Schienen und gleichgroßen Schwellen in einer dreidimensionalen Szene. Zu beachten ist: Selbst wenn der proximale Modus am ehesten dem Alberti-Fenster entspricht, findet für gewöhnlich eine „Verzerrung“ gemäß der zugeschriebenen distalen Eigenschaften des Objektes statt. Als Beispiel kann hier die Adelson Illusion dienen, die als Alberti-Fenster einer dreidimensionalen Szene aufgefasst werden kann (Kapitel 1.3).

Nach der „Bahngleis“-Erklärung regt die Ponzo Illusion genau diese Tiefeninterpretation bei einem Beobachter an. Werden gleichlange, horizontale Linien jeweils am konvergierenden und divergierenden Ende eingezeichnet, so werden die Längen dieser Linien von Beobachtern im Allgemeinen als unterschiedlich groß eingeschätzt. Die als größer wahrgenommene Linie (obere Linie in Abb. 3.6a) wird dabei als „weiter weg“ interpretiert, die untere Linie als „näher dran“ (nach der „Bahngleiserklärung“). Nach dem Emmertschen Gesetz (1881) kann dies auch so beschrieben werden: Da beide Linien dieselbe Netzhautgröße aufweisen, aber als unterschiedlich weit entfernt interpretiert werden, muss ein Objekt größer sein als das andere, da nur so der gleiche Sehwinkel zustande kommen kann. Bemerkenswert ist letztlich bei der Ponzo Illusion nun noch, dass man keinen bewussten Tiefeneindruck haben muss, um die Linien als unterschiedlich groß zu beurteilen. Es handelt sich also um interpretierte Tiefe (im Sinne der intern angesprochenen Bedeutung) ohne einen bewussten Tiefeneindruck.

Innerhalb des TVSH Paradigmas der visuellen Illusionen wurden bisher vier Studien zur Ponzo Illusion durchgeführt. Den Schwerpunkt bildete dabei die Messung von Griffaperturen und von Griffstärken. Keine der Studien fand dabei motorische Effekte für die maximale Griffapertur, hinsichtlich der Griffstärke wurden unterschiedliche Ergebnisse erzielt.

Brenner und Smeets (1996) geben nur sehr wenige Details ihrer perzeptuellen Messungen an. Ihr gemessener perzeptueller Effekt betrug nur 0,8 mm. Es ist fraglich, ob überhaupt Unterschiede für Griffweiten erwartet werden können, wenn der perzeptuelle Effekt so gering ausfällt. Umso erstaunlicher ist ihr Befund, dass sich die Griffstärken (indirekt gemessen über Zeit vom Ergreifen bis Zeit des Anhebens) für physikalisch gleichgroße Objekte (perzeptuell 0,8mm Größenunterschied) deutlich voneinander unterscheiden ließen. Die Autoren machen keine Angaben zu den visuellen Bedingungen, d.h. ob mit oder ohne Sicht gegriffen wurde. Es ist zu vermuten, dass die Probanden bei voller Sicht gegriffen haben. Sie hätten damit prinzipiell (siehe Greifen nach der Müller-Lyer Illusion) die Möglichkeit, visuelles Feedback während des

Greifens zu nutzen, so dass eine Annäherung an die tatsächliche Objektgröße wahrscheinlicher wird.

Jackson und Shaw (2000) geben für ihre perzeptuellen Messungen lediglich an, dass Probanden (keine Angaben über die Anzahl) in einem Vortest „reliabel“ physikalisch gleichgroße Objekte als unterschiedlich groß wahrgenommen haben. Quantitative Maße für die Größe des perzeptuellen Effektes werden nicht genannt. Die visuellen Bedingungen werden ebenfalls wie bei Brenner und Smeets (1996) nicht genannt. Vermutlich griffen die Probanden bei voller Sicht, so dass auch hier die prinzipielle Möglichkeit der Online-Korrektur an die tatsächliche Objektgröße gegeben ist. Die Ergebnisse von Brenner und Smeets (1996) wurden repliziert.

Westwood et al. (2000b) hingegen fanden weder Effekte für die maximale Griffapertur noch für die Griffstärke. Diese Autoren maßen perzeptuelle Effekte manuell und ermittelten Unterschiede von 2 mm, gemittelt über drei verwendete Objektgrößen. Auffällig ist jedoch, dass erhebliche Unterschiede in den Differenzen für die maximalen Griffweiten der drei tatsächlich unterschiedlichen Objektgrößen gemessen wurden. Während die Differenz vom kleinen zum mittleren Objekt 5,6 mm betrug, war der Unterschied zwischen dem mittleren und großen Objekt mit 9,1 mm deutlich größer. Üblicherweise würde man bei gleichen Abständen der Objektgrößen auch annähernd gleiche Abstände für die Differenzen erwarten (bei Annahme einer linearen Zunahme der Griffweite). Das Greifen fand unter closed-loop Bedingungen statt.

Schließlich haben auch Bartelt und Darling (2002) Griffweiten bei der Ponzo Illusion untersucht. Sie bemängeln die kleinen oder nicht angegebenen perzeptuellen Effekte der vorherigen Studien. Damit wäre ihrer Meinung nach wenig Möglichkeit gegeben, motorische Effekte messen zu können, da diese auch schon im Zusammenhang mit anderen Studien meist kleiner als die perzeptuellen Effekte waren. Sie erhofften sich größere perzeptuelle Effekte durch eine Vergrößerung der Stimulusdimensionen. Auch sie ließen ihre Probanden die Größen manuell (Hände unter dem Tisch bei voller Sicht auf die Illusion) einstellen. Die Objekte waren auf einer Plexiglasscheibe, mit aufgemalten Linien zur Erzeugung der Ponzo Illusion, angebracht. Bei den perzeptuellen Messungen wurden lediglich für das größte getestete Objekt signifikante perzeptuelle Unterschiede gefunden. Die 20 mm und 40 mm großen Objekte ließen sich nach ihrer manuellen Messung nicht voneinander unterscheiden, was für die Ungenauigkeit der Messmethode spricht. Beim Greifen wurden zwei Bedingungen unterschieden: pantomimisches versus reales Greifen. Beim pantomimischen Greifen wurde die Sicht durch den Einsatz einer Brille (Plato liquid crystal goggles) verhindert. Das Zielobjekt wurde dabei vom Versuchsleiter entfernt, bevor der Proband das Objekt

ergreifen konnte. Die Probanden sollten so natürlich wie möglich greifen. Das reale Greifen wurde hingegen unter closed-loop Bedingungen (volle Sicht) durchgeführt. Die Objekte konnten in dieser Bedingung in die Hand genommen werden. Es wurden lediglich fünf Wiederholungen für jede getestete Versuchsbedingung durchgeführt. Gemessen an der Variabilität von Greifhandlungen ist dies eine sehr kleine Zahl an Versuchen. Auch in dieser Studie konnte schließlich kein motorischer Effekt für die maximale Griffweite gemessen werden.

Zusammenfassend kann man für die Ponzo Illusion konstatieren, dass die verwendeten Stimuli in allen vier Studien nur sehr schwache beziehungsweise nur in einigen getesteten Bedingungen (Bartelt & Darling, 2002) perzeptuelle Effekte erzeugt haben. Es ist daher fraglich, ob motorische Effekte unter solchen Bedingungen überhaupt nachweisbar sind, insbesondere wenn man bedenkt, dass diese meist kleiner ausfallen als die perzeptuellen Effekte. Zudem wurden alle Studien unter closed-loop Bedingungen (volle Sicht während des Greifens) durchgeführt. Einzige Ausnahme bildete die pantomimische Bedingung in Bartelt und Darling (2002). Reales Greifen unter open-loop Bedingungen (keine Sicht) wurde hingegen nicht durchgeführt. Weiter kommt erschwerend hinzu, dass in der einzigen Studie (Bartelt & Darling, 2002), die größere perzeptuelle Effekte (zumindest in einer Bedingung) messen konnte, nur sehr wenige Greifdurchgänge pro Versuchsbedingung durchgeführt worden sind. Die Frage danach, ob die (maximale) Griffweite bei der Ponzo Illusion variiert, bleibt somit unklar. Die hierzu vorliegenden Studien lassen keinen eindeutigen Schluss zu.

#### **3.3.2.4 Andere Illusionen**

Neben den geschilderten Studien zur Ebbinghaus-, zur Müller-Lyer- und zur Ponzo Illusion wurden auch vereinzelte Studien zu anderen Illusionen durchgeführt. Glover und Dixon (2001) sowie Dyde und Milner (2002) untersuchten Orientierungssillusionen. Vishton, Rea, Cutting und Nunez (1999) untersuchten dagegen eine Horizontal-Vertikal Illusion. Knill (2005) nutzte verschiedene Stimuli auf einem Computerbildschirm, die dreidimensionale Eindrücke bei den Betrachtern erzeugten. Die so genannte Hollow-Face Illusion wurde mittlerweile auch in drei Studien untersucht (Hartung et al., 2005; Kroliczak, Heard, Goodale & Gregory, 2006; Hoffmann & Sebald, 2007). Bruno und Bernardis untersuchten schließlich noch die Kanizsa-Kompressions Illusion (2002). Auf eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse dieser Studien kann verzichtet werden, da sie für die abschließende Beurteilung nicht von Belang sind. Zusammengefasst ergaben sich auch hier widersprüchliche Ergebnisse, so dass die jeweiligen Vertreter entweder Hinweise auf die Gültigkeit der TVSH (bei Dissoziation) oder auf ein *common-coding* System (bei Assoziation) gefunden haben wollen.

### 3.3.2.5 Reviews

Seit dem ersten Artikel im TVSH Paradigma der visuellen Illusionen (Aglioti et al., 1995) sind bis heute zahlreiche weitere Artikel in dieser Tradition erschienen. Der größte Teil dieser Studien ist nunmehr geschildert und zusammengefasst worden. Bei der Fülle dieser Arbeiten sind im Laufe der Jahre auch einige Reviews (Goodale & Haffenden, 1998; Goodale, 1998; Carey, 2001; Bruno, 2001; Franz, 2001; Glover, 2002; Norman, 2002; Smeets, Brenner, de Grave & Cuijpers, 2002; Glover, 2004; Goodale & Westwood, 2004; Jeannerod & Jacob, 2005; Milner & Goodale, 2007) zu dieser Thematik veröffentlicht worden. Da diese Reviews die bereits geschilderten Artikel zur Grundlage haben (plus einige weitere Befunde, hauptsächlich aus Studien der funktionellen Bildgebung), wird auf eine weitere Darstellung verzichtet. Es ist nicht erstaunlich, wenn darauf verwiesen wird, dass die verschiedenen Autoren zu divergierenden Ergebnissen in der Bewertung der bisherigen Studien kommen (siehe hierzu auch Caveman, 2000). Die Streitpunkte in der Beurteilung der Reviewer ergeben sich vor allem durch unterschiedliche Gewichtungen verschiedener Aspekte: (1) Art der Messung, (2) Art der Stimuli, (3) Anzahl der Versuchsdurchgänge, (4) Frage nach der notwendigen Größe für Unterschiede zwischen perzeptuellen und motorischen Maßen, (5) Frage der Fairness beim Vergleich der perzeptuellen und motorischen Effekte.

### 3.3.3 Bewertung und weiterführende Überlegungen

Die TVSH ist die derzeit einflussreichste Theorie über den Zusammenhang von Perzeption und Handlung. Die Stärke dieses Ansatzes beruht auf der Fülle der Befunde, die sowohl klinische als auch nichtklinische Studien umfassen. Bei näherer Betrachtung ergeben sich aber zahlreiche Probleme, die sowohl theoretischer als auch experimenteller Art sind und nicht unabhängig voneinander betrachtet werden können.

Das Hauptargument für die Gültigkeit der TVSH beruht auf dem Phänomen der Dissoziation von Perzeption und Handlung. Anhand der klinischen Symptome Blindsight, der visuellen Agnosie und der optischen Ataxie sowie durch die Studien an hirngesunden Probanden anhand des Paradigmas der visuellen Illusionen (PVI) sollen diese Dissoziationen nachweisbar sein. Zwei Fragen sind dabei von größter Bedeutung: (1) Sind die Phänomene so überzeugend, dass man von einer Dissoziation sprechen kann? (2) Welche Schlussfolgerungen können bei Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein einer Dissoziation gezogen werden?

Die erste Frage zielt auf die empirischen Befunde sowohl an den klinischen als auch an den nichtklinischen Studien. Wie in Kapitel 3.3.1 dargestellt, sind die Phänomene der

visuellen Agnosie und der optischen Ataxie weit weniger deutlich als manchmal idealisiert berichtet wird. Für die Annahme der Unabhängigkeit würde aber das Vorhandensein einer Doppeldissoziation ein gutes Argument darstellen. Für eine solche starke Klassifizierung reichen die Befunde hier allerdings nicht aus. Es kann weder davon gesprochen werden, dass bei der visuellen Agnosie keine Objektwahrnehmung stattfindet, aber die motorischen Reaktionen die eines Gesunden sind, noch kann bei der optischen Ataxie von einer völlig intakten Wahrnehmung bei Einschränkung der Motorik gesprochen werden.

Es ist zwar unzweifelhaft, dass visuelle Informationen für unterschiedliche „Outputs“ in Form perzeptueller und motorischer Art genutzt werden. Allerdings stellt sich als zweite Frage, ob die Generierung dieses Outputs auf unterschiedlichen Systemen beruht, die voneinander unabhängig zu ihrem Output gelangen, so wie es die TVSH formuliert. Es ist wichtig zu betonen, dass unterschiedliche Outputcharakteristika keinesfalls eine unabhängige Verarbeitung implizieren. Als Beispiel kann hier die Sprache dienen. Man kann sich ein Wort etwa nur *vorstellen* und/oder dieses Wort *sagen*. Es ist anzunehmen, dass ein Outputsystem für das „gedachte Wort“ zuständig ist, das andere Outputsystem hingegen für die motorische Umsetzung in Laute. Dabei besteht eine Abhängigkeit dahingehend, dass die Artikulation des Wortes an die Fähigkeit geknüpft ist, sich das Wort vorstellen, d.h. „innerlich sprechen“, zu können.

Da die klinischen Phänomene zum Nachweis der Dissoziation von Perzeption und Handlung nicht hinreichend überzeugend sind, kommt dem zweiten Ansatz, dem Paradigma der visuellen Illusionen, eine große Bedeutung für die TVSH zu. Mit diesem Ansatz wird versucht, Dissoziationsphänomene auch bei hirngesunden Probanden zu zeigen.

In dieser Bewertung sollen zwei Aspekte ausführlich behandelt werden. Der erste betrifft die Fairness beim Vergleich perzeptueller und motorischer Effekte. Der zweite wird sich mit dem Paradigma der visuellen Illusionen *an sich* und den Schlussfolgerungen beschäftigen, die man aus den Ergebnissen unter Verwendung dieses Paradigmas ziehen kann. Es wird sich zeigen, dass die internalistische Sicht erheblich von den bisherigen (externalistischen) Ansätzen abweicht, die sich mit der Überprüfung der TVSH beschäftigen haben.

### 3.3.3.1 Fairness

Die Frage der Fairness hat mehrere Facetten. Zum einen kann von einem *logisch fairen* Vergleich gesprochen werden. Dieser umfasst die generelle Frage nach einem

sinnvollen Vergleich von perzeptuellen und motorischen Maßen, der sich aus den Aufgaben an den Probanden zur Ermittlung der perzeptuellen und motorischen Effekte ergibt. Am Beispiel der Studie von Ellis et al. (1999; Kapitel 3.3.2.2) wurde auf Diskrepanzen zwischen perzeptuellen Aufgaben (Einschätzung der Mitte einer Figur) und motorischen Aufgaben (Aufnehmen der Figur, so dass sie sich balanciert in der Hand befindet) aufmerksam gemacht, die unterschiedliche Ergebnisse für perzeptuelle und motorische Effekte, je nach Instruktion, erwarten lassen. Daraus resultiert die Schwierigkeit, unterschiedliche Aufgaben miteinander zu vergleichen.

Ein zweiter Aspekt kann als *Überlagerung mehrerer Effekte* bezeichnet werden. In der Studie von Gilster et al. (2006; Kapitel 3.3.2.1) wurde der Nachweis über einen motorischen Effekt erbracht, den so genannten *Reduktionseffekt*, der zusätzlich zum motorischen Effekt, der durch die Illusion zustande kommt, vorhanden ist. In dieser Studie wurde die Ebbinghaus Illusion untersucht. Die abhängige Variable war die maximale Griffweite.

Ein dritter wichtiger Punkt kann als *methodische Fairness* bezeichnet werden. Bei dieser Frage haben sich in der Diskussion über die TVSH vor allem Franz und Kollegen hervorgetan (z.B. Franz et al., 2000; Franz, 2003a). Franz et al. (2000) gehen explizit auf unterschiedliche Methoden der Messung perzeptueller Effekte ein. Sie unterschieden eine *Direkte Messung*, bei der eine kleiner wahrgenommene Figur an eine größer wahrgenommene Figur so adjustiert wird, dass beide gleich groß erscheinen, von einer *Indirekten Methode*, bei der eine „neutrale“ Figur an die illusorischen Bedingungen angeglichen wird. Die in einem Vergleich in der Größe veränderbare (adjustierbare) Figur wird dabei im Folgenden *Zielfigur*, die in der Größe unveränderbare *Quellfigur* genannt. Der perzeptuelle Effekt eines Vergleichs ergibt sich nach üblicher Bestimmung für den *Direkten Vergleich* aus der Differenz der absoluten Größe von *Quell-* zu *Zielfigur*. Beim *Indirekten Vergleich* werden die beiden ermittelten Unterschiede addiert.

Nach den Messungen von Franz et al. (2000) zeigen sich unterschiedlich große perzeptuelle Effekte für diese beiden Methoden. Demnach sind die perzeptuellen Effekte für den *Direkten Vergleich* größer als für den *Indirekten Vergleich*. Durchgeführt wurde diese Gegenüberstellung der Methoden an der Ebbinghaus Illusion. Die Illusion wirkt nach ihrer Erklärung stärker, wenn die beiden illusorischen Bedingungen direkt miteinander verglichen werden. Der Effekt schwächt sich durch die Präsentation nur einer illusorischen Bedingung mit gleichzeitiger Präsentation einer neutralen Figur ab. Da viele Studien, gerade in den ersten Jahren seit Einführung der TVSH (Aglioti et al., 1995; Haffenden und Goodale, 1998) für die motorischen Maße

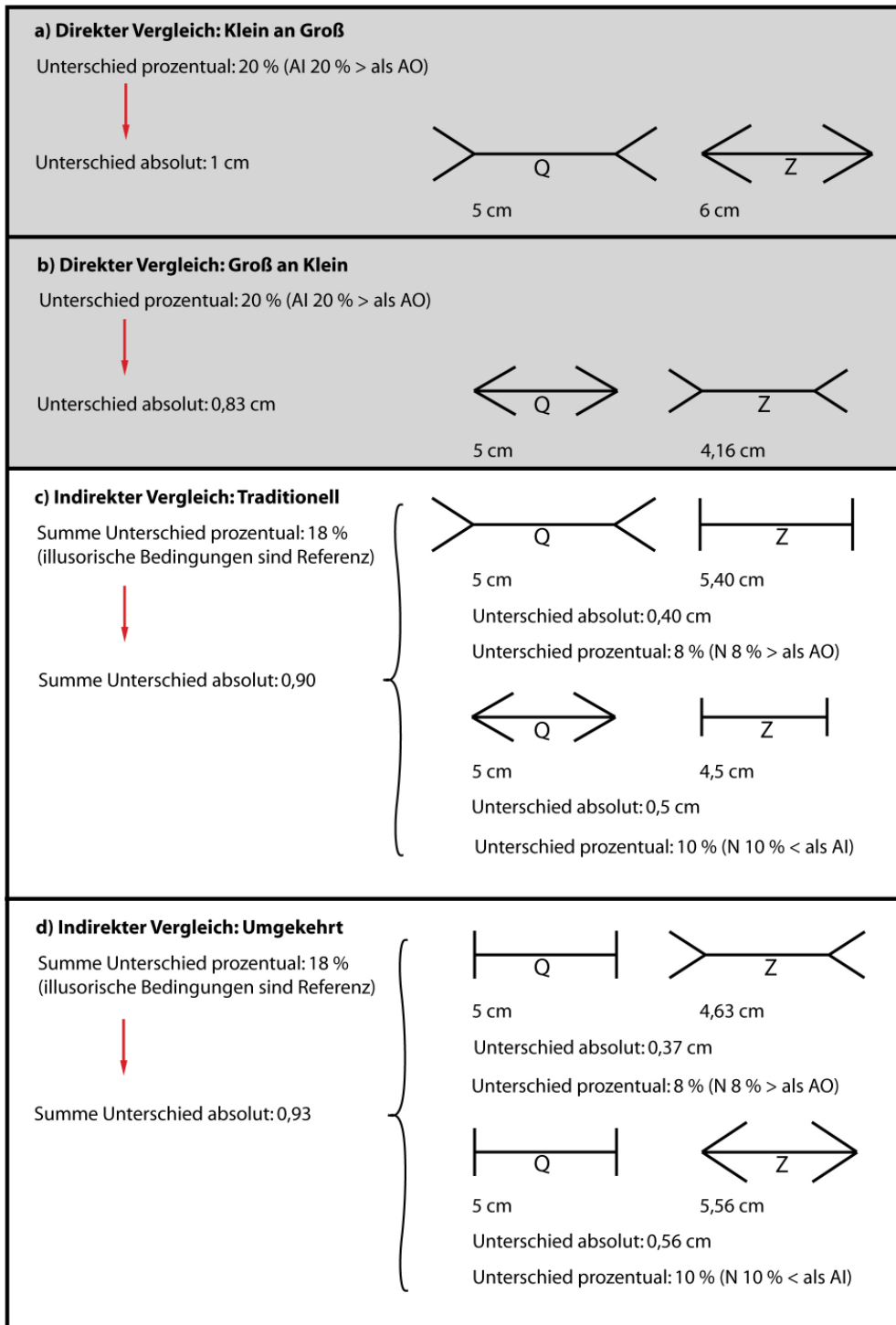


Abb. 3.7: Fiktive Ergebnisse des Gedankenspiels für die vier Vergleiche. a) *Direkter Vergleich: Klein an Groß*. b) *Direkter Vergleich: Groß an Klein*. c) *Indirekter Vergleich: Traditionell*. d) *Indirekter Vergleich: Umgekehrt*. Für jeden Vergleich sind die jeweiligen *Quellfiguren* (Q) und *Zielfiguren* (Z) mit fiktiven Werten für perzeptuelle Gleichheit dargestellt. Hierfür wird eine wesentliche Annahme getroffen: Zwei Figuren wirken immer dann gleich groß, wenn ein bestimmtes Größenverhältnis zwischen diesen besteht, unabhängig von der Zuschreibung *Quell-* bzw. *Zielfigur*. Dieses Verhältnis wird durch prozentuale Unterschiede ausgedrückt. Aus dieser Annahme folgen alle weiteren Schlussfolgerungen. Sinnvoll verglichen werden können auf diese Weise jeweils nur die *Direkten Vergleiche* (20 % Unterschied angenommen) sowie die *Indirekten Vergleiche* (18 % Unterschied angenommen) untereinander. **Beachte:** Die fiktiven Zahlen verdeutlichen nur die Idee. Die tatsächlichen Werte können davon abweichen, ohne dass sich an der generellen Aussage etwas ändert. Weitere Erläuterungen siehe Text. AO = *Arrow-Out-Figur*; AI = *Arrow-In-Figur*; N = *Neutral-Figur*; Q = *Quellfigur*; Z = *Zielfigur*.



beide Figuren präsentierten, für den perzeptuellen Abgleich allerdings nur eine Figur, wäre dies nach Franz et al. (2000) eine Erklärung dafür, warum so häufig Unterschiede zwischen Perzeption und Handlung gefunden wurden.

Im Folgenden werden weiterführende Überlegungen zu dieser Problematik anhand eines Gedankenspiels mit der Müller-Lyer Illusion ausgeführt. Es soll dazu dienen, die nachfolgenden Betrachtungen anschaulicher zu machen. Bei diesem Gedankenspiel (Abb. 3.7) werden zwar fiktive Größen verwendet, dennoch können diese zur Verdeutlichung allgemeiner Prinzipien beitragen und somit einige wichtige Schlussfolgerungen ermöglichen.

Bisher war nur von einem *Direkten Vergleich* (Abb. 3.7a, im Folgenden *Klein an Groß* genannt) und einem *Indirekten Vergleich* (Abb. 3.7b, im Folgenden *Traditioneller Indirekter Vergleich* genannt) die Rede. Man kann jedoch für diese beiden Vergleiche die *Quell-* und *Zielfiguren* vertauschen. Für die *Direkte Methode* erhält man dann einen Vergleich, bei dem *Groß an Klein* (Abb. 3.7b) adjustiert wird, für den *Umgekehrten Indirekten Vergleich* (Abb. 3.7d) werden die *illusorischen Bedingungen* an die *Neutral-Figur* adjustiert.

Es wird nun eine wesentliche Annahme getroffen: Um perzeptuelle Gleichheit zwischen zwei Figuren zu erlangen, wird ein festes Größenverhältnis zwischen diesen angenommen. Ausgedrückt wird dieses Verhältnis im Gedankenspiel durch prozentuale Unterschiede zwischen den betrachteten *Quell-* und *Zielfiguren*.

Betrachtet werden zunächst die beiden *Direkten Vergleiche* (Abb. 3.7a und 3.7b). Beim Vergleich *Klein an Groß* (Abb. 3.7a) wird die *Arrow-In-Figur* vergrößert, um perzeptuelle Gleichheit mit der *Arrow-Out-Figur* zu erreichen. Die *Arrow-In-Figur* muss also um einen bestimmten prozentualen Anteil größer eingestellt werden als die *Arrow-Out-Figur*, um dies zu erreichen. Fiktiv wird hier ein Wert von 20 % gewählt. Wie groß dieser Wert tatsächlich ist, ist zunächst nicht von Bedeutung. Wichtig ist hier lediglich, dass derselbe prozentuale Unterschied auch für den Vergleich *Groß an Klein* (Abb. 3.7b) bestehen sollte. Wenn man für die *Quellfiguren* einen Wert von 5 cm festlegt, wird man folglich eine Differenz der absoluten Unterschiede für die beiden *Direkten Methoden* erwarten. Beim Abgleich *Klein an Groß* muss die *Arrow-In-Figur* um 1 cm vergrößert werden, beim Abgleich *Groß an Klein* muss die *Arrow-Out-Figur* jedoch nur um 0,83 cm verkleinert werden, um perzeptuelle Gleichheit zu erreichen. Interessanterweise wurden Abgleiche, die den *Direkten Vergleich* für Studien nach dem Paradigma der visuellen Illusionen wählten, immer in der Form *Klein an Groß* durchgeführt (Agloti et al., 1995; Haffenden & Goodale, 1998). Wie man gerade

gesehen hat, sollte man für diesen Vergleich den größeren absoluten Unterschied ermitteln, d.h. für den perzeptuellen Effekt wird der größere absolute Unterschied des *Direkten Abgleichs* gewählt.

Es ergibt sich somit für das weitere Vorgehen eine problematische Situation, da man gar kein Kriterium hat, welchen der beiden *Direkten Abgleiche* man eigentlich verwenden sollte, wenn man sie mit einem motorischen Maß vergleicht. Dieses wiederum wird üblicherweise an physikalisch gleich großen Objekten erhoben, also beispielsweise an Müller-Lyer Figuren von 5 cm Größe. Da aber beim *Direkten Vergleich* immer nur die jeweilige *Quellfigur* diese Länge aufweist und die *Zielfigur* an diese adjustiert wird, ist fraglich, ob überhaupt der Vergleich einer dieser perzeptuellen Effekte mit dem motorischen Maß sinnvoll sein kann. Bevor auf diesen Punkt noch einmal näher eingegangen wird, soll der *Indirekte Vergleich* besprochen werden.

Auch bei der *Indirekten Methode* können zwei Vergleiche unterschieden werden. Bei der *Traditionellen Indirekten Methode* (kurz *Traditionelle Methode*, Abb. 3.7c) wird die *Neutral-Figur* (Z) an die beiden *illusorischen Bedingungen* (Q) angepasst. Beim *Umgekehrten Indirekten Vergleich* (kurz *Umgekehrte Methode*, Abb. 3.7d) werden die *illusorischen Figuren* (Z) an die *Neutral-Figur* (Q) angepasst. Auch hier sollte die zuvor gemachte Annahme gelten, nach der die Größenrelationen zwischen den abzugleichenden Figuren gleich bleiben sollte, damit perzeptuelle Gleichheit zwischen diesen Figuren besteht. Mit anderen Worten: Es ist unbedeutend, ob die *Neutral-Figur* als *Zielfigur* (*Traditioneller Abgleich*) oder als *Quellfigur* (*Umgekehrter Abgleich*) fungiert. Entscheidend ist lediglich das Größenverhältnis zwischen den Figuren. Auch für diese Relationen sollen fiktive Werte verwendet werden. In Anlehnung an die Befunde von Franz et al. (2000) werden diese allerdings so gewählt, dass die resultierenden absoluten perzeptuellen Effekte für die *Indirekten Vergleiche* kleiner sind als die des Vergleichs *Klein an Groß*.

Es soll an dieser Stelle betont werden, dass die prozentualen Unterschiede (egal ob fiktiv oder gemessen) für die *Direkten* und *Indirekten Methoden* nicht sinnvoll miteinander verglichen werden können, da sich beide auf unterschiedliche „baselines“ beziehen. Bei den *Direkten Vergleichen* kann sinnvollerweise davon gesprochen werden, dass die *Arrow-In-Figur* 20 % größer als die *Arrow-Out-Figur* eingestellt werden muss, um perzeptuelle Gleichheit zu erlangen. Für die *Indirekten Vergleiche* werden die *illusorischen Bedingungen* als Referenz, d.h. auf 100 % gesetzt, von denen aus betrachtet die *Neutral-Figur* um einen bestimmten prozentualen Betrag nach oben

bzw. unten in der Größe adjustiert wird.<sup>26</sup> Man kann nun für die *Indirekten Vergleiche* davon sprechen, dass sich ein Gesamtunterschied von 18 % (Summe aus 8 % und 10 %, siehe Abb. 3.7c und 3.7d) ergibt, wenn die illusorischen Bedingungen als Referenz für die *Neutral-Figur* fungieren.

Für die beiden *Indirekten Vergleiche* ergibt sich nach diesen Überlegungen ebenfalls ein (sehr geringer) Unterschied für die absoluten perzeptuellen Effekte (Abb. 3.7c und 3.7d). Eine perfekte Übereinstimmung zwischen diesen absoluten Effekten ist nur dann zu erwarten, wenn die *Neutral-Figur* perzeptuell exakt zwischen den anderen beiden Bedingungen liegt. Für diese Annahme besteht jedoch keine Veranlassung.

Mit Hilfe eines weiteren Gedankenspiels kann erläutert werden, dass die *Direkten* und *Indirekten Vergleiche* ineinander überführbar sein sollten. Bei diesem Gedankenspiel soll die Gestalt der *Neutral-Figur* schrittweise in eine der illusorischen Figuren umgewandelt werden. Dieser Gestaltwandel soll beispielhaft vollzogen werden für den *Traditionellen Vergleich* (Abb. 3.7c). Die *Neutral-Figur* soll sich in der Gestalt dabei immer mehr der *Arrow-In-Figur* anpassen. Man wird erwarten, dass sich die 5,40 cm der adjustierten *Neutral-Figur* (Abb. 3.7c) vergrößern werden, wenn sich die *Neutral-Figur* in der Gestalt immer mehr einer *Arrow-In-Figur* annähert. Man wird analog zum Vergleich *Klein an Groß* (Abb. 3.7a) einen Wert von 6,0 cm für die vollständig gestaltgewandelte *Neutral-Figur* (in eine *Arrow-In-Figur*) annehmen. Gleichzeitig wird man für den Abgleich der *Neutral-Figur* an die *Arrow-In-Figur* (Abb. 3.7c) erwarten, dass sich die ursprünglichen 4,50 cm vergrößern sollten, wenn die *Neutral-Figur* einer *Arrow-In-Figur* ähnlicher wird. Ist die *Neutral-Figur* schließlich in eine *Arrow-In-Figur* gewandelt worden, wird der Abgleich bei 5,0 cm liegen, denn nun handelt es sich um den Abgleich der *Arrow-In-Figur* an sich selbst. Berechnet man nun den absoluten perzeptuellen Effekt für den *Traditionellen Vergleich*, bei dem die *Neutral-Figur* vollständig in eine *Arrow-In-Figur* gewandelt wurde, müssen die beiden erhaltenen Teileffekte addiert werden. Es ergibt sich 1,0 cm (*Arrow-In-Figur* an *Arrow-Out-Figur*) + 0,0 cm (*Arrow-In-Figur* an sich selbst abgeglichen) = 1,0 cm. Dies ist aber genau das Resultat des Vergleichs *Klein an Groß*. Hieraus folgt: Die *Direkten Vergleiche* stellen den Sonderfall der *Indirekten Vergleiche* dar.

Für den Vergleich der Unterschiede in den absoluten perzeptuellen Effekten zwischen den *Direkten* und *Indirekten Methoden* gibt es bisher nur die Angaben von Franz et al.

---

<sup>26</sup> Ob die illusorischen Figuren oder die *Neutral-Figur* als Referenz betrachtet werden, ist für die angestellten Betrachtungen ohne Bedeutung. Wesentlich ist nur, dass die Relationen zwischen den jeweils betrachteten Figuren die gleichen sind. Es ist auch zu beachten, dass es hier nicht um die Betrachtung *Zielfigur* versus *Quellfigur* geht. Diese Beziehung ist nur für die absoluten perzeptuellen Effekte von Bedeutung.

(2000), die kleinere Effekte für die *Indirekten Vergleiche* annehmen. Wie kann dies mit den zuvor gemachten Annahmen zur Überführbarkeit dieser Vergleiche vereinbart werden? Dies kann dann der Fall sein, wenn die Änderung der Gestalt einer Figur mit einem überproportionalem Zuwachs bzw. Verminderung in der wahrgenommenen Größe einhergeht. Prinzipiell spräche nichts dagegen. Es wäre sinnvoll, diesen Sachverhalt durch weitere empirische Überprüfungen zu untersuchen.

Bevor nun auf die Frage eingegangen werden kann, welchen oder welche perzeptuellen Effekte man für einen fairen Vergleich mit motorischen Maßen verwenden sollte, muss zunächst noch ein weiterer Gedanke eingeführt werden, um den sich ebenfalls die Gruppe von Franz und Kollegen (Franz et al., 2000; Franz et al., 2001; Franz, 2003a) verdient gemacht hat. Dieser Punkt kann als „Korrektur der Steigungen“ benannt werden.

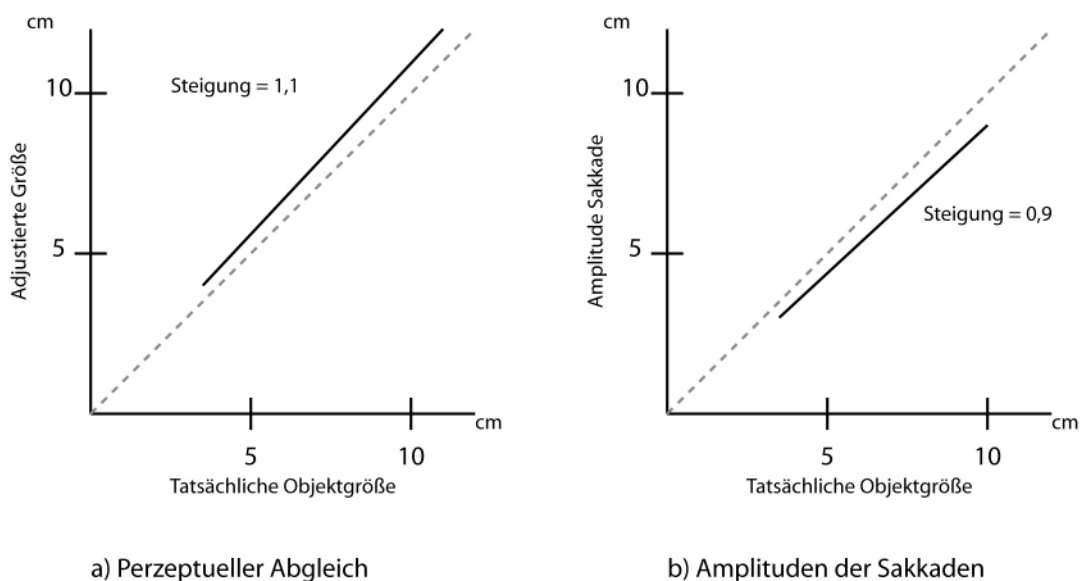


Abb. 3.8: Vergleich von perzeptuellen und motorischen Messungen bei einem „neutralen“ Objekt (fiktive Werte). Die tatsächliche Objektgröße wird gegen die der abhängigen Variablen abgetragen. Man erhält so eine Steigung für den Zusammenhang dieser beiden Größen. a) Perzeptueller Abgleich: Die Vergrößerung der tatsächlichen Objektgröße um 1 cm bewirkt eine Zunahme der adjustierten Größe um 1,1 cm. Solche Steigungen (bzw. noch deutlich größere) sind nicht untypisch, insbesondere bei der manuellen Methode. b) Amplituden der Sakkaden: Die Vergrößerung der Objektgröße bewirkt eine Zunahme der Amplitude der Sakkade um 0,9 cm, was in einem typischen Bereich für dieses Maß liegt. Wenn keine Korrektur um die Steigungen durchgeführt wird (d.h. kein Teilen der Effekte durch die jeweilige Steigung), unterscheiden sich die Effekte selbst bei einem neutralen Objekt voneinander. Da diese Korrektur in den meisten Studien des PVI nicht vorgenommen wurde, können mögliche Unterschiede (d.h. Dissoziationen) zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten begünstigt werden, sofern die Maße Unterschiede in den Steigungen aufweisen.

Ihr Argument ist elegant und besonders hilfreich bei der Frage nach fairen Vergleichen zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten. Ihre Überlegungen werden dabei in den folgenden Darstellungen ein wenig erweitert mit dem Ziel, die bestmögliche Korrektur für perzeptuelle und motorische Effekte zu erhalten. Der Grundgedanke ihres Ansatzes ist folgender: Wenn sich die Steigung für den Zusammenhang von tatsächlicher Größe des Objekts zur wahrgenommenen Größe von der Steigung der motorischen Messungen unterscheidet, dann muss eine Korrektur um diese Steigungen durchgeführt werden. Bei der Korrektur wird der entsprechende Effekt (perzeptuell oder motorisch) durch die entsprechende Steigung geteilt. An einem einfachen Beispiel soll dies illustriert werden (Abb. 3.8).

Verglichen werden soll die wahrgenommene Größe von „neutralen“ Objekten (perzeptuelles Maß) mit der Amplitude von Sakkaden (motorisches Maß), die von einem zum anderen Ende der Objekte durchgeführt werden. Durch Nutzung unterschiedlicher Objektgrößen kann eine Steigung für den Zusammenhang von physikalischer Größe und wahrgenommener Größe ermittelt werden (Abb. 3.8a). In dem Beispiel soll die Steigung 1,1 betragen, d.h. bei einer Zunahme der tatsächlichen Objektgröße um 1 cm nimmt die wahrgenommene Größe um 1,1 cm zu. Dies mag auf den ersten Blick unplausibel erscheinen, da man meinen sollte, den Abgleich „perfekt“, d.h. mit der Steigung 1,0 zu bewerkstelligen. Tatsächlich zeigen sich aber bei unterschiedlichen Methoden (Adjustierung von Figuren am Bildschirm, manuelles Adjustieren mit Daumen und Zeigefinger) zum Teil deutliche Unterschiede für diese Steigungen (siehe Franz, 2003a). Eine weitere Steigung (Abb. 3.8b) beschreibt den Zusammenhang zwischen tatsächlicher Objektgröße und der Amplitude der Sakkaden. Im Beispiel beträgt diese Steigung 0,9. Man erwartet also bei einer Zunahme der Objektgröße um 1 cm eine Zunahme der Amplitude von lediglich 0,9 cm bei gleichzeitiger Zunahme der wahrgenommenen Größe um 1,1cm. Vergleicht man nun die absoluten Werte miteinander (etwa für die Objektgröße von 1 cm), so erhält man einen Unterschied zwischen dem perzeptuellen und dem motorischen Maß. Nun würde natürlich niemand von einer Dissoziation sprechen wollen, zumal es sich nach externalistischer Lesart noch nicht einmal um illusorische Stimuli handelt. Man gesteht also zu, dass den beiden betrachteten Maßen unterschiedliche lineare Transformationen zugrunde liegen, d.h. die Größenwahrnehmung überschätzt die physikalische Länge „neutraler“ Objekte systematisch, während die Sakkaden regelmäßig zu klein ausfallen. Teilt man nun die gemessenen Effekte durch die ermittelten Steigungen, korrigiert man diese unterschiedlichen Transformationen. Die Effekte sind nach der Korrektur somit gleich groß.

Unter Verwendung illusorischer Stimuli wird diese Logik von Franz und Kollegen nun weiter geführt. Zur Illustration ihres Ansatzes dienen die Konfigurationen der Müller-Lyer Figur. Ein übliches Vorgehen besteht darin, den *Traditionellen Indirekten Vergleich* auszuführen. Bei diesem wird die *Neutral-Figur* an die *illusorischen Bedingungen* angepasst. Es resultieren dann zwei Geraden (Abb. 3.9a). Eine stellt den Abgleich der *Neutral-Figur* an die *Arrow-Out-Figur* dar ( $N \rightarrow AO$ ), die andere den Abgleich der *Neutral-Figur* an die *Arrow-In-Figur* ( $N \rightarrow AI$ ). Für eine beliebige Objektgröße (meist der Mittelwert der verwendeten Objektgrößen) kann eine Differenz zwischen den getätigten Einstellungen bestimmt werden. Diese wird dann als perzeptueller Effekt ( $P$ ) bezeichnet.  $P$  wird durch die gemittelte Steigung der beiden Geraden geteilt (entspricht der Steigung der gestrichelt gezeichneten Gerade in Abb. 3.9a).<sup>27</sup> Man erhält dadurch den korrigierten perzeptuellen Effekt  $p$  (Abb. 3.9a). Die Bedeutung dieses Effektes wird durch eine erweiterte Darstellung (Abb. 3.9b) ersichtlich.  $P$  setzt sich aus den Teileffekten  $P_1$  und  $P_2$  zusammen,  $p$  hingegen aus den Teileffekten  $p_1$  und  $p_2$ . Die Größe von  $P_1$  (also der Unterschied zwischen der adjustierten *Neutral-Figur* und der *Arrow-Out-Figur*) „bedeutet“ demnach genauso viel, wie eine tatsächliche Größenänderung der *Arrow-Out-Figur* um den Betrag  $p_1$ . Anders ausgedrückt: Eine Größenänderung der *Arrow-Out-Figur* um  $p_1$  wirkt auf den Betrachter genauso groß wie der Größenunterschied zwischen der adjustierten *Neutral-Figur* und der *Arrow-Out-Figur*. Analog sind  $P_2$  und  $p_2$  zu verstehen.

Ähnlich wird bei der Messung der motorischen Effekte verfahren (Abb. 3.9c). Die abhängige Variable, in diesem Beispiel die Amplitude der Sakkaden, wird jedoch nur an den illusorischen Bedingungen gemessen. Man erhält auf diese Weise ebenfalls zwei Geraden, eine für die *Arrow-Out-Figur* (AO) und eine für die *Arrow-In-Figur* (AI). Es kann auch hier eine gemittelte Gerade (gestrichelte Linie) bestimmt werden. Der unkorrigierte motorische Effekt  $M$  wird bestimmt durch Differenzbildung der Werte, die für gleiche Objektgrößen, aber unterschiedliche illusorische Figuren ermittelt werden. Der korrigierte motorische Effekt  $m$  ergibt sich dadurch, dass  $M$  durch die Steigung der gemittelten Geraden geteilt wird (Abb. 3.9c). Die Bedeutung von  $M$  und  $m$  wird in Abbildung 3.9d ersichtlich. Man geht hier implizit davon aus, dass die gemittelte Gerade (gestrichelte Linie) diejenige ist, die man durch die Verwendung der *Neutral-Figur* erhalten hätte.  $M_1$  stellt entsprechend den Unterschied der Amplituden der Sakkaden von der *Arrow-Out-Figur* zur *Neutral-Figur* dar. Diese Größe entspricht derselben Änderung der Amplitude der Sakkade die man erhalten hätte, wenn die *Neutral-Figur* um  $m_1$  vergrößert worden wäre.

---

<sup>27</sup> Hierbei wird implizit die Annahme gemacht, dass die Bildung des Mittelwerts der erhaltenenen Einstellungen einem Abgleich der entsprechenden Figuren an sich selbst entspricht.

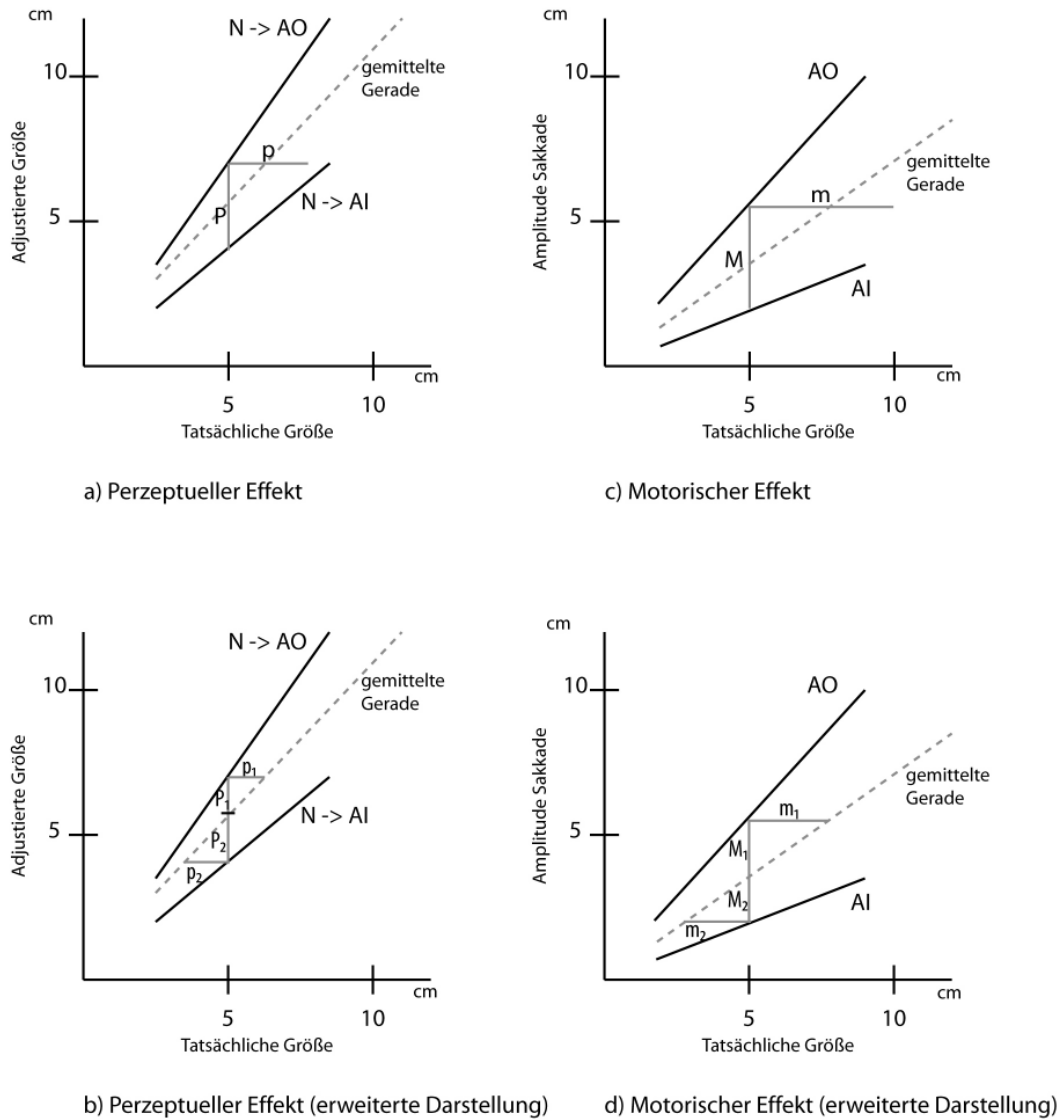


Abb. 3.9: Illustration zur Bestimmung korrigierter perzeptueller und motorischer Effekte (in Anlehnung an Franz, 2003). a) Perzeptueller Effekt. Durch den *Traditionellen Abgleich* können der unkorrigierte perzeptuelle Effekt  $P$  und der korrigierte Effekt  $p$  bestimmt werden. b) Perzeptueller Effekt (erweiterte Darstellung).  $P$  setzt sich aus den Teileffekten  $P_1$  und  $P_2$  zusammen,  $p$  aus den Teileffekten  $p_1$  und  $p_2$ . c) Motorischer Effekt. Durch den Vergleich der illusorischen Bedingungen kann der unkorrigierte motorische Effekt  $M$  ermittelt werden. Durch Relativierung an der Steigung erhält man den korrigierten motorischen Effekt  $m$ . d) Motorischer Effekt (erweiterte Darstellung).  $M$  setzt sich aus den Teileffekten  $M_1$  und  $M_2$  zusammen,  $m$  aus den Teileffekten  $m_1$  und  $m_2$ . Abk.: AO = Arrow-Out-Figur; AI = Arrow-In-Figur; N = Neutral-Figur;  $\rightarrow$  = adjustiert an (Bsp.: N $\rightarrow$ AO = Neutral-Figur adjustiert an Arrow-Out-Figur);  $P$  (bzw.  $P_1$  und  $P_2$ ) = Unkorrigierter perzeptueller Effekt (bzw. Teileffekte);  $p$  (bzw.  $p_1$  und  $p_2$ ) = Korrigierter perzeptueller Effekt (bzw. Teileffekte);  $M$  (bzw.  $M_1$  und  $M_2$ ) = Unkorrigierter motorischer Effekt (bzw. Teileffekte);  $m$  (bzw.  $m_1$  und  $m_2$ ) = Korrigierter motorischer Effekt (bzw. Teileffekte).

Durch dieses Verfahren wird also immer eine Referenz geschaffen, auf die sich bezogen wird. Würde man dies nicht tun, wüsste man gar nicht, was ein tatsächlich gemessener Unterschied bedeutet. Dies wird deutlich, wenn man sich die eingezeichneten gemittelten Steigungen in Abbildung 3.9 mit abweichenden Werten vorstellt. Dementsprechend werden deutliche Abweichungen der Steigungen für die perzeptuellen und motorischen Messungen auch größere Unterschiede zwischen den jeweiligen Effekten begünstigen. Ohne eine Korrektur um die Steigungen wird dies letztlich eher zu einer Bestätigung der TVSH führen.

Dieses Vorgehen stellt eine deutliche Verbesserung bisheriger Ansätze dar, denn es legt den Grundstein für einen fairen Vergleich perzeptueller und motorischer Maße. Im Folgenden soll dieses Vorgehen erweitert werden.

Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Annahme, dass die Bestimmung der perzeptuellen und motorischen Effekte nach der Methode von Franz et al. (2000) einen möglicherweise wichtigen Aspekt der *Fairness* vernachlässigt, nämlich die Einbeziehung der *Neutral-Figur* in die motorischen Messungen. Während für die perzeptuellen Messungen ein *Vergleich* zwischen der *Neutral-Figur* (*Zielfigur*) und den illusorischen Bedingungen (*Quellfiguren*) benutzt wird, werden die motorischen Messungen jeweils nur an den illusorischen Figuren vorgenommen. Nach der Sichtweise von Franz et al. (2000) ist die *Neutral-Figur* nur Mittel zum Zweck und wirkt sich nicht, wie beim *Direkten Vergleich* angenommen, in irgendeiner Weise „illusorisch verstärkend“ auf die Ergebnisse aus. Entscheidend für das hier vertretene Argument ist jedoch die Abhängigkeit der Einstellungen der *Neutral-Figur* von der jeweiligen illusorischen Bedingung, an die die *Neutral-Figur* adjustiert wird. Die erhaltenen Geraden der perzeptuellen Einstellungen beziehen sich eben nicht nur auf eine Figur (so wie bei motorischen Messungen), sondern sind stets als Abgleich einer bestimmten Figur an eine zweite Figur zu sehen. Daher muss immer gefragt werden, welcher Abgleich durchgeführt wurde.

Dies kann am Beispiel des *Traditionellen* und des *Umgekehrten Vergleiches* illustriert werden (Abb. 3.10a und 3.10b). Die Steigungen für diese beiden *Indirekten Vergleiche* werden sich unterscheiden, sofern sich die *Neutral-Figur* in der wahrgenommenen Größe nicht exakt zwischen den anderen beiden Figuren befindet (diese Aussage bezieht sich auf den Vergleich der Steigungen  $N \rightarrow AO$  und  $AI \rightarrow N$  bzw.  $N \rightarrow AI$  und  $AO \rightarrow N$ ). Hierfür muss man sich klar machen, dass die erhaltenen Steigungen immer vom Abgleich einer *Zielfigur* an eine *Quellfigur* abhängig sind. Daher werden sich auch die Summen der Teileffekte  $p_1 + p_2$  von  $p_3 + p_4$  unterscheiden. Dieser angenommene



Unterschied ergibt sich allein aus theoretischen Überlegungen, sofern die *Neutral-Figur* perzeptuell nicht zwischen den beiden anderen Bedingungen liegt.

Ein zweiter wichtiger Punkt bezieht sich auf die Steigungen, an denen relativiert wird. Franz und Kollegen bilden für ihre Messungen jeweils den Mittelwert der von ihnen gemessenen Steigungen. Für den perzeptuellen Effekt wird dieser gebildet aus dem Abgleich der *Neutral-Figuren* an den *illusorischen Figuren*. Für den motorischen Effekt werden nur die Steigungen der *illusorischen Bedingungen*, nicht jedoch der *Neutral-Figur*, berücksichtigt. Nun gibt es aber keinen Grund anzunehmen, dass die (gemeinte) Steigung durch eine solche Mittelwertbildung berechnet werden kann. Zur Erinnerung: Die Steigung wurde oben (siehe Abb. 3.8a und 3.8b) eingeführt, um den unterschiedlichen linearen Transformationen der perzeptuellen und motorischen Messungen gerecht zu werden. Eine wichtige Frage ist also nun, welche Steigung gemeint ist und wie diese bestimmt wird. Betrachtet werden zunächst die perzeptuellen Messungen: Es könnte sich hier etwa um den Abgleich einer Figur an sich selbst (Darstellung der Figuren am Monitor, Adjustierung mit Tastatur) oder auch um die manuelle Methode (Anzeigen der Größe einer Figur mittels Abstand von Daumen zu Zeigefinger) handeln. So könnte man beispielsweise eine Steigung von 1,0 für den Abgleich der *Neutral-Figur* an sich selbst (im Folgenden abgekürzt mit Adjustierung) und eine Steigung von 1,2 für die manuelle Methode erhalten. Dasselbe könnte man aber auch für die illusorischen Figuren durchführen. Betrachtet man nun den *Traditionellen Vergleich* (unter Verwendung der Methode der Adjustierung wie bei Franz et al., 2000), dann müsste man für die Korrektur des Effektes  $P_1$  die Steigung für den Abgleich der *Arrow-Out-Figur* an sich selbst und für die Korrektur von  $P_2$  die Steigung für den Abgleich der *Arrow-In-Figur* an sich selbst zugrunde legen, denn schließlich wird die Größe der *Neutral-Figur* (ist hier *Zielfigur*) an diese illusorischen Bedingungen adjustiert. Diese Größenänderung ist jedoch nur zu verstehen, wenn man den zugrunde liegenden Abgleich der jeweiligen illusorischen Bedingungen kennt. Geht man vereinfacht davon aus, dass der Abgleich der illusorischen Bedingungen und der *Neutral-Figur* an sich selbst immer die gleiche Steigung erbringt, so muss doch zumindest für einen dieser Abgleiche diese Steigung gemessen werden (Abb. 3.10a und 3.10b). Bei Franz und Kollegen wird dieser Abgleich nun über die erhaltenen Steigungen für den Abgleich der *Neutral-Figur* an die *illusorischen Figuren* geschätzt, jedoch nicht gemessen. Die Relevanz der geschätzten Steigungen im Vergleich zu den gemessenen Steigungen wird sofort offensichtlich. Nur wenn die *Neutral-Figur* in der wahrgenommenen Größe genau zwischen den beiden illusorischen Bedingungen liegt, werden sich diese beiden Steigungen gleichen. In allen anderen Fällen werden daher auch unterschiedlich große korrigierte Effekte erwartet.

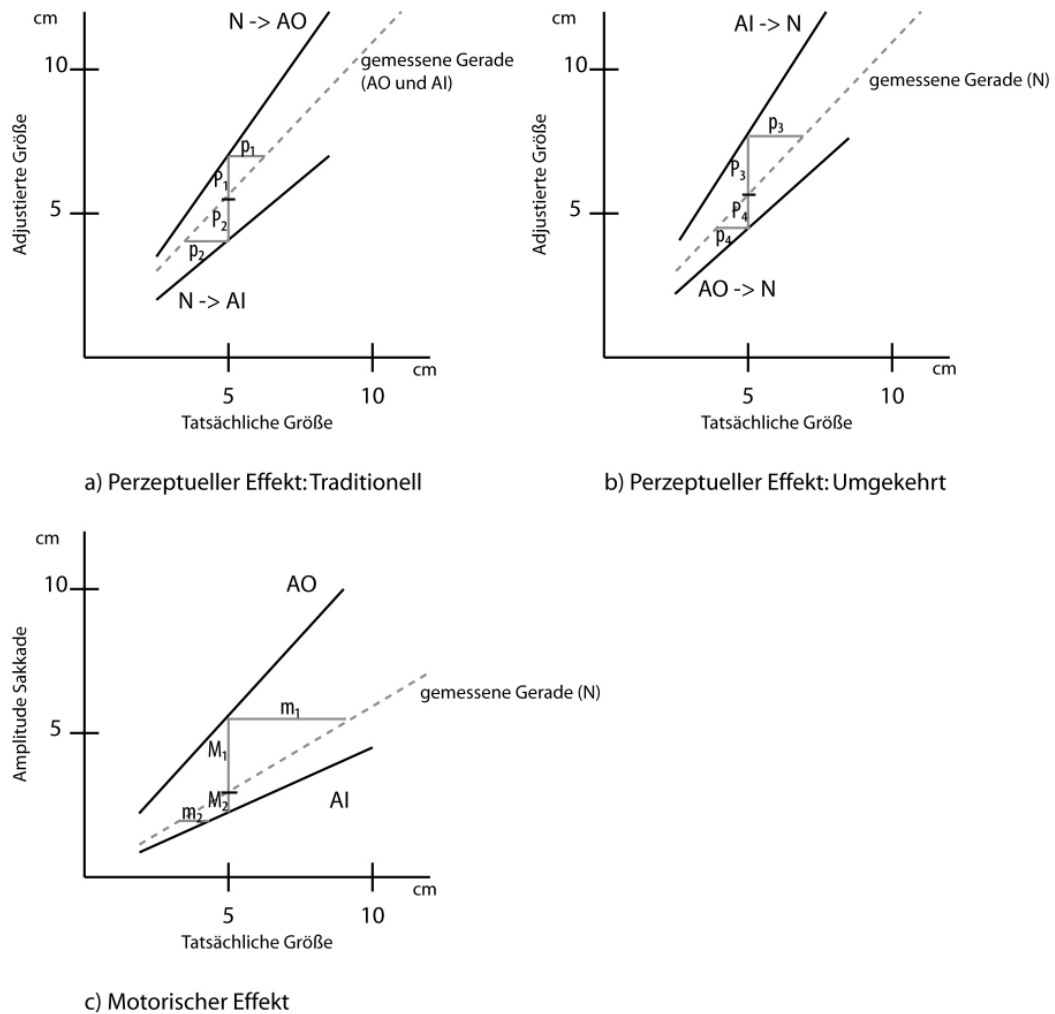


Abb. 3.10: Erweiterter Ansatz zur Bestimmung korrigierter perzeptueller und motorischer Effekte. a) Perzeptueller Effekt (*Traditioneller Vergleich*). Statt aus den erhaltenen beiden Geraden für die Adjustierungen eine mittlere Gerade zu berechnen (siehe Abb. 3.9a), wird die Gerade gemessen. Hierfür wird der Abgleich der illusorischen Figuren an sich selbst (d.h. *Quell- und Zielfigur* sind identisch) abgetragen. Dies kann entweder für eine Figur (AO oder AI) oder auch für beide Figuren erfolgen. Vereinfacht wird angenommen, dass beide Abgleiche auf dieselbe Gerade abgebildet werden. Die Korrekturen der Effekte  $P_1$  und  $P_2$  werden an dieser gemessenen Gerade durchgeführt, so dass  $p_1$  und  $p_2$  resultieren. b) Perzeptueller Effekt (*Umgekehrter Vergleich*). Auch hier wird die Gerade für die *Neutral-Figur* durch den Abgleich an sich selbst (*Neutral-Figur* ist *Quell-* und *Zielfigur*) bestimmt. Die Korrekturen der Effekte finden ebenfalls an dieser Geraden statt. Es resultieren die Effekte  $p_3$  und  $p_4$ . Es ist zu beachten, dass  $p_1 + p_2 \neq p_3 + p_4$  ist, sofern die *Neutral-Figur* in der wahrgenommenen Größe nicht exakt zwischen den beiden anderen Bedingungen liegt. c) Motorischer Effekt. Statt nur motorische Messungen an den illusorischen Bedingungen auszuführen, werden die Amplituden der Sakkaden auch für die *Neutral-Figur* bestimmt. Die gemessene Gerade muss dabei nicht exakt zwischen den beiden anderen Bedingungen liegen, wie dies in bisherigen Ansätzen vorausgesetzt wird. Abk.: AO = *Arrow-Out-Figur*; AI = *Arrow-In-Figur*; N = *Neutral-Figur*;  $\rightarrow$  = adjustiert an (Bsp.:  $N \rightarrow AO$  = *Neutral-Figur* adjustiert an *Arrow-Out-Figur*);  $P_1$ - $P_4$  = Unkorrigierte perzeptuelle Teileffekte;  $p_1$ - $p_4$  = Korrigierte perzeptuelle Teileffekte;  $M_1$ - $M_4$  = Unkorrigierte motorische Teileffekte;  $m_1$ - $m_4$  = Korrigierte motorische Teileffekte.

Dieser letzte Punkt wird auch noch einmal an den motorischen Effekten deutlich, die man auf diese Weise erhält (Abb. 3.10c). Als Grundlage soll eine Steigung für die Amplituden von Sakkaden für die *Neutral-Figur* von 0,7, für die *Arrow-Out-Figur* von 1,2 und für die *Arrow-In-Figur* von 0,6 angenommen werden. Würde man nach dem Vorgehen von Franz und Kollegen den Mittelwert der Steigungen für die illusorischen Bedingungen zur Grundlage nehmen, würde man eine mittlere Steigung von 0,9 berechnen. Die Summe der Effekte  $M_1$  und  $M_2$  würde durch diese Steigung relativiert werden. Die *Neutral-Figur* weist jedoch (in diesem Beispiel) nur eine Steigung von 0,7 auf. Diese wird jedoch bislang nicht berücksichtigt, da sie nicht gemessen wurde. Für die perzeptuellen Messungen hingegen wird die entsprechende Steigung der *Neutral-Figur* (indirekt) berücksichtigt, da die Figur an die illusorischen Figuren angepasst wurde. Die erhaltenen perzeptuellen Effekte sind somit vom jeweils durchgeführten Vergleich mit der *Neutral-Figur* abhängig, die motorischen Messungen berücksichtigen jedoch nur die *illusorischen Bedingungen*.

Aus diesen Überlegungen kann ein fairer Vergleich nur dann hergestellt werden, wenn sich die gemessenen perzeptuellen und motorischen Maße auf eine gemeinsame *Referenz* beziehen. Wenn man für die perzeptuellen Messungen die so genannte *Neutral-Figur* benutzt, muss diese auch für die motorischen Messungen berücksichtigt werden. Die Effekte, sowohl perzeptuell als auch motorisch, sollten sich auf diese beziehen. Daher wird, wie in Abbildung 3.10c dargestellt, ein fairer Vergleich dann angenommen, wenn die erhaltenen motorischen Effekte  $M_1$  und  $M_2$  an der Steigung für die *Neutral-Figur* relativiert werden.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass ohne jegliche Korrektur perzeptueller und motorischer Effekte immer dann der Befund einer Dissoziation wahrscheinlicher wird, wenn das perzeptuelle Maß eine größere Steigung aufweist als das motorische. Das Vorgehen von Franz et al. (2000) ist ein wichtiger Schritt für faire Vergleiche. Der hier skizzierte erweiterte Ansatz verfolgte das Ziel, größtmögliche Fairness für den Vergleich perzeptueller und motorischer Maße zu gewährleisten.

### 3.3.3.2 Das Paradigma der visuellen Illusionen

Fasst man die Ergebnisse des Paradigmas der visuellen Illusionen zusammen, so ist zu attestieren, (1) dass motorische Effekte in fast allen Studien auftreten, (2) dass diese unter open-loop Bedingungen (d.h. keine Sicht während der Handlung) stärker ausfallen als unter closed-loop-Bedingungen (Sicht während der Handlung), (3) dass kein überzeugendes Kriterium existiert, um von vergleichbar großen bzw. nichtvergleichbar großen motorischen und perzeptuellen Effekten zu sprechen und (4) dass der Aspekt der

Fairness beim Vergleich perzeptueller und motorischer Effekte nicht immer gewährleistet wird, wie oben ausführlich dargestellt wurde.

Die postulierte (vollständige) Unabhängigkeit der angenommenen visuellen Systeme kann nach Darstellung der Befunde sicher ausgeschlossen werden. Die Anhänger der TVSH sind daher gewillt, Annahmen über eine teilweise Abhängigkeit anzuerkennen. Die Tatsache, dass oftmals kleinere motorische als perzeptuelle Effekte gefunden worden sind, werten sie jedoch weiterhin als Beleg für das Vorhandensein unterschiedlicher Systeme. Es soll an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Mehrzahl der Studien an zwei Illusionen durchgeführt wurden, nämlich an der Ebbinghaus und der Müller-Lyer Illusion. Nach der Logik der TVSH ist dies zwar unerheblich, nicht aber für eine internalistisch geprägte Herangehensweise, wie sich im Folgenden zeigen wird.

Es kann nun die oben gestellte zweite Frage (siehe Anfang Kapitel 3.3.3), nämlich die nach den möglichen Schlussfolgerungen nach Messung perzeptueller und motorischer Effekte (und damit einer Zuschreibung von Dissoziationen bzw. Assoziationen) genauer betrachtet werden. Bei dieser Betrachtung soll davon ausgegangen werden, dass die oben besprochenen Aspekte der inhaltlichen und methodischen Fairness gegeben waren. Hier soll es nun darum gehen, welche theoretischen Implikationen die gefundenen Dissoziationen bzw. Assoziationen nach sich ziehen. Dafür muss noch einmal das Standardvorgehen innerhalb dieses Paradigmas beleuchtet werden.

Der Ausgangspunkt ist die Verwendung von visuellen Illusionen, wie z.B. der Ebbinghaus, der Müller-Lyer oder der Ponzo Illusion. Welche Illusion verwendet wird, ist nebensächlich. Die Illusion dient lediglich als *Mittel zum Zweck*. Es werden dann perzeptuelle Effekte gemessen, die als Indikator für den Grad der Täuschung aufgefasst werden. Die Täuschung soll auf die Verarbeitung im visuell perzeptuellen System zurückgehen. Zum Vergleich werden dann motorische Effekte gemessen. Diese dienen als Indikator für den Grad der Täuschung im motorischen System. Es wird erwartet, dass sich keine (oder nur kleine) motorische Effekte im Vergleich mit perzeptuellen Effekten zeigen. Hieraus ergibt sich eine Entscheidungsregel: Findet man Unterschiede zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten (d.h. es liegt eine Dissoziation vor), so nimmt man zwei Systeme an. Findet man hingegen vergleichbar große Effekte, so nimmt man nur ein System an.

Aus den Betrachtungen über unterschiedliche Konzeptionen der Wahrnehmung (Kapitel 1.1 und Kapitel 1.2) sollte klar sein, dass die TVSH dem externalistischen Ansatz verpflichtet ist. Die visuellen Illusionen täuschen uns und können als Sonderfälle der

Wahrnehmung betrachtet werden. Die Frage nach der *internen Bedeutung* stellt sich für die TVSH nicht. Ganz entsprechend sieht es für die motorischen Effekte aus. Auch hier wird nicht gefragt, welche *Bedeutung* die jeweilige Handlung in der spezifischen Situation hat. Letztlich ist es auch hier ohne Belang, welche Handlung durchgeführt wird. Das einzige Kriterium für die Auswahl der Handlung ergibt sich aus der Vergleichbarkeit mit dem perzeptuellen Maß, d.h. wenn es perzeptuell um eine Längenschätzung geht, wird als motorisches Maß der Präzisionsgriff nach diesem Objekt oder auch die Amplitude einer Sakkade vermessen. Fraglich ist, wie dieses Vorgehen nach internalistischer Konzeption bewertet werden kann. Zur Erläuterung soll ein Gedankenspiel einer „realen“<sup>28</sup> dreidimensionalen Szene dienen:

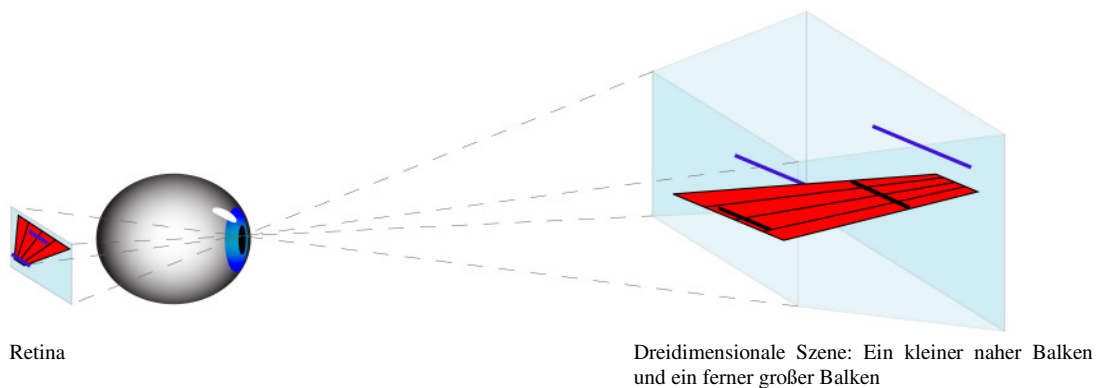


Abb. 3.11: Illustration zum Gedankenspiel. Ein Betrachter schaut einen Steg entlang auf dem zwei Balken angebracht sind. Ein Balken ist klein und nah am Betrachter, der andere ist größer und weiter weg vom Betrachter. Die Szene ist so arrangiert, dass der Sehwinkel für beide Balken gleich groß ist.

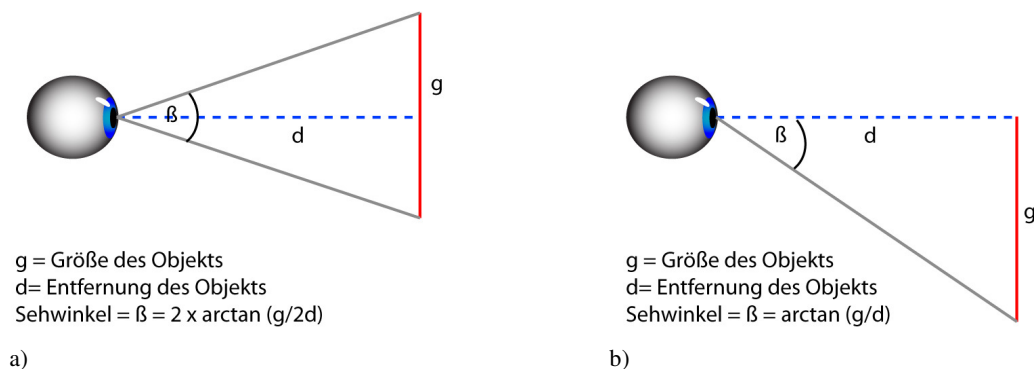


Abb. 3.12: Berechnung des Sehwinkels. a) Die Mitte des Objekts befindet sich auf der optischen Achse des Auges. b) Ein Ende des Objekts befindet sich auf der optischen Achse des Auges. Der Sehwinkel verkleinert sich dabei leicht.

<sup>28</sup> Nach externalistischem Verständnis, d.h. ein Beobachter nimmt an, dass er die Welt so sieht, wie sie tatsächlich beschaffen ist.

Für das Gedankenspiel stellen wir uns einen dreidimensionalen Steg vor, an dessen einem Ende ein Beobachter steht und den Steg entlangschaut (Abb. 3.11). Auf diesem Steg sind zwei Balken lokalisiert. Ein Balken ist kurz und befindet sich nah am Betrachter, der andere ist lang und weiter weg vom Betrachter. Beide Balken weisen jedoch eine bequeme Greifentfernung zum Betrachter auf. Die Balken sind dabei so arrangiert, dass die Sehwinkel für den Betrachter exakt gleich groß sind.

Der Sehwinkel wird definiert als Winkel zwischen zwei Linien, die vom optischen Mittelpunkt des Auges eines Beobachters ausgehen und sich zu den beiden Endkanten des angeblickten Objekts erstrecken. Das Objekt steht dabei im rechten Winkel auf der optischen Achse des Auges. Der Sehwinkel ist abhängig sowohl von der Entfernung als auch von der Größe des Objekts (Goldstein, 1997, Abbildung 3.12a).<sup>29</sup>

Was würde man nun erwarten, wenn man den Betrachter motorische Handlungen an den Objekten auf dem Steg ausführen ließe? Dies ist an zwei Handlungen zu veranschaulichen: (1) Greifen nach den Balken mit einem Präzisionsgriff und (2) Sakkaden, die von einem Ende des Balkens bis zum anderen Ende ausgeführt werden.

Der Präzisionsgriff wurde ausführlich in Kapitel 2.2 beschrieben. Beim Präzisionsgriff wird hier als abhängige Variable die maximale Griffweite betrachtet. Diese korreliert, wie berichtet, mit der Objektgröße. Daher ist für den kleinen Balken eine kleinere maximale Griffweite zu erwarten als für den großen Balken. Fordert man den Betrachter auf, mit einem Blick von einem Ende bis zum anderen Ende der Balken zu schauen, sollten sich die Amplituden der Sakkaden nicht voneinander unterscheiden, denn beide Balken weisen nach dem Arrangement der Szene den gleichen Sehwinkel auf. Während die Griffweite in gewisser Weise unabhängig von der jeweiligen Entfernung zum Handelnden ist, da sie eine Handlung am Objekt selbst darstellt, beruht die Amplitude der Sakkade nicht nur auf der Objektgröße, sondern auch auf der Entfernung zum Betrachter. Die beiden motorischen Handlungen unterliegen somit unterschiedlichen funktionalen Restriktionen.

Bemerkenswert ist, wie dieses Ergebnis nach der Entscheidungsregel des Paradigmas der visuellen Illusionen betrachtet werden würde, wenn man es auf eine solche „reale“ Situation anwendet. Da die Balken unterschiedlich groß sind und sich die maximalen Griffweiten entsprechend unterscheiden, gibt es keine Dissoziation von Perzeption und Handlung. Anders sieht es für die Amplituden der Sakkaden aus. Diese fallen entsprechend des gleichen Sehwinkels gleich groß aus. Die Entscheidungsregel des PVI

---

<sup>29</sup> Die Größe des Sehwinkels ändert sich leicht, wenn der Mittelpunkt des Objekts nicht auf der optischen Achse des Auges liegt (siehe Abb. 3.12b).

würde verlangen, von einer Dissoziation von Perzeption und Handlung zu sprechen, denn schließlich unterscheidet sich dieses motorische Maß (Sakkaden) nicht für die beiden unterschiedlich großen Balken. Man würde wohl einwenden, dass ein solches Ergebnis eintreffen muss, denn andererseits würde sich die Motorik schließlich „falsch“ verhalten. Von einer Dissoziation dürfte man deshalb eigentlich nicht sprechen. Mit anderen Worten: Der Begriff der Dissoziation verliert in der „realen“ Situation seine Bedeutung, da vorliegend eine entsprechende Theorie über die zu erwartenden Ausgänge von verschiedenen Handlungen existiert.

Dies ist die analoge Situation zur „realen“ Adelson Figur (siehe Kapitel 1.3), bei der ein Betrachter meint, d.h. die Theorie hat, ein Objekt unter Beleuchtung zu sehen. Er wird deshalb auf Reflektanz und Illuminanz verweisen. Die zweidimensionale Entsprechung hingegen, die Adelson Illusion, stellt nach internalistischer Lesart das Alberti-Fenster dieser „realen“ Adelson Figur (die dreidimensionale gefaltete Oberfläche) dar. Die Luminanz der grauen Felder wird aus dem Produkt von Reflektanz und Illuminanz gebildet (verstanden als interne Konzepte nach denen das Alberti-Fenster ausgewertet wird). Hat ein Betrachter nun keine Theorie über die Adelson Illusion, wird er die Luminanz als Kriterium heranziehen und plötzlich von einer Täuschung sprechen.

Wenn hingegen von einer „realen“ Figur oder „realen“ Szene gesprochen wird, so ist eigentlich nur unsere Wahrnehmung einer dreidimensionalen Welt gemeint, welche nach internalistischer Konzeption eine Konstruktion ist. Auf die „wahre“ oder „reale“ Welt haben wir demnach keinen Zugriff. Innerhalb dieser Konstruktion können wir die zugehörigen Elemente (z.B. die Balken) auf verschiedenen Ebenen, wie die psychologische oder die physikalische, beschreiben. Nach physikalischer Beschreibung kann sinnvollerweise von *unterschiedlich langen Balken in unterschiedlicher Entfernung* vom Beobachter gesprochen werden. Die Wahrnehmung einer dreidimensionalen Welt ist jedoch von der Auswertung des (zweidimensionalen) Alberti-Fensters abhängig.<sup>30</sup> Dabei ist es prinzipiell ohne Belang, wie das Alberti-Fenster physikalisch verursacht wurde.

Da nach internalistischem Verständnis kein prinzipieller Unterschied zwischen illusorischen und realen Wahrnehmungen, und damit auch kein Unterschied zwischen Stimuli besteht, die solche Wahrnehmungen auslösen sollen, ergibt sich schließlich eine völlig andere Ausgangssituation für die Untersuchung von Wahrnehmung und Handlung. Statt also eine „Illusion“ als *Mittel zum Zweck* zu nutzen, sollte die erste Frage lauten: Welche internen Konzepte werden durch den Stimulus angesprochen? Im

---

<sup>30</sup> Vernachlässigt wird hier, sehr vereinfacht, zunächst die Bedeutung der visuellen Informationen auf den beiden Retinae.

vorliegenden Gedankenspiel wird von einer dreidimensionalen Szene gesprochen, in der unterschiedlich große Balken in unterschiedlicher Entfernung vom Beobachter angeordnet sind. Hinsichtlich der Motorik ließe sich entsprechend fragen: Welche Funktion wird durch die jeweilige Handlung erfüllt? Für den Präzisionsgriff kann die Funktion des *in die Hand nehmens* formuliert werden, für die Sakkade wohl so etwas wie *Inspektion der Ausdehnung* der Balken. Wie bereits erläutert, wird für die Sakkaden eine „Dissoziation“ von der Perzeption erwartet. Keine Dissoziation wird hingegen angenommen, wenn der Präzisionsgriff mit der wahrgenommenen Größe verglichen wird. Eine solche *Dissoziation* trägt freilich keine tiefere inhaltliche Bedeutung und legt schon gar nicht die Existenz unterschiedlicher visueller Systeme nahe.

Wie verhält es sich aber bei zweidimensionalen Stimuli, so wie sie üblicherweise im Paradigma der visuellen Illusionen verwendet werden? Im Prinzip ist dies genauso wie im dreidimensionalen Fall. Hierzu kann die Ponzo Illusion als Pendant zum erläuterten Gedankenexperiment dienen (Abb. 3.13).

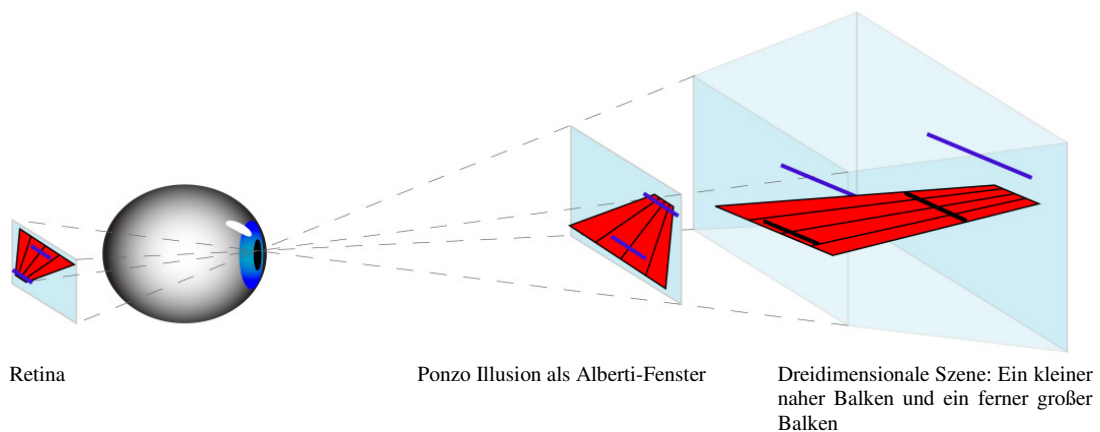


Abb. 3.13: Die Ponzo Illusion als zweidimensionale Projektion der „realen“ dreidimensionalen Szene des Gedankenspiels. Die Ponzo Illusion entspricht dem Alberti-Fenster. Beachte: Die horizontalen Balken des Alberti-Fensters sind gleich lang (da gleicher Sehwinkel). Einem Betrachter erscheinen sie jedoch unterschiedlich groß. Nach internalistischer Lesart beruht dies auf der Interpretation der Szene in Form der illustrierten dreidimensionalen Szene.

Die Ponzo Illusion kann demnach als Alberti-Fenster der beschriebenen dreidimensionalen Szene aufgefasst werden. Bei dieser Projektion ergeben sich konvergierende Linien (die Begrenzung des Steges) und gleich große Balken, die sich auf unterschiedlicher Höhe im Bild befinden. In dieser (einfachsten) Form wird ein Beobachter angeben, ein zweidimensionales Bild zu sehen, üblicherweise ohne einen Tiefeneindruck. Fügt man nun weitere Details hinzu, wie etwa zusätzliche Linien oder unterschiedliche Farben, so wird der Betrachter eventuell davon sprechen, ein *zweidimensionales Bild* zu betrachten auf dem eine *dreidimensionale Szene* zu sehen ist.



Wesentlich ist dabei, dass der Beobachter die gleich großen zweidimensionalen Balken unterschiedlich groß wahrnimmt. Dies ist eben der perzeptuelle Effekt. Statt jedoch von einer Täuschung zu sprechen, ist dieser Effekt ein Indikator für die angesprochenen Konzepte, nämlich Objekte, die in der Größe variieren und sich in verschiedenen Entfernungen vom Betrachter befinden.

Eine entscheidende Frage stellt sich danach, was man in Anlehnung an das Paradigma der visuellen Illusionen für motorische Handlungen erwarten kann, die anhand dieser zweidimensionalen Stimuli ausgeführt werden. Dazu gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten: Die Handlung kann sich (1) eher an der internen Bedeutung, d.h. an der dreidimensionalen Szene, oder (2) vorwiegend an der zweidimensionalen Strichzeichnung orientieren. In Anlehnung an die Existenz von perzeptuellen Effekten, die als Indikator einer dreidimensionalen Interpretation aufgefasst werden, und aufgrund der Vielzahl der Studien innerhalb des Paradigmas, die motorische Effekte aufweisen, ist vom ersten Fall auszugehen.

Auf dieser Basis ist für die Ponzo Illusion folgende Vermutung aufzustellen: Ein Beobachter nimmt die physikalisch gleich großen horizontalen Balken der Ponzo Illusion als unterschiedlich groß wahr. Beim Greifen nach den Balken sollte die Griffweite nun in Anlehnung an die wahrgenommene Größe skaliert sein (d.h. keine Dissoziation), die Amplituden der Sakkaden sollten sich hingegen für die beiden physikalisch gleich großen aber unterschiedlich groß wahrgenommenen Balken nicht unterscheiden (d.h. also Dissoziation). Mit anderen Worten: Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen verschiedener motorischer Handlungen erwartet man entweder eine Dissoziation oder eine Assoziation von Perzeption und Handlung. Die Entscheidungsregel des Paradigmas der visuellen Illusionen sollte nach dieser Sicht unbrauchbar sein. Die Existenz oder Nichtexistenz einer Dissoziation gibt keinen Aufschluss über die Existenz von einem oder zwei visuellen Systemen. Durch den theoretischen Rahmen, der durch die internalistische Sichtweise gegeben wird, verliert der Begriff *Dissoziation* somit seine Bedeutung, die er in der TVSH innehat.

Ganz analog würde man nun bei jedem Stimulus vorgehen. Bezogen auf die Ebbinghaus und die Müller-Lyer Illusion, die bisher am häufigsten untersucht wurden, lässt sich keine geeignete Vorhersage machen, da die angesprochenen Konzepte unklar sind. Dies bedeutet aber gleichzeitig, dass in Abhängigkeit der Illusion und/oder der verwendeten motorischen Maße prinzipiell alle möglichen Resultate (Dissoziation bzw. keine Dissoziation) erwartet werden können. In diesem Sinne müssen auch die bisherigen Resultate bewertet werden. Wenn nun die größte Zahl der Studien des PVI an nur sehr wenigen Illusionen (vornehmlich die Ebbinghaus und die Müller-Lyer Illusion)

vorgenommen wurde, so ist man vermutlich geneigt, aus diesen Ergebnissen Generalisierungen vorzunehmen. Wie die obige Argumentation nahelegt, ist dies jedoch nicht gerechtfertigt. Ohne die Kenntnis der internen Bedeutung kann eine solche Interpretation der Ergebnisse nicht vorgenommen werden.

### 3.3.3.3 Fazit über die TVSH

Zusammengefasst ergibt sich somit folgendes Bild für die TVSH: Als derzeit einflussreichster Ansatz im Bereich des Zusammenhangs zwischen Perzeption und Handlung basiert die Theorie auf dem Phänomen der Dissoziation von Perzeption und Handlung sowohl in klinischen als auch nichtklinischen Studien. Die Interpretationen aus diesen beiden Ansätzen sind dabei anzuzweifeln. Während die klinischen Studien in ihrer Phänomenologie sehr diffus erscheinen und die Kriterien einer Dissoziation nicht erfüllen, basieren die nichtklinischen Studien auf einem externalistisch geprägten Paradigma. Nach internalistischer Sicht hingegen wird sowohl die experimentelle Vorgehensweise als auch die Interpretation der Ergebnisse als nicht angemessen zurückgewiesen. Die Annahmen, die sich aus diesem internalistischem Bild ergeben, werden sich durch geeignete Fragestellungen und zugehörige Experimente überprüfen lassen müssen.

## 4 Zusammenfassung

Die Frage nach *dem* Zusammenhang zwischen Perzeption und Handlung wurde schon oft gestellt. Bei einer solch vagen Formulierung hat sicher jeder irgendeine Vorstellung davon, was gemeint sein könnte, ähnlich wie bei dem Begriff *Bewusstsein* oder auch bei der Frage nach dem *freien Willen*. Die Schwierigkeit ergibt sich, wenn man versucht, das Gemeinte untersuchbar und beschreibbar zu machen. Es zeigte sich im Laufe der Forschung an dieser Frage, wie unterschiedlich dieser Zusammenhang konzeptualisiert wurde.

Eine ganz entscheidende Frage kommt dabei natürlich den Sichtweisen über Perzeption auf der einen und Handlung auf der anderen Seite zu. Zu diesen Konzeptualisierungen gehören die theoretischen Vorstellungen und die dazugehörigen Analyseebenen, wie die (neuro-)physiologische oder die psychologische Ebene. In Kapitel 1 wurden zwei gegensätzliche Konzeptionen der Wahrnehmung vorgestellt: die externalistische und die internalistische Sichtweise.

Die externalistische Konzeption sieht es als Aufgabe der Wahrnehmung an, die Welt so zu repräsentieren, *wie sie ist*. Nach dieser Sicht ist Wahrnehmung eine Rekonstruktion der Außenwelt. Es ist auch diese Sicht, welche sich in der Alltagspsychologie wiederfindet und einige sehr einflussreiche Ansätze in der Wahrnehmungspsychologie hervorgebracht hat, wie Gibsons ökologischen Ansatz (1979) oder die *Feature Integration Theory* (FIT, Treisman & Gelade, 1980). Eng verbunden mit einer externalistischen Konzeption ist die Sichtweise über die so genannten visuellen Illusionen. Diese werden als Fehlwahrnehmung klassifiziert und damit von der *richtigen* Wahrnehmung abgegrenzt. Es ist keine Übertreibung, wenn man diese Ansicht als die dominierende im Bereich der Wahrnehmungspsychologie auffasst.

Im Gegensatz dazu wurde der internalistische Ansatz vorgestellt, der Wahrnehmung nicht als Rekonstruktion sondern als Konstruktion auffasst (Hoffman, 1998; Mausfeld, 2002). Demnach ist es die Aufgabe der Wahrnehmungspsychologie, die internen Konzeptstrukturen zu bestimmen, welche uns befähigen, die Welt so zu sehen, wie wir sie sehen. Eine Einteilung in richtige und falsche Wahrnehmung ist nach dieser Sicht nicht sinnvoll. Das Konzept der visuellen Illusionen hat daher in internalistischen Konzeptionen keine Bedeutung.

Am Beispiel der Adelson Illusion wurde demonstriert, dass externalistische Ansätze trotz einer vermeintlich einfachen Definition einer Wahrnehmungstäuschung (Kapitel 1.3) Schwierigkeiten haben, eine Wahrnehmung als illusorisch oder real einzustufen. Dies ist vor allem an das Vorhandensein einer *Theorie* über den fraglichen Sachverhalt geknüpft. Mit anderen Worten: Hat man eine Vorstellung, was gesehen werden soll, so spricht man von realer Wahrnehmung. Fehlt eine solche Vorstellung, wird in vielen Zusammenhängen von illusorischer Wahrnehmung gesprochen.

Bei den „Standardbeispielen“ der visuellen Illusionen, der Ebbinghaus, der Müller-Lyer oder der Ponzo Illusion handelt es sich um zweidimensionale Bilder. Während nach externalistischer Lesart perzeptuelle Effekte auf Wahrnehmungsfehler zurückgehen, drücken sie nach internalistischer Sicht *getriggerte* Konzepte aus. Die Aufgabe der Wahrnehmungspsychologie besteht demnach darin zu verstehen, wie das Alberti-Fenster anhand seiner Konzepte ausgewertet wird. Diese Konzepte umfassen möglicherweise *Objekte (mit Parametern wie Länge, Form, Farbe usw.) in einer dreidimensionalen Welt* (ebenfalls als internes Konzept zu verstehen). Während bei der Ebbinghaus oder der Müller-Lyer Illusion weitgehend Uneinigkeit über die *Bedeutung* (d.h. welche Konzepte angeregt werden) besteht, gibt es bei der Ponzo Illusion eine weitgehende Übereinstimmung über ihre Verursachung. Demnach ist die Illusion

Ausdruck einer interpretierten Tiefe, in der die horizontalen Linien an unterschiedlichen Stellen lokalisiert werden.

In Kapitel 3 wurde einleitend ein kurzer Überblick über historische Ansätze bei der Erforschung des Zusammenhangs von Perzeption und Handlung gegeben, bevor detaillierter auf die *Theory of Event Coding* (TEC, Hommel et al., 2001) und die *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) eingegangen wurde. Beide Ansätze sind ihrer Art nach externalistisch, ihre Herangehensweise an die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Perzeption und Handlung ist jedoch gänzlich verschieden. Während sich die TEC als ein *common-coding approach* versteht und eine gemeinsame Ebene von perzeptuellen und motorischen Kodierungen annimmt, stellt die TVSH einen *separate-coding approach* dar, nach dem die Ebenen der perzeptuellen und der motorischen Kodierungen zwar parallel, aber getrennt voneinander operieren. Während das perzeptuelle System allozentrisch arbeite, sei das motorische System egozentrisch organisiert.

Die TEC basiert mit ihren Annahmen zu einem großen Teil auf der *Feature Integration Theory* (FIT) und übernimmt damit die Annahmen einer unabhängigen Kodierung von *Features* wie Farbe, Form, Orientierung usw. Diese Annahmen werden in Anlehnung an die klassischen Paradigmen der FIT (z.B. visuelle Suche, illusorische Verbindungen) überprüft und aufrechterhalten. Anhand zweier Beispiele (Necker Würfel, Transparenzwahrnehmung) wurde die Annahme der unabhängigen Kodierung von Objektmerkmalen angezweifelt. Die experimentellen Paradigmen bei TEC lassen sich fast ausschließlich als assoziativ bezeichnen. Die verwendeten Stimuli weisen dabei ein oder mehrere zugeschriebene Objektmerkmale auf. Der Proband soll dann anhand einer vorher festgelegten Regel eine bestimmte motorische Handlung ausführen (z.B. rechten Knopf drücken, wenn grüner Kreis erscheint). Das größte Problem dieses Ansatzes beruht auf der Unspezifität der motorischen Handlung. Die Handlung ist nicht „direkt“ an das Objekt geknüpft, sondern an die durch den Versuchsleiter vorgegebene Regel. So hat dann auch die Handlung keine Bedeutung „als solche“. Ob ein Knopf gedrückt wird oder der Proband in die Hände klatscht, ist letztlich nicht entscheidend. So stellt sich schließlich die Frage, ob hier der Zusammenhang zwischen Perzeption und Handlung untersucht wird oder etwas gänzlich anderes, wie z.B. die Verarbeitungsgeschwindigkeit von assoziativen Lernregeln. Bemerkenswert ist vor allem die Sichtweise über die Verwendung von visuellen Illusionen als mögliche Stimuli für Experimente. Diese werden explizit nicht als zweckmäßig angesehen, um den Zusammenhang zwischen Perzeption und Motorik zu untersuchen. Es lässt sich für die TEC somit festhalten, dass es sich dabei um einen ambitionierten Ansatz handelt, der aufgrund der empirischen Daten und seiner theoretischen Grundlage nur wenig überzeugen kann.

Die *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) stellt den wohl zurzeit einflussreichsten und wichtigsten Ansatz über den Zusammenhang zwischen Perception und Handlung dar. Die große Bedeutung ergibt sich bei diesem Ansatz vor allem aus einer Fülle von verschiedenen Befunden. Die Grundannahme ist die parallele Verarbeitung visueller Informationen in zwei unterschiedlichen Systemen, einem visuell perceptuellen und einem visuell motorischen System, die unabhängig voneinander operieren sollen. Die Autoren nehmen an, dass perceptuelle Inhalte allozentrischer Natur sind (Objekte werden in Relation zueinander gesehen), während die Motorik auf eine egozentrische Kodierung angewiesen ist. Die physiologische Grundlage für diese Systeme stellen die dorsale (visuell-motorisches System) und die ventrale Bahn (visuell- perceptuelles System) dar. Die wichtigsten Argumente für ihre Annahmen beziehen sie aus klinischen Befunden an hirngeschädigten Patienten und aus einem experimentellen Paradigma, dem der visuellen Illusionen, welches mit hirngesunden Probanden durchgeführt wird.

Bei den klinischen Phänomenen handelt es sich um die visuelle Agnosie, die optische Ataxie und die Blindsight. Diese Phänomene sollen die Existenz einer Doppeldissoziation belegen. Für die visuelle Agnosie soll eine Unfähigkeit der Objekterkennung bei intakten motorischen Handlungen an diesen Objekten gelten, bei der optischen Ataxie hingegen soll die Motorik betroffen sein, der perceptuelle Eindruck jedoch nicht. Die Blindsight stellt ein Phänomen dar, bei dem die Betroffenen durch eine Läsion im Bereich des primären visuellen Kortex in Teilen des Gesichtsfeldes blind sind, sie jedoch teilweise adäquate motorische Reaktionen in diesen Teilen des Gesichtsfeldes zeigen.

Die Phänomenologie der Befunde lässt keine eindeutigen Schlüsse auf die Existenz einer Doppeldissoziation zu. Obwohl es relativ unzweifelhaft erscheint, dass zwei unterschiedliche *Outputsysteme* (perzeptueller und motorischer Output) existieren, wird durch die klinischen Befunde nicht zwangsläufig die Vorstellung unterstützt, dass es sich hierbei um Systeme handeln soll, die unabhängig voneinander die visuellen Informationen verarbeiten.

Eine besondere Bedeutung kommt daher dem Paradigma der visuellen Illusionen zu, bei dem an hirngesunden Probanden Dissoziationsphänomene gezeigt werden sollen. Es ist dieser Ansatz, der die TVSH so populär gemacht hat. In zahlreichen Studien wurde versucht, mit Hilfe dieses Paradigmas die Theorie zu belegen oder zu widerlegen. Die mit Abstand am häufigsten untersuchten Illusionen sind dabei die Ebbinghaus und die Müller-Lyer Illusion. Als abhängige motorische Maße wurden dabei oft Greif- oder Zeigebewegungen sowie Augenbewegungen untersucht. Innerhalb des Paradigmas der

visuellen Illusionen fanden sich in fast allen Studien zumindest kleine motorische Effekte. Diese scheinen insbesondere bei fehlendem visuellem Feedback während der Handlung (open-loop) stärker vorhanden zu sein. Dies wird vor allem durch die Möglichkeiten der Online-Korrektur (z.B. beim Greifen oder Zeigen; nicht jedoch bei Sakkaden, die ballistische Bewegungen sind) erklärt.

Für die Interpretation der Ergebnisse innerhalb dieses Paradigmas ergibt sich jedoch ein erheblicher Unterschied, wenn man eine externalistische oder eine internalistische Konzeption zugrunde legt. Die TVSH erweist sich als externalistischer Ansatz, bei dem reale und illusorische Wahrnehmungen sinnvoll voneinander abgegrenzt werden können. Auf dieser Unterscheidung basiert das experimentelle Paradigma und die Entscheidungsregel, nach der bei Vorliegen einer Dissoziation auf zwei Systeme, bei Nichtvorhandensein einer Dissoziation auf ein System geschlossen wird.

Nach internalistischer Konzeption wird das bisherige Vorgehen zur Überprüfung der TVSH als nicht angemessen zurückgewiesen. Eine Unterscheidung von illusorischen und nichtillusorischen Wahrnehmungen ist nach internalistischer Sicht nicht sinnvoll. Stattdessen wird auf die interne Bedeutung verwiesen, welche durch die verwendeten Stimuli angeregt werden. Perzeptuelle Effekte werden entsprechend dieser Sicht als Indikatoren für die angesprochenen Konzepte verstanden. Motorische Effekte sind ebenfalls im Sinne der Funktion der jeweiligen Handlung anzusehen. Ob diese Annahmen gerechtfertigt sind, wird in dieser Arbeit durch entsprechende Fragestellungen und experimentelle Überprüfungen untersucht.

# EXPERIMENTELLER TEIL

## 5 Fragestellung

Die bisherige Darstellung der Ansätze zur Erforschung des Zusammenhangs zwischen Perzeption und Motorik sollte deutlich gemacht haben, dass es *den Zusammenhang* als solchen nicht gibt. Zu unterschiedlich sind die inhaltlichen Bedeutungen, die unter dieser Rubrik zusammengefasst werden. Durch die Gegenüberstellung zweier zurzeit sehr prominenter und gleichzeitig umfassender Ansätze, nämlich der *Theory of Event Coding* (TEC) und der *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH) ist zudem ersichtlich, wie unterschiedlich die experimentellen Paradigmen für diese Ansätze ausfallen. Ein besonderer Vorteil der TVSH gegenüber der TEC ist die Spezifität der motorischen Handlung. Die TEC offenbart bei der Wahl der motorischen Handlung eine gewisse Beliebigkeit, die im Wesentlichen nichts mit den Eigenschaften des Objekts zu tun hat. Die Interpretation der Ergebnisse ist durch die Verwendung des assoziativen Paradigmas erschwert, welches auf dem Erwerb von Regelwissen basiert. Die TVSH hingegen untersucht motorische Handlungen, die sich auf das Objekt selbst beziehen, wobei beispielsweise die Größe, Schwere oder auch Form des Objekts relevant ist. Üblicherweise basieren die Paradigmen nur auf *einer* Regel, so dass Unterschiede für verschiedene getestete Bedingungen nicht auf die Verwendung unterschiedlicher Regeln zurückführbar sind.

Erweist sich dies als Stärke der TVSH, ist die Anbindung an die visuellen Illusionen aus internalistischer Sicht als Schwäche zu bezeichnen. Dies hat, wie oben dargestellt, Konsequenzen für die Interpretation der Ergebnisse. Ob die Kritik aus dieser internalistischen Perspektive gerechtfertigt ist und ob die Anwendung dieser Ideen auf die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Perzeption und Handlung sinnvoll ist, wird sich anhand der Fragestellungen und ihrer begleitenden experimentellen Überprüfungen im Folgenden zeigen lassen. Die Überlegungen zu einer „realen, dreidimensionalen Szene“, in der sich verschieden große Balken in unterschiedlicher Entfernung von einem Beobachter befinden, wurden anhand eines Gedankenspiels im vorherigen Kapitel besprochen. Je nach verwendetem motorischen Maß sollte sich eine Assoziation beim Greifen (max. Griffapertur) bzw. eine Dissoziation für Sakkaden (beim Blick von einem Ende der Figur zum anderen Ende) von der wahrgenommenen Größe ergeben. Es stellt sich nun die Frage, ob die Erwartungen einer internalistischen Sicht sich auch auf die Situationen übertragen lassen, die von der TVSH als Sonderfall

für den Nachweis der Dissoziation von Perzeption und Handlung benutzt werden, nämlich die Verwendung zweidimensionaler „illusorischer“ Stimuli.

Die Entscheidungsregel im Paradigma der visuellen Illusionen basiert auf dem Vergleich von perzeptuellen und motorischen Effekten, von dem auf die Existenz zweier Systeme (bei Dissoziation), bzw. auf ein System (bei Assoziation) geschlossen wird. Dieses Vorgehen wird nach internalistischer Konzeption bezweifelt. Nach dieser Ansicht sollten die perzeptuellen und motorischen Effekte auf den angesprochenen Konzepten beruhen. Daher sollte es keine Standardregel geben, nach der perzeptuelle und motorische Effekte in Beziehung gesetzt werden können. Es ist die interne Bedeutung, die unterschiedliche Ergebnisse erwarten lässt. Nun gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten, um diese Annahme zu stützen und damit gleichzeitig die Entscheidungsregel des Paradigmas der visuellen Illusionen zu invalidieren. Diese Möglichkeiten ergeben sich anhand folgender Fragen:

*Sind für dasselbe motorische Maß unter Verwendung unterschiedlicher Illusionen sowohl Dissoziationen als auch Nichtdissoziationen (Assoziationen) von motorischen und perzeptuellen Effekten nachweisbar?*

*Darüber hinaus soll der Frage nachgegangen werden, ob sich für verschiedene motorische Maße unter Verwendung derselben Illusion sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen von motorischen und perzeptuellen Effekten belegen lassen.*

Bei Bestätigung dieser Fragen würde die Entscheidungsregel des Paradigmas der visuellen Illusionen ihre Gültigkeit verlieren, denn dies würde zum einen gegen die Argumentation sprechen, dass ein bestimmtes motorisches Maß resistent oder sensibel für eine Illusion ist und zum anderen der Argumentation zuwiderlaufen, dass eine bestimmte Illusion immer eine bestimmte motorische Antwort hervorruft.

Die Invalidierung des Paradigmas der visuellen Illusionen würde sogar ohne die Argumentation nach der internen Bedeutung gelten, denn nach der Grundidee des Paradigmas ist sowohl die Wahl der Illusion als auch die Wahl der motorischen Handlung ohne Bedeutung. Das einzige Kriterium für die Wahl der abhängigen Variablen ergibt sich aus der prinzipiellen Vergleichbarkeit von perzeptuellen und motorischen Effekten, wie etwa eine Längenschätzung (perzeptuell) mit Griffweiten beim Präzisionsgriff (motorisch).

Nach der Kritik am PVI durch eine internalistische Perspektive reicht es jedoch nicht aus, lediglich das Paradigma zu entkräften.



*Es bedarf der Überprüfung, ob sich die von einer internalistischen Perspektive angenommenen unterschiedlichen motorischen Effekte aus den Annahmen über die interne Bedeutung vorhersagen lassen.*

Hierbei könnte sich die Wahrnehmung des Probanden über die durch den Stimulus angesprochenen internen Konzepte als ein wichtiger Faktor erweisen. Zur Verdeutlichung dieses Punktes sei noch einmal an das Gedankenspiel zur „realen, dreidimensionalen“ Szene erinnert. Es wurde argumentiert, dass die Ponzo Illusion als zweidimensionale Projektion der dreidimensionalen Szene verstanden werden kann. In der Standardversion der Ponzo Illusion (siehe Abb. 3.6) hat ein Betrachter jedoch üblicherweise keinen wahrgenommenen Tiefeneindruck. Der gemessene perzeptuelle Effekt stellt sich somit aus internalistischer Lesart als Ausdruck einer interpretierten Tiefe ohne einen *bewussten Eindruck* dieser Tiefe dar. Fügt man hingegen weitere konvergierende Linien oder farbliche Abstufungen hinzu (siehe Abb. 7.1), so wird der Beobachter angeben, einen Tiefeneindruck zu haben. Er wird berichten, eine dreidimensionale Szene zu sehen, die zweidimensional gezeichnet ist.

*Es drängt sich die Frage auf, ob der motorische Effekt von dem bewussten oder unbewussten Eindruck über die interne Bedeutung der Szene abhängt.*

Anhand der bisherigen Befunde ergibt sich hierfür kein eindeutiges Bild. Aus der Existenz perzeptueller Effekte, wie etwa bei der Müller-Lyer- oder der Ebbinghaus Illusion, kann geschlossen werden, dass sich die angesprochenen internen Konzepte auf perzeptueller Ebene auswirken, auch ohne einen bewussten Eindruck des Beobachters über die interne Bedeutung. Außerdem wurden, wie in Kapitel 3.3.2 erläutert, in zahlreichen Studien motorische Effekte gefunden, bei denen ebenfalls kein bewusster Eindruck über die interne Szene besteht.

Ein Gegenargument ergibt sich aus den bisherigen Studien zur Ponzo Illusion (siehe Kapitel 3.3.2.3). In diesen wurden keine motorischen Effekte (Messung der maximalen Griffapertur) nachgewiesen. Nach internalistischer Interpretation sollte die Griffweite allerdings in Abhängigkeit von der interpretierten dreidimensionalen Objektgröße variieren. Die bisherigen Studien weisen allerdings zwei wichtige Einschränkungen auf, nämlich: (1) Die perzeptuellen Effekte waren sehr klein, so dass motorische Effekte schwer nachweisbar waren. (2) Das Greifen erfolgte in allen Studien unter closed-loop (d.h. bei voller Sicht) Bedingungen. Eine Ausnahme bildete die Studie von Bartelt und Darling (2002), die eine pantomimische Bedingung ohne Sicht untersuchten. Wie sich jedoch in mehreren Studien gezeigt hat, fallen motorische Effekte für das Greifen unter closed-loop Bedingungen deutlich kleiner aus (Daprati & Gentilucci, 1997; Otto-de

Haart, Carey & Milne, 1999). Dies erklärt man vor allem mit der Möglichkeit der Onlinekontrolle der Griffweite durch das visuelle Feedback. Auch hier stellt sich also die Frage nach geeigneten Bedingungen, um die motorische Handlung zu untersuchen, d.h. in diesem Fall das Greifen mit einem Präzisionsgriff.

Sollten sich die hier gemachten Annahmen bestätigen, so würde dies gegen das *Standardvorgehen* im Paradigma der visuellen Illusionen sprechen. Die Entscheidung für oder gegen die Existenz zweier unabhängiger visueller Systeme wäre nicht mit einem solchen Paradigma zu treffen. Darüber hinaus wäre dies ein starkes Argument für eine sinnvolle Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Perzeption und Handlung mittels interner Konzepte, die sich aus einer internalistischen Sichtweise ergeben. Statt also von zwei unabhängig voneinander operierenden Systemen auszugehen, die visuelle Informationen durch *unterschiedliche interne Konzeptionalisierungen* (allozentrisch versus egozentrisch) verarbeiten, würde man zwar von verschiedenen Systemen (perzeptuell versus motorisch) ausgehen, die aber aufgrund *derselben angesprochenen Konzepte* zu funktionell angepasstem und spezifischem Output gelangen. Dieser Output drückt sich unter Verwendung der so genannten visuellen Illusionen durch perzeptuelle und motorische Effekte aus. Nach internalistischer Lesart stellen die zweidimensionalen Illusionen nichts anderes als minimale Reize dar, die interne Konzepte anregen.

Letztlich würde die Bestätigung dieser Annahmen auch zu einem veränderten theoretischen Verständnis der Phänomene Dissoziation bzw. Assoziation führen. Diese Begriffe würden ihre bisher zugeschriebene Bedeutung durch den alternativen theoretischen Rahmen verlieren, der mit der internalistische Sicht gegeben wäre.

## 5.1 Inhaltliche Hypothesen

### *Vorausgehende Anmerkungen*

Die folgenden Hypothesen beziehen sich auf die Verwendung *visueller Illusionen*. Diese sind hier als zweidimensionale Stimuli zu verstehen, bei denen man perzeptuelle Effekte messen kann. Der Begriff *Illusion* soll dabei in keinster Weise so verstanden werden, dass er eine Abgrenzung zur *Realität* darstellt (siehe Kapitel 1.3). Er ist für den weiteren Gebrauch lediglich als zweckmäßig anzusehen.

Unter dem *perzeptuellen Effekt* (im PVI) wird der wahrgenommene Größenunterschied bei Darbietung physikalisch gleich großer Objekte verstanden. Im PVI wird dies durch die Verwendung von visuellen Illusionen erreicht. Es wurden vier Methoden des perzeptuellen Abgleichs vorgestellt (Kapitel 3.3.3.1), von denen zwei als *Direkte* und

zwei als *Indirekte* bezeichnet wurden. Je nachdem, welches Verfahren man verwendet, sind entsprechend unterschiedliche perzeptuelle Effekte zu erwarten. Für die Vergleichbarkeit mit motorischen Effekten sollte gewährleistet sein, dass eine gemeinsame Referenz (u.a. in Form einer „neutralen“ Figur) bestimmt werden kann.

Der *motorische Effekt* (im PVI) gibt den Unterschied zwischen motorischen Maßen an, die unter Verwendung des gleichen Objektes gemessen werden. Im PVI werden motorische Effekte durch Verwendung von visuellen Illusionen erzeugt. Der motorische Effekt kann analog zum perzeptuellen Effekt als ein absolutes und als ein prozentuales Maß ausgedrückt werden.

Unter einer *Dissoziation* ist der Unterschied zwischen den Größen der perzeptuellen und motorischen Effekte zu verstehen. Sind diese gleichgroß, spricht man von *Assoziation*.

**Hypothese 1:**

Für dasselbe motorische Maß lassen sich unter Verwendung unterschiedlicher Illusionen sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen von Perzeption und Handlung nachweisen.

**Hypothese 2:**

Für unterschiedliche motorische Maße lassen sich unter Verwendung derselben Illusion sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen von Perzeption und Handlung belegen.

**Hypothese 3:**

Dissoziationen oder Assoziationen von Perzeption und Handlung treten nicht willkürlich auf. Unterschiedliche motorische Effekte lassen sich mit Hilfe der Annahme der internen Bedeutung, die durch den Stimulus angeregt wird, vorhersagen. Die Handlung orientiert sich somit (zumindest in gewissen Grenzen) an einer dreidimensionalen Szeneninterpretation, auch wenn die verwendeten Stimuli zweidimensional sind.

**Hypothese 4:**

Es ist für das Ergebnis der Handlung unerheblich, ob ein bewusster Eindruck von den angesprochenen Konzepten vorhanden ist oder nicht.

## 5.2 Übersicht über die Studien

In dieser Arbeit werden fünf Studien durchgeführt. Diese sollen in der Kombination zur Beantwortung der oben formulierten Hypothesen führen. In den *Studien 1 und 2* wird es um den Vergleich desselben motorischen Maßes unter Verwendung unterschiedlicher Illusionen gehen. Ziel dieser Studien ist es festzustellen, ob sich für dasselbe motorische Maß sowohl eine Dissoziation als auch eine Assoziation zur Perzeption zeigen lässt. Bei dem motorischen Maß handelt es sich um die Amplituden von Sakkaden (siehe Kapitel 2.1). In *Studie 1* wird die Müller-Lyer Illusion, in *Studie 2* eine selbst entworfene Illusion verwendet, die im Folgenden als Steg Illusion bezeichnet wird. Diese wurde in Anlehnung an die Ponzo Illusion geschaffen. Ein Beobachter hat bei Betrachtung der Illusion den Eindruck, auf eine dreidimensionale Szene zu blicken, die als zweidimensionales Monitorbild vorliegt.

In *Studie 3* werden Sakkaden an der Ponzo Illusion untersucht. Bei der Ponzo Illusion hat der Betrachter im Gegensatz zur Steg Illusion keinen bewussten Eindruck einer dreidimensionalen Szene. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass beide Illusionen auf einer dreidimensionalen Tiefeninterpretation basieren. Durch den Vergleich von *Studie 2* (Sakkaden an der Steg Illusion) zu *Studie 3* (Sakkaden an der Ponzo Illusion) soll daher überprüft werden, ob sich die motorischen Handlungen in Abhängigkeit von wahrgenommener Tiefe bzw. nicht wahrgenommener Tiefe voneinander unterscheiden. Diese Studie ist ebenfalls wichtig im Sinne einer Kontrollbedingung für den Vergleich von *Studie 1* (Sakkaden an der Müller-Lyer Illusion) und *Studie 2* (Sakkaden an der Steg Illusion). Während die Müller-Lyer Illusion in ihrer Bedeutung ungeklärt ist und in der Regel auch bei einem Betrachter keine besondere Interpretation hervorruft (wie z.B. eine wahrgenommene Tiefe), so hat der Betrachter bei der Steg Illusion sehr wohl einen wahrgenommenen Eindruck über die Bedeutung der Szene. Unterschiede in den motorischen Maßen könnten daher auf diesem Unterschied beruhen.

Bei der *Studie 4* handelt es sich um ein Kontrollexperiment. Es soll dem Einwand entgegenwirken, dass mögliche Unterschiede zwischen gefundenen Effekten an der Müller-Lyer Illusion und der Ponzo Illusion auf die unterschiedliche räumliche Ausdehnung der Illusionen zurückzuführen sein könnten.

In *Studie 5* werden schließlich Greifhandlungen an der Ponzo Illusion untersucht. Der Handelnde soll Greif- und Zeigebewegungen durchführen. Durch den Vergleich mit *Studie 3* (Sakkaden an der Ponzo Illusion) soll so die Hypothese untersucht werden, ob unterschiedliche motorische Maße an derselben Illusion zu unterschiedlichen motorischen Effekten führen können. Als Vorhersage für Dissoziationen oder

Assoziationen dienen die Annahmen über die interne Bedeutung der Szene und die Annahmen über die Funktion der jeweiligen Handlung in diesem Kontext.

## 6 Studie 1: Die Müller-Lyer Illusion

Wie in Kapitel 3.3.2.2 dargestellt, wurde die Müller-Lyer Illusion bereits in zahlreichen Studien im PVI untersucht. Zu den untersuchten motorischen Maßen gehörten dabei Zeige- und Greifbewegungen sowie Sakkaden. Fast alle Studien konnten dabei motorische Effekte für diese Maße nachweisen. Für Zeige- und Greifbewegungen zeigte sich die Tendenz zu größeren motorischen Effekten unter open-loop (ohne Sicht) Bedingungen während der Handlung. Für Sakkaden ist dies nicht weiter bedeutsam, da die Sakkade als ballistische Bewegung unbeeinflusst davon ist, ob während der Bewegung, die ohnehin sehr kurz ist, das Licht gelöscht wird oder nicht. Voraussetzung für genaue Messungen sind allerdings Systeme mit einer guten zeitlichen Auflösung, die nicht unter 60 Hertz liegen sollten (Sprenger, Rottach & Heide, 2000), damit ggf. auftretende Korrektursakkaden von den primären Sakkaden unterschieden werden können. Bei zu geringer zeitlicher Auflösung könnte anderenfalls das Ziel der Korrektursakkade mit dem Ziel der primären Sakkade verwechselt werden.

Die Müller-Lyer Illusion ist nun für diese Studie interessant, da schon zahlreiche Studien an ihr durchgeführt wurden und damit die Existenz von motorischen Effekten bei dieser Illusion relativ gut (mit Einschränkungen, siehe *center of gravity* Effekt unten) etabliert ist. Da nach internalistischer Konzeption eine genau gegensätzliche Vorhersage für den motorischen Effekt getroffen wird (Dissoziation), wenn die Steg Illusion verwendet wird (siehe *Studie 2*), sollen Sakkaden anhand dieser beiden Illusionen miteinander verglichen werden. Um eine größtmögliche Vergleichbarkeit zwischen diesen Bedingungen zu erzielen, soll auch die Müller-Lyer Illusion in dieser Studie anhand vergleichbarer Bedingungen zu *Studie 2* untersucht werden.

*Studie 1* teilt sich in zwei Experimente. In Experiment 1 wird die Größe der perzeptuellen Effekte für die vier Methoden (*Direkte* und *Indirekte*) gemessen. In Experiment 2 werden die Amplituden von Sakkaden an der Müller-Lyer Illusion bestimmt. Durch den Vergleich der perzeptuellen und motorischen Effekte sollte sich erwartungsgemäß eine Assoziation zwischen Perzeption und Handlung zeigen lassen.

## 6.1 Experiment 1: Perzeptueller Längenabgleich

### 6.1.1 Methode

#### Versuchspersonen

An der Studie nahmen neun Probanden teil. Da für einen der Probanden keine geeignete Datenaufzeichnung im nachfolgenden Experiment 2 gelang, wurde dieser aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Von den acht verbliebenen Probanden waren sechs naiv hinsichtlich der Fragestellung. Es handelte sich bei ihnen um Psychologiestudenten im Grundstudium der Universität Kiel. Durch die Teilnahme an den Experimenten erwarben die Studenten so genannte „Versuchspersonenstunden“. Diese werden benötigt, um für die Zwischenprüfung (Vordiplom) zugelassen zu werden. Eine Bezahlung erhielten sie nicht. Bei den anderen beiden Probanden handelt es sich um einen der Betreuer der Arbeit (JK) und um den Autor selbst (RG). Die Teilnahme am Experiment trotz des Wissens um die Hypothesen ist ein allgemein praktiziertes Verfahren in Studien der Psychophysik. Sofern die Probanden eine Sehhilfe benötigten, konnte diese verwendet werden. Bei dem von der Studie ausgeschlossenen Probanden erwies sich das Tragen von Kontaktlinsen als hinderlich für die Aufnahme der Daten. Bei zwei anderen Probanden mit Kontaktlinsen gab es hingegen keine Probleme bei der Datenaufzeichnung.

#### Versuchsdesign

Es werden zwei unabhängige Variablen unterschieden: (1) Kombinationen (d.h. gleichzeitige Präsentation) unterschiedlicher Konfigurationen der Müller-Lyer Figuren. (2) Die Größe der Müller-Lyer Figuren.

#### *UV Kombinationen*

Die Müller-Lyer Illusion besteht in der Standardversion aus der *Arrow-Out-* und der *Arrow-In-Figur*. Der horizontale Balken der *Arrow-Out-Figur* wirkt auf einen Betrachter größer als der Balken in der *Arrow-In-Figur*, obwohl die horizontalen Balken physikalisch gleich groß sind. Eine *Neutral-Figur* wird durch einen horizontalen Balken gebildet, der senkrechte Begrenzungen aufweist (Abb. 6.1).

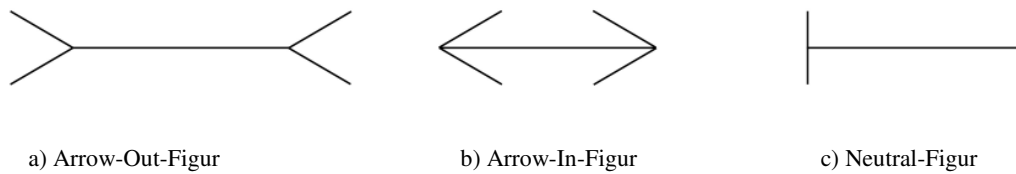


Abb. 6.1: Die drei Konfigurationen der Müller-Lyer Figur. Die horizontalen Balken weisen alle die gleiche Länge auf. In der Regel wird ein Beobachter aber berichten, der Balken der *Arrow-Out-Figur* sei größer als der Balken der *Arrow-In-Figur*. Die *Neutral-Figur* hingegen wird in der Größe als „zwischen den anderen beiden Bedingungen liegend“ beurteilt. Die *Neutral-Figur* gehört „klassischerweise“ nicht zur Müller-Lyer Figur. In dieser Studie wird jedoch, wenn die Rede von „den drei Müller-Lyer Figuren“ die Rede ist, die *Neutral-Figur* als eine dieser drei behandelt.

In der wahrgenommenen Größe sollte diese *Neutral-Figur* zwischen den beiden anderen liegen (Franz et al., 2001). Sie darf nach internalistischer Konzeption jedoch nicht als „richtige“ Wahrnehmung missverstanden werden. Den Probanden werden immer zwei dieser drei Figuren gleichzeitig präsentiert. Eine der beiden Figuren wird dann perzeptuell an die andere Figur angepasst (siehe AV Längenadjustierung). Dies entspricht formal einem multivariatem Versuchsdesign, bei dem jeweils drei *Zielfiguren* (Größe adjustierbar) an drei *Quellfiguren* (Größe unveränderbar) angepasst werden. Dieses multivariate Design wird für die spätere statistische Auswertung univariat betrachtet. Daraus ergeben sich neun Stufen für den Faktor *Kombinationen* (Abb. 6.2).

Der Abgleich identischer *Ziel-* und *Quellfiguren* dient dabei zur Bestimmung der Steigung, die den Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen Größe und der tatsächlichen Größe eines Objektes beschreibt. Es kann nicht vorausgesetzt werden, dass sich die Steigungen für die drei Müller-Lyer Figuren gleichen. Die Steigung wird schließlich benutzt werden, um die Korrekturen der perzeptuellen Effekte zu ermöglichen.

Der Vergleich unterschiedlicher *Ziel-* und *Quellfiguren* kann genutzt werden, um den perzeptuellen Effekt zu bestimmen. Dies kann prinzipiell auf vier unterschiedliche Arten geschehen, von denen zwei als *Direkte-* und zwei als *Indirekte Methoden* bezeichnet werden:

- (1) *Klein an Groß (Direkter Vergleich)*: Die *Arrow-In-Figur* wird an die *Arrow-Out-Figur* adjustiert.
- (2) *Groß an Klein (Direkter Vergleich)*: Die *Arrow-Out-Figur* wird an die *Arrow-In-Figur* adjustiert.

(3) *Traditioneller Indirekter Vergleich*: Die *Neutral-Figur* wird an die *Arrow-In-* und an die *Arrow-Out-Figur* adjustiert. Die resultierenden Effekte werden addiert.

(4) *Umgekehrter Indirekter Vergleich*: Die *Arrow-Out-* und die *Arrow-In-Figuren* werden an die *Neutral-Figur* adjustiert. Die resultierenden Effekte werden addiert.

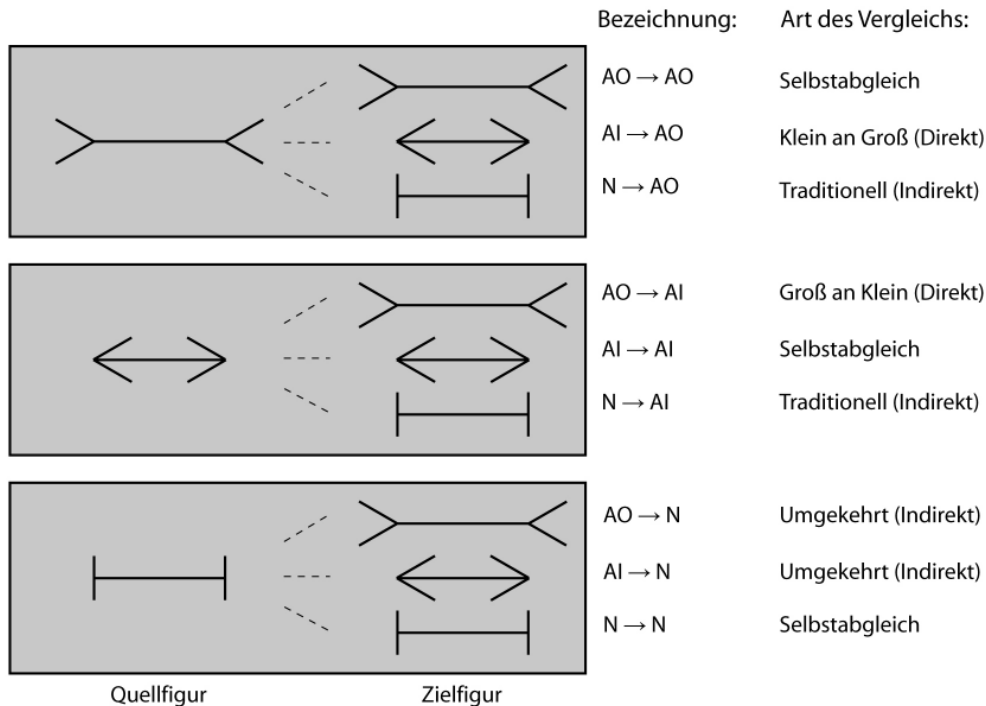


Abb. 6.2: Die Kombinationen der Müller-Lyer Figuren. Es werden immer eine *Quellfigur* und eine *Zielfigur* präsentiert. Die *Zielfigur* wird dann perceptuell so an die *Quellfigur* angepasst, dass die horizontalen Balken gleich groß erscheinen (siehe AV Längenadjustierung). Die Art des Vergleichs gibt an, um welche Methode des Abgleichs es sich handelt. Für die Bestimmung des perceptuellen Effektes mit Hilfe der *Indirekten Methoden* müssen die jeweiligen Teileffekte dieser Vergleiche addiert werden. Abk. der Bezeichnung: AO = Arrow-Out; AI = Arrow-In; N = Neutral; → = Adjustiert an. Bsp.: AI → AO bedeutet, dass eine *Arrow-In-Zielfigur* an eine *Arrow-Out-Quellfigur* adjustiert wird.

Prinzipiell würde es nach den oben gegebenen Erläuterungen ausreichen, den *Traditionellen Indirekten Vergleich* durchzuführen, um den perceptuellen Effekt zu bestimmen. Wie nun bereits mehrfach betont, gibt es *den* perceptuellen Effekt aber nicht. Man kann bzw. muss für die verschiedenen Vergleiche unterschiedliche Ergebnisse dieser Effekte annehmen. Es bedarf des Hinweises, dass diese Unterschiede bei den zu erwartenden Effekten relativ klein ausfallen sollten. Die Verwendung der Müller-Lyer Illusion bietet nun gewissermaßen an, die angestellten Überlegungen zu den verschiedenen Vergleichen zu überprüfen. Insbesondere ist dabei die Frage von Interesse, ob sich die Effekte für die *Direkten-* und *Indirekten Methoden* voneinander so unterscheiden, wie Franz et al. (2000) es in ihrer Studie gefunden haben. Diese Autoren



ermittelten kleinere Effekte für die *Traditionelle Indirekte Methode* im Vergleich zur *Direkten Methode (Klein an Groß)*, was sie als Beleg dafür werten, für motorische Vergleiche diese traditionelle Methode zu verwenden, da sie vergleichbarer mit den Anforderungen motorischer Aufgaben sei. Demnach weist die *Indirekte Methode* lediglich eine illusorische Figur auf (die so genannte *Neutral-Figur* wird externalistisch als eine „neutrale“ Figur verstanden, bei der keine illusorische „Verzerrung“ vorhanden ist). Bei einer motorischen Aufgabe wird meist nur eine illusorische Bedingung präsentiert bzw. liegt im Fokus des Betrachters. Abweichend von dieser Argumentation wird hier von einem fairen Vergleich ausgegangen, wenn auch für die motorischen Messungen die Referenz der perzeptuellen Messungen (d.h. die *Neutral-Figur* bei den *Indirekten Methoden*) in die Berechnungen einbezogen wird. Aus diesem Grund sollen zunächst die perzeptuellen Effekte für die vier Vergleiche bestimmt werden, um einen Anhaltspunkt dafür zu bekommen, wie stark sich diese Effekte voneinander unterscheiden.

Schließlich wird es durch den perzeptuellen Abgleich der *Arrow-Out-* und *Arrow-In-Figuren* möglich sein, im nachfolgenden Experiment anhand von Sakkaden an den Figuren der Müller-Lyer Illusion zu überprüfen, ob ein *center of gravity* Effekt existiert (weitere Erläuterungen hierzu siehe Experiment 2 dieser Studie) und welche Größe dieser ggf. aufweist.

#### *UV Größe*

Unter der Größe einer Müller-Lyer Figur wird hier die Länge der horizontalen Balken einer Figur verstanden und nicht ihre tatsächliche Ausdehnung. Diese ist bei der *Arrow-Out-Figur* größer. Es sollen zwei Stufen unterschieden werden: (1) 4 cm Balkenlänge der *Quellfigur* und (2) 6 cm Balkenlänge der *Quellfigur*. Die Größe der Müller-Lyer Figuren wird zum einen zur Verminderung von Gewöhnungseffekten variiert, zum anderen wird sie benötigt, um die Steigung für den Zusammenhang der physikalischen Größe der Objekte mit den adjustierten Größen zu bestimmen. Dadurch wird es möglich, die unterschiedlichen perzeptuellen Effekte der beiden *Direkten-* und der beiden *Indirekten Vergleiche* an diesen Steigungen zu korrigieren.

#### *AV Längenadjustierung*

Als abhängige Variable dient die eingestellte Länge, die bei perzeptueller Gleichheit der präsentierten Müller-Lyer Figuren für die *Zielfigur* im Abgleich zur *Quellfigur* eingestellt wird. Dieser Abgleich dient somit der Messung des perzeptuellen Effekts.

Die Frage nach einer passenden Art der Messung zur Bestimmung des perzeptuellen Effekts, der durchgeführt werden sollte, ist keinesfalls einfach zu beantworten. In einem als klassisch zu bezeichnendem Artikel von Coren und Girgus (1972) wurden fünf Methoden der Messung perzeptueller Effekte anhand der Müller-Lyer und der Ebbinghaus Illusion unterschieden und miteinander verglichen. Die Methoden umfassten: (1) Die Methode der Adjustierung, (2) die Reproduktionsmethode, (3) die abgestufte Serienmethode, (4) die Beurteilungsmethode und (5) die Längenschätzmethode. Da die Probanden nur ein Urteil pro getesteter Bedingung abgaben und die Möglichkeiten der Testung nicht zuletzt durch den Einsatz von Computern einem enormen Wandel unterlagen, sind ihre Ergebnisse aus heutiger Sicht nur bedingt nutzbar. Wie in Kapitel 3.3.2 dargestellt, haben sich vor allem zwei Arten der Messung perzeptueller Effekte bei der Überprüfung der TVSH etabliert, nämlich eine manuelle Messung und die Methode der Adjustierung. Bei der manuellen Messung hat der Proband die Aufgabe, die wahrgenommene Länge der Figur durch den Abstand von Daumen und Zeigefinger anzuzeigen (Haffenden & Goodale, 1998; Otto-de Haart et al., 1999). Dies geschieht üblicherweise ohne Sicht auf die Hand. Bei der Methode der Adjustierung werden in der Regel eine *Quellfigur* (Größe nicht veränderbar) und eine *Zielfigur* (Größe adjustierbar) präsentiert. Die *Zielfigur* wird auf die gleiche wahrgenommene Länge eingestellt. Diese Einstellung der Länge erfolgt vorzugsweise an einem Computer, an dem mittels Tastatur die Länge der *Zielfigur* variiert werden kann. Franz (2003a) konnte zeigen, dass die manuelle Methode häufig zu deutlich größeren perzeptuellen Effekten führt als die Methode der Adjustierung. Trägt man die gemessenen perzeptuellen Größen gegen die tatsächlichen Größen auf, so zeigt sich für die manuelle Methode eine Steigung, die deutlich  $> 1,0$  beträgt, so dass die Größe eher überschätzt wird. Für die Adjustierung hingegen ergeben sich üblicherweise Steigungen nahe 1,0, also eine Größenschätzung, die der tatsächlichen Größe annähernd entspricht. Vergleicht man perzeptuelle und motorische Effekte miteinander, wird die manuelle Methode eher zu einer Interpretation einer Dissoziation von Perzeption und Handlung anregen, sofern die Steigung des motorischen Maßes ebenfalls nahe 1,0 liegt und wenn keine entsprechende Korrektur bezüglich der Steigungen durchgeführt wird.

In Anlehnung an Franz et al. (2000) wird für die Messung des perzeptuellen Effektes ebenfalls die Methode der Adjustierung verwendet. Im Gegensatz zu Franz und Kollegen, die nur sehr wenige Wiederholungen pro getesteter Bedingung für diesen Abgleich verwendet haben, sollen in der vorliegenden Studie diese deutlich erhöht werden, um die Wirkung möglicher *Ausreißer* bei der Messung der perzeptuellen Effekte abzumildern. Die so erhaltenen Ergebnisse sollen ein zuverlässiges Maß für die perzeptuellen Effekte ergeben.

*Versuchsbedingungen*

Durch die Kreuzung aller Stufen über alle Faktoren ergeben sich folgende Bedingungen:

*Kombinationen* (9 Stufen) x *Größe* (2 Stufen) = 18 Bedingungen

Jede Bedingung soll acht Mal durchgeführt werden. Daraus ergeben sich insgesamt 144 Adjustierungen für jeden Probanden. Diese Adjustierungen werden in zwei Blöcken durchgeführt, in denen die Bedingungen vollständig randomisiert dargeboten werden.

**Material**

Das Experiment wurde im Labor „Jeannerod“ des Physiologischen Instituts der Universität Kiel durchgeführt. Die Stimuli wurden auf einem 17-Zoll-Monitor (Vidoseven V7L17A, 1024x768 räumliche Auflösung, 85 Hz zeitliche Auflösung; Steuerrechner HP Compaq nx8220 (Intel Pentium M, 1.86 GHz)) dargeboten.

Über eine Tastatur konnten die Längen der Zielstimuli eingestellt und der nächste Durchgang gestartet werden. Die Software für die Stimuluspräsentation und Datenaufzeichnung wurde selbst geschrieben (C++, OpenGL). Die Beobachtungsdistanz betrug 55 cm. Abbildung 6.3 zeigt schematisch die Anordnung der Stimuli.

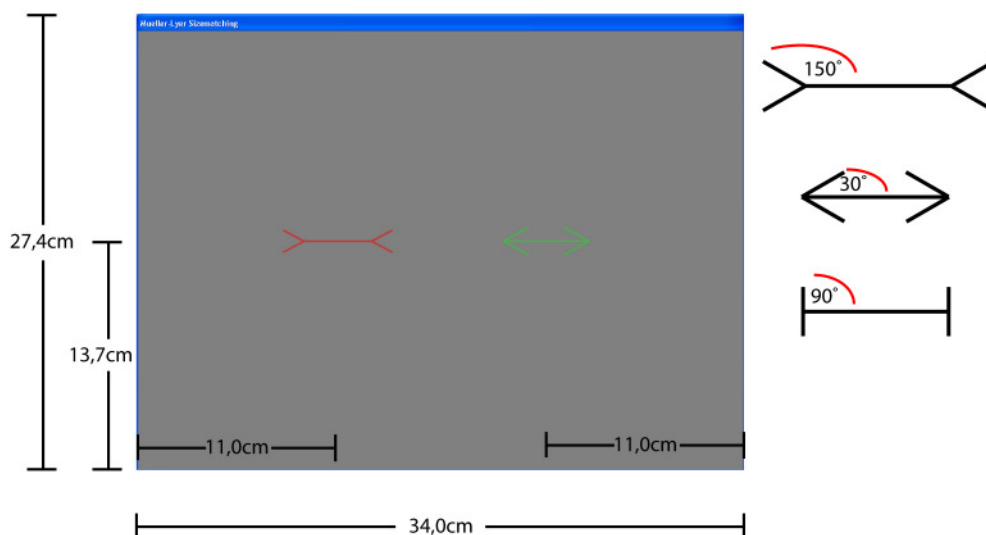


Abb. 6.3: Schema für die Darstellung der Stimuli. Die jeweilige *Quellfigur* (hier im Beispiel die rote *Arrow-Out-Figur*) wurde mit der *Zielfigur* (grüne *Arrow-In-Figur*) präsentiert. Die drei Müller-Lyer Figuren auf der rechten Seite verdeutlichen die Winkel der *Arrows* der jeweiligen Figuren.

Das gesamte Stimulusdisplay umfasste einen Bereich von 27,4 x 34,0 cm (Höhe x Breite). Die *Quell-* und *Zielfiguren* wurden nebeneinander dargeboten. Bei Darbietung der Stimuli übereinander besteht hingegen die Gefahr, dass sich die Probanden gedachte vertikale Linien zunutze machen und so den perzeptuellen Effekt zumindest verringern könnten. Die Figuren befanden sich auf mittlerer Höhe des Monitors. Der Abstand zwischen den Mittelpunkten jeder Figur betrug 12 cm. Um den Probanden anzuzeigen, welches die *Zielfigur* und welches die *Quellfigur* war, wurden die beiden Figuren in unterschiedlichen Farben präsentiert. Für die eine Hälfte der Probanden war die *Quellfigur* rot, die *Zielfigur* grün; für die andere Hälfte der Probanden waren die Farben vertauscht. Die Größen der Winkel für die Müller-Lyer Figuren sind ebenfalls aus der Abbildung 6.3 ersichtlich. Es ist bekannt, dass die Größe der Winkel einen Einfluss auf die Größe des perzeptuellen Effekts hat (Irtel, 1993). Daher werden diese Winkel einheitlich verwendet. Die Liniendicke betrug 1 mm. Der Hintergrund wurde in Grau gehalten. Durch Drücken der „+ (Plus)“ und der „- (Minus)“ -Taste konnte die Größe der *Zielfigur* angepasst werden. Ein einmaliger Druck erhöhte bzw. verringerte die Größe der *Zielfigur* um einen Millimeter. Durch anhaltendes Drücken konnte die Größe scheinbar stufenlos variiert werden. Die Maximalgröße der *Zielfigur* konnte mit neun Zentimetern eingestellt werden, die Minimalgröße mit zwei Zentimetern. Der nächste Durchgang konnte durch Drücken der Taste „\*“ initiiert werden. Bei jedem neuen Durchgang hatte die *Zielfigur* zunächst eine zufällige Größe, die sich innerhalb dieses Bereiches befand. Der Raum wurde durch eine an der Decke angebrachte Lampe gleichmäßig beleuchtet.

## Durchführung

### *Instruktion*

Die Probanden wurden sowohl mündlich als auch praktisch instruiert. Zunächst wurden ihnen die drei möglichen Konfigurationen der Müller-Lyer Illusion auf einem Ausdruck gezeigt. Da es sich bei den Probanden um Studenten der Psychologie handelte, war ihnen die Müller-Lyer Illusion bekannt. Weiterhin wurde ihnen erläutert, dass ihre Aufgabe darin besteht, einen Abgleich von jeweils zwei dieser am Monitor präsentierten Figuren vorzunehmen, so dass beide horizontalen Balken dieselbe *wahrgenommene* Länge aufweisen. Dies erfolgte unter dem expliziten Hinweis auf den Unterschied zwischen der wahrgenommenen gleichen Länge und dem vermeintlichen Wissen (durch die Kenntnis der Illusion) um die tatsächliche unterschiedliche Länge. Die Probanden sollten nicht versuchen, die *tatsächliche* Länge abzugleichen, sondern die *wahrgenommene* Länge. Ihnen wurde ferner erläutert, dass es bei Experimenten dieser Art keine richtigen oder falschen Antworten gibt. Sie wurden schließlich aufgefordert,

ihre Einstellungen ohne Hast vorzunehmen. Allerdings sollten sie auch nicht über einen Durchgang zu lange nachdenken.

Zur praktischen Demonstration diente die Präsentation der Stimuli am Monitor. Die Bedienung des Keyboards wurde erläutert. Die Probanden sollten sich daraufhin an zehn Probedurchgängen mit der Prozedur vertraut machen.

#### *Ablauf der Untersuchung*

Die Probanden saßen 55 cm vom Monitor entfernt (Distanz Auge zu Monitor). Das Keyboard konnte bequem mit der rechten Hand bedient werden. Nach der Instruktion wurde mit dem Experiment begonnen. Nach der Hälfte der Durchgänge wurde der Versuch für eine kurze Pause unterbrochen, bevor es mit der zweiten Hälfte weiterging. Während der Durchführung des Experiments verließ der Versuchsleiter den Raum, um den Probanden nicht zu stören.

### **6.1.2 Ergebnisse**

Anmerkung: Sofern nicht anders angegeben, wurden in allen Studien die statistischen Tests einseitig auf dem 5 % Niveau durchgeführt. Die Auswertung erfolgte parametrisch (siehe Anhang B - F für Tests auf Verteilungsvoraussetzungen der jeweiligen Studien).

Bei dem zugrunde liegenden Versuchsplan handelt es sich um ein within-subject-design mit den Faktoren *Kombinationen* (9 Stufen) und *Größe* (2 Stufen). Die acht Probanden gaben insgesamt 1152 Urteile (144 pro Proband) ab, von denen 1143 in die folgende Auswertung eingingen, was einem prozentualen Anteil von 99,2 aller abgegebenen Urteile entspricht. Gründe für den Ausschluss waren Fehlmessungen (Abweichungen von  $\pm$  drei Standardabweichungen der jeweiligen Bedingung). Diese begründen sich hauptsächlich durch versehentliches Aufrufen des nächsten Durchgangs, ohne eine Einstellung für den aktuellen Durchgang durchgeführt zu haben.

Die Mittelwerte der perzeptuellen Abgleiche für alle getesteten Bedingungen sind in Abbildung 6.4 und in den Tabellen 6.1 und 6.2 dargestellt (weitere Abbildungen hierzu finden sich im Anhang B). Die Abbildung verdeutlicht bereits die unterschiedlichen Adjustierungen der verschiedenen *Zielfiguren* an die *Quellfiguren*, welche die Größe von 4 cm oder 6 cm aufwiesen. Es ist deutlich erkennbar, jeweils bezogen auf den Abgleich der drei *Zielfiguren* an eine *Quellfigur*, dass die *Arrow-In-Figur* immer größer

eingestellt wurde als die *Neutral-Figur*. Diese wiederum wurde immer größer adjustiert als die *Arrow-Out* Bedingung. Die Variation der Größe der *Quellfigur* „verschiebt“ die *Zielfiguren* entsprechend, wobei diejenige *Zielfigur*, die identisch mit der *Quellfigur* ist, in etwa auf Höhe von 4 cm bzw. 6 cm liegt (siehe die eingezeichneten Linien in Abbildung 6.4).

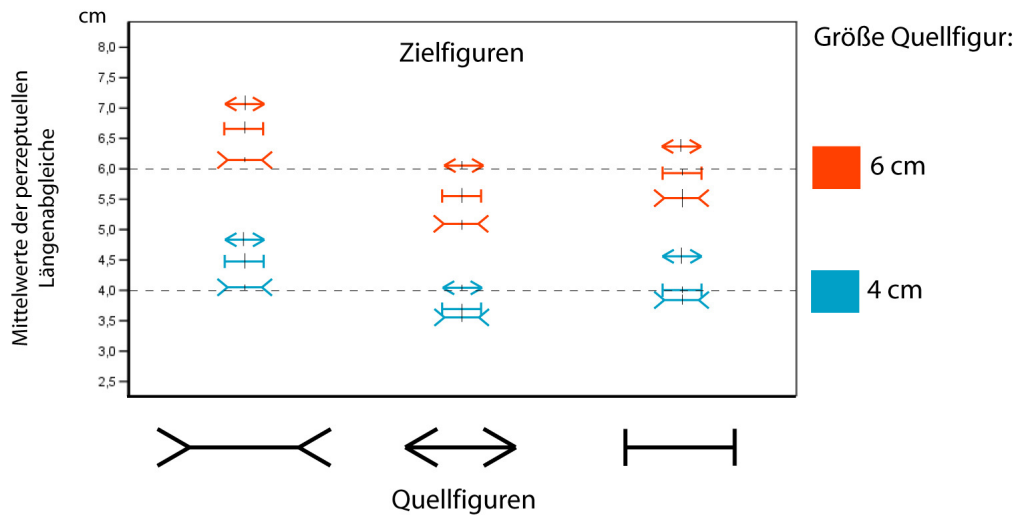


Abb. 6.4: Mittelwerte der perceptuellen Längenabgleiche (in cm) für alle getesteten Bedingungen. An die entsprechenden *Quellfiguren* (Größe 4 cm oder 6 cm) wurden jeweils die drei *Zielfiguren* angepasst. Die blauen *Zielfiguren* geben den Abgleich an 4 cm große *Quellfiguren*, die roten *Zielfiguren* den Abgleich an 6 cm große *Quellfiguren* an. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. **Beachte:** Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung.

Tab. 6.1: Perzeptueller Abgleich für jeweils drei *Zielfiguren* an die entsprechenden *Quellfiguren* mit einer Größe von 4 cm.

Quellfigur (Größe 4 cm)	Zielfigur	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Arrow-Out	Arrow-Out	4,08	0,08	0,03
	Arrow-In	4,84	0,30	0,11
	Neutral	4,49	0,28	0,10
Arrow-In	Arrow-Out	3,56	0,17	0,06
	Arrow-In	4,05	0,09	0,03
	Neutral	3,69	0,19	0,07
Neutral	Arrow-Out	3,86	0,20	0,07
	Arrow-In	4,58	0,30	0,11
	Neutral	4,03	0,08	0,03

Die grau unterlegten *Zielfiguren* zeigen an, dass es sich um identische *Quell-* und *Zielfiguren* handelt, d.h. der Mittelwert dieser *Zielfigur* wird bei etwa 4 cm erwartet.

Tab. 6.2: Perzeptueller Abgleich für jeweils drei *Zielfiguren* an die entsprechenden *Quellfiguren* mit einer Größe von 6 cm.

Quellfigur (Größe 6 cm)	Zielfigur	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Arrow-Out	Arrow-Out	6,15	0,08	0,03
	Arrow-In	7,10	0,30	0,11
	Neutral	6,67	0,24	0,08
Arrow-In	Arrow-Out	5,09	0,19	0,07
	Arrow-In	6,08	0,11	0,04
	Neutral	5,57	0,30	0,11
Neutral	Arrow-Out	5,51	0,37	0,13
	Arrow-In	6,38	0,25	0,09
	Neutral	5,94	0,10	0,03

Die grau unterlegten *Zielfiguren* zeigen an, dass es sich um identische *Quell-* und *Zielfiguren* handelt, d.h. der Mittelwert dieser *Zielfigur* wird bei etwa 6 cm erwartet.

Die Tabelle 6.3 und die Abbildung 6.5 fassen die Adjustierungen über die Objektgröße zusammen. Die Abbildung 6.5 zeigt die Mittelwerte mit den zugehörigen Standardfehlern, jeweils geordnet nach dem Abgleich der drei *Zielfiguren* an die entsprechenden *Quellfiguren*. Die drei linken Balken stellen den Abgleich der *Zielfiguren* an die *Arrow-Out-Figur*, die mittleren drei Balken den Abgleich an die *Arrow-In-Figur* und die rechten drei Balken den Abgleich an die *Neutral-Figur* dar. Die gepunkteten Balken veranschaulichen den Abgleich gleicher *Ziel-* und *Quellfiguren*. Dieser Abgleich sollte, sofern die Steigung des Abgleichs einer Figur an sich selbst nahe bei 1,0 liegt, für die gemittelten Bedingungen nahe bei 5 cm liegen.

Tab. 6.3: Perzeptueller Abgleich für jeweils drei *Zielfiguren* an die entsprechenden *Quellfiguren* mit einer gemittelten Größe von 5 cm.

Quellfigur (gemittelte Größe 5 cm)	Zielfigur	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Arrow-Out	Arrow-Out	5,11	0,07	0,02
	Arrow-In	5,97	0,27	0,09
	Neutral	5,58	0,25	0,09
Arrow-In	Arrow-Out	4,33	0,14	0,05
	Arrow-In	5,07	0,08	0,03
	Neutral	4,63	0,23	0,08
Neutral	Arrow-Out	4,69	0,27	0,10
	Arrow-In	5,48	0,26	0,09
	Neutral	4,99	0,08	0,03

Die grau unterlegten *Zielfiguren* zeigen an, dass es sich um identische *Quell-* und *Zielfiguren* handelt, d.h. der Mittelwert dieser *Zielfigur* wird bei etwa 5 cm erwartet.

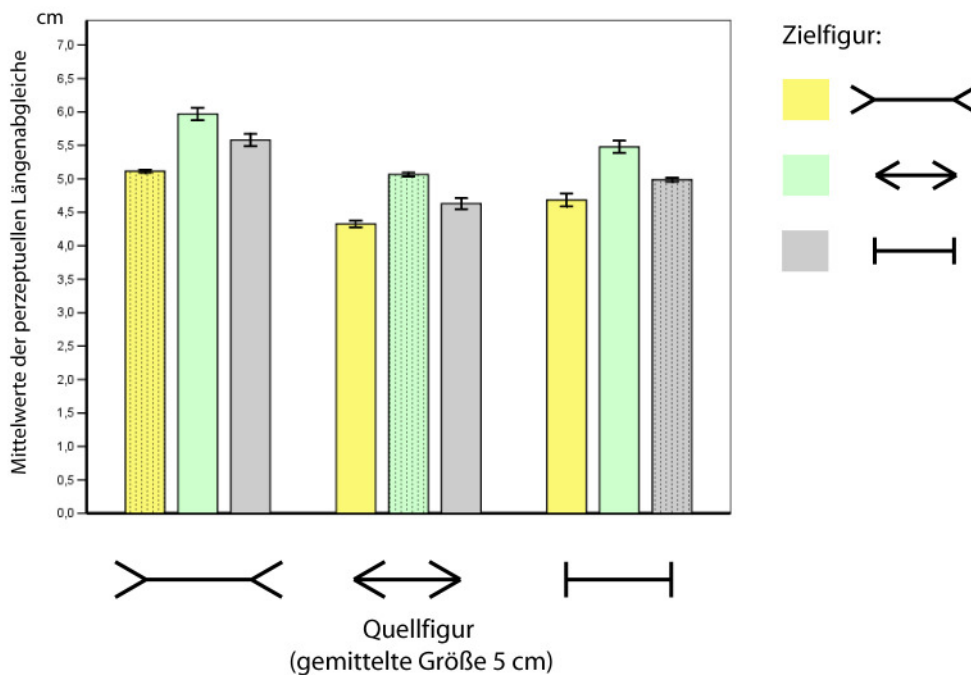


Abb. 6.5: Mittelwerte der perzeptuellen Längenabgleiche (cm) der Zielfiguren an die in der Größe gemittelten Quellfiguren (5 cm). Die gepunkteten Balken geben gleiche Ziel- und Quellfiguren an, d.h. diese Zielfiguren sollten bei einem gelungenem Abgleich eine Länge von ungefähr 5 cm aufweisen. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM.

Das übergeordnete Ziel der folgenden statistischen Auswertung ist die Bestimmung der (korrigierten) perzeptuellen Effekte (sowohl absolut als auch prozentual) für die beiden *Direkten* und die beiden *Indirekten Vergleiche*. Für den späteren Vergleich mit den motorischen Effekten ist dabei besonders der *Traditionelle Indirekte Vergleich* von Interesse.

In einem ersten Schritt sollen die korrigierten perzeptuellen Effekte gebildet und gezeigt werden, dass sich diese für alle vier Vergleiche nachweisen lassen, d.h. von Null verschieden sind. Hierfür ist es zunächst zweckmäßig, graphische Darstellungen für die vier unterschiedlichen perzeptuellen Abgleiche zu betrachten (Abb. 6.6 - 6.9).

Die Abbildungen stellen den Zusammenhang von tatsächlicher Figurgröße zu den adjustierten Größen für die jeweiligen Methoden des Abgleichs dar (siehe Kapitel 3.3.3.1). Die gestrichelte Linie bezeichnet dabei die 45 Grad Linie. Daten auf dieser Linie stellen einen perfekten Abgleich (Steigung von 1,0) zur tatsächlichen Objektgröße dar. Betrachtet werden soll zunächst der Abgleich *Klein an Groß* (Abb. 6.6). Zwei Geraden wurden eingezeichnet. Eine stellt den Abgleich der *Arrow-In-Figur* an die *Arrow-Out-Figur* dar; die andere den Abgleich der *Arrow-Out-Figur* an sich selbst.



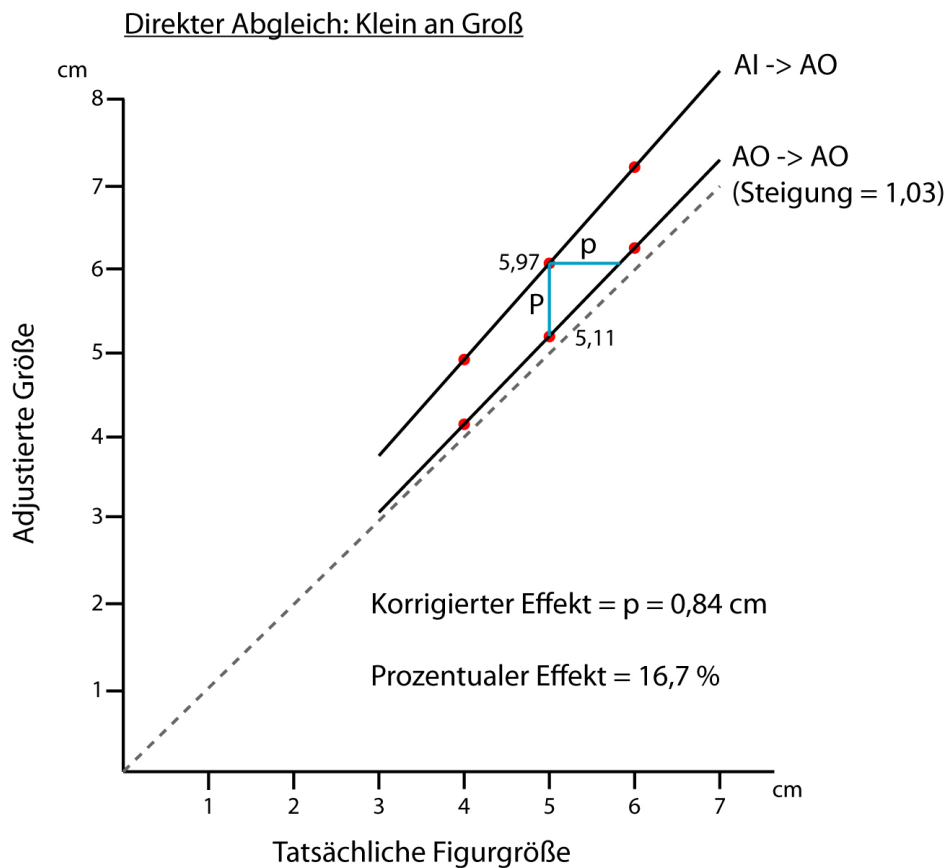


Abb. 6.6: Berechnung des korrigierten perzeptuellen Effektes für den *Direkten Vergleich: Klein an Groß*. Die beiden eingezeichneten Geraden markieren den Abgleich *Arrow-In-Figur* an die *Arrow-Out-Figur* (AI  $\rightarrow$  AO) sowie den Abgleich der *Arrow-Out-Figur* an sich selbst (AO  $\rightarrow$  AO). Die gestrichelte Linie dient zur Verdeutlichung und markiert einen „perfekten“ Abgleich. Die eingetragenen Werte (5,97 cm und 5,11 cm) stellen die Mittelwerte der jeweiligen Adjustierungen für die gemittelte Figurgröße von 5 cm dar. Der unkorrigierte perzeptuelle Effekt ( $P$ ) ergibt sich aus der Differenz von 5,97 cm - 5,11 cm. Für die Ermittlung des korrigierten perzeptuellen Effektes ( $p$ ) wird dieser Wert durch die Steigung (1,03) geteilt. Der resultierende (absolute) korrigierte Effekt beträgt 0,84 cm. Der prozentuale Unterschied beträgt 16,7 % (Berechnung siehe Text). Abk.: AO = *Arrow-Out-Figur*; AI = *Arrow-In-Figur*;  $\rightarrow$  = adjustiert an;  $P$  = Unkorrigierter perzeptueller Effekt;  $p$  = Korrigierter perzeptueller Effekt.

Zur Erinnerung: Üblicherweise wird bei der Bestimmung des (unkorrigierten) perzeptuellen Effektes die Differenz von physikalischer Größe der *Quellfigur* zur adjustierten Größe der *Zielfigur* gebildet. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass der Abgleich der betrachteten *Quellfigur* an sich selbst (d.h. *Quellfigur* und *Zielfigur* sind identisch) in bisherigen Studien nicht durchgeführt wurde. Somit konnte die Steigung, an der relativiert werden soll, nur geschätzt werden. Allerdings ermöglicht hier die Einbeziehung der Adjustierung der entsprechenden Figuren an sich selbst eine genauere Angabe über den prozentualen Unterschied. Dieser basiert dann auf der Relation des Abgleichs einer *Zielfigur* an die *Quellfigur* zum Abgleich der jeweiligen *Quellfigur* an sich selbst. Damit wird der prozentuale Unterschied ebenfalls korrigiert. Findet dies

nicht statt, würde man für den prozentualen Unterschied nur die Differenz der abgeglichenen Werte der entsprechenden *Zielfigur* an die *Quellfigur* im Verhältnis zur physikalischen Größe des Objektes heranziehen. Die Einbeziehung des Abgleichs der *Quellfigur* an sich selbst korrigiert dann gewissermaßen eine Verschiebung nach oben bzw. nach unten. Kritisch ist hier allerdings der Fall, wenn die Steigungen nicht durch den Ursprung gehen. In diesem Fall sind prozentuale Angaben nicht mehr sinnvoll zu interpretieren.

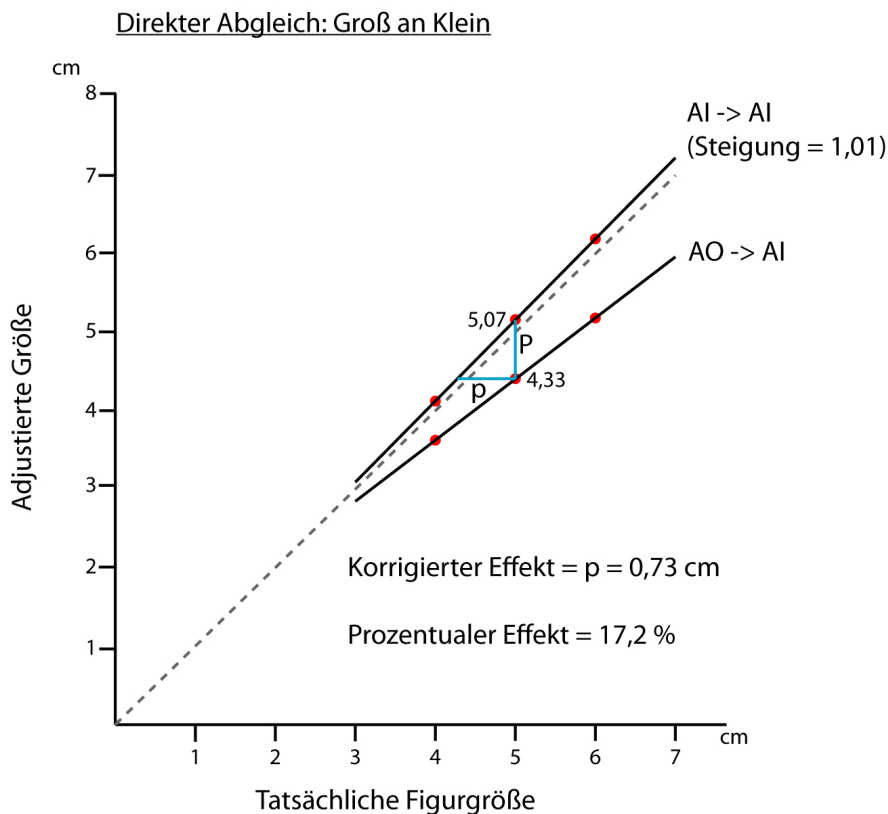


Abb. 6.7: Berechnung des korrigierten perceptuellen Effektes für den *Direkten Vergleich: Groß an Klein*. Die beiden eingezeichneten Geraden markieren den Abgleich *Arrow-Out-Figur* an die *Arrow-In-Figur* ( $AO \rightarrow AI$ ) sowie den Abgleich der *Arrow-In-Figur* an sich selbst ( $AI \rightarrow AI$ ). Die eingetragenen Werte (5,07 cm und 4,33 cm) stellen die Mittelwerte der jeweiligen Adjustierungen für die gemittelte Figurgröße von 5 cm dar. Der unkorrigierte perceptuelle Effekt ( $P$ ) ergibt sich aus der Differenz von 5,07 cm - 4,33 cm. Für die Ermittlung des korrigierten perceptuellen Effektes ( $p$ ) wird dieser Wert durch die Steigung (1,01) geteilt. Der resultierende (absolute) korrigierte Effekt beträgt 0,73 cm. Der prozentuale Unterschied beträgt 17,2 %. Abk.: AO = *Arrow-Out-Figur*; AI = *Arrow-In-Figur*;  $\rightarrow$  = adjustiert an;  $P$  = Unkorrigierter perceptueller Effekt;  $p$  = Korrigierter perceptueller Effekt.

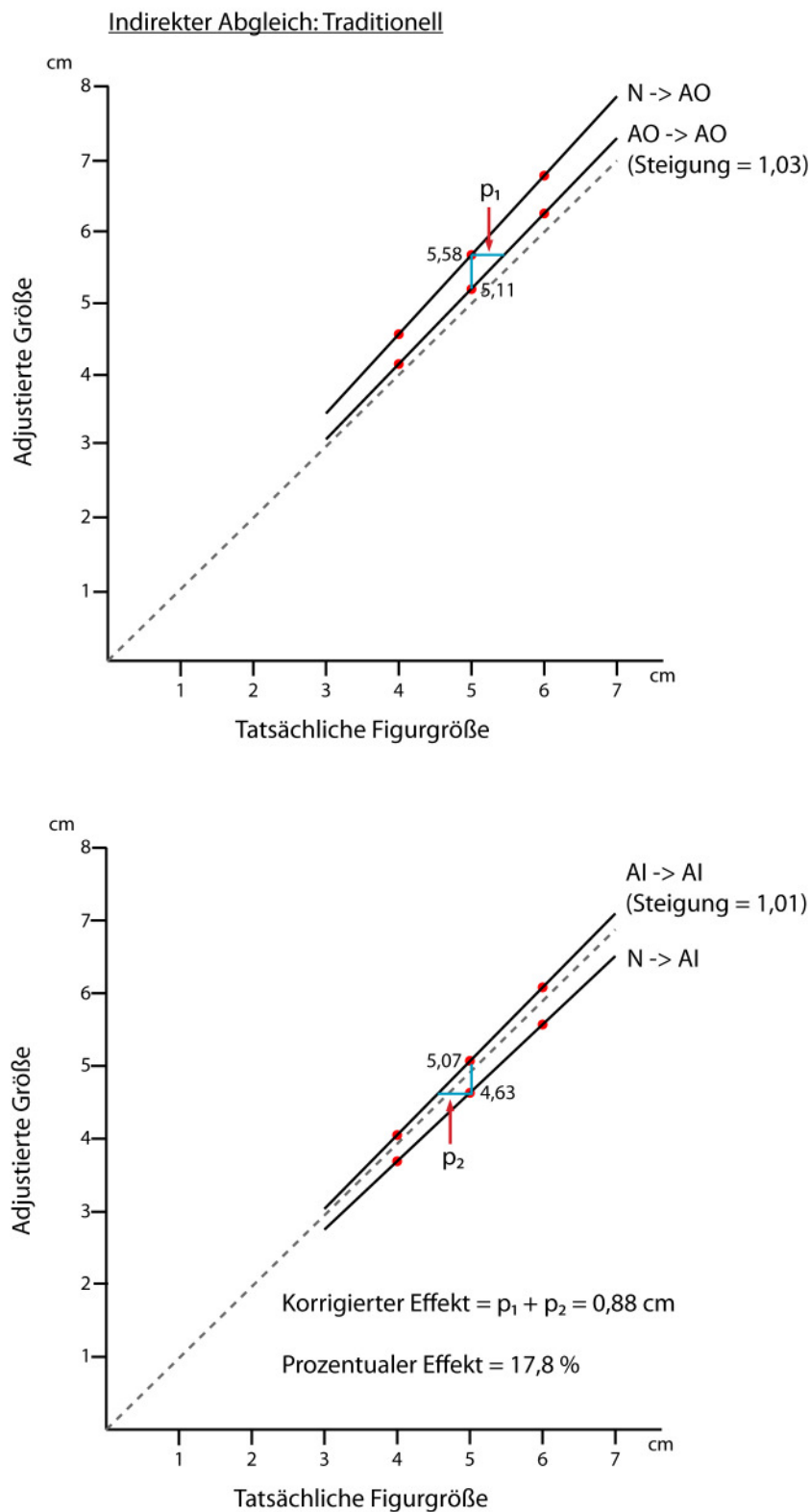


Abb. 6.8: Berechnung des korrigierten perceptuellen Effektes für den *Indirekten Vergleich: Traditionell*. Es sind jeweils die Adjustierungen der *Neutral-Figur* an die illusorischen Figuren ( $N \rightarrow AO$ ;  $N \rightarrow AI$ ) sowie die Adjustierungen der illusorischen Figuren an sich selbst abgetragen ( $AO \rightarrow AO$ ;  $AI \rightarrow AI$ ). Der (absolute) korrigierte Effekt ergibt sich aus der Summe der beiden Teileffekte ( $p_1 + p_2 = 0,88$  cm). Der prozentuale Effekt weist eine Gesamtgröße von 17,8 % auf. Abk.: AO = *Arrow-Out-Figur*; AI = *Arrow-In-Figur*; N = *Neutral-Figur*;  $\rightarrow$  = adjustiert an;  $p_1$  und  $p_2$  = Korrigierte perceptuelle Teileffekte.

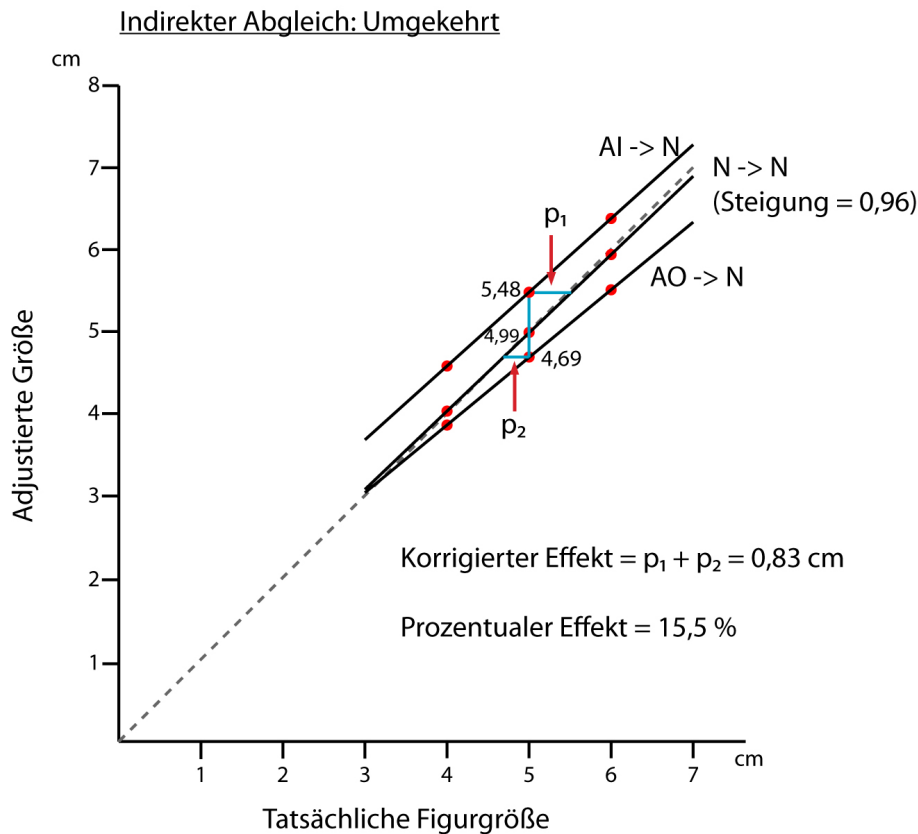


Abb. 6.9: Berechnung des korrigierten perceptuellen Effektes für den *Indirekten Vergleich: Umgekehrt*. Die Geraden bezeichnen die Adjustierungen der illusorischen Figuren an die *Neutral-Figur* (AO  $\rightarrow$  N; AI  $\rightarrow$  N) sowie den Abgleich der *Neutral-Figur* an sich selbst (N  $\rightarrow$  N). Der (absolute) korrigierte Effekt ergibt sich aus der Summe der beiden Teileffekte ( $p_1 + p_2 = 0,83$  cm). Der prozentuale Effekt weist eine Gesamtgröße von 15,5 % auf. Abk.: AO = *Arrow-Out-Figur*; AI = *Arrow-In-Figur*; N = *Neutral-Figur*;  $\rightarrow$  = adjustiert an;  $p_1$  und  $p_2$  = Korrigierte perceptuelle Teileffekte.

Der unkorrigierte (absolute) perceptuelle Effekt ergibt sich nun aus der Differenz des Abgleichs der *Arrow-In-Figur* an die *Arrow-Out-Figur* (AI  $\rightarrow$  AO) zum Abgleich der *Arrow-Out-Figur* an sich selbst (AO  $\rightarrow$  AO). Betrachtet werden soll hier der Mittelwert dieses Effektes ( $P$ ), der bei einer gemittelten (tatsächlichen) Figurgröße von 5 cm vorliegt. Der korrigierte perceptuelle Effekt dieses Abgleichs ergibt sich aus der Division des unkorrigierten Effektes  $P$  durch die Steigung des Abgleichs der *Arrow-Out-Figur* an sich selbst. Diese hat eine Größe von 1,03. Nach der Korrektur erhält man für jeden Probanden einen korrigierten perceptuellen Effekt ( $p$ ). Im Mittel betrug dieser für den Abgleich *Klein an Groß* 0,83 cm. Für die Bestimmung des prozentualen perceptuellen Effektes wurden die individuellen Mittelwerte der Adjustierung von *Arrow-In* an *Arrow-Out* durch die Adjustierung der *Arrow-Out-Figur* an sich selbst

geteilt. Der sich so ergebende prozentuale perzeptuelle Effekt beträgt für den Abgleich *Klein an Groß* 16,7 %.<sup>31</sup>

Nun wurde analog verfahren, um die korrigierten absoluten und prozentualen Effekte für die anderen drei Abgleiche (Abb. 6.7 - 6.9) zu bestimmen. In den Tabellen 6.4 und 6.5 sowie den Abbildungen 6.10 und 6.11 finden sich die so ermittelten absoluten und prozentualen perzeptuellen Effekte.

Tab. 6.4: Korrigierte perzeptuelle Effekte ( $p$ , siehe Abb. 6.6 - 6.9).

Art des Effektes	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)	t-Wert	Signifikanz
<b>Direkter Effekt (Klein an Groß)</b>	0,84	0,29	0,10	8,09	<0,001
<b>Direkter Effekt (Groß an Klein)</b>	0,73	0,12	0,04	17,91	<0,001
<b>Traditioneller Indirekter Effekt</b>	0,88	0,25	0,09	9,99	<0,001
<b>Umgekehrter Indirekter Effekt</b>	0,83	0,35	0,13	6,67	<0,001

Tab. 6.5: Korrigierte prozentuale perzeptuelle Effekte.

Art des Effektes	Mittelwert der prozentualen Unterschiede (%)	SD (%)	SEM (%)
<b>Direkter Effekt (Klein an Groß)</b>	16,7	5,2	1,9
<b>Direkter Effekt (Groß an Klein)</b>	17,2	2,7	1,0
<b>Traditioneller Indirekter Effekt</b>	18,8	5,0	1,8
<b>Umgekehrter Indirekter Effekt</b>	16,6	7,2	2,6

Die korrigierten absoluten perzeptuellen Effekte unterscheiden sich alle signifikant von Null (Tabelle 6.4). Jedes der verwendeten Verfahren führt also zur Ermittlung perzeptueller Unterschiede. Es wurde angenommen, dass der absolute Effekt für den Vergleich *Groß an Klein* geringer ausfallen sollte als der Effekt für den Vergleich *Klein an Groß*. Dies bestätigte sich nicht ( $t(7) = 1,05$ ;  $p = 0,16$ ). Eine Tendenz mag zwar erkennbar sein (Abb. 6.10), jedoch wird keine statistische Signifikanz erreicht. Die beiden indirekten Methoden sollten sich nicht voneinander unterscheiden. Entsprechend konnte kein Unterschied zwischen diesen Bedingungen festgestellt werden ( $t(7) = 0,59$ ;  $p = 0,29$ ).

<sup>31</sup> Dies entspricht annähernd dem Wert, den man erhalten würde, wenn man die entsprechenden Mittelwerte für alle Probanden durcheinander teilen würde. Es ergeben sich hier jedoch leichte Abweichungen, da der Mittelwert der Quotienten im Allgemeinen nicht dem Quotient der Mittelwerte entspricht.

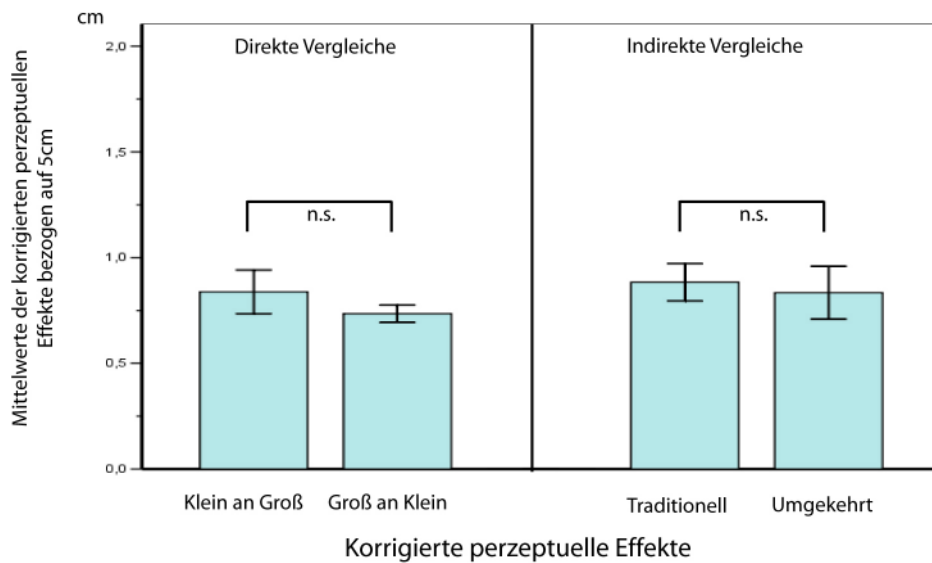


Abb. 6.10: Mittelwerte für die korrigierten perzeptuellen Effekte (cm), bezogen auf die gemittelte Größe 5cm. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. n.s. = nicht signifikant.

Nach Franz et al. (2000) sollten sich die Effekte für den Vergleich *Klein an Groß* und *Traditionell* unterscheiden. Dies konnte jedoch nicht bestätigt werden ( $t(7) = 0,57$ ;  $p = 0,59$ ).

Bei der Betrachtung der prozentualen Unterschiede ist zu bedenken, dass diesen Angaben für die beiden Arten des Vergleichs, *Direkt* versus *Indirekt*, unterschiedliche *baselines* zugrunde liegen. Es wäre nicht sinnvoll, die prozentualen Effekte für die direkten und indirekten Methoden zu vergleichen, auch wenn hier eine gute Übereinstimmung zwischen diesen Maßen zu bestehen scheint. Der Vergleich innerhalb dieser Methoden hingegen ist gerechtfertigt. Für die prozentualen Effekte der *Direkten Vergleiche* ergab sich erwartungsgemäß kein Unterschied ( $t(7) = 0,25$ ;  $p = 0,813$ , zweiseitiger Test). Ebenso ergab sich kein signifikanter Unterschied der prozentualen Effekte für die beiden *Indirekten Vergleiche* ( $t(7) = 0,123$ ;  $p = 0,258$ , zweiseitiger Test).

Nach der Ermittlung der motorischen Effekte in Experiment 2 werden die entsprechenden perzeptuellen und motorischen Effekte miteinander verglichen. Die Diskussion zu den Ergebnissen dieser Studie erfolgt anschließend.

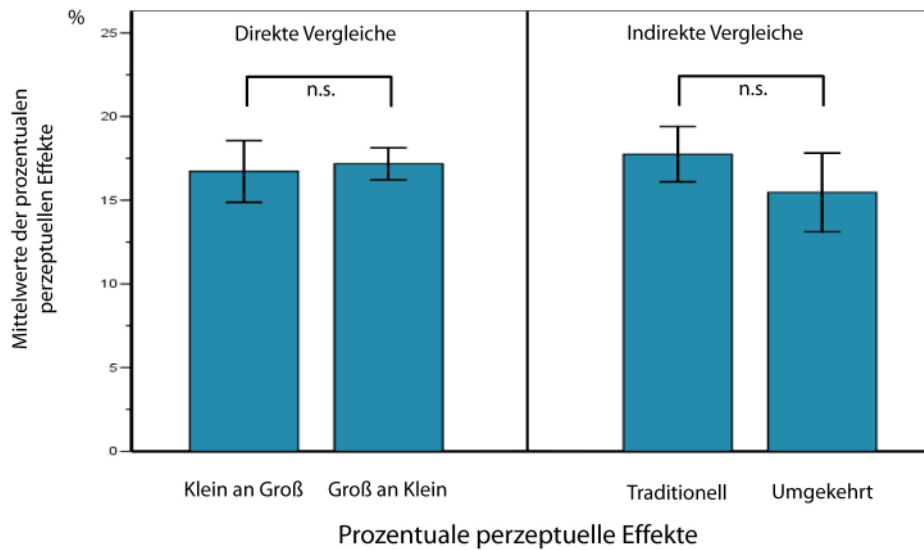


Abb. 6.11: Mittelwerte für die korrigierten prozentualen perzeptuellen Effekte. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. n.s. = nicht signifikant.

## 6.2 Experiment 2: Sakkaden

### 6.2.1 Methode

#### Versuchspersonen

Dieselben acht Probanden aus Experiment 1 nahmen an Experiment 2 teil.

#### Versuchsdesign

Es werden zwei unabhängige Variablen unterschieden: (1) Die individuell adjustierten Müller-Lyer Zielfiguren an die Quellfiguren. (2) Die Größe der Quellfiguren.

#### UV Adjustierte Figuren

Die aus Experiment 1 adjustierten Zielfiguren werden in Experiment 2 für jeden Probanden individuell benutzt. Da jeweils drei Quellfiguren mit jeweils drei angepassten Zielfiguren für jeden Probanden vorliegen, ergeben sich analog zu Experiment 1 wiederum neun Stufen (siehe Abb. 6.2 aus Experiment 1). Für die Bedingungen, in denen Ziel- und Quellfigur identisch sind, wird die „Originalgröße“ der Quellfigur verwendet. Für die Untersuchung der Frage nach einer Dissoziation oder Assoziation von Perception und Handlung sind zwei Arten des Vergleichs von Interesse:

(1) Durch die Verwendung gleich großer *Quellfiguren* kann untersucht werden, ob sich die Amplituden der Sakkaden in ihrer Größe für die verschiedenen Müller-Lyer Figuren voneinander unterscheiden. Es wird erwartet, dass die Amplituden der Sakkaden in Anlehnung an die wahrgenommenen Größen der Figuren skaliert sind.

(2) Durch die Verwendung der adjustierten *Zielfiguren* kann untersucht werden, ob sich die Amplituden der Sakkaden für diese adjustierten Bedingungen voneinander unterscheiden. Sollte die Skalierung der Sakkaden exakt nach der wahrgenommenen Größe erfolgen, wird man keine Unterschiede für die Amplituden der Sakkaden erwarten. Sollten sich die Amplituden jedoch unterscheiden, würde dies für zusätzliche Effekte sprechen, die nicht auf die wahrgenommene Größe der Figuren zurückführbar wären. Diese motorischen Effekte müssten dann auf konfigurale Besonderheiten der verwendeten Figuren selbst attribuiert werden, ähnlich wie dies in der Studie von Gilster et al. (2006) für den Reduktionseffekt an der Ebbinghaus Illusion gezeigt wurde.

Ein möglicher Effekt, der sich hier bemerkbar machen könnte, wäre der *center of gravity* Effekt (Kapitel 3.3.2.2). Es wurde bereits mehrfach betont, dass bisher keine allgemein akzeptierte Erklärung für die Müller-Lyer Illusion existiert. Mögliche Ansätze umfassen z.B. fehlengewandte Größenkonstanz (Gregory, 1966) oder eben den *center of gravity* Effekt (Searleman et al., 2005). Es kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass mehrere Effekte zusammen den illusorischen perzeptuellen Effekt ergeben. Würden die Amplituden der Sakkaden nun unter Bedingungen perzeptueller Gleichheit (bei physikalischer Verschiedenheit) voneinander abweichen, so spräche dies zumindest für einen Effekt, der nichts mit der wahrgenommenen Größe zu tun hat. Dieser Effekt würde vielmehr für eine allgemeine Tendenz der Sakkaden sprechen, sich nach einem *center of gravity* zu orientieren.

Im Folgenden soll, sofern nicht anders beschrieben, dieser „motorische“ *center of gravity* Effekt kurz als *center of gravity* Effekt bezeichnet werden.

#### *UV Größe*

Die drei *Quellfiguren* wurden in Experiment 1 in zwei unterschiedlichen Größen präsentiert (4 cm und 6 cm). Es ergaben sich somit jeweils drei Adjustierungen an den drei *Quellfiguren* für jede Objektgröße. Analog zu Experiment 1 wird auch in Experiment 2 die Größe der *Quellfiguren* in zwei Stufen (4 cm und 6 cm) variiert. Durch die Variation der Größe der Figuren kann zudem die Steigung für den Zusammenhang von Objektgröße und Amplitude der Sakkade bestimmt werden. Die Bestimmung der Steigung ist, analog zu Experiment 1, wichtig, um die motorischen



Effekte an dieser Steigung zu korrigieren, da sonst kein fairer Vergleich zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten möglich ist.

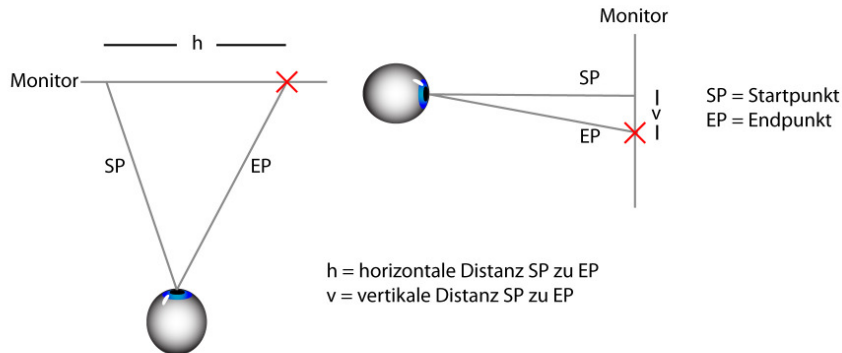
Anmerkung: Der Begriff *Quellfigur* und *Zielfigur* wird in diesem Experiment 2 anders verwendet als in Experiment 1. Für dieses motorische Experiment werden keine *Zielfiguren* mehr an die *Quellfiguren* adjustiert. Stattdessen dienen diese Begriffe der Unterscheidung, auf welche Bedingung in Hinblick auf Experiment 1 Bezug genommen wird. Wenn also in diesem Experiment von *Zielfiguren* die Rede ist, dann sind die in der Länge bereits adjustierten Figuren gemeint, wobei sich die zuvor ausgeführte Adjustierung immer auf eine bestimmte *Quellfigur* (mit einer entsprechenden Größe von 4 cm bzw. 6 cm) bezieht.

#### *AV Amplitude der Sakkade*

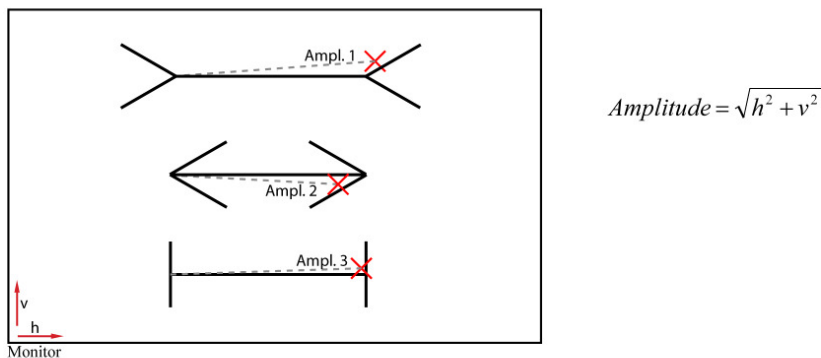
Unter der Amplitude einer Sakkade wird die Veränderung der Position des Auges vom Start der Bewegung zur Position am Ende der Bewegung verstanden (Leigh & Zee, 1999). Die Positionsänderung des Auges kann entweder als Winkel angegeben werden oder durch den „zurückgelegten“ Weg des Auges auf einer zweidimensionalen Ebene, wie einem Monitor (Abb. 6.12a, vgl. auch Abb. 2.2 in Kapitel 2.1).

Für die Bestimmung der Amplituden der Sakkaden wird ein so genannter Eyetracker benutzt (siehe Material dieser Studie). Nach diesem System werden die Amplituden „indirekt“ über die mittlere Geschwindigkeit der Sakkade und die Dauer der Sakkade berechnet ( $Amplitude = Geschwindigkeit \times Dauer$ ). Gesetzt den Fall, dass Geschwindigkeit und Dauer korrekt berechnet wurden, ist diese Art der Bestimmung zunächst nicht zu beanstanden. Bei Sakkaden ergibt sich aber eine besondere Problematik, so dass die oben gegebene Definition der Amplitude einer Sakkade als Veränderung der Position des Auges vom Start der Bewegung zur Position am Ende der Bewegung mit der auf diese Weise berechneten Amplitude nicht übereinstimmt. Die Gründe hierfür liegen zum einen in der Tatsache, dass Sakkaden nicht immer auf „direktem Weg“ vom Start- bis zum Endpunkt verlaufen (insbesondere bei schrägen Sakkaden), zum anderen gibt es häufig das Phänomen des *dynamic overshoot*, bei dem es sich um eine zweite Sakkade im Anschluss an die primäre Sakkade in entgegengesetzter Richtung handelt (Kapitel 2.1). Es ist wichtig zu bemerken, dass es sich hierbei nicht um eine Korrektursakkade handelt. Stattdessen wird der *dynamic overshoot* als Teil der Planung der Sakkade gesehen, die das Auge durch Umkehrung der motorischen Befehlsmuster zum Stoppen bringen soll. Bei perfekter Passung würde das Auge ohne diese Umkehrbewegung stoppen. Diese beiden Gründe, nämlich die nichtlineare Trajektorie und der *dynamic overshoot*, führen schließlich im Vergleich zur

Strecke von Startpunkt bis zum Endpunkt der Sakkade zu einer größeren zurückgelegten Distanz.



a) Distanzen (cm) für horizontale und vertikale Augenbewegungen



b) Illustration zur Bestimmung der Amplituden

Abb. 6.12: Darstellung von Augenbewegungen. a) Distanzen (cm) für horizontale und vertikale Augenbewegungen. Die Sakkade erfolgt von einem Startpunkt (SP) aus zu einem Endpunkt (EP). Es können sowohl horizontale als auch vertikale Distanzen zwischen diesen bestimmt werden. b) Illustration zur Bestimmung der Amplituden. Die Sakkaden sollen von einem Ende des horizontalen Balkens einer Müller-Lyer Figur (Startpunkt) zum anderen Ende (Zielpunkt) durchgeführt werden. Gemessen wird die Amplitude der primären Sakkade, die sich als Strecke von Start- zu Endpunkt ergibt. Die Amplitude kann über die angegebene Formel berechnet werden.

Daher erscheint es angemessen, auch in Anlehnung an bisherige Studien (z.B. McCarley et al., 2003; Knox & Bruno, 2007), die Amplitude der Sakkade als Distanz zwischen Start- und Endpunkt zu berechnen. Diese Strecke entspricht wohl am ehesten dem „geplanten Weg“. Die Sakkade soll von einem Ende des horizontalen Balkens einer Müller-Lyer Figur (Startpunkt) bis zum anderen Ende (Zielpunkt) ausgeführt werden (Abb. 6.12b). Zu der primären Sakkade wird ggf. der *dynamic overshoot* einberechnet (d.h. der Endpunkt der Sakkade wird bestimmt durch den Endpunkt des dynamic overshoots), da dieser als Teil der Planung der Bewegung aufgefasst wird. Sekundäre Korrektursakkaden hingegen, die ggf. zur Fixation der Zielpunkte nach größeren Abweichungen der primären Sakkaden nötig werden, sind für die weitere

Auswertung nicht von Bedeutung. Durch den Vergleich der Amplituden für die unterschiedlich getesteten Bedingungen (Abb. 6.12b) ist somit ein Maß für die relative Genauigkeit gegeben (Kapitel 2.1).

Da die zur Auswertung der Augenbewegungen benutzte Software *BeGaze* (SMI, Berlin, Deutschland) die Koordinaten der Start- und Endpunkte ermittelt, kann die Amplitude nach Pythagoras berechnet werden (siehe Abb. 6.12):

$$\text{Amplitude} = \sqrt{h^2 + v^2}$$

Neben der Amplitude der Sakkade werden explorativ die folgenden Variablen miterhoben: Die Dauer der Sakkade, die Spitzengeschwindigkeit, der Zeitpunkt des Erreichens der Spitzengeschwindigkeit, die Durchschnittsgeschwindigkeit und die Anzahl gültiger Sakkaden.

#### *Versuchsbedingungen*

Es ergeben sich bei vollständiger Kreuzung der Bedingungen:

*Adjustierte Figuren* (9 Stufen) x *Größe* (2 Stufen) = 18 Bedingungen

Jede Bedingung soll zwölf Mal durchgeführt werden. Daraus ergeben sich insgesamt 216 Durchgänge für jeden Probanden. Von den zwölf Durchgängen pro Bedingung werden je sechs als Abduktion (rechtes Auge führt Auswärtsbewegung durch) und sechs als Adduktion (rechtes Auge führt Einwärtsbewegung durch) vorgenommen. Abduktionen fallen in der Regel etwas größer aus als Adduktionen (Leigh & Zee, 1999). Für die spätere Auswertung werden die Ergebnisse der Abduktionen und der Adduktionen gemittelt. Das Experiment wird in drei Blöcken mit jeweils 72 Durchgängen absolviert. In jedem Block befinden sich jeweils zwei Abduktionen und zwei Adduktionen pro Bedingung. Innerhalb eines Blocks werden die Durchgänge randomisiert dargeboten.

#### **Material**

Für die Aufzeichnung von Augenbewegungen wurde ein Eyetracker (iView X Hi-Speed, SMI Berlin, Deutschland) eingesetzt. Es handelt sich hierbei um ein Video basiertes System, bei dem eine Kamera das Auge filmt (Abb. 6.13). Es existieren verschiedene *Eyetracking* Methoden, wie das EOG (Elektrookulogramm), Magnetspulen Systeme, Dual Purkinje Systeme, Bright Pupil oder auch Dark Pupil Systeme. Einen

kurzen Überblick über diese verschiedenen Ansätze geben Sprenger et al. (2000). Das iView X Hi-Speed System bedient sich des Dark Pupil Ansatzes. Bei dieser Methode wird das Auge mit infrarotem Licht beschienen. Während das Auge und das Gesicht die infrarote Beleuchtung reflektieren, absorbiert die Pupille den größten Teil des Lichtes. Eine infrarotsensitive Kamera kann so die Pupille vom Rest des aufgenommenen Bildes unterscheiden. Eine Software (iView X) bestimmt dann den Mittelpunkt der Pupille und den Kornealreflex. Durch eine Kalibrierung (siehe Durchführung) kann die Blickrichtung des Probanden bestimmt werden. Hierfür werden Punkte an definierten Stellen auf dem Monitor dargeboten. Die Kamera registriert die Position des Auges bei Fixation der entsprechenden Punkte. Die Auflösung der Blickgenauigkeit beträgt  $0,25^\circ$  (Angabe des Herstellers). Durch eine Kinn- und Stirnstütze wird der Proband mit seinem Kopf „fixiert“. Dies ist wichtig, da das verwendete System Kopfbewegungen nicht kompensieren kann. Die so berechneten Daten über die Blickpositionen werden als *Mapped Screen Coordinates* verstanden, d.h. die Angabe erfolgt über Beschreibungen des Monitors, also Pixelkoordinaten. Die zeitliche Auflösung beträgt für dieses System 240 Hz. Dies ist ausreichend, um Sakkaden sicher erkennen und analysieren zu können (Sprenger et al., 2000).

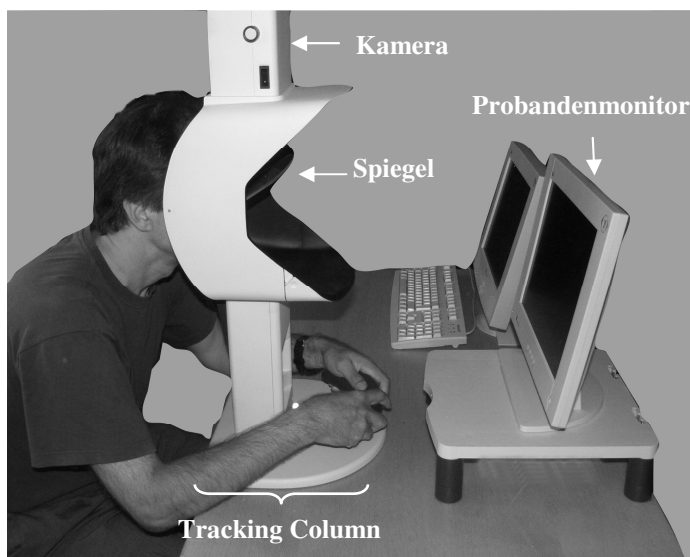


Abb. 6.13: Versuchsaufbau zur Messung von Augenbewegungen. Der Proband sitzt an einem Tisch, auf dem die Tracking Column angebracht ist. Das Kinn und die Stirn werden gestützt, so dass Kopfbewegungen vermieden werden. Die Kamera befindet sich im oberen Teil der Tracking Column. Über einen Spiegel kann das Auge von der Kamera erfasst werden. Der Monitor befindet sich, gemessen am rechten Auge des Probanden, in einem Abstand von 55 cm parallel zur Frontalebene des Probanden.

Der Monitor für die Kalibrierung und die Stimuluspräsentation war identisch mit dem unter Experiment 1 dieser Studie beschriebenen. Dieser befand sich, gemessen am rechten Auge des Probanden, in einem Abstand von 55 cm parallel zur Frontalebene des

Probanden. An einem *Operator PC* (Intel Pentium 4, 3.0 GHz) wurde die Kamera angeschlossen. Auf diesem Computer wurden auch die Daten aufgezeichnet. Ein *Subject PC* (Intel Pentium M, 1.86 GHz) diente zur Präsentation der Stimuli und Steuerung der Datenaufzeichnung.

Die Erstellung der Stimuli erfolgte mit C++ und OpenGL. Analog zu Experiment 1 dieser Studie umfasste das Stimulusdisplay einen Bereich von 27,4 x 34 cm (Höhe x Breite). Die Müller-Lyer Figuren wurden einzeln dargeboten. Dabei befand sich immer das rechte oder das linke Ende einer Müller-Lyer Figur genau in der Mitte des Bildschirms. Für eine Hälfte der Probanden waren die Figuren rot, für die andere Hälfte grün. Die Dicke der Figuren und die Größe der Winkel für die *Arrow-Out-* und *Arrow-In-Figuren* waren identisch zu Experiment 1. Die Länge der horizontalen Balken war abhängig von den individuell eingestellten Längen der Probanden für die getesteten Bedingungen. Der Hintergrund wurde in Grau gehalten. Die Stimuli wurden mittels der Software *Presentation* (Neurobehavioral Systems) dargeboten. Die Datenaufzeichnung erfolgte mit dem Programm *iView X* (SMI). Mit dem Programm *BeGaze* (SMI) erfolgte eine erste Auswertung der Daten. Für die weitere statistische Auswertung wurde das Programm „Statistical Package for Social Science“ (SPSS, Version 11.0) verwendet.

### **Durchführung**

Den Probanden wurde zunächst erklärt, dass es in diesem zweiten Experiment um die Messung von Augenbewegungen an den Figuren der Müller-Lyer Illusion geht. Ihnen wurde kurz das generelle Prinzip der Datenaufzeichnung mittels Kamera erläutert und anhand einer Probeaufzeichnung ihres rechten Auges demonstriert. Damit übten die Probanden, den Kopf während der Datenaufzeichnung ruhig zu halten.

Die Instruktion für einen einzelnen Durchgang lautete wie folgt: „Fixieren Sie das erscheinende Kreuz in der Mitte des Bildschirms. Bitte blinzeln Sie dabei nicht mit den Augen. Wenn das Kreuz verschwindet, erscheint eine der drei Figuren. Dabei befindet sich entweder das linke oder das rechte Ende des horizontalen Balkens genau an der Stelle, wo vorher das Kreuz zu sehen war. An dieser Stelle befindet sich jetzt auch noch ihr Blick. Schauen Sie bitte nun *mit einem Blick* an das andere Ende des horizontalen Balkens. Auch hier gilt: Bitte nicht blinzeln. Fixieren Sie dieses Ende solange, bis die Figur verschwindet. Es folgt ein grauer Bildschirm. Wenn Sie diesen sehen, können sie auf dem Bildschirm umherschauen und nun auch wieder blinzeln. Nach ca. drei Sekunden wird ein neues Kreuz in der Mitte des Bildschirms erscheinen.“

Anschließend wurde den Probanden die Struktur eines Blocks (Anzahl Durchgänge, Kalibrierung am Anfang und in der Mitte eines Blocks, *Drift correction* nach jeweils neun Durchgängen) erläutert. Dies wurde dann in einem Probekblock eingeübt.

Ein Block dauerte ca. elf Minuten ( $\pm$  mehrere Sekunden durch die Kalibrierungen) und startete stets mit einer 13-Punkt Kalibrierung. Ein Kreis (Durchmesser 8 mm) mit einem „Loch“ in der Mitte (Durchmesser 2 mm) diente als Kalibrierungspunkt. Der Proband schaute immer in die Mitte des Kreises. Der erste Kreis befand sich stets in der Mitte des Bildschirms, die restlichen zwölf Punkte erschienen dann nacheinander in randomisierter Reihenfolge an definierten Stellen auf dem Schirm. Um eine Kontrolle über die Güte der Kalibrierung zu bekommen, wurde anschließend ein Bild mit allen Kalibrierpunkten präsentiert und die Blickbewegungen aufgezeichnet. Der Proband schaute jeweils auf einen blau scheinenden Punkt. So konnte entschieden werden, ob die Kalibrierung gelungen war und fortgefahren werden konnte, oder ob die Kalibrierung wiederholt werden musste.

Im ersten Fall folgten 36 Durchgänge eines Blocks. Ein Durchgang (Abb. 6.14) bestand aus drei Komponenten: (1) Ein Fixationskreuz wurde für drei Sekunden gezeigt. (2) Eine Müller-Lyer Figur erschien für zwei Sekunden. Der Proband führte die Sakkade aus. (3) Ein grauer Bildschirm wurde für drei Sekunden präsentiert. Anschließend ging es sofort mit dem nächsten Durchgang weiter.

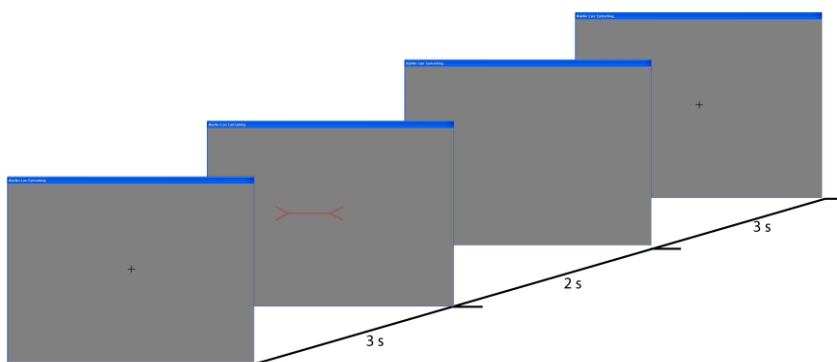


Abb. 6.14: Schema über den zeitlichen Verlauf eines Durchganges. Ein Fixationskreuz erscheint für drei Sekunden. Danach erscheint eine Figur der Müller-Lyer Illusion. Ein Ende dieser Figur (linkes oder rechtes) liegt genau an der Stelle, wo sich zuvor das Fixationskreuz befand. Somit liegt der Blick des Probanden auf dieser Stelle. Die Versuchsperson schaut nun *mit einem Blick* auf das andere Ende des horizontalen Balkens und fixiert dieses Ende, bis nach zwei Sekunden ein grauer Bildschirm für die Dauer von drei Sekunden erscheint. Während dieser Zeit darf der Proband umherschauen und mit den Augen blinzeln. Daran anschließend startet ein neuer Durchgang.

Nach jeweils neun Durchgängen wurde eine so genannte *Drift correction* durchgeführt. Diese kann als Einpunktkalibrierung aufgefasst werden, die dazu dient, leichte Verschiebungen des Kopfes zu kompensieren. Nach der Hälfte des Blocks wurde dann eine zweite Kalibrierung vorgenommen, um anschließend mit den restlichen 36 Durchgängen fortzufahren. Nach Beendigung eines Blocks konnte der Proband eine kurze Pause einlegen und den Kopf entspannt bewegen. Nach drei durchgeführten Blöcken war das Experiment beendet. Die Probanden wurden (sofern sie nicht noch an weiteren Studien teilgenommen haben) über die Studie aufgeklärt. Einige Probanden äußerten daraufhin spontan, dass sie das Gefühl gehabt hätten, im Prinzip immer „richtig“ geschaut zu haben, d.h. sie glaubten, dass Ziel immer sofort erreicht zu haben, ohne die Notwendigkeit einer Korrektur in Form einer zweiten Blickbewegung.

Die Auswertung der Daten hinsichtlich der Klassifizierungen von Events (Fixationen, Sakkaden oder Blinks) mit den zugehörigen Parametern (Dauer, Geschwindigkeiten, Amplituden usw.) von Augenbewegungen erfolgte mit der Software *BeGaze* (SMI). Die Art und Weise, wie der Datenstrom ausgewertet wird, kann erhebliche Konsequenzen für die Bestimmung der Events und ihrer Parameter nach sich ziehen. Für die Darstellung und Auswertung hier sind zwei mögliche Ansätze wesentlich: entweder ein auf Fixationen basierender Algorithmus oder ein auf Sakkaden basierender Algorithmus.

Beim ersten Ansatz wird versucht, zunächst Fixationen zu bestimmen. Sakkaden werden für diejenigen Zeiträume definiert, in denen keine Fixationen vorliegen. Das Ziel des zweiten Ansatzes besteht darin, aus dem Datenstrom zunächst Sakkaden zu detektieren. Fixationen ergeben sich aus den Zeiträumen, in denen keine Sakkaden bestimmt wurden.

In einer allgemeinen Formulierung würde man eine Fixation definieren als „Blick auf einen Punkt (unter Einbeziehung einer gewissen Streuung) über eine bestimmte Zeit, die typischerweise bei 100 ms bis mehreren Sekunden liegt“ (gemäß SMI, Technical Note, 2007, S. 3). Eine Sakkade hingegen lässt sich durch die Bewegung des Auges charakterisieren. Überschreitet das Auge eine bestimmte Geschwindigkeit (meist um die 70-80 Grad/Sekunde), ist von einer Sakkade auszugehen. Start- und Endpunkt der Sakkade werden dann durch das Überschreiten bzw. Unterschreiten einer Mindestgeschwindigkeit (meist ausgedrückt durch mehrere Standardabweichungen über oder unter der „Durchschnittsgeschwindigkeit von Fixationen“) bestimmt.<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> Da das Auge nie vollständig bewegungslos ist, gibt es auch bei Fixationen leichte Fluktuationen der Geschwindigkeit.

Das hier verwendete 240 Hertz System nutzt den oben bereits erwähnten zweiten Ansatz zur Bestimmung der Events und ihrer Parameter, d.h. das primäre Event welches bestimmt wird, ist die Sakkade. Der Ansatz zur Bestimmung folgt dabei Smeets und Hooge (2003). Aus dem Datenstrom werden zunächst Geschwindigkeiten berechnet. Dann werden die jeweiligen Spitzengeschwindigkeiten bestimmt, die über einer definierten Schwelle liegen. Diese Schwelle liegt standardmäßig bei 75 Grad/Sekunde. Um Start- und Endpunkt zu bestimmen, wird nach der ersten Geschwindigkeit *zur linken Seite* (d.h. zeitlich vor der Spitzengeschwindigkeit) gesucht, die drei Standardabweichungen höher liegt als die Durchschnittsgeschwindigkeit von Fixationen. Für den Endpunkt wird analog verfahren. Wenn nun auch noch das vorher zeitlich festgelegte Minimum einer Sakkade (standardmäßig bei null Millisekunden) erfüllt ist, und die Spitzengeschwindigkeit im Bereich von 20 % - 80 % der Distanz vom Start- zum Endpunkt liegt, wird eine Sakkade angenommen. Ein Blinzelartefakt (Blink) wird festgelegt, wenn die Geschwindigkeit der Änderung des Pupillendurchmessers einen Schwellenwert (nicht angegeben vom Hersteller) überschreitet. Schließt der Proband die Augen (so dass kein Pupillendurchmesser mehr messbar ist), ist dies der Fall.

Ist eine Sakkade als gültig in *BeGaze* definiert, ergeben sich die zugehörigen Parameter wie Dauer, Durchschnittsgeschwindigkeit, Beschleunigung, Amplitude, Start- und Endposition usw.

Anschließend wurde jeder Durchgang in *BeGaze* auf seine Validität überprüft. Mehrere Gründe konnten dafür sorgen, dass eine Sakkade als ungültig klassifiziert wurde: (1) Die Sakkade wurde gar nicht, zu früh oder zu spät ausgeführt. (2) Während der Ausführung der Sakkade wurde geblinzelt oder der Eyetracker hat das Auge zum Zeitpunkt der Sakkade nicht detektieren können, obwohl das Auge geöffnet war. Beides führt zur Klassifikation *Blinzelartefakt*. (3) Durch Kopfbewegungen während eines Blocks konnte es dazu kommen, dass mehrere aufeinanderfolgende Durchgänge eine nicht mehr gültige Kalibrierung aufwiesen. Dies konnte in der Regel schon während der Durchführung des Experiments gesehen werden. In Abwägung der Ausfälle wurde dann in Einzelfällen entschieden, ob ein Block wiederholt werden sollte, oder ob die Zahl der Ausfälle vertretbar gering ausfiel. (4) Die Amplituden der primären Sakkaden wiesen Abweichungen von  $\pm$  einem Zentimeter vom Mittelwert der jeweiligen Bedingung bei einem Probanden auf. Für gewöhnlich sind die Abweichungen eher durch Unterschreiten dieser Richtlinie gekennzeichnet. Hier kommt es manchmal zu dem Phänomen, dass zwei Sakkaden ausgeführt werden. Die erste endet ungefähr auf der Hälfte der Strecke. Die zweite Sakkade wird dann mit einer Verzögerung von ca. 30 - 40 ms ausgeführt. Der Proband ist sich meist nicht dieser „Stückelung“ des zurückgelegten Weges bewusst. Von den acht getesteten Probanden wiesen zwei dieses



Phänomen häufiger auf. Für die weitere statistische Auswertung wurden die gültigen Sakkaden mit den zugehörigen Parametern durch SPSS weiterverarbeitet.

### 6.2.2 Ergebnisse

Der Versuchsplan entspricht einem within-subject-design mit den Faktoren *Adjustierte Figuren* (9 Stufen) und *Größe* (2 Stufen). Die acht Probanden führten insgesamt 1728 Sakkaden aus (8 x 216), von denen insgesamt 1457 (entspricht ~84,3 %) als gültig eingestuft wurden.

In den Tabellen 6.6 und 6.7 sind die Ergebnisse für die Amplituden der Sakkaden der *Adjustierten Figuren* an die Größe 4 cm und 6 cm dargestellt. Abbildung 6.15 zeigt die Mittelwerte für die Amplituden der Sakkaden für alle getesteten Bedingungen. In Anhang B finden sich weitere Darstellungen der Ergebnisse.

Tab. 6.6: Amplituden der Sakkaden für die *Adjustierten Figuren* (jeweils drei abgegliche *Zielfiguren* an die entsprechenden *Quellfiguren*) für die Größe von 4 cm.

Quellfigur (Größe 4 cm)	Zielfigur	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Arrow-Out	Arrow-Out	4,22	0,25	0,09
	Arrow-In	3,99	0,18	0,06
	Neutral	4,28	0,29	0,10
Arrow-In	Arrow-Out	3,78	0,16	0,06
	Arrow-In	3,31	0,25	0,09
	Neutral	3,39	0,25	0,09
Neutral	Arrow-Out	4,17	0,22	0,08
	Arrow-In	3,81	0,33	0,12
	Neutral	3,85	0,12	0,04

Die grau unterlegten Zielfiguren zeigen an, dass es sich um identische *Quell- und Zielfiguren* handelt, d.h. diese *Zielfiguren* weisen eine tatsächliche Größe von 4 cm auf.

In Abbildung 6.15 sind deutlich sechs *Dreiergruppen* von *Zielfiguren* zu erkennen. Innerhalb dieser Gruppen weisen die *Zielfiguren* perzeptuelle Gleichheit bei physikalischer Verschiedenheit auf.

Tab. 6.7: Amplituden der Sakkaden für die *Adjustierten Figuren* (jeweils drei abgegliche *Zielfiguren* an die entsprechenden *Quellfiguren*) für die Größe von 6 cm.

Quellfigur (Größe 6 cm)	Zielfigur	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Arrow-Out	Arrow-Out	6,54	0,32	0,11
	Arrow-In	5,97	0,40	0,14
	Neutral	6,24	0,25	0,09
Arrow-In	Arrow-Out	5,50	0,28	0,1
	Arrow-In	5,04	0,34	0,12
	Neutral	5,30	0,23	0,08
Neutral	Arrow-Out	5,93	0,37	0,13
	Arrow-In	5,35	0,30	0,11
	Neutral	5,64	0,25	0,087

Die grau unterlegten *Zielfiguren* zeigen an, dass es sich um identische *Quell- und Zielfiguren* handelt, d.h. diese *Zielfiguren* weisen eine tatsächliche Größe von 6 cm auf.

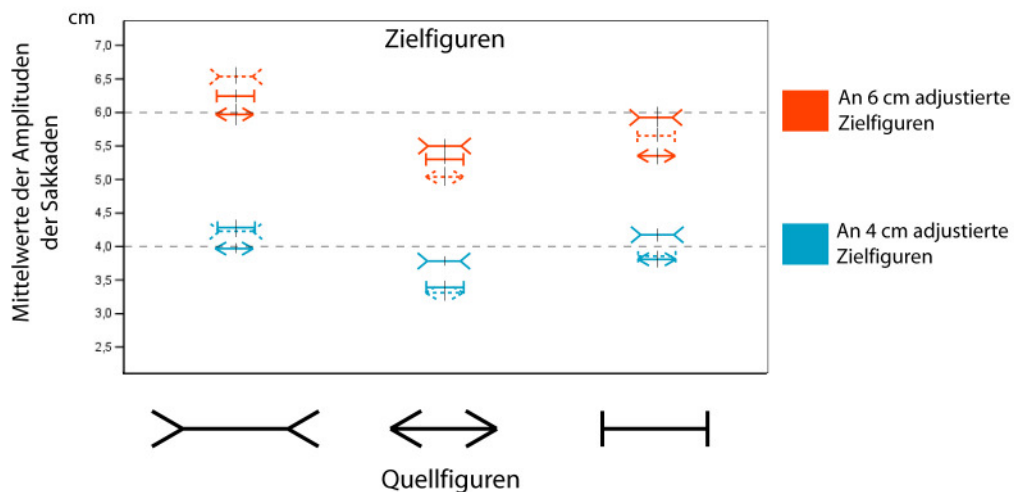


Abb. 6.15: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden (cm) für alle getesteten Bedingungen. Deutlich zu erkennen sind sechs „Dreiergruppen“ von *Zielfiguren*. Innerhalb dieser Gruppen weisen die Figuren unterschiedliche physikalische Größen auf. Perzeptuell erscheinen sie den Probanden jedoch gleich groß. Die gestrichelten Figuren weisen eine tatsächliche Länge von 4 cm (blau) bzw. 6 cm (rot) auf. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. **Beachte:** Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung.

Zur Erinnerung: Die perzeptuelle Adjustierung erfolgte in Experiment 1. Die jeweiligen *Zielfiguren* wurden an die entsprechenden *Quellfiguren* (mit einer Größe von entweder 4 cm oder 6 cm) perzeptuell abgeglichen. Diese adjustierten Figuren wurden für Experiment 2 verwendet, d.h. die tatsächlichen Längen für die jeweiligen *Zielfiguren*, bezogen auf eine *Quellfigur*, variierten. Die *Arrow-Out-Figur* wurde dabei (immer bezogen auf eine *Dreiergruppe*) am kleinsten, die *Arrow-In-Figur* am größten und die

*Neutral-Figur* zwischen den anderen beiden liegend adjustiert. Im Mittel wurden für die *Arrow-Out-Figur* 4,71 cm, für die *Arrow-In-Figur* 5,50 cm und für die *Neutral-Figur* 5,07 cm eingestellt. Sollte allein die wahrgenommene Größe für die Amplitude der Sakkade verantwortlich sein, dann würde man für diese Bedingungen keinen Unterschied erwarten.

Die gestrichelten *Zielfiguren* in Abbildung 6.15 weisen eine tatsächliche Länge von 4 cm bzw. 6 cm auf. Es ist bereits ersichtlich, dass sich die Amplituden für diese physikalisch gleich großen (aber perzeptuell unterschiedlichen) *Zielfiguren* voneinander unterscheiden. Ebenfalls deutlich zu erkennen sind Unterschiede zwischen den Amplituden der Sakkaden für die perzeptuell angeglichenen *Zielfiguren* (*Dreiergruppen*).

Für die folgende inferenzstatistische Auswertung sind zwei Aspekte von besonderer Bedeutung: (1) Liegt eine Assoziation von Perzeption und Handlung vor, d.h. ist die Amplitude der Sakkade in Anlehnung an die perzeptuelle Größe skaliert? Dies ist gleichbedeutend mit der Frage danach, ob die (korrigierten) motorischen Effekte vergleichbar zu denen der perzeptuellen Effekte sind. (2) Lässt sich ein *center of gravity* Effekt nachweisen? Falls ja, lässt sich dieser quantifizieren?

Zur Bestimmung der korrigierten motorischen Effekte wird analog zu den perzeptuellen Messungen vorgegangen. Hierfür muss die Steigung einbezogen werden, die die Größe der Amplitude mit der tatsächlichen Größe der Figuren in Beziehung setzt. Als Referenz dient diesbezüglich die *Neutral-Figur*, genau wie bei den indirekten Methoden der perzeptuellen Messungen. In Abbildung 6.16 sind die Mittelwerte für die Amplituden der Sakkaden für die Bedingungen abgetragen, in denen die *Zielfiguren* die gleichen Größen (4 cm und 6 cm bzw. gemittelt 5 cm) aufwiesen.

Die Abbildung 6.16 ist analog zu den Darstellungen aus Experiment 1 zu verstehen (siehe auch Kapitel 3.3.3.1). Die Steigung für die Amplituden der Sakkaden an der *Neutral-Figur* beträgt 0,9, d.h. eine tatsächliche Vergrößerung einer *Neutral-Figur* um 1 cm bewirkt eine Veränderung der Amplitude der Sakkade um 0,9 cm. Der absolute Effekt wird, wie in Experiment 1, auf die mittlere Größe von 5 cm bezogen. Zur Ermittlung dieses Effektes werden die tatsächlich gemessenen Unterschiede jeweils an der Steigung der *Neutral-Figur* relativiert und addiert. Der korrigierte motorische Effekt ergibt sich somit aus  $m_1 + m_2 = 1,37$  cm (SD = 0,53 cm).

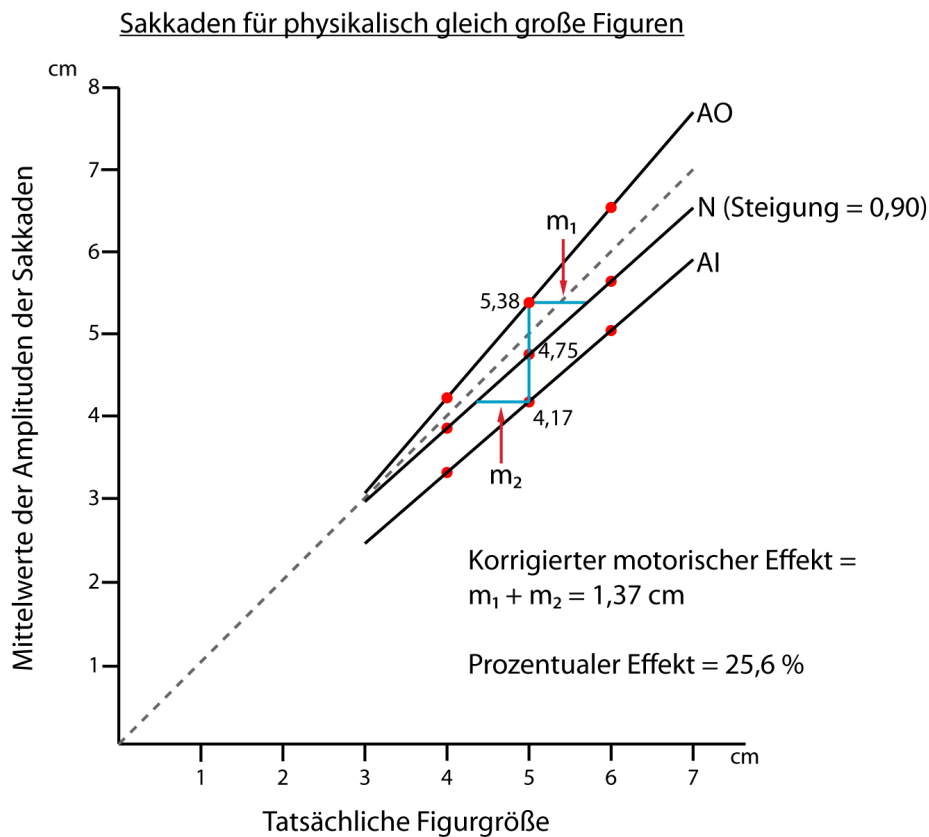


Abb. 6.16: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden für physikalisch gleich große Figuren. Die drei eingezeichneten Geraden beziehen sich auf die *Arrow-Out-Figur* (AO, Steigung = 1,16), die *Arrow-In-Figur* (AI, Steigung = 0,87) und die *Neutral-Figur* (N). Bei den Figurgrößen von 4 cm und 6 cm handelt es sich um die gestrichelten Figuren aus Abbildung 6.15. Bei der Figurgröße 5 cm handelt es sich um die gemittelten Werte (siehe Anhang B). Der korrigierte motorische Effekt wird auf die gemittelte Figurgröße von 5 cm bezogen und durch Addition der Teileffekte  $m_1$  und  $m_2$  ermittelt. Die *Neutral-Figur* dient diesbezüglich als Referenz, genau wie bei der Ermittlung des perceptuellen Effektes (Experiment 1). Zur Berechnung des prozentualen Effektes: siehe Erläuterungen im Text.

Der gesamte prozentuale Unterschied berechnet sich ebenfalls aus zwei Teileffekten. Zur Ermittlung dieser prozentualen Teileffekte werden die (individuellen) Mittelwerte<sup>33</sup> der Probanden für die gemittelte Objektgröße von 5 cm zugrunde gelegt (siehe Anhang B). Für jeden Teileffekt fungiert die *Neutral-Figur* als Referenz, d.h. diese entspricht 100 %. Betrachtet werden die prozentualen Unterschiede der Amplituden der Sakkaden für die *Arrow-Out-Figur* von der *Neutral-Figur* und von der *Arrow-In-Figur* von der *Neutral-Figur*. Daraus folgt ein gesamter prozentualer Unterschied von 25,6 % (SD = 9,6 %). An dieser Stelle lässt sich schon im Vorgriff auf den Vergleich der motorischen

<sup>33</sup> Die individuell errechneten prozentualen Unterschiede weichen von den Unterschieden ab, die man durch Mittelung über alle Probanden erhalten würde. Die Abweichungen sind (hier) allerdings relativ gering, so dass als Näherung folgende Rechnung als Illustration dienen kann (siehe Abb. X6.16):

$$((5,38/4,75) - 1) * 100 + ((1 - (4,17/4,75)) * 100) = 25,5\%$$

und perzeptuellen Maße ein zunächst deutlich erscheinender Unterschied zwischen diesen Maßen festhalten. Für den (korrigierten) perzeptuellen Effekt wurde ein Wert von 0,86 cm ermittelt (für die indirekten Vergleiche gemittelt). Die prozentualen Unterschiede fielen mit ~ 17 % entsprechend ebenfalls geringer aus. Die motorischen Effekte erscheinen also zunächst sogar noch größer auszufallen als die perzeptuellen.

Eine mögliche Erklärung für diesen (zunächst rein deskriptiven) Unterschied ergibt sich durch einen *center of gravity* Effekt, der hier als zusätzlicher motorischer Effekt aufgefasst wird (siehe Kapitel 6.2.1). Dieser sollte durch die Verwendung von in der Größe adjustierter Figuren untersucht werden, die perzeptuell die gleiche Größe aufwiesen (*Dreiergruppen*). Sollte die Größe der Sakkaden nur von der wahrgenommenen Größe der Figuren abhängig sein, würde man für diese Bedingungen keinen Unterschied bei den Amplituden der Sakkaden erwarten. Fände man jedoch Unterschiede, wären diese ein Beleg für einen *center of gravity* Effekt.

In Abbildung 6.15 deutet sich bereits die Existenz des *center of gravity* Effektes an. Die Amplituden der *Dreiergruppen* scheinen sich voneinander zu unterscheiden.

Um dies zu testen, wurden durch Zusammenfassung der Daten nach Größe und *Quellfiguren* nur noch die drei Konfigurationen der Müller-Lyer Figuren betrachtet. Die ursprünglich sechs *Dreiergruppen* werden so auf eine gemittelte *Dreiergruppe* reduziert (Tab. 6.8 und Abb. 6.17).

Tab. 6.8: Amplituden der Sakkaden, zusammengefasst nach den Konfigurationen der *Zielfiguren*.

Zielfiguren	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Arrow-Out	5,02	0,20	0,07
Arrow-In	4,58	0,24	0,08
Neutral	4,78	0,13	0,05

Die Mittelwerte für die Amplituden der Sakkaden wurden sowohl über die Größe als auch über die *Quellfiguren* zusammengefasst, d.h. die sechs *Dreiergruppen* (siehe Abb. 6.15) wurden auf eine gemittelte *Dreiergruppe* reduziert. Die erhaltenen Unterschiede für diese drei Bedingungen stellen ein Maß für den *center of gravity* Effekt dar.

Sollten sich für diese drei Bedingungen Unterschiede ergeben, würde dies für einen *center of gravity* Effekt sprechen. Die Größe dieses Unterschiedes wäre dann der im Mittel erhaltene *center of gravity* Effekt.

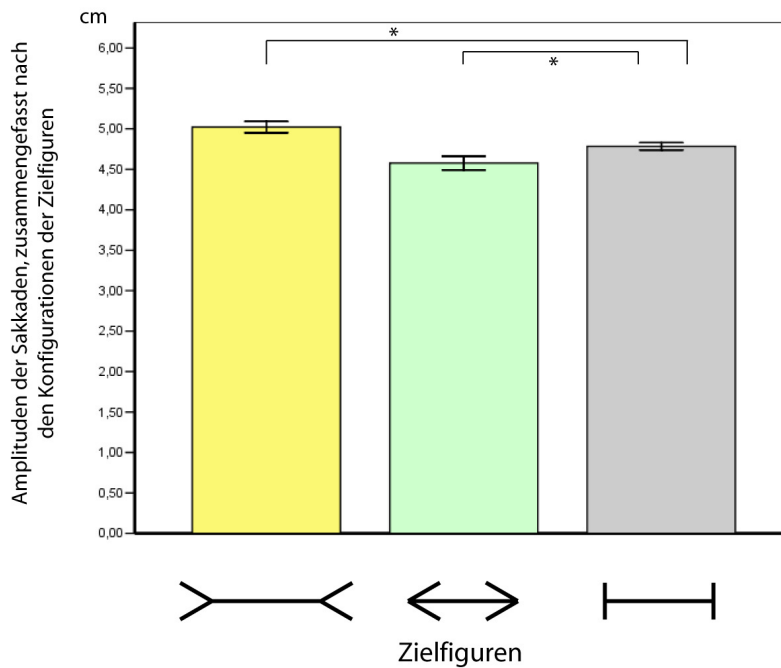


Abb. 6.17: Mittelwerte für die Amplituden der Sakkaden (cm), zusammengefasst nach den Konfigurationen der Zielfiguren. Die Unterschiede zwischen der *Arrow-Out-Figur* zur *Neutral-Figur* und der *Arrow-In-Figur* zur *Neutral-Figur* ist Ausdruck des *center of gravity* Effektes. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. **Beachte:** Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant.

In signifikanter Weise unterscheiden sich sowohl die *Arrow-Out-Figur* und die *Neutral-Figur* ( $t(7) = 2,82$ ;  $p = 0,013$ ), die *Arrow-In-Figur* und die *Neutral-Figur* ( $t(7) = 1,98$ ;  $p = 0,044$ ) als auch die *Arrow-Out-Figur* und die *Arrow-In-Figur* voneinander ( $t(7) = 4,33$ ;  $p = 0,002$ ). Ein *center of gravity* Effekt kann damit nachgewiesen werden. Abbildung 6.18 illustriert diesen Effekt noch einmal schematisch.

In der Abbildung 6.18 sind die drei Müller-Lyer Konfigurationen dargestellt. Die Länge der Figuren entspricht den im Mittel adjustierten Längen für diese Figuren, zusammengefasst nach den Zielfiguren (siehe Experiment 1). Anders formuliert: Die wahrgenommene Länge dieser Figuren ist im Mittel für die Probanden gleich, obwohl die Figuren unterschiedliche Größen aufweisen. Die rot markierten Kreuze stellen den Endpunkt der Sakkaden für die ebenfalls nach Konfigurationen zusammengefassten Zielfiguren (siehe auch Tab. 6.8 und Abb. 6.17) dar. Deutlich zu sehen ist die Unterschätzung der Amplitude der Sakkade für die *Neutral-Figur*. Obwohl die *Arrow-In-Figur* größer war als die *Neutral-Figur*, fiel die Sakkade sogar noch um 4,2 % kleiner aus als die Sakkade nach der *Neutral-Figur*. Die Sakkade für die *Arrow-Out-Figur* hingegen war um 5,0 % gegenüber der Sakkade der *Neutral-Figur* erhöht, obwohl die *Arrow-Out-Figur* tatsächlich kleiner war im Vergleich zur *Neutral-Figur*.

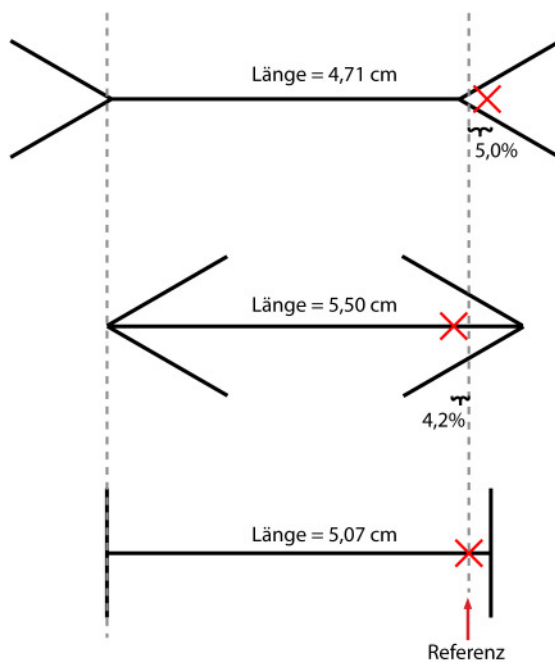


Abb. 6.18: Schematische Illustration des *center of gravity* Effektes. Dargestellt sind die drei Konfigurationen der Müller-Lyer Figuren. Die angegebenen Längen der Figuren beziehen sich auf die tatsächlichen Längen der Figuren (gemittelt), d.h. diese Längen wurden im Mittel von den Probanden eingestellt, um perzeptuelle Gleichheit zwischen den Figuren zu erhalten. Für die Illustration stellen die jeweiligen linken Enden der horizontalen Balken (auf der gestrichelten linken Linie) den Startpunkt der Amplitude dar. Die roten Kreuze markieren die Endpunkte der Sakkaden (siehe Tab. 6.8 und Abb. 6.17). Die gestrichelte rechte Linie markiert den Endpunkt der Sakkaden für die *Neutral-Figur* (Referenz). Für diese wird kein *center of gravity* Effekt angenommen. Abweichungen der Endpunkte für die anderen beiden Figuren stellen somit ein Maß für die Größe des *center of gravity* Effektes dar. Beachte: Eigentlich wurden die Sakkaden sowohl von links nach rechts als auch von rechts nach links durchgeführt. Die Darstellung ist also eine Vereinfachung.

Wenn nun der *center of gravity* Effekt existiert, dann wirkt er sich auch auf die Größe des ermittelten motorischen Effektes aus. Dieser sollte aber eigentlich nur den illusorischen motorischen Effekt, d.h. den Effekt, der nur auf die Illusion zurückgeht, enthalten, um einen fairen Vergleich mit dem perzeptuellen Effekt zu ermöglichen. Der oben ermittelte motorische Effekt, der den *center of gravity* Effekt enthält, fiel mit einer Größe von 1,37 cm (SD = 0,53 cm) entsprechend groß aus.

Es wäre wünschenswert, diesen motorischen Effekt um den *center of gravity* Effekt zu korrigieren. Ansatzpunkt hierfür ist die *Neutral-Figur*, für die aufgrund ihrer Konfiguration kein *center of gravity* Effekt angenommen wird. Die Amplitude der Sakkade nach dieser Figur kann somit als „neutral“ hinsichtlich des *center of gravity* Effektes betrachtet werden. Da angenommen wurde, dass Abweichungen der Amplituden der Sakkaden für physikalisch unterschiedliche große Objekte, die perzeptuell gleich groß erscheinen, auf dem *center of gravity* Effekt beruhen, kann eine Korrektur darin bestehen, die Amplituden der *Arrow-Out-Figuren* um die Abweichung

zur *Neutral-Figur* zu verringern bzw. die der *Arrow-In-Figuren* um die Abweichung zur *Neutral-Figur* zu erhöhen. Die Amplituden der illusorischen Figuren werden also auf die Referenz „verschoben“. Dieses Vorgehen kann auch an Abbildung 6.15 illustriert werden. Für jede der sechs *Dreiergruppen* (physikalisch unterschiedlich groß, perceptuell gleich groß) werden die Amplituden der *Arrow-Out-Figur* und der *Arrow-In-Figur* an die *Neutral-Figur* angeglichen. Für diese Korrektur müssen die Messwerte der *Arrow-Out-Figur* um die gemessenen 5,0 % Unterschied des *center of gravity* Effektes zur *Neutral-Figur* verringert, die der *Arrow-In-Figur* um 4,2 % erhöht werden. Nun kann der motorische Effekt ermittelt werden, der den gemessenen *center of gravity* Effekt nicht mehr enthält (Abb. 6.19).

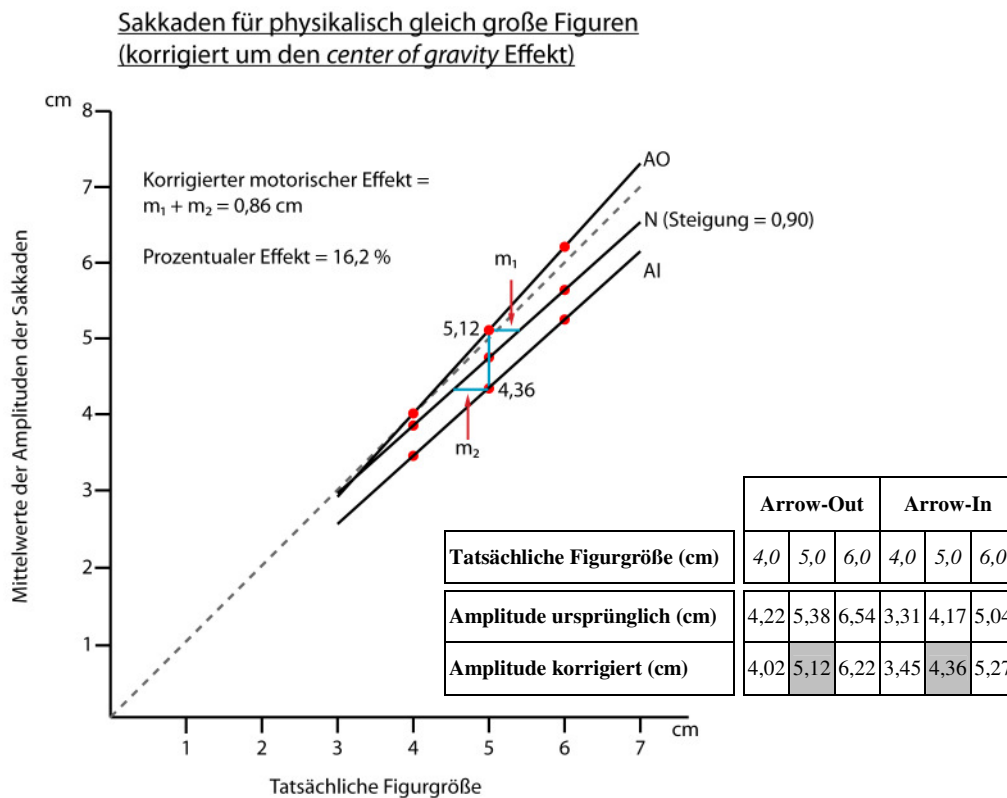


Abb. 6.19: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden für physikalisch gleich große Figuren, korrigiert um den *center of gravity* Effekt. Die Tabelle zeigt die ursprünglichen Amplituden (vgl. Abb. 6.16) als auch die korrigierten Amplituden. Grau unterlegt sind diejenigen Werte für die tatsächliche Größe der Figuren, die maßgeblich sind für die Bestimmung des motorischen Effektes, der sowohl um die Steigung als auch um den *center of gravity* Effekt korrigiert ist.

In der Abbildung 6.19 sind die um den *center of gravity* Effekt korrigierten Messwerte (die Werte der *Neutral-Figuren* bleiben unverändert) für die Amplituden der Sakkaden nach 4 cm und 6 cm langen Figuren abgetragen. Relativiert man die erhaltenen motorischen Effekte an der Steigung der *Neutral-Figuren*, so erhält man schließlich einen korrigierten (sowohl um die Steigung als auch um den *center of gravity* Effekt)



motorischen Effekt mit der Größe  $m_1 + m_2 = 0,86$  cm (SD = 0,25 cm). Der prozentuale Unterschied beträgt (bezogen auf die *Neutral-Figur*) nun 16,2 % (SD = 4,4 %).

Für die *explorative Datenanalyse* wurden die Dauer der Sakkaden, die Spitzengeschwindigkeit, der Zeitpunkt des Erreichens der Spitzengeschwindigkeit, die Durchschnittsgeschwindigkeit und die Anzahl gültiger Sakkaden ausgewertet.

Wie bereits beschrieben, wurden insgesamt 1457 von 1728 Sakkaden als gültig gewertet, was einem Anteil von 84,3 % entspricht. Tabelle 6.9 gibt eine über alle Bedingungen zusammengefasste Übersicht der betrachteten Variablen.

Tab. 6.9: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der explorativen Datenanalyse, zusammengefasst über alle Bedingungen.

Variable	Mittelwert	SD
<b>Dauer der Sakkade</b>	60,1 ms	18,8 ms
<b>Spitzengeschwindigkeit</b>	277,1 °/s	49,8 °/s
<b>Spitzengeschwindigkeit bei X % der Dauer</b>	37,9 %	9,2 %
<b>Durchschnittsgeschwindigkeit</b>	94,0 °/s	27,0 °/s

Abk.: ms = Millisekunden; °/s = Grad/Sekunde

Die in Kapitel 2.1 beschriebenen Zusammenhänge von der Dauer der Sakkade, der Spitzengeschwindigkeit und der Durchschnittsgeschwindigkeit mit der Amplitude der Sakkade bestätigten sich für die erhaltenen Daten. Fasst man die getesteten Bedingungen nach der Größe der Figuren zusammen (d.h. gemäß des Versuchsplans zwei Gruppen mit den an 4 cm bzw. 6 cm adjustierten Figuren, so ergibt sich ein signifikanter Unterschied für die Dauer der Sakkaden ( $t(7) = 4,56$ ;  $p = 0,002$ ).<sup>34</sup> Die größeren Sakkaden ( $M = 63,3$  ms;  $SD = 1,5$  ms) dauern länger als die kleineren Sakkaden ( $M = 56,9$  ms;  $SD = 2,0$  ms). Größere Sakkaden ( $M = 306,7$  °/s;  $SD = 14,1$  °/s) weisen ebenfalls eine größere Spitzengeschwindigkeit auf als kleinere Sakkaden ( $M = 245,8$  °/s;  $SD = 13,4$  °/s). Der entsprechende Kontrast wird signifikant ( $t(7) = 15,42$ ;  $p < 0,001$ ). Das gleiche gilt für die Durchschnittsgeschwindigkeit ( $t(7) = 13,13$ ;  $p < 0,001$ ). Größere Sakkaden ( $M = 104,6$  °/s;  $SD = 5,9$  °/s) weisen eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit auf als kleinere Sakkaden ( $M = 82,1$  °/s;  $SD = 4,8$  °/s).

<sup>34</sup> Genauer und ausführlicher würde eine solche Auswertung mit Hilfe der linearen Regression erfolgen. Die „grobe“ Einteilung in zwei Größen erscheint aber hier für den intendierten Zweck vollkommen ausreichend zu sein.

### 6.3 Ergebnisse für den Vergleich perzeptueller und motorischer Effekte

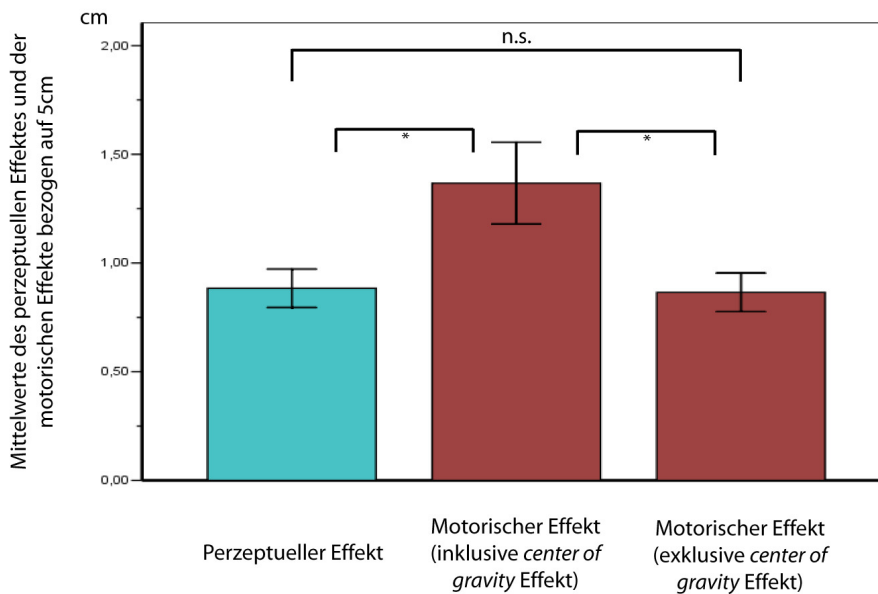
Nachdem in Experiment 1 perzeptuelle Effekte und in Experiment 2 motorische Effekte bestimmt wurden, können diese nun statistisch miteinander verglichen werden. Da insgesamt vier perzeptuelle Effekte durch vier Methoden ermittelt wurden (zwei *Direkte* und zwei *Indirekte Methoden*) stellt sich die Frage, welche Vergleiche für perzeptuelle und motorische Effekte sinnvoll sind. Diesbezüglich wurde argumentiert, dass größtmögliche Fairness dann erreicht wird, wenn eine gemeinsame Referenz genutzt wird, auf die sich die Effekte beziehen. Die hier verwendete Referenz ist die *Neutral-Figur*. Für die perzeptuellen Effekte kommen somit nur die *Indirekten Methoden* infrage. Diese sollten sich theoretisch nur geringfügig voneinander unterscheiden. Entsprechend wurden die gemessenen Werte von  $M = 0,88$  cm ( $SD = 0,25$  cm) für den *Traditionellen Indirekten Vergleich* und  $M = 0,83$  cm ( $SD = 0,35$  cm) für den *Umgekehrten Indirekten Vergleich* statistisch nicht signifikant. Daher wird für die folgenden Vergleiche perzeptueller und motorischer Effekte nur der *Traditionelle Indirekte Vergleich*, in Anlehnung an Franz et al. (2000), herangezogen. Entsprechend ist im Folgenden unter dem perzeptuellen Effekt derjenige Effekt gemeint, der durch die *Traditionelle Indirekte Methode* bestimmt wurde.

Tabelle 6.10 und Abbildung 6.20 stellen die erhaltenen perzeptuellen und motorischen Effekte dar. Der perzeptuelle Effekt unterscheidet sich signifikant vom Motorischen Effekt, der noch den *center of gravity* Effekt beinhaltet ( $t(7) = 2,90$ ;  $p = 0,023$ ; zweiseitiger Test). Dieser motorische Effekt ist also größer als der perzeptuelle Effekt. Er ist ebenfalls signifikant verschieden von dem motorischen Effekt, der um den *center of gravity* Effekt korrigiert wurde ( $t(7) = 4,21$ ;  $p = 0,002$ ; einseitiger Test). Die Korrektur bewirkt also tatsächlich eine Verminderung des motorischen Effektes. Der wichtigste Vergleich wird durch den perzeptuellen Effekt und den um den *center of gravity* korrigierten motorischen Effekt gebildet. Diese beiden Effekte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ( $t(7) = 0,22$ ;  $p = 0,829$ ; zweiseitiger Test). Damit bestätigt sich die Annahme, dass die Amplituden der Sakkaden nach der wahrgenommenen Größe der Müller-Lyer Figuren skaliert sind, zumindest dann, wenn sie um den *center of gravity* Effekt korrigiert sind. Prozentuale Angaben und Vergleiche finden sich im Anhang.

Tab. 6.10: Perzeptuelle und motorische Effekte.

Art des Effektes	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Perzeptueller Effekt</b>	0,88	0,25	0,09
<b>Motorischer Effekt (inklusive <i>center of gravity</i> Effekt)</b>	1,37	0,53	0,19
<b>Motorischer Effekt (ohne <i>center of gravity</i> Effekt)</b>	0,86	0,25	0,09

Alle drei Effekte sind an den jeweiligen Steigungen korrigiert. Die Größe dieser Effekte bezieht sich auf die mittlere verwendete Figurgröße von 5 cm. Der perzeptuelle Effekt wurde durch den *Traditionellen Indirekten Vergleich* ermittelt (Erläuterung siehe Text).



Vergleich perzeptueller und motorischer Effekte

Abb. 6.20: Vergleich der Mittelwerte für den perzeptuellen Effekt und für die motorischen Effekte. Der perzeptuelle Effekt (blau) entspricht dem *Traditionellen Indirekten Vergleich*, der sich, wie die motorischen Effekte, auf die *Neutral-Figur* als Referenz bezieht. Der mittlere Balken stellt den motorischen Effekt dar, der noch den *center of gravity* Effekt enthält. Diese Bedingung unterscheidet sich von den anderen beiden signifikant. Der rechte Balken stellt den motorischen Effekt dar, der um den *center of gravity* Effekt korrigiert wurde. Dieser motorische Effekt unterscheidet sich nicht signifikant vom perzeptuellen Effekt. Alle drei Effekte sind zudem korrigiert in dem Sinne, dass sie an den jeweiligen Steigungen relativiert wurden. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. **Beachte:** Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant; n.s. = nicht signifikant. Die Tests wurden zweiseitig auf dem 5% Niveau durchgeführt.

## 6.4 Diskussion

In *Studie 1* wurden sowohl perzeptuelle als auch motorische Maße an der Müller-Lyer Illusion untersucht. Durch die perzeptuellen Messungen sollte die Größe des perzeptuellen Effektes, durch die motorischen Messungen die Größe des motorischen Effektes für Amplituden von Sakkaden ermittelt werden. Anhand des Vergleiches dieser beiden Effekte sollte schließlich entschieden werden, ob man von einer Dissoziation (d.h. einer Abweichung von perzeptuellen und motorischen Effekten) oder einer Assoziation (d.h. einer Übereinstimmung von perzeptuellen und motorischen Effekten) sprechen kann.

Anmerkung: Sofern nicht anders beschrieben, werden im Folgenden unter perzeptuellen und motorischen Effekten die bereits um die jeweiligen Steigungen korrigierten Effekte verstanden.

Bei der Ermittlung perzeptueller Effekte wurden vier Methoden voneinander unterschieden, von denen zwei als *Direkte* und zwei als *Indirekte* bezeichnet wurden. Bei den *Direkten Methoden* wurde eine illusorische Figur (d.h. entweder die *Arrow-Out-Figur* oder die *Arrow-In-Figur*) an die jeweils andere illusorische Figur adjustiert. Es wurde hier der Vergleich *Klein an Groß* (*Arrow-In* adjustiert an *Arrow-Out*) und der Vergleich *Groß an Klein* (*Arrow-Out* adjustiert an *Arrow-In*) unterschieden. Bei den beiden *Indirekten Methoden* wird eine weitere Figur, die so genannte *Neutral-Figur*, für den Abgleich benutzt. Bei der *Traditionellen Indirekten Methode* wird die *Neutral-Figur* an die anderen beiden illusorischen Bedingungen angepasst, bei der *Umgekehrten Indirekten Methode* die illusorischen Bedingungen an die *Neutral-Figur*. Nach Franz et al. (2000) sollte die *Traditionelle Indirekte Methode* kleinere perzeptuelle Effekte erzeugen als der Vergleich *Klein an Groß*. Nach der Begründung von Franz und Kollegen werde die Wahrnehmung „stärker getäuscht“, wenn zwei illusorische Bedingungen direkt miteinander verglichen werden. Nach der hier vertretenen internalistischen Sicht gibt es jedoch kein sinnvolles Kriterium einer Unterscheidung in illusorische und reale Stimuli. Dennoch wäre es denkbar, dass sich der perzeptuelle Effekt verstärkt, wenn zwei Bedingungen direkt miteinander verglichen werden, die „perzeptuell weit auseinander“ liegen. Es wurde zudem argumentiert, dass sich die verschiedenen Vergleiche jedoch prinzipiell ineinander überführen lassen sollten.

Für die beiden *Direkten Vergleiche* (*Klein an Groß* und *Groß an Klein*) konnten keine Unterschiede für die (absoluten) perzeptuellen Effekte nachgewiesen werden. Nach den vorherigen theoretischen Überlegungen würde man zwar kleine Unterschiede erwarten, die gefundenen Differenzen erreichten jedoch keine statistische Signifikanz.

Entsprechend wurden die prozentualen Unterschiede zwischen diesen Vergleichen erwartungsgemäß ebenfalls nicht signifikant.

Der Vergleich der beiden *Indirekten Methoden* (*Traditionell* und *Umgekehrt*) erbrachte ebenso keine signifikanten Unterschiede, weder für die absoluten noch für die prozentualen Effekte. Zwar kann aus theoretischer Sicht angenommen werden, dass minimale Unterschiede zwischen diesen Bedingungen bestehen, diese sollten aber so klein sein, dass sie sich nicht in den Daten widerspiegeln sollten bzw. dies auch nicht getan haben.

Die Annahmen von Franz et al. (2000), nach denen der *Traditionelle Vergleich* kleinere perzeptuelle Effekte im Vergleich zur Methode *Klein an Groß* aufweisen sollte, ließen sich nicht bestätigen. Die perzeptuellen Effekte für diese Methoden unterschieden sich nicht voneinander. Die perzeptuellen Effekte verstärken sich also nicht, wenn man „perzeptuell weit auseinanderliegende“ Bedingungen miteinander vergleicht. Seitdem diese Annahme im Jahr 2000 publiziert wurde, galt sie als Maßstab für faire Vergleiche zwischen motorischen und perzeptuellen Maßen. Da man bei motorischen Effekten auf lediglich eine Figur fokussiert sei (etwa beim Greifen nach dem Objekt oder bei Sakkaden), man aber beim perzeptuellen *Direkten Abgleich* beide illusorische Bedingungen (die nach Franz et al. (2000) den perzeptuellen Effekt verstärken) einbezieht, sollte dieser Vergleich nicht fair sein. Da die *Neutral-Figur* externalistisch als nicht illusorisch verstanden wird, wäre ein perzeptueller Abgleich unter Verwendung der *Neutral-Figur* (üblicherweise als *Zielfigur* beim *Traditionellen Vergleich*) der ideale Vergleich mit den motorischen Effekten. Nach den vorliegenden Daten kann diese Ansicht nicht bestätigt werden.

Die Nutzung der *Neutral-Figur* für den perzeptuellen Abgleich hat jedoch Konsequenzen für den Vergleich mit den motorischen Effekten. Das hier vertretene Argument widerspricht den Annahmen von Franz und Kollegen, die von einem fairen Vergleich perzeptueller und motorischer Effekte ausgehen, wenn sie das oben skizzierte Verfahren anwenden. Nach dem zugrunde liegenden Argument vernachlässigen sie die Steigung der Geraden, die man beim Erheben motorischer Maße an unterschiedlich großen *Neutral-Figuren* erhält (Abb. 6.16). Diese Steigung wird im Folgenden als Steigung für die *Neutral-Figur* (bzw. Steigung für die illusorischen Bedingungen) bezeichnet. Bedenkt man die von Franz et al. (2000) eingeführte Korrektur der Steigungen für perzeptuelle und motorische Effekte, sieht man ein Ungleichgewicht dieser Korrekturen für die entsprechenden Effekte.

Zur Erinnerung: Die Grundidee eines fairen Vergleichs beruht nach Franz et al. (2000) darauf, unterschiedliche lineare Transformationen perzeptueller und motorischer Messungen aneinander anzupassen. Stellt man beispielsweise fest, dass die Steigung für den perzeptuellen Abgleich von Objekten 1,1 beträgt, die für das motorische Maß hingegen nur 0,7, so würde man auch ganz ohne illusorische Stimuli einen Unterschied zwischen perzeptuellen und motorischen Maßen erwarten. Franz et al. (2000) gehen davon aus, dass die Bildung des Mittelwerts aus den gemessenen Steigungen für die illusorischen Bedingungen eine gute Schätzung für die Steigungen der perzeptuellen und motorischen Maße darstellt. Problematisch bei dieser Annahme ist jedoch, dass für die Messung perzeptueller Effekte lediglich der Abgleich der verwendeten „neutralen“ Figur (dort externalistisch verstanden als Figur, welche „richtige“ Wahrnehmungen auslöst) mit den jeweiligen illusorischen Bedingungen durchgeführt wird. Keine der Studien des Paradigmas der visuellen Illusionen bestimmte jedoch die Steigung für den perzeptuellen Abgleich an einem Objekt selbst. Der Vergleich zwischen unterschiedlichen Bedingungen (*Neutral-Figur* adjustiert an die illusorischen Bedingungen) wird ausnahmslos benutzt, um durch Mittelwertbildung diese Steigung zu schätzen. Wie sich im Folgenden zeigen wird, kann dies zu Unter- bzw. Überschätzungen perzeptueller oder motorischer Effekte führen.

Für die Bestimmung der Steigung kommt es auf den verwendeten Ansatz an. Mit der manuellen Methode würde man messen, wie sich der Abstand von Daumen und Zeigefinger ändert, wenn man die tatsächliche Objektgröße (einer illusorischen Bedingung oder die *Neutral-Figur*) variiert. Dabei muss nicht zwangsläufig davon ausgegangen werden, dass die Steigungen für die illusorischen Bedingungen mit der Steigung der *Neutral-Figur* übereinstimmen. Dies ist zunächst einmal eine empirische Frage. Bei dem hier verwendeten Ansatz wurden deshalb alle drei *Quellfiguren* auch an sich selbst angepasst (d.h. *Zielfigur* und *Quellfigur* waren identisch). Es stellte sich dabei kein Unterschied zwischen diesen Bedingungen heraus. Die Steigung betrug für die hier verwendete Adjustiermethode annähernd 1,0.

Ein von allen bisherigen Gruppen vernachlässigter Effekt spiegelt sich in der Messung motorischer Effekte wider. Während die Steigung für die *Neutral-Figur* zumindest implizit in den perzeptuellen Messungen enthalten ist (durch den Abgleich der Figuren an die illusorischen Figuren), ist dies nicht der Fall für die motorischen Messungen. Zur Bestimmung motorischer Effekte werden in der Regel nur die illusorischen Bedingungen gemessen. Dahinter steckt die implizite Annahme, dass der Mittelwert der erhaltenen Steigungen dem Mittelwert der verwendeten *Neutral-Figur* entspricht. Für die hier gemessenen Sakkaden kann dies jedoch nicht bestätigt werden. Während die Steigung der *Arrow-Out-Figur* einen Wert von 1,16 aufwies, waren die Steigungen für

die *Neutral-Figur* (0,90) und für die *Arrow-In-Figur* nahezu identisch (0,87). Nach der Methode von Franz und Kollegen würde man für die Korrektur der motorischen Effekte den Mittelwert der Steigungen für die illusorischen Bedingungen berechnen (1,02). Damit würden sie davon ausgehen, dass die Sakkaden unter „neutralen Bedingungen“ praktisch die Steigung von 1,0 aufweisen und somit eine Korrektur überflüssig wäre. Die Steigung für diese Figuren beträgt jedoch nur 0,90. Eine Korrektur anhand dieser Steigung führt demnach zu größeren motorischen Effekten. Hierbei kann also nicht von einem fairen Vergleich perzeptueller und motorischer Maße gesprochen werden, wenn man für die perzeptuellen Effekte die *Traditionelle Indirekte Methode* und für die motorischen Effekte lediglich die illusorischen Bedingungen misst. Ein sinnvoller und fairer Vergleich ergibt sich vielmehr daraus, eine gemeinsame Referenz (hier die *Neutral-Figur*) zu verwenden und diese sowohl für die Bestimmung der perzeptuellen als auch für die motorischen Effekte zu berücksichtigen.

Die Messung der Amplituden der Sakkaden verfolgte zwei Ziele: Zum einen sollte der motorische Effekt für den Vergleich mit dem perzeptuellen Effekt bestimmt werden. Zum anderen sollte überprüft werden, ob ein *center of gravity* Effekt nachgewiesen werden kann. Der zunächst gemessene motorische Effekt (ohne Korrektur um den *center of gravity* Effekt) fiel deutlich größer aus als der perzeptuelle Effekt (der durch den *Traditionellen Indirekten Vergleich* ermittelt wurde). Dies scheint auf den ersten Blick unerwartet, da motorische Effekte meist eher kleiner ausfallen als die perzeptuellen Effekte. Durch die Verwendung von in der Größe adjustierten Figuren, die perzeptuelle Gleichheit aufwiesen, konnte allerdings ein *center of gravity* Effekt nachgewiesen werden, der zumindest einen Teil der großen motorischen Effekte erklären kann. Dieser Effekt fiel dabei überraschend groß aus (~ 5 % größere Amplituden der Sakkaden für *Arrow-Out-Figuren* im Vergleich zu *Neutral-Figuren* und ~ 4,2 % kleinere Amplituden für *Arrow-In-Figuren* im Vergleich zu den *Neutral-Figuren*). Zu erinnern ist dabei, dass sich die tatsächlichen Größen der perzeptuell gleich großen Figuren voneinander unterschieden (*Dreiergruppen*). Die *Arrow-In-Figuren* wurden für perzeptuelle Gleichheit mit den *Arrow-Out-Figuren* größer eingestellt, dennoch fielen die Sakkaden für diese Bedingungen sogar deutlich kleiner aus (siehe Abb. 6.18).

Der gemessene *center of gravity* Effekt wird hier verstanden als zusätzlicher motorischer Effekt, der nicht von der wahrgenommenen Größe der Figuren abhängig ist. Stattdessen ist er Ausdruck einer allgemeinen Tendenz der Sakkaden, diese näher an das *center of gravity* einer Figur zu bringen. In diesem Sinne kann dieser Effekt als Störfaktor für den Vergleich perzeptueller und motorischer Effekte aufgefasst werden.

Daher wurde versucht, den motorischen Effekt um den *center of gravity* Effekt zu korrigieren. Da bei der *Neutral-Figur* von keinem solchen Effekt ausgegangen werden kann, wurden die erhaltenen Messwerte für die perzeptuell gleich wirkenden Bedingungen auf die Werte der *Neutral-Figur* „angeglichen“. Der so bestimmte motorische Effekt war nicht mehr von dem gemessenen perzeptuellen Effekt unterscheidbar. Es ergab sich eine bemerkenswerte Übereinstimmung des perzeptuellen und des motorischen Effektes. Demnach sind die Amplituden der Sakkaden für die Müller-Lyer Illusion nach der wahrgenommenen Größe der Figuren skaliert, sofern man den motorischen Effekt um den *center of gravity* Effekt korrigiert.

Die Analyse der explorativen Daten erbrachte zusätzliche Ergebnisse, die für die Interpretation der wesentlichen Resultate aber keine Einschränkungen bedeuteten. Sowohl die Dauer der Sakkade, als auch die Spitzengeschwindigkeit und die Durchschnittsgeschwindigkeit stiegen erwartungsgemäß an, wenn eine größere Sakkade durchgeführt wurde.

Die erwartete Assoziation von Perception und Handlung lässt sich also für die Müller-Lyer Illusion nachweisen, sofern für die motorischen Effekte die Amplituden von Sakkaden genutzt werden. In einem nächsten Schritt soll die Frage geklärt werden, ob dieser Befund immer für die Amplituden von Sakkaden gilt, oder ob dies spezifisch für die jeweilige untersuchte „Illusion“ ist. *Studie 2* untersucht daher ebenfalls die Amplituden von Sakkaden, allerdings anhand einer selbst entworfenen Illusion, der so genannten Steg Illusion, die sich an der Ponzo Illusion orientiert.

## 7 Studie 2: Die Steg Illusion

In *Studie 1* wurde eine Assoziation von Perception und Handlung anhand der Müller-Lyer Illusion belegt. In der bisherigen Darstellung wurde viel Wert auf die Bedeutung gelegt, die durch eine „Illusion“ angesprochen werden soll. Für die Müller-Lyer Illusion (und ihre Abwandlungen) gibt es keine überzeugenden Ansichten darüber, wie diese Illusion zu erklären ist. Dies tritt für den Moment vorerst in den Hintergrund. Stattdessen ist zunächst der Befund der Assoziation festzuhalten. In *Studie 2* ist dieser Befund zu nutzen, um die aufgestellten Hypothesen 1 und 3 zu untersuchen. Nach Hypothese 1 sollten sich für *dasselbe* motorische Maß unter Verwendung unterschiedlicher Illusionen sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen von Perception und Handlung nachweisen lassen. Hypothese 3 hingegen geht dabei von einem vorhersagbaren Auftreten von Dissoziationen oder Assoziationen aus. Diese



werden durch die interne Bedeutung vorhergesagt, die durch den Stimulus angeregt wird. In dieser Studie kommt eine Illusion zur Verwendung, bei der eine Dissoziation von Perzeption und Handlung angenommen wird. Bei dem motorischen Maß handelt es sich um die Amplituden von Sakkaden, so dass Hypothese 1 überprüft werden kann. In Anlehnung an das Gedankenspiel aus Kapitel 3.3.3.2 wurde für diesen Zweck eine Illusion geschaffen, die sich als modifizierte Ponzo Illusion beschreiben lassen könnte. Im Folgenden wird diese Illusion als Steg Illusion bezeichnet (siehe Abb. 7.1 weiter unten). Bei dieser zweidimensionalen Illusion hat ein Betrachter den Eindruck, einen „dreidimensionalen“ Steg entlangzuschauen. Die horizontalen Balken scheinen sich dabei in unterschiedlicher Entfernung vom Betrachter in dieser dreidimensionalen Szene zu befinden. Daraus resultiert eine unterschiedliche Größenwahrnehmung für physikalisch gleich große horizontale Balken.

*Studie 2* teilt sich in zwei Experimente. In Experiment 1 wird der perzeptuelle Effekt gemessen. Die Existenz eines perzeptuellen Effektes ist zum einen die Grundlage dafür, dass nach der oben gegebenen externalistischen Definition (Kapitel 1.3) eine „Illusion“ vorliegt, zum anderen kann dieser Effekt mit dem motorischen Effekt verglichen werden, der in Experiment 2 anhand von Sakkaden ermittelt wird. Analog zu dem bereits erwähnten Gedankenexperiment wird kein (oder zumindest ein deutlich kleinerer) motorischer Effekt für Sakkaden in dieser Studie erwartet. Somit wird im Gegensatz zu Studie 1 eine Dissoziation von Perzeption und Handlung angenommen.

## 7.1 Experiment 1: Perzeptueller Längenabgleich

### 7.1.1 Methode

#### Versuchspersonen

An *Studie 2* nahmen neun Probanden teil. Aufgrund zahlreicher Datenausfälle bei Experiment 2 wurde ein Proband von der Auswertung ausgeschlossen. Von den übrigen acht Probanden nahmen fünf bereits in *Studie 1* teil. Bei zwei von ihnen handelt es sich um einen der Betreuer der Arbeit (JK) und um den Autor dieser Arbeit (RG). Die drei Teilnehmer, die bereits an *Studie 1* teilgenommen haben, wurden erst nach Teilnahme an dieser Studie über die Hypothesen aufgeklärt. Bei den drei Teilnehmern, die nicht bereits in *Studie 1* teilgenommen haben, handelt es sich um zwei Mitarbeiter des Physiologischen Instituts in Kiel und um eine Psychologiestudentin. Diese erwarb durch ihre Teilnahme „Versuchspersonenstunden“, die benötigt werden, um zur Zwischenprüfung (Vordiplom) zugelassen zu werden.

### Versuchsdesign

Es werden zwei unabhängige Variablen unterschieden: (1) Die Entfernung der *Quellfigur* und (2) die Größe der *Quellfigur*.

#### UV Entfernung

Bei der Steg Illusion werden dem Probanden immer zwei horizontale Balken präsentiert, die sich scheinbar in einer bestimmten „Entfernung“ auf einem „Steg“ befinden (Abb. 7.1). Da es sich bei der „Illusion“ um einen zweidimensionalen Stimulus handelt, liegt selbstverständlich keine wirkliche dreidimensionale Szene vor. Der Betrachter hat aber den Eindruck, auf eine dreidimensionale Szene zu blicken, die zweidimensional (am Bildschirm) vorliegt. Dies ist analog zur Betrachtung eines gemalten Landschaftsbildes.

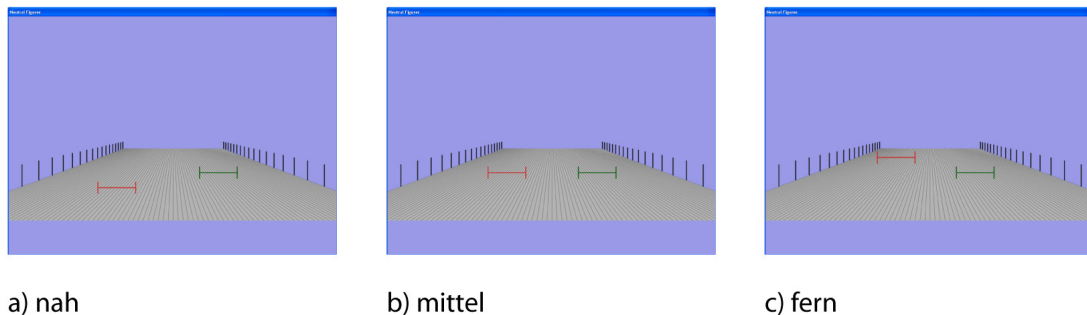


Abb. 7.1: *Die Steg Illusion*. Ein Betrachter hat den Eindruck, auf eine dreidimensionale Szene zu blicken, die zweidimensional (am Bildschirm) präsentiert wird. Auf einem *Steg* befinden sich horizontale Balken in unterschiedlicher *Entfernung* vom Beobachter. Die *Quellfigur* (rot) kann sich in drei verschiedenen Entfernungen befinden: a) nah, b) mittel und c) fern. Die *Zielfigur* (grün) befindet sich stets in mittlerer Entfernung. Die physikalische Länge aller horizontalen Balken ist in diesen Abbildungen identisch. Die wahrgenommene Größe der *Quellfigur* ändert sich in Abhängigkeit der Entfernung vom Betrachter trotz gleich bleibender physikalischer Länge. Die wahrgenommene Größe steigt bei zunehmender *Entfernung* an. Die Quantifizierung dieser „Illusion“ erfolgt durch die Adjustierung der *Zielfigur* (siehe AV Längenadjustierung). Der Proband verändert die Größe der *Zielfigur* so, dass beide Figuren die gleiche wahrgenommene Größe aufweisen (weitere Erläuterungen siehe Text). Anm.: Die Farben für die *Quell-* und *Zielfiguren* werden für die Hälfte der Probanden vertauscht. Zudem werden *Quell-* und *Zielfiguren* bei den perzeptuellen Messungen zu gleichen Teilen auf der rechten bzw. linken Seite dargeboten.

Der dreidimensionale Tiefeneindruck wird, im Gegensatz zur Ponzo Illusion, bei der kein bewusster Tiefeneindruck besteht, dadurch bewirkt, dass der „Steg“ farblich vom Hintergrund abgesetzt wird. Zusätzlich wurden sowohl zahlreiche konvergierende Linien auf diesem Steg platziert, so dass der Eindruck von „Planken“ entsteht, als auch vertikale „Pfosten“ am linken und rechten Rand des Steges angebracht, die sich „in der Tiefe“ verkürzen.

Die Abbildungen 7.1a - 7.1c zeigen unterschiedliche *Entfernungen* für die linke Figur (*Quellfigur*, rot) an. Hierbei sind drei Entfernungen zu unterscheiden: *nah*, *mittel* und *fern*. Diese werden durch relative Verschiebung der Figur nach unten bzw. nach oben im Bild bewirkt. Es ist wichtig anzumerken, dass die physikalische Größe dieser *Quellfigur* stets gleich groß ist. Damit ist für einen Betrachter, dessen optische Achse senkrecht zur Bildebene liegt, der Sehwinkel immer gleich groß.<sup>35</sup> Nach dem Emmertschen Gesetz (1881) ist die wahrgenommene Größe proportional zum Produkt aus der wahrgenommenen Entfernung und dem Sehwinkel. Da der Sehwinkel der *Quellfiguren* konstant gehalten wird, die wahrgenommene Entfernung sich aber ändert, sollte auch die wahrgenommene Größe der *Quellfiguren* wechseln. Die wahrgenommene Größe sollte dementsprechend in den Abbildungen 7.1a - 7.1c zunehmen. Die grüne Figur (*Zielfigur*) befindet sich immer an der gleichen Stelle und weist in diesen Abbildungen unverändert die gleiche Größe auf (genauso groß wie die roten Figuren). Sie kann als Illustration der zunehmenden wahrgenommenen Größe dienen. Während die *nahe* rote Figur kleiner wirkt als die grüne Figur, wirkt die *ferne* rote Figur größer als die grüne Figur. Befinden sich beide Figuren in *mittlerer* Entfernung, so sollten sie selbstverständlich keinen Unterschied aufweisen.<sup>36</sup>

#### *UV Größe*

Unter der Größe wird die physikalische Länge der *Quellfigur* verstanden. Diese kann zwei unterschiedliche Größen, 4 cm und 6 cm annehmen. Die Variation der Größe soll zum einen (wie in Experiment 1) zur Bestimmung der Steigung über den Zusammenhang der tatsächlichen Größe zur adjustierten Größe dienen, zum anderen sollen durch den Gebrauch unterschiedlicher Größen Gewöhnungstendenzen bei den Probanden vermieden werden.

#### *AV Längenadjustierung*

Zur Bestimmung des perzeptuellen Effektes (und damit dem Nachweis, dass es sich überhaupt um eine „Illusion“ handelt) muss die wahrgenommene Größe der *Quellfiguren* für die unterschiedlichen Entfernungen quantifiziert werden. Hierfür dient eine *Zielfigur* (siehe Abb. 7.1, grüne Figur), die sich ausnahmslos in mittlerer Entfernung (links oder rechts) befindet. Die Aufgabe des Probanden besteht darin, einen

---

<sup>35</sup> Tatsächlich gibt es minimale Unterschiede im Sehwinkel für den Betrachter bei den unterschiedlichen Tiefen, da die unterschiedlichen Höhen der *Quellfiguren* keinen exakten rechten Winkel der optischen Achse und der Bildebene erlauben. Diese Unterschiede sind aber vernachlässigbar gering.

<sup>36</sup> Besonders deutlich wirkt dieser Effekt, wenn die rote *Quellfigur* im Bild kontinuierlich verschoben wird. Sie scheint dann entweder zu „wachsen“ (bei Verschiebung nach hinten) bzw. zu „schrumpfen“ (bei Verschiebung nach vorne).

perzeptuellen Größenabgleich für die *Ziel-* und *Quellfigur* vorzunehmen. Die *Zielfigur* soll dabei in ihrer Größe an die *Quellfigur* (unveränderliche Größe) angepasst werden. Bei einem Stimulus, der dreidimensional wirkt, gibt es mindestens zwei Methoden der Instruktion für einen solchen Abgleich. Zum einen könnte man dazu auffordern, die „Verschiebung“ mit einzubeziehen, d.h. den Probanden die Figuren mental in der Tiefe verschieben lassen und sich vorzustellen, wie die Figur entsprechend größer oder kleiner wird. Bei der zweiten Methode wird der Proband dazu aufgefordert, die Figuren so abzugleichen, dass sie möglichst genau die gleiche physikalische Größe auf dem Bildschirm haben. Bildlich kann man sich hierzu vorstellen, eine Figur auszuschneiden und auf die andere Figur aufzukleben. Die Figuren sollten nun deckungsgleich sein. Die zweite Methode wird in dieser Studie verwendet. Im zweiten Experiment, bei dem Sakkaden von einem Ende einer Figur zum anderen Ende der Figur vermessen werden, lassen sich die motorischen Effekte erfassen und mit den in Experiment 1 gemessenen perzeptuellen Effekten vergleichen. Erwartungsgemäß müssten sich zwar perzeptuelle Effekte, jedoch keine (oder deutlich kleinere) motorischen Effekte ergeben (siehe Experiment 2 dieser Studie).

#### *Versuchsbedingungen*

Durch Kreuzung aller Stufen über alle Faktoren ergeben sich folgende Bedingungen:

*Entfernung* (3 Stufen) x *Größe* (2 Stufen) = 6 Bedingungen

Jede Bedingung soll acht Mal durchgeführt werden. Daraus ergeben sich insgesamt 48 Adjustierungen für jeden Probanden. Die Bedingungen werden vollständig randomisiert dargeboten.

#### **Material**

Räumlichkeiten und Monitor waren identisch zu Experiment 1 aus *Studie 1*. Die Adjustierung der *Zielfiguren* erfolgte über eine Tastatur. Die Software für die Stimuluspräsentation und Datenaufzeichnung wurde selbst geschrieben (C++, OpenGL). Wie in Experiment 1 von *Studie 1* betrug die Beobachtungsdistanz 55 cm. In Abbildung 7.2 werden die verwendeten Stimuli schematisch beschrieben.

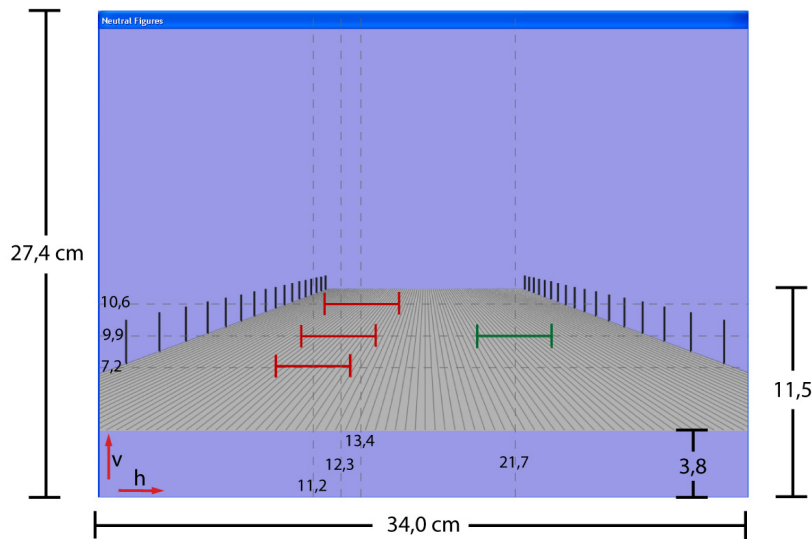


Abb. 7.2: Schematische Darstellung der Größenverhältnisse bei der Steg Illusion. Die *Quellfiguren* (rot) können sich in den drei *Entfernungen nah, mittel* und *fern* befinden. Die *Zielfigur* ist stets in *mittlerer Entfernung* positioniert. Der Mittelpunkt der jeweiligen Figuren ist an den Koordinaten ablesbar (horizontal und vertikal), die an den gestrichelten Linien eingezeichnet sind. **Beachte:** In einem Durchgang wurde jeweils nur eine *Quellfigur* und eine *Zielfigur* präsentiert. Die *Quellfigur* befand sich entweder auf der linken Seite (hier eingezeichnet) oder auf der rechten Seite (nicht eingezeichnet), die *Zielfigur* entsprechend auf der anderen Seite. Bei den verwendeten *Größen* von 4 cm bzw. 6 cm änderte sich nur die Länge der *Quellfiguren*, nicht die Position der Mittelpunkte.

Das Stimulusdisplay umfasste einen Bereich von 27,4 x 34 cm (Höhe x Breite). Die *Quellfigur* befand sich bei einem Durchgang entweder auf der rechten oder der linken Seite (randomisiert, die *Zielfigur* befand sich entsprechend auf der anderen Seite) auf einer Höhe entsprechend der jeweiligen Stufe des Faktors *Entfernung*. Für eine Hälfte der Probanden waren die *Quellfiguren* rot und die *Zielfiguren* grün, für die andere Hälfte war dies umgekehrt. Zur besseren Übersicht werden in nachfolgenden Abbildungen für die Steg Illusion die *Quellfiguren* immer rot, die *Zielfiguren* grün dargestellt. Der Steg wurde in grau, der restliche Hintergrund („Himmel“) wurde in blau gehalten. Die Veränderung der Größe der *Zielfigur* erfolgte analog zu Experiment 1 von *Studie 1*. Die *Zielfigur* wies zu Beginn jedes Durchgangs eine zufällige Größe im Bereich von 2 cm bis 9 cm auf. Eine gleichmäßige Beleuchtung des Raumes erfolgte durch eine an der Decke angebrachte Lampe.

## Durchführung

### Instruktion

Die Instruktion erfolgte sowohl mündlich als auch praktisch. Den Probanden wurde zunächst an mehreren Beispielen die „Szene“ gezeigt. Es wurde erläutert, dass auf dem Bild ein Steg zu sehen sei, auf dem sich jeweils zwei horizontale Balken befinden. Es

wurde darauf hingewiesen, dass sich diese in unterschiedlicher Entfernung vom Beobachter aus befinden könnten.

Die wörtliche Instruktion für die Aufgabe lautete: „Die beiden Figuren sollen so mit Hilfe der „+“ und „-“ Tasten abgeglichen werden, dass sie die gleiche wahrgenommene Länge aufweisen. Dabei soll die grüne Figur (Anm.: für eine Hälfte der Probanden) in ihrer Größe an die rote Figur angepasst werden. Die Figuren sollen in dem Sinne gleich groß sein, dass, wenn man eine Figur ausschneiden würde und auf die andere legen würde, diese beiden Figuren deckungsgleich wären. Es geht bei diesem Experiment um die wahrgenommene Länge der Figuren. Versuchen Sie daher nicht, vermeintliches Wissen oder Hypothesen zu nutzen, um die Einstellungen vorzunehmen. Es gibt bei diesem Experiment kein richtig oder falsch. Es ist nur ihr wahrgenommener Längeneindruck von Interesse. Sie können sich für die Einstellungen so viel Zeit lassen, wie sie möchten. Bitte führen sie den Abgleich ohne Hast durch. Vermeiden sie aber auch ein zu langes Nachdenken über die Einstellung.“

Die Probanden hatten dann die Möglichkeit, anhand von zehn Durchgängen die Aufgabe zu üben und eventuelle Fragen zu klären. Wenn die Aufgabe hinreichend verstanden wurde und der Proband die Übungsdurchgänge durchlaufen hatte, wurde mit dem Experiment begonnen.

#### *Ablauf der Untersuchung*

Der Ablauf der Untersuchung erfolgte analog zu Experiment 1 aus *Studie 1*. Die einzige Änderung erfolgte durch die verkürzte Anzahl von Durchgängen. Das Experiment wurde in einem Block durchgeführt.

### **7.1.2 Ergebnisse**

Das zugrunde liegende within-subject-design weist die Faktoren *Entfernung* (3 Stufen) und *Größe* (2 Stufen) auf. Von den insgesamt 384 Adjustierungen (8 Probanden x 48 Durchgänge) wurden 378 Durchgänge als gültig klassifiziert, d.h. 98,4 % der Durchgänge gingen in die folgende Auswertung ein. Die Gründe für den Ausschluss sind identisch zu denen aus *Studie 1*. In Tabelle 7.1 und Abbildung 7.3 sind die Ergebnisse für den perzeptuellen Abgleich dargestellt.

Tab. 7.1: Perzeptueller Abgleich der Zielfiguren an die jeweiligen Quellfiguren.

		Zielfigur		
		Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Quellfigur 4 cm	<i>nah</i>	3,82	0,09	0,03
	<i>mittel</i>	4,03	0,07	0,02
	<i>fern</i>	4,30	0,12	0,04
Quellfigur 6 cm	<i>nah</i>	5,66	0,10	0,03
	<i>mittel</i>	5,98	0,07	0,03
	<i>fern</i>	6,26	0,14	0,05

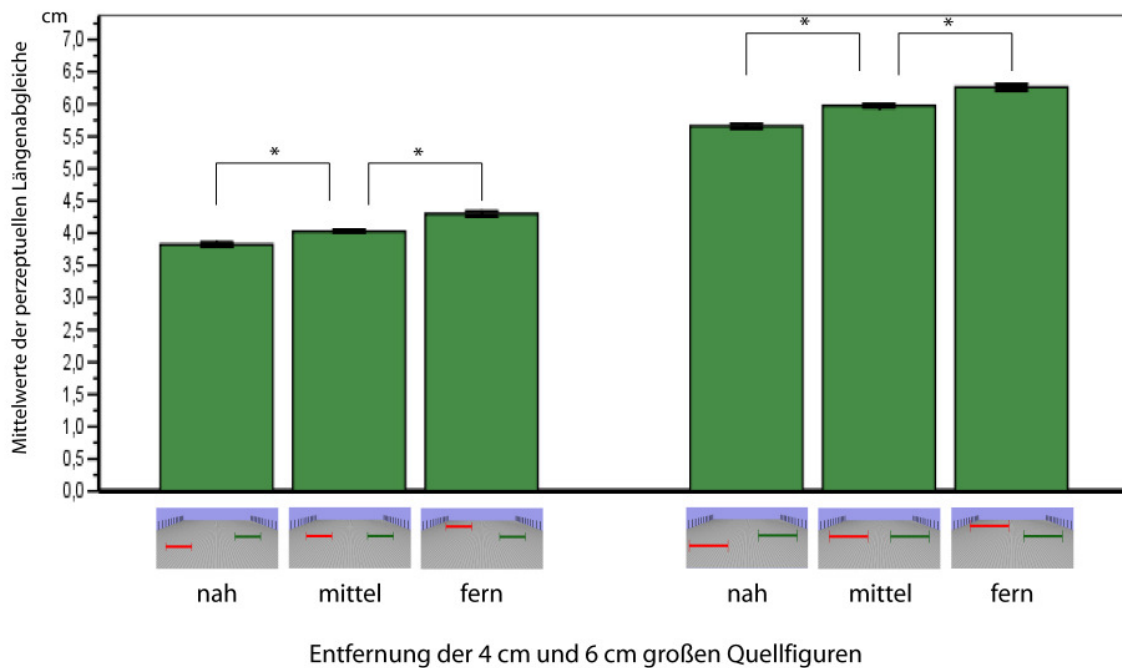


Abb. 7.3: Mittelwerte der perzeptuellen Längenabgleiche (cm) der Zielfiguren (in grün) an die jeweiligen Quellfiguren (in rot) unterschiedlicher Entfernung mit einer Länge von 4 cm und 6 cm. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant

Wie erwartet bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Adjustierungen für die drei *Entfernungen*. Dies gilt sowohl für die Bedingungen von 4 cm als auch für die von 6 cm (Tab. 7.2). Die adjustierten Größen nahmen mit der *Entfernung* der *Quellfiguren* zu. Eine Zunahme der *Entfernung* führt also erwartungsgemäß zu einer Zunahme der wahrgenommenen Größe der *Quellfigur*. Die Ergebnisse rechtfertigen damit die Annahme nach dem Vorliegen einer Illusion, da physikalisch gleich große Objekte unterschiedlich groß wahrgenommen werden.

Fasst man den Faktor *Größe* zusammen, ergeben sich die gemittelten Adjustierungen für die drei Stufen des Faktors *Entfernung* (Tab. 7.3 und Abb. 7.4).

Tab. 7.2: Vergleiche der Zielfiguren, die perzeptuell an die jeweiligen Quellfiguren adjustiert wurden.

	Vergleich Zielfiguren	t-Wert (7 df)	Signifikanz
<b>Quellfigur 4 cm</b>	nah - mittel	9,43	< 0,001
	mittel - fern	11,38	< 0,001
<b>Quellfigur 6 cm</b>	nah - mittel	6,80	< 0,001
	mittel - fern	6,34	< 0,001
<b>Quellfigur (gemittelte Größe)</b>	nah - mittel	9,78	< 0,001
	mittel - fern	8,59	< 0,001

Abk.: df = Freiheitsgrade

Tab. 7.3: Perzeptueller Abgleich der Zielfiguren an die drei Quellfiguren (5 cm gemittelte Größe).

		Zielfigur		
		Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Quellfigur</b>	nah	4,74	0,08	0,03
	mittel	5,00	0,05	0,02
	fern	5,28	0,12	0,04

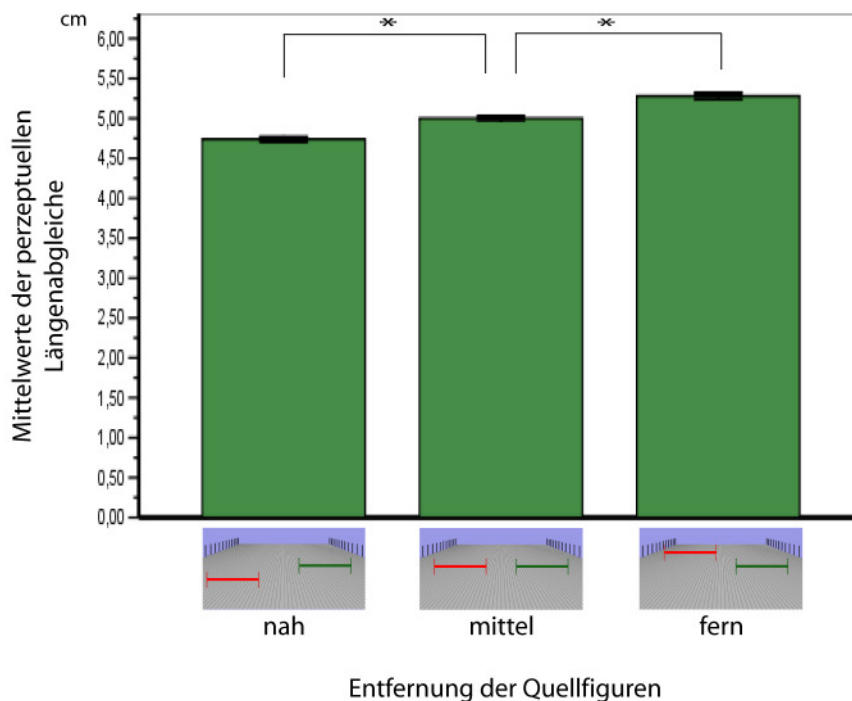


Abb. 7.4: Über die Größe zusammengefasste Mittelwerte für die perzeptuellen Längenabgleiche (cm) der Zielfiguren (in grün) an die jeweiligen Quellfiguren (in rot) unterschiedlicher Entfernung. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant.



Erwartungsgemäß werden auch die Vergleiche über die verschiedenen *Entfernungen* für die nach der *Größe* zusammengefassten *Quellfiguren* signifikant (siehe Tab. 7.2).

Für die Berechnung der Größe des perzeptuellen Effektes muss zunächst die Steigung berechnet werden, die den Zusammenhang der tatsächlichen Größe der *Quellfigur* zur adjustierten Größe der *Zielfigur* darstellt (Abb. 7.5). Die Steigung weist einen mittleren Wert von 0,98 auf (SD = 0,04). Der perzeptuelle Effekt wird in Bezug auf die gemittelte Figurgröße der *Quellfigur* von 5 cm berechnet. Er ergibt sich aus der Differenz der Adjustierungen für die Entfernung *mittel* zu *fern* sowie *mittel* zu *nah*, relativiert an der Steigung. Somit erhält man für die Größe des perzeptuellen Effektes einen Wert von  $p_1 + p_2 = 0,56$  cm (SD = 0,14 cm). Dieser Effekt soll mit dem motorischen Effekt aus Experiment 2 dieser Studie verglichen werden.

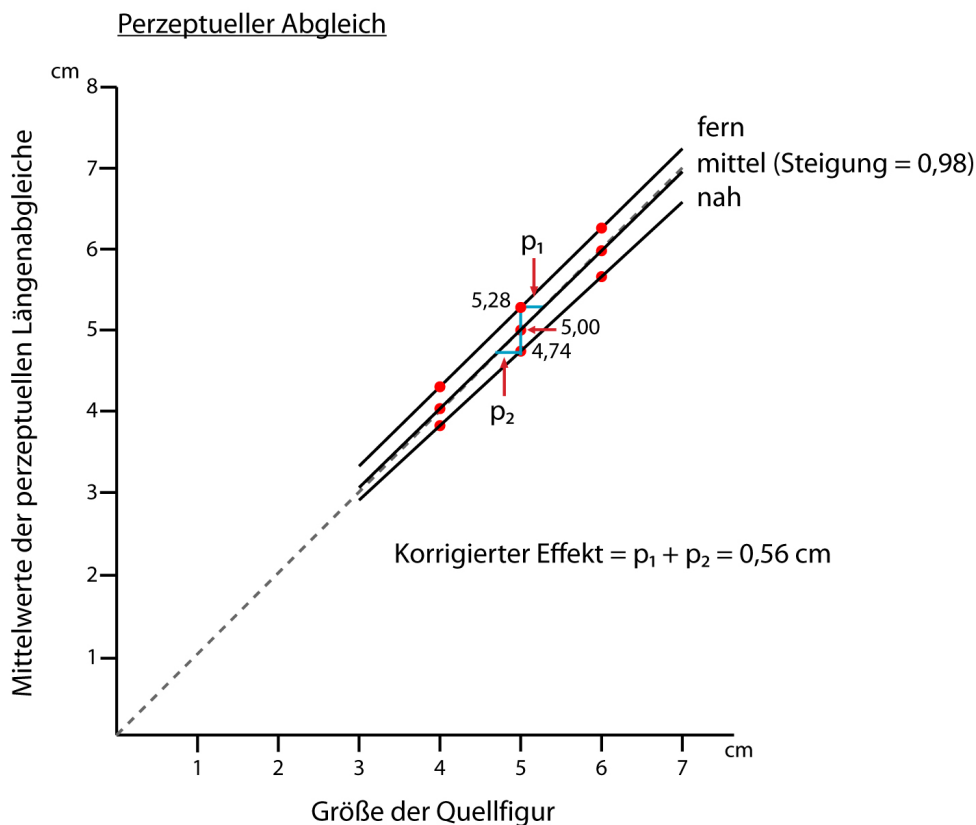


Abb. 7.5: Mittelwerte der perzeptuellen Abgleiche der *Zielfiguren* an die *Quellfiguren* unterschiedlicher *Entfernungen*. Eingetragen (in rot) sind die gemessenen Abgleiche für die Größe der *Quellfiguren* von 4 cm, von 6 cm sowie für die gemittelte Größe von 5 cm. Die eingezeichneten Geraden beziehen sich auf die unterschiedlichen *Entfernungen* (*nah*, *mittel* und *fern*) der *Quellfiguren*. Die Steigung wird anhand der *mittleren Entfernung* der *Quellfigur* ermittelt. *Zielfigur* und *Quellfigur* befinden sich bei diesem Abgleich in gleicher *Entfernung*. Dies entspricht einem Abgleich einer Figur an sich selbst. Die „Verschiebung“ der Geraden zueinander ist Ausdruck der Größe des perzeptuellen Effektes. Dieser wird in Bezug auf die gemittelte Größe von 5 cm der *Quellfigur* berechnet. Die Differenzen der Adjustierungen von *mittel* zu *fern* sowie *mittel* zu *nah* werden an der Steigung relativiert (d.h. geteilt), so dass sich die Teileffekte  $p_1$  und  $p_2$  ergeben. Diese werden addiert und bilden den korrigierten perzeptuellen Effekt.

## 7.2 Experiment 2: Sakkaden

### 7.2.1 Methode

#### Versuchspersonen

Dieselben acht Probanden aus Experiment 1 dieser Studie nahmen an Experiment 2 teil.

#### Versuchsdesign

Es werden drei unabhängige Variablen unterschieden: (1) Die Entfernung der *Quellfiguren*, (2) die individuell *Adjustierten Zielfiguren* an die *Quellfiguren* und (3) die Größe der *Quellfiguren* (und damit auch der individuell *Adjustierten Zielfiguren*).

#### *UV Entfernung*

Wie in Experiment 1 werden drei Stufen für die *Entfernung* unterschieden, nämlich *nah*, *mittel* und *fern*. Die Ergebnisse aus Experiment 1 belegen die unterschiedliche Größenwahrnehmung für Figuren gleicher Größe in unterschiedlicher *Entfernung*. Die *nahe* Figur wirkt am kleinsten, die *ferne* Figur wirkt am größten. In *mittlerer Entfernung* liegt die wahrgenommene Größe zwischen den beiden anderen Bedingungen.

#### *UV Adjustierte Zielfiguren*

In Experiment 1 wurden *Zielfiguren* an *Quellfiguren* unterschiedlicher *Entfernung* angepasst. Nahm die *Entfernung* zu, wurde die Größe der *Zielfiguren* von den Probanden ebenfalls größer eingestellt. Diese Figuren weisen also tatsächlich unterschiedliche Größen auf. Diese *Adjustierten Zielfiguren* werden für jeden Probanden individuell verwendet.

#### *UV Größe*

Die *Quellfiguren* werden in zwei Größen (4 cm und 6 cm) dargeboten. In Experiment 1 wurden die *Zielfiguren* an diese beiden Größen adjustiert. Daher werden auch die *Adjustierten Zielfiguren* an die beiden Größen der *Quellfiguren* unter den Faktor *Größe* gefasst. Die Variation der *Größe* dient in erster Linie dazu, die Steigung über den Zusammenhang der tatsächlichen Objektgröße zu den Amplituden der Sakkaden zu bestimmen. Zusätzlich können durch die Variation der Größe Gewöhnungstendenzen bei den Probanden vermieden werden.

*AV Amplitude der Sakkade*

Die Amplitude der Sakkade wird analog zu Experiment 2 aus *Studie 1* definiert und gemessen. Die Sakkade soll dabei von einem Ende des horizontalen Balkens zum anderen Ende des Balkens erfolgen. Maßgeblich ist hier, wie auch in *Studie 1*, die primäre Sakkade beim Schauen vom Start- zum Zielpunkt der Figur (siehe Erläuterungen in Experiment 1 aus *Studie 1*).

Die Steg Illusion wurde für den Zweck erschaffen, beim Beobachter den Eindruck einer dreidimensionalen Szene hervorzurufen. Exakter würde man sagen, der Beobachter hat den Eindruck, eine zweidimensionale Szene anzuschauen, die er dreidimensional interpretieren kann. In Analogie zu dem ausführlich besprochenen Gedankenspiel (siehe Kapitel 3.3.3.2) wird für die Steg Illusion eine Dissoziation von Perzeption und Handlung erwartet, sofern es sich bei dem motorischen Maß um die Amplitude von Sakkaden handelt. Anders als beim Greifen sollte für die Inspektion (verstanden als Blick von einem Ende zum anderen Ende der Figur) der Objekte nicht die interpretierte Länge entscheidend sein, sondern der Sehwinkel, unter dem die Figur dem Betrachter erscheint. Dieser ist in einer dreidimensionalen Szene wiederum abhängig von der Entfernung und der Größe des Objekts. Für die *Quellfiguren* in der Steg Illusion ergibt sich folgende Situation: Die wahrgenommene Größe nimmt mit der *Entfernung* zu, der Sehwinkel hingegen bleibt identisch, da sich die physikalische Größe des Objekts nicht ändert. Analog zu einer realen dreidimensionalen Szene ist damit zu rechnen, dass sich die Amplituden der Sakkaden nicht an der wahrgenommenen Größe der Objekte, sondern am Sehwinkel orientieren. Die Amplituden der Sakkaden sollten sich also für unterschiedliche Entfernungen nicht (oder zumindest nur sehr geringfügig) voneinander unterscheiden. Für die *Adjustierten Zielfiguren*, die sich ja alle in derselben *Entfernung* befinden, wird man hingegen Unterschiede für die Amplituden erwarten, da sich die Sehwinkel für diese Figuren voneinander unterscheiden.

Vergleicht man die Amplituden der Sakkaden für eine *Quellfigur* direkt mit der zugehörigen *Adjustierten Zielfigur*, ergeben sich folgende Vorhersagen: Die *nahen* und die *fernen Quellfiguren* sollten sich in der Amplitude der Sakkade von den zugehörigen *Adjustierten Zielfiguren* unterscheiden, da auch die entsprechenden Sehwinkel voneinander abweichen. Für den Vergleich der *mittleren Quellfigur* mit der *mittleren Adjustierten Zielfigur* hingegen wird kein Unterschied erwartet, da hier der gleiche Sehwinkel vorliegt. Zusammengefasst ergibt sich somit die Vorhersage, dass die Amplituden der Sakkaden sich nach der tatsächlichen und nicht nach der wahrgenommenen Größe des Objekts richten sollten.

Neben der Amplitude der Sakkade werden explorativ die Dauer, die Spitzengeschwindigkeit, der Zeitpunkt des Erreichens der Spitzengeschwindigkeit, die Durchschnittsgeschwindigkeit und die Anzahl gültiger Sakkaden ausgewertet.

#### *Versuchsbedingungen*

Es ergeben sich folgende Versuchsbedingungen:

[*Entfernung* (3 Stufen) + *Adjustierte Zielfiguren* (3 Stufen) ] x *Größe* (2 Stufen) = 12 Bedingungen

Jede Bedingung wird zwölf Mal durchgeführt. Daraus ergeben sich insgesamt pro Proband 144 Durchgänge. Pro Bedingung befindet sich das zu inspizierende Objekt sechs Mal auf der linken und sechs Mal auf der rechten Seite. Da sich das Fixationskreuz für das linke Objekt am rechten Rand und für das rechte Objekt am linken Rand des Balkens befindet, wird für das linke Objekt eine Adduktion und für das rechte Objekt eine Abduktion ausgeführt (bezogen auf das rechte Auge). Für die Auswertung werden die Ergebnisse der Abduktionen und der Adduktionen gemittelt.

Das Experiment wird in drei Blöcken mit jeweils 48 Durchgängen durchgeführt. In jedem Block befinden sich je zwei Abduktionen und zwei Adduktionen pro Bedingung. Innerhalb eines Blocks werden die Durchgänge randomisiert dargeboten.

#### **Material**

Sofern nicht anders dargestellt, war das Material dieses Experiments identisch mit dem unter Experiment 2 von *Studie 1* beschriebenen.

Bei den dargebotenen Stimuli handelte es sich um die in Experiment 1 dieser Studie eingeführte Steg Illusion. Die horizontalen Balken wurden gleichzeitig präsentiert. Bei einer der Figuren handelte es sich um die *Quellfigur*, bei der anderen um die individuell *Adjustierte Zielfigur*. Welche Figur in einem Durchgang inspiziert werden sollte, wurde durch ein zuvor erscheinendes Fixationskreuz angezeigt (siehe Abb. 7.6). Die Farbe beider Figuren wurde einheitlich in blau gehalten. Dies sollte verhindern, dass die Probanden sich Gedanken über die verschiedenen Farben machen, die in Experiment 1 eine Bedeutung für sie in Form von *Quell-* und *Zielfiguren* hatten. Außer der Farbe der Figuren wurden keine weiteren Änderungen am Stimulusmaterial vorgenommen.

### Durchführung

Sofern nicht anders erläutert, wurde das Experiment 2 dieser Studie analog zu Experiment 2 von *Studie 1* durchgeführt.

Die Instruktion für einen einzelnen Durchgang lautete wie folgt: „Fixieren Sie das Kreuz, das auf dem Bildschirm erscheint. Blinzeln Sie dabei nicht mit den Augen. Wenn das Kreuz verschwindet, erscheinen zwei horizontale Balken. Dabei befindet sich entweder das linke oder das rechte Ende eines Balkens genau an der Stelle, wo vorher das Kreuz zu sehen war. An dieser Stelle befindet sich jetzt auch noch ihr Blick. Schauen sie bitte nun *mit einem Blick* an das andere Ende dieses horizontalen Balkens und blicken Sie nicht zwischen den Figuren hin und her. Auch hier gilt: Nicht blinzeln. Fixieren Sie dieses Ende solange, bis die horizontalen Balken verschwinden. Nun können sie auf dem Bildschirm umherschauen und auch blinzeln. Nach ca. drei Sekunden erscheint ein neues Kreuz.“

Anschließend wurde den Probanden die Struktur eines Blocks (Anzahl der Durchgänge, Kalibrierung am Anfang und in der Mitte eines Blocks, *Drift correction* nach jeweils sechs Durchgängen) erläutert. In einem Probekblock wurde dies eingeübt.

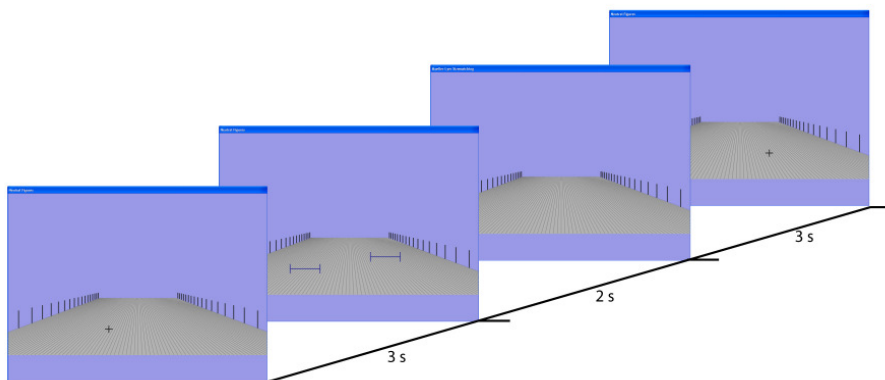


Abb. 7.6: Schema über den zeitlichen Verlauf eines Durchganges. Der Steg ist während der gesamten Dauer sichtbar. Zu Beginn eines Durchganges erscheint für drei Sekunden ein Fixationskreuz. Anschließend werden zwei horizontale Balken (*Ziel-* und *Quellfigur*) präsentiert. Das Ende einer der Figuren befindet sich genau an der Stelle, wo sich zuvor das Fixationskreuz befand. Somit liegt der Blick des Probanden auf dieser Stelle. Die Versuchsperson schaut nun *mit einem Blick* auf das andere Ende des horizontalen Balkens und fixiert dieses Ende, bis die Figuren nach zwei Sekunden verschwinden und nur noch der Steg für die Dauer von drei Sekunden zu sehen ist. Während dieser Zeit darf der Proband umherschauen und mit den Augen blinzeln. Daran anschließend startet ein neuer Durchgang.

Ein Block dauerte ca. acht Minuten ( $\pm$  mehrere Sekunden durch die Kalibrierungen). und wurde mit einer 13-Punkt Kalibrierung begonnen (siehe *Studie 1*). Es folgten die ersten 24 Durchgänge eines Blocks. Ein Durchgang bestand aus drei Komponenten (Abb. 7.6): (1) Ein Fixationskreuz wurde drei Sekunden lang präsentiert. (2) Die *Quell-*

und *Zielfiguren* wurden für zwei Sekunden gezeigt. Der Proband führte die Sakkade aus. (3) Für die Dauer von drei Sekunden ist nur der Steg zu sehen.

Daraufhin ging es sofort mit dem nächsten Durchgang weiter. Nach jeweils sechs Durchgängen wurde die *Drift correction* durchgeführt (siehe *Studie 1*). Nach der Hälfte des Blocks wurde eine zweite Kalibrierung vorgenommen. Daran anschließend wurden die restlichen 24 Durchgänge eines Blocks durchgeführt.

### 7.2.2 Ergebnisse

Es handelt sich um ein within-subject-design, wobei sich die jeweiligen Stufen der Faktoren *Entfernung* (3 Stufen) und *Adjustierte Figuren* (3 Stufen) aufeinander beziehen. Außerdem wurde der Faktor *Größe* (2 Stufen) unterschieden. Die Variation des Faktors *Größe* wird für die Auswertung benötigt, um die Steigung über den Zusammenhang der tatsächlichen Objektgröße zur Amplitude der Sakkade zu bestimmen. Mit dieser Steigung kann der gemessene motorische Effekt korrigiert und mit dem perzeptuellen Effekt (Experiment 1) verglichen werden. Für die anzustellenden Vergleiche der Amplituden der Sakkaden zwischen den verschiedenen Bedingungen werden die Ergebnisse für den Faktor *Größe* zunächst zusammengefasst. In Anhang C finden sich die Ergebnisse jedoch auch aufgeschlüsselt nach den 4 cm und 6 cm Bedingungen.

Die acht Probanden führten insgesamt 1152 Sakkaden aus (8 x 144). Von diesen sind in die folgende Auswertung 994 Sakkaden eingegangen (~ 86,3 %). Die Gründe für den Ausfall von Daten sind identisch zu denen aus *Studie 1*.

Tabelle 7.4 und Abbildung 7.7 zeigen die Ergebnisse für die Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden, aufgeschlüsselt nach den drei *Entfernungen* der *Quellfiguren* und den an diese *Adjustierten Zielfiguren*. Der Faktor *Größe* wurde gemittelt.

Die Erwartung für dieses Experiment lässt sich auf eine einfache Aussage reduzieren: Die Amplitude der Sakkade soll sich nach der tatsächlichen Größe und nicht nach der wahrgenommenen Größe der Figur richten. Die Verwendung gleich großer *Quellfiguren*, die unterschiedlich groß wahrgenommen werden, sowie die Verwendung der an diese *Adjustierten Zielfiguren*, erlauben die Überprüfung dieser Annahme.

Tab. 7.4: Amplituden der Sakkaden für die nach dem Faktor *Größe* gemittelten (d.h. 5 cm langen) *Quellfiguren* unterschiedlicher *Entfernung* und der *Adjustierten Zielfiguren*.

		Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Entfernung Quellfigur	<i>nah</i>	4,58	0,32	0,11
	<i>mittel</i>	4,63	0,39	0,14
	<i>fern</i>	4,63	0,29	0,10
Adjustierte Zielfiguren	<i>nah</i>	4,44	0,26	0,09
	<i>mittel</i>	4,70	0,39	0,14
	<i>fern</i>	4,88	0,34	0,12

Anm.: Die *Adjustierten Zielfiguren* befanden sich stets in *mittlerer* Entfernung.

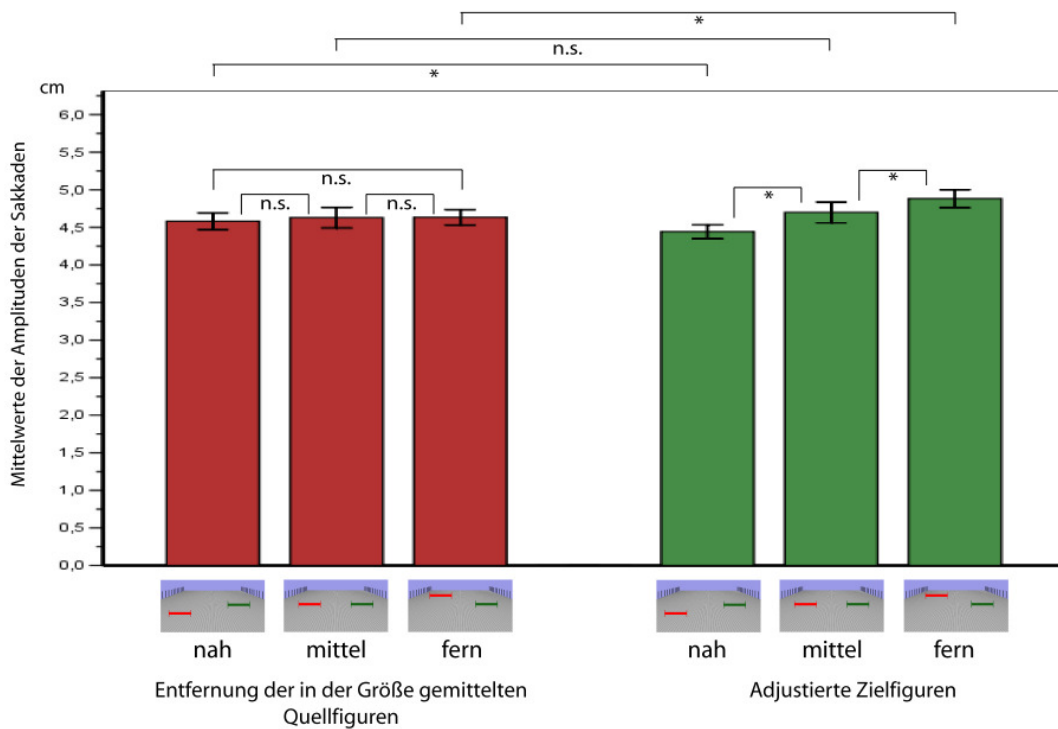


Abb. 7.7: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden (cm) für die drei *Quellfiguren* (über den Faktor *Größe* gemittelt, d.h. 5 cm Länge) unterschiedlicher *Entfernung* (rot) und für die drei an die *Quellfiguren* *Adjustierten Zielfiguren* (grün). Die Amplituden der Sakkaden richten sich nach der tatsächlichen Größe der Figuren. Es besteht kein Unterschied zwischen den Stufen der *Quellfiguren*. Die Stufen der *Adjustierten Zielfiguren* hingegen weisen die vorhergesagten Unterschiede auf. Der Vergleich der jeweiligen *Quellfiguren* mit den *Adjustierten Zielfiguren* zeigt die erwarteten Ergebnisse. Es bestehen jeweils signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichen der Stufenkombinationen *Quellfiguren nah* und *Adjustierte Zielfiguren nah* sowie *Quellfiguren fern* und *Adjustierte Zielfiguren fern*. Kein Unterschied hingegen besteht für den Vergleich der *Quellfiguren* und der *Adjustierten Zielfiguren*, wenn die *mittleren* Entfernungen betrachtet werden (Kontrolle). Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant; n.s. = nicht signifikant.

Für die statistische Auswertung können nun vier Arten des Vergleichs genutzt werden, die folgende Fragen beantworten sollen und damit die eben genannte Hypothese überprüfen: Unterscheiden sich die Amplituden der Sakkaden voneinander für (1) die verschiedenen *Entfernungen* der *Quellfiguren*, (2) die *Adjustierten Zielfiguren*, (3) den Vergleich der *Quellfiguren* mit den an diese *Adjustierten Zielfiguren*? Schließlich kann die Frage beantwortet werden, ob sich (4) der perzeptuelle und der motorische Effekt voneinander unterscheiden.

Tab. 7.5: Vergleiche der Amplituden der Sakkaden für die nach der *Größe* gemittelten *Quellfiguren* (5 cm) und der an diese *Adjustierten Zielfiguren*.

		t-Wert (7 df)	Signifikanz
<b>Vergleich <i>Quellfiguren</i> untereinander (gemittelte Größe 5 cm)</b>	<i>nah - mittel</i>	0,89	0,202 (n.s.)
	<i>mittel - fern</i>	0,11	0,458 (n.s.)
	<i>nah - fern</i>	1,51	0,087 (n.s.)
<b>Vergleich <i>Adjustierte Zielfiguren</i> untereinander</b>	<i>nah - mittel</i>	4,66	0,001
	<i>mittel - fern</i>	3,02	< 0,001
<b>Vergleich der <i>Quellfiguren</i> mit den jeweiligen <i>Adjustierten Zielfiguren</i></b>	<i>nah</i>	2,48	0,021
	<i>mittel</i>	1,65	0,072 (n.s.)
	<i>fern</i>	5,40	< 0,001

Abk.: df = Freiheitsgrade; n.s. = nicht signifikant

(1) Tabelle 7.5 zeigt die durchgeführten Vergleiche für die *Quellfiguren* unterschiedlicher *Entfernungen* (die ersten drei Vergleiche). Alle Ergebnisse sind nicht signifikant auf dem 5 % Niveau. Als methodische Schwierigkeit ergibt sich die Tatsache einer Nullhypothese. Da man eigentlich keinen Unterschied nachweisen möchte, ist man daran interessiert, kein signifikantes Ergebnis zu erzielen. Häufig wird deshalb das Signifikanzniveau erhöht (z.B. 20 %). Als Argument führt man an, dass ein Unterschied, sofern er vorhanden sein sollte, sich bei diesem hohen Niveau eher zeigen sollte. Wird der Test nicht signifikant, möchte man der Nullhypothese mehr Vertrauen schenken. Leider erlaubt die Logik des statistischen Testens diesen Schluss nicht. Ein nicht signifikantes Niveau gibt einem nur eine „Pseudosicherheit“. Bezogen auf die hier vorliegenden Daten würde ein solches Vorgehen dafür sorgen, zwei von drei Vergleichen als signifikant zu klassifizieren und diesem Unterschied möglicherweise eine besondere inhaltliche Bedeutung zukommen zu lassen. Ein möglicher Ausweg bietet sich durch die weiteren Vergleiche an, die zur Beantwortung der Hypothese angestellt werden können.

(2) Der Vergleich der Amplituden der Sakkaden für die *Adjustierten Zielfiguren* dient zwei Zwecken. Zum einen kann dieser Vergleich als eine Art Kontrolle aufgefasst werden. Die *Adjustierten Zielfiguren* befinden sich alle in der gleichen *Entfernung*



(mittel), weisen aber aufgrund der Adjustierungen an die *Quellfiguren* unterschiedlicher *Entfernung* ebenfalls unterschiedliche Größen auf. Die Amplituden der Sakkaden sollten sich demnach für die *Adjustierten Zielfiguren* voneinander unterscheiden. Täten sie dies nicht, wäre die Aussagekraft der Ergebnisse deutlich eingeschränkt. Zum anderen kann der Vergleich indirekt das unter Punkt 1 gefundene Ergebnis der nicht unterscheidbaren *Quellfiguren* unterstützen, da die *Zielfiguren* an diese adjustiert wurden. Sollten sich die Amplituden dieser Figuren also voneinander unterscheiden, die der *Quellfiguren* (siehe Punkt 1) jedoch nicht, so spricht dies (indirekt) für die Annahme, dass sich die Amplituden der Sakkaden nach der tatsächlichen und nicht nach der wahrgenommenen Größe richten. In Tabelle 7.5 sind die Ergebnisse für diese Vergleiche aufgeführt (die mittleren beiden). Beide Tests werden signifikant. Die Amplituden der Sakkaden für die *Adjustierten Zielfiguren* unterscheiden sich also erwartungsgemäß für die Vergleiche der Stufen *nah* und *mittel* sowie *mittel* und *fern*.

(3) Durch den Vergleich der Amplituden der Sakkaden für die *Quellfiguren* und den jeweils an diese *Adjustierten Zielfiguren* kann direkt überprüft werden, ob die Sakkaden sich nach der tatsächlichen oder der wahrgenommenen Größe der Figuren richten. Zur Erinnerung: Die *Quellfiguren* aller drei Entfernungen wiesen stets eine durchschnittliche Länge von 5 cm auf, die an diese Bedingungen *Adjustierten Zielfiguren* wiesen gemittelte Längen von 4,74 cm (*Entfernung nah*), 5,00 cm (*mittel*) und 5,28 cm (*fern*) auf. Für diese Einstellungen erschienen den Probanden die *Quellfiguren* und die jeweiligen *Adjustierten Zielfiguren* gleich groß.

Der Vergleich der Amplituden der Sakkaden für die Bedingungen *Quellfigur nah* und *Adjustierte Zielfigur nah* wird signifikant (Tab. 7.5), genauso wie der Vergleich *Quellfigur fern* und *Adjustierte Zielfigur fern*. Die Amplituden der Sakkaden waren dabei größer für die physikalisch größere Figur. Die Amplituden unterschieden sich erwartungsgemäß nicht für den Vergleich, bei dem sich beide Figuren, *Quellfigur* und *Adjustierte Zielfigur*, in *mittlerer Entfernung* auf dem Steg befanden, da hier sowohl die tatsächlichen als auch die wahrgenommenen Größen übereinstimmen.

(4) Der letzte statistische Vergleich zur Beantwortung der oben gestellten Fragen betrifft den perzeptuellen und den motorischen Effekt. Dieser Vergleich wird in Kapitel 7.3 durchgeführt.

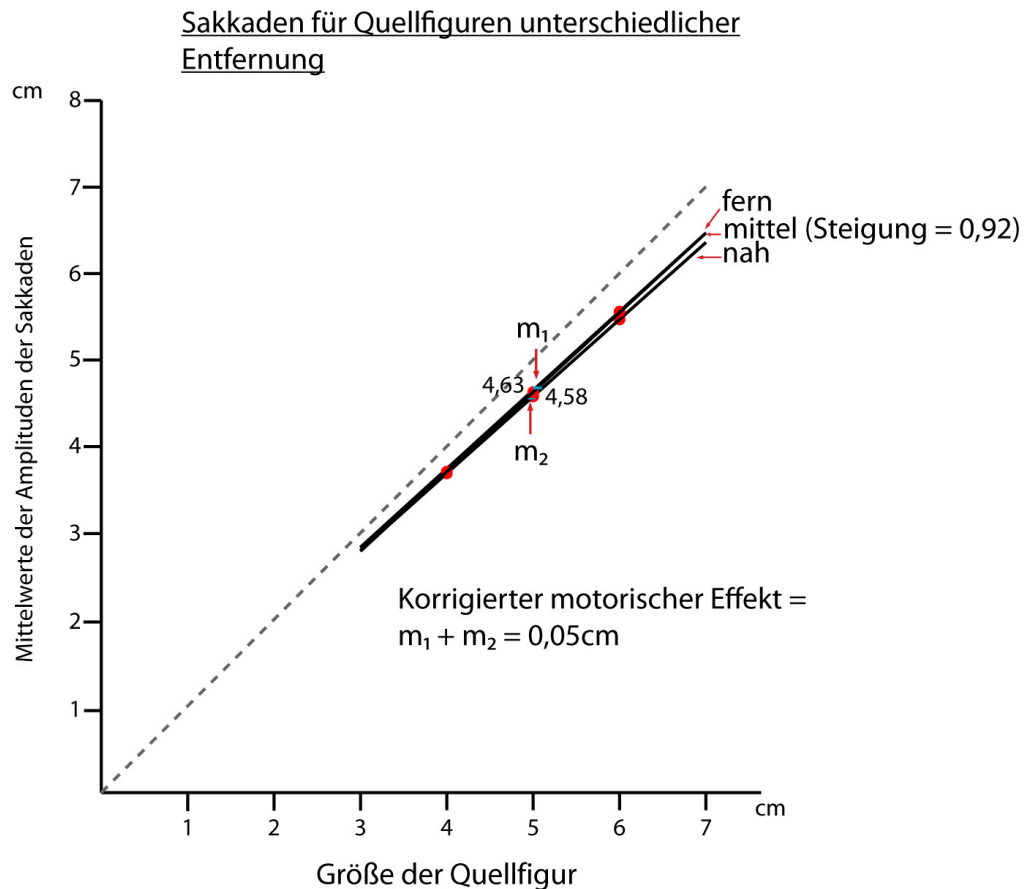


Abb. 7.8: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden für *Quellfiguren* unterschiedlicher *Entfernungen*. Die rot eingetragenen Punkte markieren die gemessenen Amplituden der Sakkaden für die *Größen* der *Quellfigur* von 4 cm, von 6 cm sowie für die gemittelte Größe von 5 cm für die Stufen *nah*, *mittel* und *fern*. Die eingezeichneten Geraden beziehen sich auf die Stufen des Faktors *Entfernung*. Die Steigung wird anhand der mittleren Entfernung der *Quellfigur* ermittelt. Anders als bei den perceptuellen Messungen (vgl. Abb. 7.5) sind die Geraden nicht systematisch zueinander verschoben, sondern fast deckungsgleich, was einem sehr kleinen motorischen Effekt entspricht. Dieser wird auf die gemittelte Größe von 5 cm bezogen und berechnet sich aus der Differenz der Amplituden der Sakkaden von *mittel* zu *fern* sowie *mittel* zu *nah*, jeweils relativiert an der Steigung (d.h. geteilt). Man erhält so die Teileffekte  $m_1$  und  $m_2$ , die addiert den korrigierten motorischen Effekt ergeben (0,05 cm).

Zur Bestimmung der Größe des motorischen Effektes muss analog zu den bisher beschriebenen Experimenten zunächst die Steigung über den Zusammenhang der tatsächlichen Objektgröße zur Amplitude der Sakkade bestimmt werden. In Abbildung 7.8 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Grundlage für die Berechnung der Steigung sind die Amplituden der Sakkaden für *Quellfiguren* in *mittlerer Entfernung* der Länge 4 cm und 6 cm. Die (individuell) errechnete Steigung weist im Mittel einen Wert von 0,92 auf (SD = 0,19). Die eingezeichneten Geraden, die sich auf die Amplituden der Sakkaden für die unterschiedlichen Entfernungen beziehen, sind fast deckungsgleich. Dies veranschaulicht den Befund, dass die Amplituden der Sakkaden nach der tatsächlichen und nicht nach der wahrgenommenen Größe skaliert sind (vgl. auch Abb.

7.5). Der korrigierte motorische Effekt fällt entsprechend gering aus. Für die Berechnung werden die Differenzen der Amplituden der Sakkaden für die Stufen *mittel* zu *fern* sowie *mittel* zu *nah* gebildet und jeweils durch die Steigung geteilt. Man erhält so die Teileffekte  $m_1$  und  $m_2$ . Der korrigierte motorische Effekt ergibt sich aus  $m_1 + m_2 = 0,05$  cm (SD = 0,10 cm).

Da die explorative Datenanalyse keinen nennenswerten Beitrag für die Beantwortung der Hypothesen liefert, wird auf eine Darstellung dieser Daten verzichtet.

### 7.3 Ergebnisse für den Vergleich des perzeptuellen und des motorischen Effektes

Der gemessene perzeptuelle Effekt (Experiment 1) und der motorische Effekt (Experiment 2) können nun miteinander verglichen werden. Der Vergleich soll Aufschluss darüber geben, ob von einer Dissoziation oder einer Assoziation von Perzeption und Handlung bei dieser Illusion und den verwendeten perzeptuellen und motorischen Maßen gesprochen werden kann. Im vorliegenden Fall ist eine Dissoziation zu erwarten. Tabelle 7.6 gibt die Mittelwerte für die beiden Effekte mit den zugehörigen Standardabweichungen und Standardfehlern des Mittelwertes wieder. In Abbildung 7.9 sind die Mittelwerte für diese Effekte graphisch dargestellt.

Der statistische Vergleich für diese beiden Effekte ist erwartungsgemäß signifikant ( $t(7) = 12,13$ ;  $p \leq 0,001$ ). Die Effektstärke (Differenz der Mittelwerte der Effekte / gemittelte Streuung) beträgt 4,16. Dieser sehr hohe Wert ist ein Beleg für den deutlichen Unterschied der perzeptuellen und motorischen Effekte. Damit bestätigt sich die Annahme einer Dissoziation von Perzeption und Handlung bei der Betrachtung der Steg Illusion und den hier verwendeten perzeptuellen und motorischen Maßen.

Tab. 7.6: Perzeptueller und motorischer Effekt.

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Perzeptueller Effekt</b>	0,56	0,14	0,05
<b>Motorischer Effekt</b>	0,05	0,10	0,03

Beide Effekte sind an den jeweiligen Steigungen korrigiert. Die Größe dieser Effekte bezieht sich auf die gemittelte Objektgröße von 5 cm.

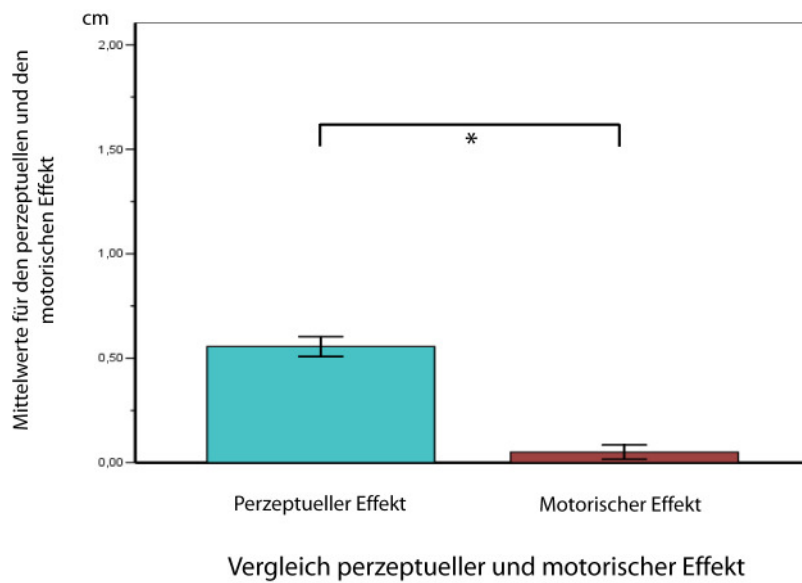


Abb. 7.9: Vergleich der Mittelwerte für den perzeptuellen und den motorischen Effekt. Der Vergleich der beiden Effekte ist signifikant. Die Effekte beziehen sich auf die gemittelte Größe von 5 cm. Beide Effekte sind an ihren jeweiligen Steigungen relativiert, d.h. also korrigiert. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant.

## 7.4 Diskussion

Während in *Studie 1* unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden eine Assoziation von Perzeption und Handlung bei der Müller-Lyer Figur festgestellt werden konnte, sollte in dieser Studie der Nachweis einer Assoziation von Perzeption und Handlung mit demselben motorischen Maß erbracht werden. Dies würde Hypothese 1 bestätigen und die Annahme widerlegen, dass es für die Untersuchung der *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH) unerheblich ist, welche Illusion und welches motorische Maß untersucht wird.

Für den Nachweis der Dissoziation unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden wurde in dieser Studie eine selbst entworfene Illusion, die Steg Illusion, benutzt. Diese wurde in Anlehnung an die Ponzo Illusion geschaffen. Bei dieser Illusion hat ein Betrachter den Eindruck, auf eine dreidimensionale Szene zu schauen, die am Monitor (d.h. zweidimensional) dargeboten wird. Die Steg Illusion kann analog zu einer realen Szene gesehen werden, in der sich zwei Balken in verschiedenen Entfernungen zum Betrachter befinden. Die Balken erscheinen in der realen Szene dem Betrachter in einem bestimmten Schinkel, der von der Objektgröße und der Entfernung abhängig ist (Emmert, 1881). Weisen zwei Objekte für einen Betrachter den gleichen Schinkel auf,

befinden sich aber in unterschiedlicher Entfernung von diesem, so muss das weiter entfernte Objekt größer sein als das nahe Objekt. Die unterschiedliche Größe dieser Objekte wird üblicherweise von einem Beobachter sicher erkannt, was unter dem Phänomen Größenkonstanz bekannt ist. Überlegt man sich jedoch in einer solchen Situation, wie wohl die Amplituden von Sakkaden ausfallen würden, wenn man den Betrachter auffordern würde, von einem Ende des Balkens zum anderen zu schauen, so würde man Amplituden vorhersagen, die dem Sehwinkel entsprechen, unter dem die Figuren zu sehen sind.

Da die Steg Illusion auf dem Prinzip der unterschiedlich wahrgenommenen Größe von tatsächlich gleich großen Figuren bei unterschiedlicher Tiefenwahrnehmung basiert, wurde für die Sakkaden nach diesen Figuren dieselbe Vorhersage gemacht, wie für die reale Szene. Dies würde Hypothese 3 bestätigen, nach der Dissoziationen oder Assoziationen nicht willkürlich auftreten, sondern sich mit Hilfe der internen Bedeutung, die durch den Stimulus angesprochen wird, vorhersagen lassen. Dies sollte prinzipiell nicht nur für „reale“ dreidimensionale Szenen gelten, sondern auch für zweidimensionale, in denen sich der Betrachter dieser Zweidimensionalität bewusst ist.

In Experiment 1 wurde der perzeptuelle Effekt gemessen. Ziel war die Messung der Größe dieses Effektes. Der Nachweis eines perzeptuellen Effektes ist gleichsam die Grundlage dafür, die Steg Illusion (nach externalistischer Konzeption) überhaupt als Illusion zu klassifizieren. Damit kann auch kein prinzipieller Einwand gegen diese Illusion zur Testung der TVSH erhoben werden. Mit einer Größe von 0,56 cm (bezogen auf 5 cm) fiel der perzeptuelle Effekt so deutlich aus, dass motorische Effekte, sofern vorhanden, sichtbar werden sollten.

Der erhaltene motorische Effekt (Experiment 2) fiel jedoch mit einer Größe von 0,05 cm (bezogen auf 5 cm) deutlich kleiner aus als der perzeptuelle Effekt. Die Sakkaden waren, berücksichtigt man die Steigung von  $\sim 0,9$  für den Zusammenhang tatsächlicher Objektgröße zur Amplitude der Sakkade, fast perfekt an die tatsächliche Objektgröße skaliert. Die Sakkaden folgten demnach nicht der wahrgenommenen Größe der Figuren, sondern der tatsächlichen Größe. Dieses Ergebnis entspricht genau der Vorhersage, die man in einer realen Situation auch gemacht hätte. Es ist im Grunde überraschend, dass ein motorischer Effekt so gut wie nicht vorhanden war. In dieser Stärke übertreffen die Ergebnisse sogar die Erwartungen.

Fasst man die Ergebnisse von *Studie 1 und 2* zusammen, so konnte der Nachweis sowohl einer Assoziation (Müller-Lyer) als auch einer Dissoziation (Steg Illusion) unter Verwendung von Amplituden der Sakkaden als motorisches Maß festgestellt werden.

Nach dem Paradigma der visuellen Illusionen sollte es jedoch ohne Belang sein, welche Illusion und welches motorische Maß verwendet werden. Damit ist ein erstes wichtiges Argument gegen das Paradigma der visuellen Illusionen und der TVSH selbst gemacht worden, denn nach dieser Theorie dürften diese unterschiedlichen Ergebnisse nicht zustande kommen. Es wird immer davon ausgegangen, keine oder zumindest deutlich kleinere motorische Effekte im Vergleich mit perzeptuellen Effekten zu erhalten. Eine Fallunterscheidung für unterschiedliche Illusionen oder verwendete Maße sieht die Theorie nicht vor.

Ein möglicher Einwand für die Gültigkeit der hier gefundenen Ergebnisse besteht darin, dass ein Proband bei der Müller-Lyer Illusion keine bewusste Interpretation über die intern angesprochene Bedeutung besitzt so wie bei der Steg Illusion, bei der ein Betrachter einen bewussten Eindruck einer dreidimensionalen Szene hat. So wäre es theoretisch denkbar, dass die gefundene Dissoziation auf dem bewussten Eindruck bei der Steg Illusion beruht. Dieser mögliche Einwand steht aber gleichzeitig im genauen Widerspruch zur TVSH, denn diese geht bei allen Illusionen von einer Dissoziation aus. Die für die Müller-Lyer Illusion gefundene Assoziation lässt sich damit nicht erklären. Denkbar wäre dennoch, dass der bewusste oder unbewusste Eindruck einen Einfluss auf die erhaltenen Ergebnisse hat. Hypothese 4 geht jedoch davon aus, dass es für das Ergebnis (im Prinzip) unerheblich ist, ob ein bewusster Eindruck von den angesprochenen Konzepten vorliegt oder nicht. Diese Hypothese soll in der nächsten Studie untersucht werden.

## 8 Studie 3: Die Ponzo Illusion

Die Ponzo Illusion wurde bereits mehrfach angesprochen. Von besonderem Interesse ist diese Illusion, da es eine allgemein akzeptierte „Erklärung“ für sie gibt. Freilich unterscheiden sich die theoretischen Betrachtungsweisen für Internalisten und Externalisten dabei voneinander. Während der Internalist keine Notwendigkeit sieht, die Ponzo Illusion theoretisch anders zu betrachten als „reale Bahnschienen“ (außer der Tatsache, dass er jeweils andere physikalische Verursachungen feststellen kann, die jedoch keine Bedeutung für seine Theorie haben), wird der Externalist auf falsch angewendete Prinzipien bei der zweidimensionalen Ponzo Illusion bestehen (Kapitel 1.3). Da die Ponzo Illusion im Prinzip genauso zur Prüfung der TVSH nach dem PVI zu benutzen ist wie jede andere Illusion auch, sollten sich auch die Ergebnisse einer solchen Illusion nach der TVSH nicht von anderen Illusionen unterscheiden.

Die Ponzo Illusion wurde bereits mehrfach im PVI untersucht. Diese Studien wurden in Kapitel 3.3.2.3 besprochen. Bei diesen Studien wurden die maximalen Griffweiten und/oder die Kraft gemessen, mit der die Objekte gegriffen bzw. gehoben wurden. Die Autoren fanden hier keine Hinweise auf eine Assoziation von Perzeption und Handlung, so wie es nach dem hier vertretenen Ansatz vorausgesagt wird. In dieser Studie soll es aber zunächst um die Amplituden von Sakkaden an der Ponzo Illusion gehen. In Studie 5 schließlich wird die maximale Griffweite beim Greifen nach der Ponzo Illusion untersucht.

Die Ponzo Illusion wird hier analog zur Steg Illusion aufgefasst. Der Unterschied zwischen diesen Illusionen besteht hauptsächlich darin, dass ein Betrachter bei der Ponzo Illusion keinen bewussten Tiefeneindruck hat. Der perzeptuelle Effekt ist somit Ausdruck einer interpretierten Tiefe, ohne dass sich der Betrachter dieser Tiefe bewusst wird.

In dieser Studie soll überprüft werden, ob für die Ponzo Illusion unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden eine Dissoziation von Perzeption und Handlung festgestellt werden kann. Damit wäre der Nachweis geführt, dass bewusstes Erleben der „Bedeutung“ der Illusion für die motorische Handlung nicht entscheidend ist (Hypothese 4). Es sei an den Befund für die Müller-Lyer Illusion erinnert, bei der, ebenfalls unter Verwendung von Sakkaden, *keine* Dissoziation von Perzeption und Handlung gefunden wurde. Auch bei dieser Illusion hat ein Betrachter kein bewusstes Erleben über die Bedeutung der Illusion. Sollte sich die angenommene Dissoziation von Perzeption und Handlung bei der Ponzo Illusion unter Verwendung von Sakkaden bestätigen, so würde dies (1) gegen die Annahme sprechen, dass die Art der verwendeten Illusionen ohne Belang ist und (2) gegen die Entscheidungsregel des PVI, da in diesem Fall zwei gegensätzliche Resultate (eine Assoziation bei der Müller-Lyer Illusion und eine Dissoziation bei der Ponzo Illusion) eine Entscheidung für oder gegen die TVSH nicht zulassen.

*Studie 3* teilt sich wie die anderen beiden bisherigen Studien in zwei Experimente. In Experiment 1 wird der perzeptuelle Effekt, in Experiment 2 der motorische Effekt gemessen. Diese beiden Effekte sollen miteinander verglichen werden. Es wird eine Dissoziation von Perzeption und Handlung in der Form erwartet, dass kein (oder zumindest ein deutlich kleinerer) motorischer Effekt im Vergleich zum perzeptuellen Effekt gemessen werden kann.

## 8.1 Experiment 1: Perzeptueller Längenabgleich

### 8.1.1 Methode

#### Versuchspersonen

An der Studie nahmen neun Probanden teil. Zwei von ihnen mussten aus der späteren Auswertung ausgeschlossen werden, da es bei der Datenaufzeichnung mit dem Eyetracker zu zahlreichen Datenausfällen bei ihnen gekommen war, so dass nicht genügend valide Durchgänge für sie bestimmt werden konnten. Einer der verbliebenen sieben Probanden war der Autor dieser Arbeit. Alle anderen Probanden waren naiv hinsichtlich der Fragestellung. Bei ihnen handelte es sich erneut um Psychologiestudenten im Grundstudium der Universität Kiel, die durch die Teilnahme „Versuchspersonenstunden“ erhielten. Diese Probanden nahmen nicht an den beiden vorherigen Studien teil. Sofern die Probanden eine Sehhilfe benötigten, konnte diese verwendet werden.

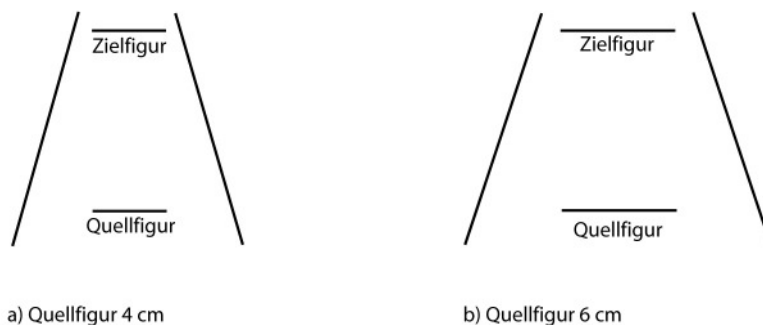


Abb. 8.1: Schema der verwendeten Stimuli. Der untere horizontale Balken stellt die *Quellfigur*, der obere horizontale Balken die *Zielfigur* dar. Die Abstände der konvergierenden Linien zueinander werden in Abhängigkeit der *Größe* der *Quellfigur* variiert. a) Die konvergierenden Linien stehen nah beieinander für die 4 cm großen Figuren. b) Die konvergierenden Linien weisen einen vergrößerten Abstand auf für die 6 cm großen Figuren. Die exakten Dimensionen sind in Abb. 8.2 dargestellt.

#### Versuchsdesign

##### *UV Größe*

Unter der *Größe* wird die Länge der *Quellfigur* verstanden. Die *Quellfigur* wird für die Ponzo Illusion definiert als der untere horizontale Balken der Illusion (Abb. 8.1). Sie kann die Größen 4 cm oder 6 cm annehmen. Die Variation der *Größe* kann bei der Ponzo Illusion allerdings nicht, wie bei den bisherigen Studien, zur Ermittlung der Steigung über den Zusammenhang der tatsächlichen Größe zur adjustierten Größe dienen (Erläuterung siehe unten). Zur Vermeidung von Gewöhnungstendenzen werden



dennoch unterschiedliche Größen verwendet. Da die Größe des perzeptuellen Effektes bei der Ponzo Illusion stark davon abhängig ist, wie weit die konvergierenden Linien von der *Zielfigur* entfernt sind (eigene Vorversuche), wurden die Abstände dieser Linien für die beiden Größen variiert (Abb. 8.1a und 8.1b). Ansonsten wären die Abstände für die 4 cm Bedingungen so groß gewesen, dass kaum noch ein Effekt gemessen worden wäre.

#### *AV Längenadjustierung*

Für die Bestimmung des perzeptuellen Effektes wird die *Zielfigur* (Abb. 8.1) an die *Quellfigur* so adjustiert, dass perzeptuelle Gleichheit der Größe zwischen diesen beiden Figuren besteht. Die Instruktion für diesen Abgleich besteht darin, die Figuren so anzupassen, dass sie, wenn „ausgeschnitten“, die gleiche Länge aufweisen sollen. Sie sollen also deckungsgleich sein. Dies entspricht dem Vorgehen für die bisherigen beiden Studien.

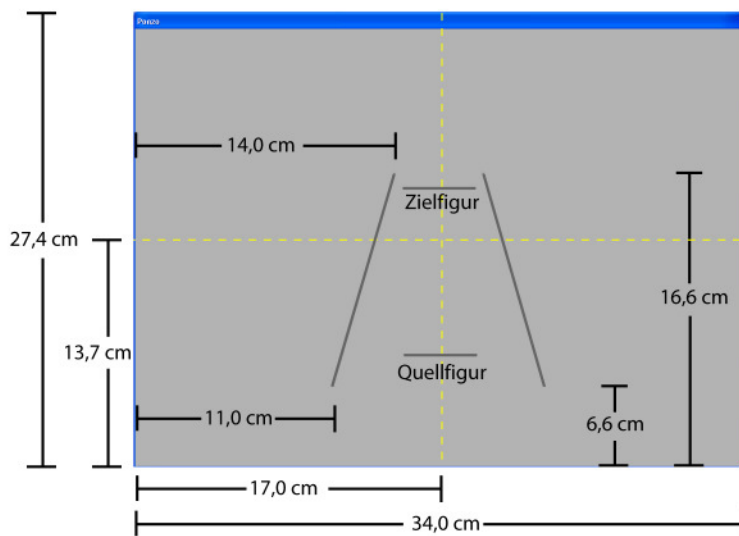
Anders als bei den bisherigen beiden Studien erlaubt die Ponzo Illusion keinen einfachen Abgleich der *Quellfigur* an sich selbst. Damit ist keine Möglichkeit gegeben, die Steigung zu bestimmen. Würde man die Steigung für die adjustierten *Zielfiguren* benutzen, so würde man die „wahre“ Steigung unterschätzen. Nimmt man z.B. eine 10 % Verringerung der Länge der *Zielfigur* im Vergleich zu den *Quellfiguren* an, so würde eine Steigung von 0,9 resultieren ( $(5,4 - 3,6)/2 = 0,9$ ). In Anlehnung an die beiden bisherigen Studien wird daher die Steigung geschätzt, so dass für die perzeptuelle Steigung ein Wert von 1,0 angenommen wird. Für das anschließende motorische Experiment hingegen können die Amplituden der Sakkaden nach den unterschiedlich großen *Quellfiguren* genutzt werden, um die Steigung für die Motorik zu bestimmen.

#### *Versuchsbedingungen*

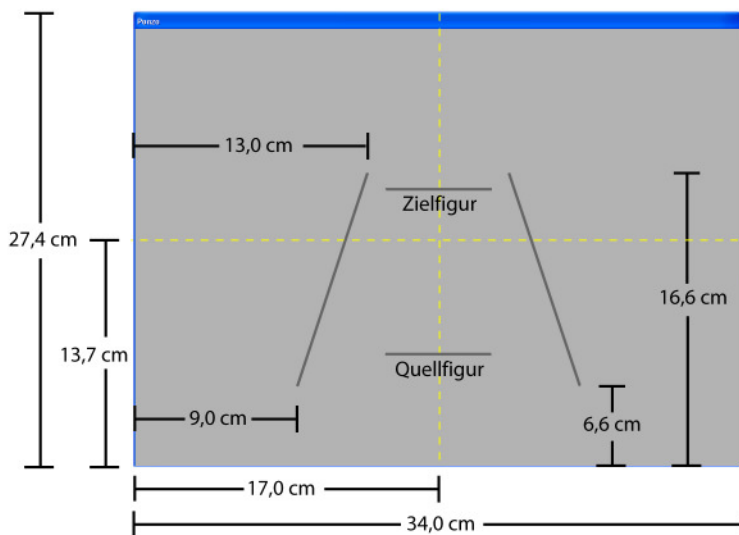
Jede Bedingung wurde zehn Mal durchgeführt. Daraus ergaben sich insgesamt 20 Adjustierungen für jeden Probanden. Die Bedingungen wurden vollständig randomisiert dargeboten.

#### **Material**

Sofern nicht anders beschrieben gilt für das Material dieselbe Beschreibung wie für Experiment 1 aus *Studie 1*. In Abbildung 8.2 sind die Größenrelationen der verwendeten Stimuli schematisch dargestellt.



a) Schema der Stimulus-Dimensionen für die 4 cm Bedingungen



b) Schema der Stimulus-Dimensionen für die 6 cm Bedingungen

Abb. 8.2: Schema der verwendeten Stimuli mit Angaben über die Größen auf dem Monitor. Die gelb gestrichelten Linien zeigen die Mitten der horizontalen und vertikalen Bildgröße an. a) Größen für die 4 cm großen *Quellfiguren*. b) Größen für die 6 cm großen *Quellfiguren*.

Das Stimulusdisplay umfasste einen Bereich von 27,4 x 34 cm (Höhe x Breite). Der obere der beiden horizontalen Balken stellte immer die *Zielfigur* dar. Die Position der *Quellfigur* wurde nicht verändert, jedoch die *Größe* (4 cm bzw. 6 cm). Sowohl die *Quell-* und *Zielfiguren* als auch die beiden konvergierenden Linien wurden in dunkel grau gehalten. Der Hintergrund war hellgrau. Die Veränderung der Größe der *Zielfigur* erfolgte analog zu Experiment 1 von *Studie 1*. Die *Zielfigur* wies zu Beginn jedes

Durchgangs eine zufällige Größe im Bereich von 2 cm bis 9 cm auf. Eine gleichmäßige Beleuchtung des Raumes erfolgte durch eine von oben scheinende Lichtquelle.

### **Durchführung**

#### *Instruktion*

Die Instruktion erfolgte sowohl mündlich als auch praktisch. Den Probanden wurde zunächst die Ponzo Illusion gezeigt. Da es sich bei den Probanden (bis auf RG) um Psychologiestudenten handelte, kannten diese zumeist die Ponzo Illusion. Es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es nicht darum geht, ihr Wissen um diese Illusion zu testen, sondern um ihren Größeneindruck.

Die wörtliche Instruktion für die Aufgabe lautete: „Die beiden Figuren sollen so mit Hilfe der „+“ und „-“, Tasten abgeglichen werden, dass sie die gleiche wahrgenommene Länge aufweisen. Dabei soll der obere horizontale Balken in seiner Größe an den unteren horizontalen Balken angepasst werden. Die Figuren sollen in dem Sinne gleich groß sein, dass, wenn man eine Figur ausschneiden würde und auf die andere legen würde, diese beiden Figuren deckungsgleich wären. Es geht bei diesem Experiment um die wahrgenommene Länge der Figuren. Versuchen Sie daher nicht, vermeintliches Wissen oder Hypothesen zu nutzen, um die Einstellungen vorzunehmen. Es gibt bei diesem Experiment kein richtig oder falsch. Es ist nur ihr wahrgenommener Längeneindruck von Interesse. Sie können sich für die Einstellungen so viel Zeit lassen, wie Sie möchten. Bitte führen sie den Abgleich ohne Hast durch. Vermeiden sie aber auch ein zu langes Nachdenken über die Einstellung.“

Die Probanden übten die Einstellungen anhand von zehn Probedurchgängen. Wenn keine Fragen mehr auftraten, wurde anschließend mit dem Experiment begonnen.

#### *Ablauf der Untersuchung*

Der Ablauf der Untersuchung erfolgte analog zu Experiment 1 aus *Studie 1*. Das Experiment wurde in einem Block durchgeführt.

### **8.1.2 Ergebnisse**

Das zugrunde liegende within-subject-design weist nur den Faktor *Größe* (2 Stufen) auf. Von den insgesamt 140 Adjustierungen (7 Probanden x 20 Durchgänge) wurden

alle als gültig klassifiziert. In Tabelle 8.1 und Abbildung 8.3 sind die Ergebnisse für den perzeptuellen Abgleich dargestellt.

In der Abbildung sind die in der Größe verminderten Einstellungen der *Zielfiguren* im Vergleich zur tatsächlichen Größe der *Quellfiguren* deutlich zu erkennen. Statistisch sind diese Unterschiede ebenfalls nachweisbar. Die adjustierte Größe der *Zielfigur* nach der 4 cm großen *Quellfigur* weicht signifikant von 4 cm ab ( $t(6) = 9,59; p \leq 0,001$ ). Gleiches gilt für die Einstellungen der *Zielfigur* nach der 6 cm großen *Quellfigur* ( $t(6) = 9,46; p \leq 0,001$ ). Entsprechend weicht der für die in der Größe der *Quellfiguren* gemittelte Abgleich signifikant von 5 cm ab ( $t(6) = 9,97; p \leq 0,001$ ). Eine perzeptuelle Illusion ist also feststellbar.

Tab. 8.1: Perzeptueller Abgleich der *Zielfiguren* an die jeweiligen *Quellfiguren*.

	Zielfigur		
	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Quellfigur 4 cm	3,49	0,14	0,05
Quellfigur 6 cm	5,42	0,16	0,06
Quellfigur 5 cm (gemittelte Größe)	4,45	0,15	0,06

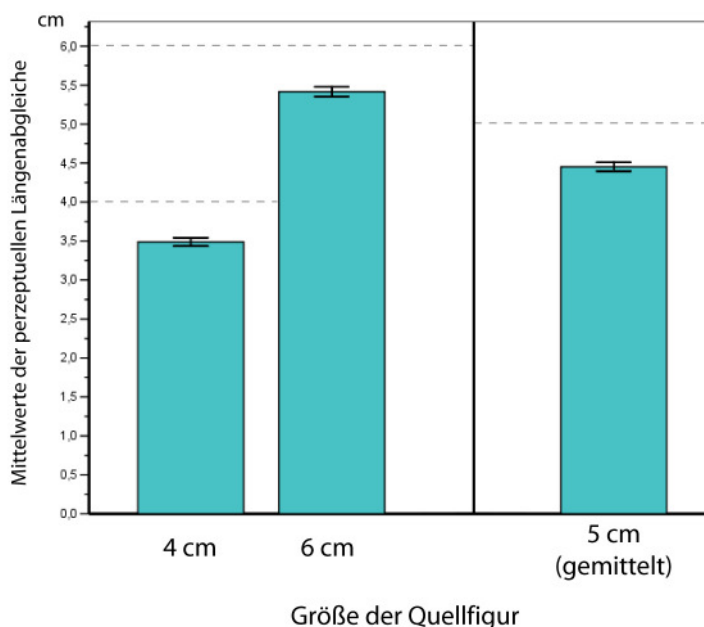


Abb. 8.3: Mittelwerte der perzeptuellen Längenabgleiche (cm). Die *Quellfiguren* weisen die Länge 4 cm oder 6 cm auf. Der Balken rechts stellt die gemittelte Größe des Abgleichs für diese beiden Größen dar. Die gestrichelten Linien zeigen die Differenz der Einstellungen zu 4 cm, 6 cm bzw. zu 5 cm für den gemittelten Balken rechts. Diese Differenz entspricht dem perzeptuellen Effekt für die Ponzo Illusion (0,55 cm gemittelt). Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung.

Die Größe des perzeptuellen Effektes wird berechnet aus der Differenz dieser gemittelten Adjustierungen zu der gemittelten Objektgröße von 5 cm. Da die Steigung für den perzeptuellen Abgleich in Anlehnung zu den vorherigen Studien mit 1,0 geschätzt wird, ist eine Korrektur dieses Effektes nicht nötig. Der perzeptuelle Effekt weist eine Größe von  $p = 0,55$  cm (SD = 0,15 cm) auf. Dieser Effekt soll mit dem motorischen Effekt verglichen werden, der in Experiment 2 gemessen wird.

## 8.2 Experiment 2: Sakkaden

### 8.2.1 Methode

#### Versuchspersonen

Dieselben sieben Probanden aus Experiment 1 dieser Studie nahmen auch an Experiment 2 teil.

#### Versuchsdesign

Es werden zwei unabhängige Variablen unterschieden: (1) Die Art der *Figur* und (2) die *Größe* der Figuren.

#### UV Figuren

In Experiment 1 wurden *Zielfiguren* an die *Quellfiguren* so angepasst, dass diese beiden Figuren perzeptuell gleich groß erschienen. Hierfür wurde die Größe der *Zielfigur* reduziert. Für die Messung der Amplituden der Sakkaden werden nun drei Figuren unterschieden (Abb. 8.4): die *Quellfigur*, die *Originale Zielfigur* (gleiche physikalische Länge wie die *Quellfigur*) und die *Adjustierte Zielfigur* (physikalisch ungleich zur *Quellfigur*).

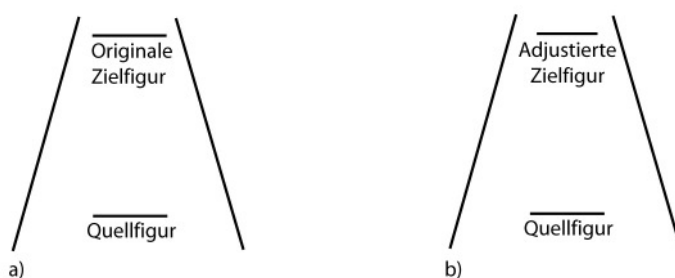


Abb. 8.4: Schema für die UV Figuren. a) Die *Quellfigur* und die *Originale Zielfigur* weisen die gleichen physikalischen Größen auf. Die Figuren wirken auf den Probanden unterschiedlich groß. b) Die *Quellfigur* und die *Adjustierte Zielfigur* weisen unterschiedliche physikalische Größen auf. Sie werden vom Probanden jedoch als gleich groß wahrgenommen.

*UV Größe*

Die Größe der *Quellfiguren* und der *Originalen Zielfiguren* können entweder 4 cm oder 6 cm betragen. Die *Adjustierten Zielfiguren* weisen (im Mittel) die Größen von 3,49 cm und 5,42 cm auf (für jeden Probanden werden die individuellen Mittelwerte verwendet). Mit der Variation der *Größe* können die Steigungen über den Zusammenhang der tatsächlichen Objektgröße zu den Amplituden der Sakkaden bestimmt werden. Ebenso sollen Gewöhnungstendenzen bei den Probanden vermieden werden.

*AV Amplitude der Sakkade*

Die Messung der Amplitude der Sakkade erfolgt analog zu den vorherigen beiden Studien. Die Sakkade soll von einem Ende des horizontalen Balkens bis zum anderen Ende erfolgen. Es werden vergleichbare Ergebnisse zu den Messungen an der Steg Illusion erwartet. Die *Quellfiguren* und die *Originalen Zielfiguren* weisen zwar die gleiche Länge auf, wirken aber auf einen Betrachter unterschiedlich groß (siehe Experiment 1). Trotzdem wird für die Amplituden der Sakkaden kein (bzw. nur ein sehr geringer) Unterschied zwischen diesen Bedingungen erwartet. Entsprechend wird für die *Quellfiguren* und für die *Adjustierten Zielfiguren* trotz gleicher wahrgenommener Größe ein Unterschied für die Amplituden der Sakkaden erwartet, der sich an der tatsächlichen Größe der Figuren orientiert.

Da sich für die explorativen Daten in den vorherigen Studien keine Besonderheiten ergeben haben, wird in dieser Studie auf die Auswertung und Darstellung dieser Daten verzichtet.

Es ergeben sich folgende *Versuchsbedingungen*:

*Figuren* (3 Stufen) x *Größe* (2 Stufen) = 6 Bedingungen

Jede Bedingung wird 16 Mal durchgeführt. Daraus ergeben sich insgesamt pro Proband 96 Durchgänge. Pro Bedingung wird die Sakkade an der Figur acht Mal von „links nach rechts“ (Abduktion) bzw. acht Mal von „rechts nach links“ (Adduktion) vermessen. Es wird hierbei nur das rechte Auge des Probanden betrachtet. Für die Auswertung werden die Ergebnisse der Abduktionen und der Adduktionen gemittelt. Das Experiment wird in zwei Blöcken mit jeweils 48 Durchgängen durchgeführt. In jedem Block befinden sich je vier Abduktionen und vier Adduktionen pro Bedingung. Innerhalb eines Blocks werden die Durchgänge randomisiert dargeboten.

**Material**

Sofern nicht anders dargestellt, war das Material dieses Experiments identisch mit dem unter Experiment 2 von *Studie 1* beschriebenen.

Bei den dargebotenen Stimuli handelte es sich um die in Experiment 1 dieser Studie verwendete Ponzo Illusion. Während der Durchführung einer Sakkade war immer eine „komplette“ Ponzo Illusion zu sehen, d.h. es waren zwei horizontale Balken und die konvergierenden Linien zu sehen. Eine der Figuren war dabei die *Quellfigur*, die andere Figur entweder die *Originale Zielfigur* oder die *Adjustierte Zielfigur*. Welche Figur in einem Durchgang inspiziert werden sollte, wurde durch ein zuvor erscheinendes Fixationskreuz angezeigt. Das Fixationskreuz wurde vor grauem Hintergrund präsentiert. Die Farbe beider Figuren wurde einheitlich in grau gehalten, genau wie die konvergierenden Linien.

**Durchführung**

Sofern nicht anders erläutert wurde das Experiment 2 dieser Studie analog zu Experiment 2 von *Studie 1* durchgeführt.

Die Instruktion für einen einzelnen Durchgang lautete wie folgt: „Fixieren Sie das Kreuz, welches auf dem Bildschirm erscheint. Blinzeln Sie dabei nicht mit den Augen. Wenn das Kreuz verschwindet, erscheinen zwei horizontale Balken sowie zwei konvergierende Linien. Das linke bzw. das rechte Ende eines horizontalen Balkens befindet sich genau dort, wo vorher das Kreuz zu sehen war. An dieser Stelle befindet sich jetzt auch noch ihr Blick. Schauen Sie bitte nun *mit einem Blick* an das andere Ende dieses horizontalen Balkens. Schauen Sie nicht umher. Auch hier gilt: Nicht blinzeln. Fixieren Sie das Ende der Figur solange, bis das Bild verschwindet. Es folgt ein grauer Bildschirm. Wenn Sie diesen sehen, können sie auf dem Bildschirm umherschauen und nun auch wieder blinzeln. Nach ca. drei Sekunden wird ein neues Kreuz erscheinen.“

Anschließend wurde den Probanden die Struktur eines Blocks (Anzahl Durchgänge, Kalibrierung am Anfang und in der Mitte eines Blocks, *Drift correction* nach jeweils 6 Durchgängen) erläutert. In einem Probekblock wurde dies eingeübt.

Ein Block dauerte ca. acht Minuten ( $\pm$  mehrere Sekunden durch die Kalibrierungen) und startete stets mit einer 13-Punkt Kalibrierung (siehe *Studie 1*). Es folgten die ersten 24 Durchgänge eines Blocks. Ein Durchgang bestand aus drei Komponenten (Abb. 8.5): (1) Ein Fixationskreuz wurde drei Sekunden lang präsentiert. (2) Die Ponzo Illusion erschien für zwei Sekunden. Der Proband führte die Sakkade aus. (3) Ein grauer

Bildschirm wurde drei Sekunden lang gezeigt. Anschließend ging es sofort mit dem nächsten Durchgang weiter. Nach jeweils sechs Durchgängen wurde die *Drift correction* durchgeführt (siehe *Studie 1*). Nach der Hälfte des Blocks wurde eine zweite Kalibrierung vorgenommen. Daran anschließend wurden die restlichen 24 Durchgänge eines Blocks durchgeführt.

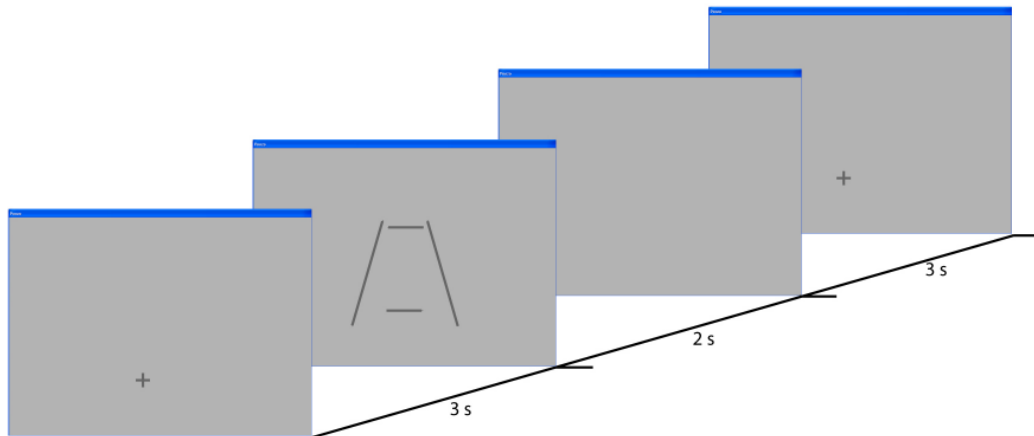


Abb. 8.5: Schema über den zeitlichen Verlauf eines Durchganges. Zunächst erscheint ein Fixationskreuz auf dem Monitor. Der Proband blickt auf dieses Kreuz. Nach drei Sekunden verschwindet das Kreuz und die Ponzo Illusion erscheint. Ein Ende (linkes oder rechtes) des jeweiligen horizontalen Balkens befindet sich genau dort, wo vorher das Kreuz gewesen ist. Somit befindet sich auch der Blick des Probanden auf diesem Punkt. Der Proband schaut nun *mit einem Blick* auf das andere Ende des Balkens und fixiert dieses, bis nach zwei Sekunden ein grauer Bildschirm für die Dauer von drei Sekunden erscheint. Während dieser Zeit kann der Proband umherschauen und mit den Augen blinzeln. Anschließend startet sofort ein neuer Durchgang.

### 8.2.2 Ergebnisse

Zwei Faktoren wurden bei dem vorliegenden within-subject-design unterschieden: *Figuren* (3 Stufen) und *Größe* (2 Stufen).

Die sieben Probanden führten insgesamt 672 Sakkaden aus (7 x 96). Von diesen wurden 561 Sakkaden als gültig beurteilt (~ 83,5 %). Die Gründe für den Ausfall von Daten sind identisch mit denen aus *Studie 1* und *Studie 2*.

In Tabelle 8.2 und Abbildung 8.6 sind die Ergebnisse für alle getesteten Bedingungen aufgeführt. Es ist bereits deutlich zu erkennen, dass sich die Amplituden der Sakkaden eher nach der tatsächlichen Größe der Figur und nicht nach der wahrgenommenen Größe richten. Für die statistischen Vergleiche wurden die Bedingungen über den Faktor *Größe* gemittelt (Tab. 8.3 und Abb. 8.7).



Tab. 8.2: Amplituden der Sakkaden für alle getesteten Bedingungen.

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Quellfigur 4 cm</b>	3,70	0,47	0,18
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	3,64	0,26	0,10
<b>Adjustierte Zielfigur an 4 cm</b>	3,13	0,21	0,08
<b>Quellfigur 6 cm</b>	5,81	0,51	0,19
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	5,49	0,56	0,21
<b>Adjustierte Zielfigur an 6 cm</b>	4,90	0,41	0,15

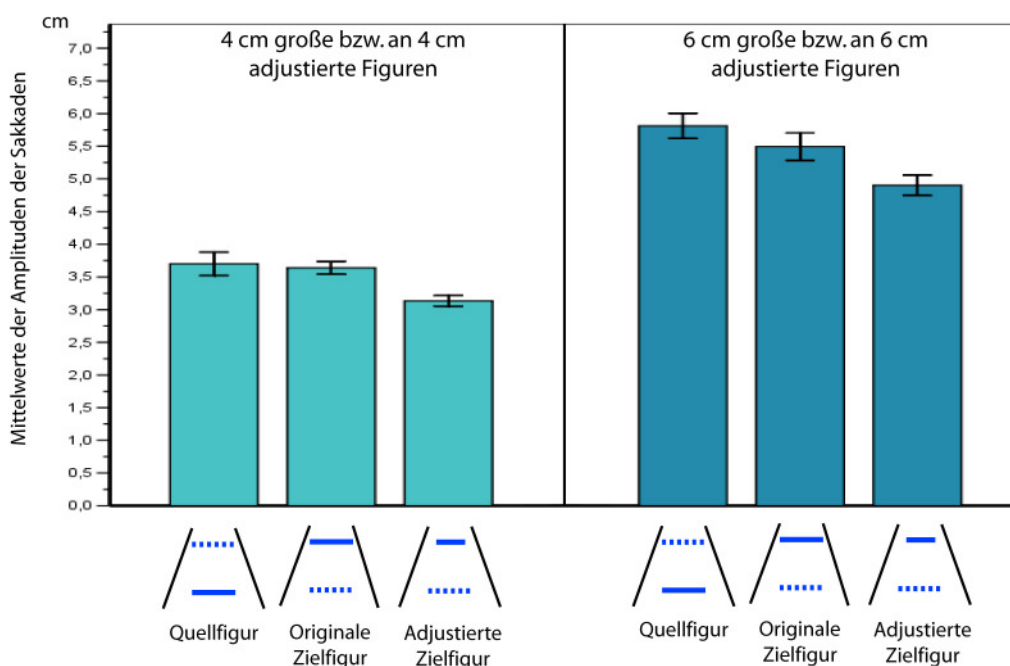


Abb. 8.6: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden (cm) für alle getesteten Bedingungen. Die linken drei Balken stellen die 4 cm großen Figuren (*Quellfigur*, *Originale Zielfigur*) bzw. die an 4 cm *Adjustierte Zielfigur* dar. Die rechten drei Balken stellen analog die 6 cm Bedingungen dar. Die *Originalen Zielfiguren* wirken (bei gleicher physikalischer Größe) auf den Betrachter größer als die *Quellfiguren*. Es ist jedoch deutlich zu erkennen, dass die Sakkaden der *Originalen Zielfiguren* nicht größer sind als die Sakkaden für die *Quellfiguren*. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die inferenzstatistische Auswertung (siehe Tab. 8.3 und Abb. 8.7).

Zur Erinnerung: Die *Quellfigur* und die *Originale Zielfigur* wiesen dieselben Größen auf (gemittelt 5 cm). Einem Betrachter erscheinen diese beiden Figuren unterschiedlich groß, was durch die Messung des perzeptuellen Effektes aus Experiment 1 dieser Studie belegt wurde. Für die hier betrachteten gemittelten Größen wurde die *Zielfigur* in Experiment 1 dieser Studie auf die Größe 4,45 cm adjustiert, um perzeptuelle Gleichheit zu erlangen.

Tab. 8.3: Amplituden der Sakkaden (gemittelt über die *Größe*).

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Quellfigur (gemittelte Größe 5 cm)</b>	4,76	0,47	0,18
<b>Originale Zielfigur (gemittelte Größe 5 cm)</b>	4,57	0,39	0,15
<b>Adjustierte Zielfigur (gemittelte Größe 4.45 cm)</b>	4,02	0,30	0,11

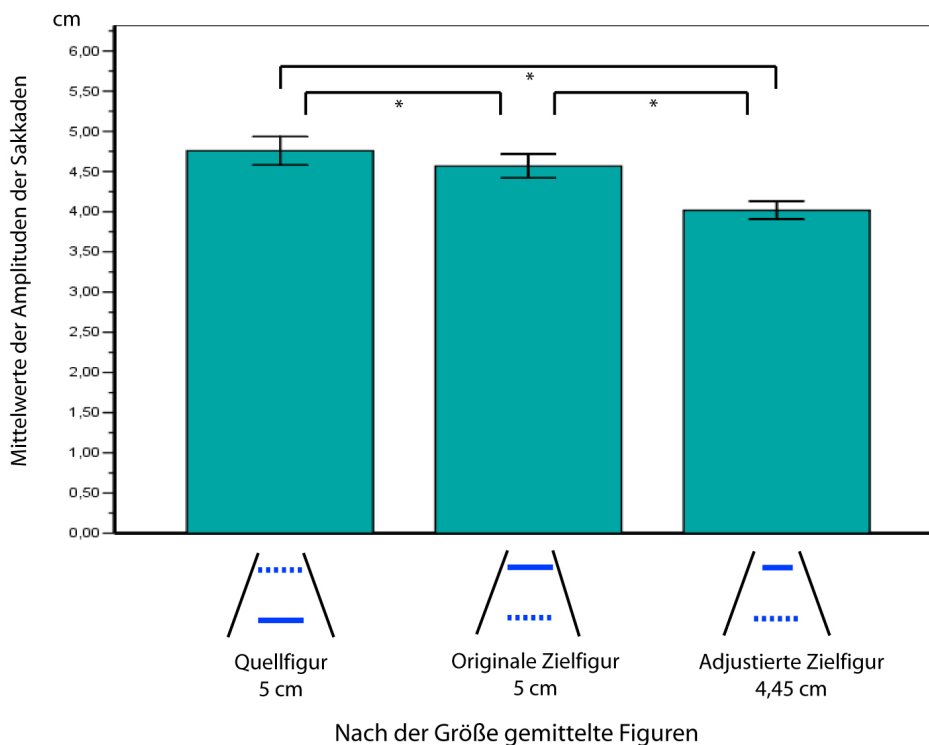


Abb. 8.7: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden (cm), gemittelt über die *Größe* der Figuren. Deutlich zu erkennen ist der Unterschied zwischen der *Quellfigur* und der *Adjustierten Zielfigur*. Diese beiden Bedingungen wirkten auf die Probanden gleich groß, obwohl sie physikalisch unterschiedlich groß waren. Die Amplitude der Sakkade orientiert sich demnach eher an der tatsächlichen Größe der Figur. Die *Originale Zielfigur* wirkt größer als die *Quellfigur* trotz physikalisch gleicher Größen. Die Amplitude der Sakkade für die *Originale Zielfigur* ist jedoch im Vergleich zur *Quellfigur* sogar leicht vermindert. Dies deutet auf einen „Reduktionseffekt“ hin. Die Amplituden der Sakkaden für die *Originale Zielfigur* und für die *Adjustierte Zielfigur* unterscheiden sich erwartungsgemäß (Kontrolle). Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant.

Obwohl die Probanden die *Originale Zielfigur* größer wahrnehmen als die *Quellfigur*, fallen die Amplituden der Sakkaden nicht entsprechend dieser Wahrnehmung größer aus. Die Amplituden der Sakkaden für die *Originalen Zielfiguren* sind sogar unerwartet kleiner als die der *Quellfiguren* ( $t(6) = 2,70$ ;  $p = 0,036$ ; zweiseitiger Test). Der gemessene Abstand zwischen diesen beiden Bedingungen beträgt  $\sim 0,2$  cm.

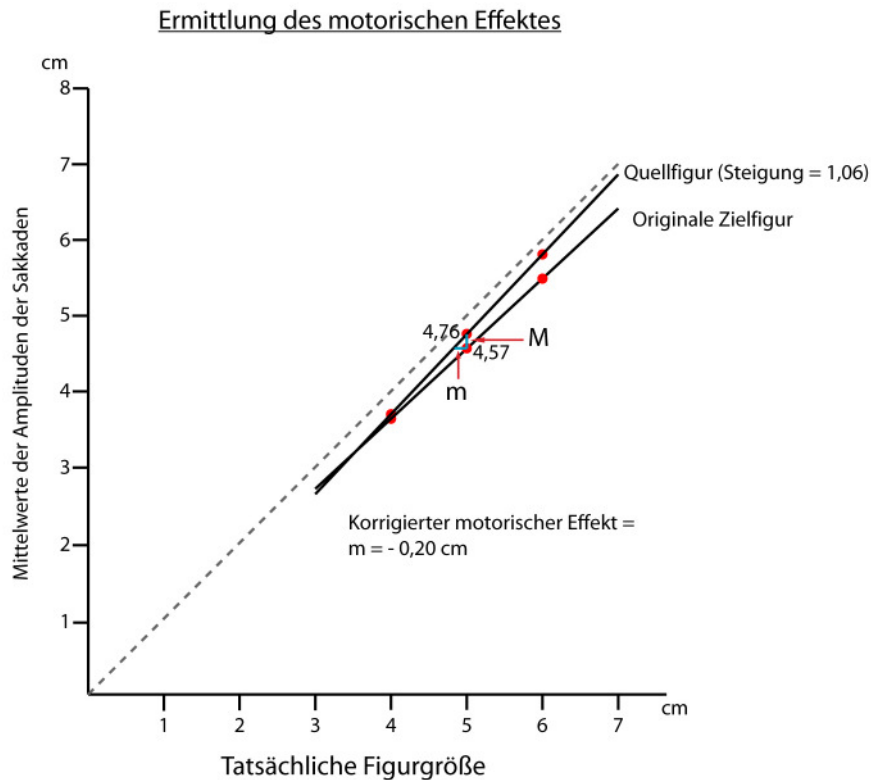


Abb. 8.8: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden für die *Quellfiguren* und für die *Originalen Zielfiguren* zur Ermittlung des motorischen Effektes. Die in rot eingetragenen Punkte markieren die Amplituden der Sakkaden für die entsprechenden tatsächlichen Größen der *Quellfigur* bzw. der *Originalen Zielfigur*. Die Geraden für die *Quellfigur* und für die *Originale Zielfigur* sollten erwartungsgemäß deckungsgleich sein. Die Gerade für die *Originale Zielfigur* ist jedoch sogar leicht „nach unten“ verschoben. Diese Verschiebung ist Ausdruck des *Reduktionseffektes*. Der motorische Effekt ( $m = -0,20$  cm) wird auf die gemittelte Figurgröße von 5 cm bezogen und berechnet sich aus der Differenz der Amplituden der Sakkaden, geteilt durch die ermittelte Steigung. Das negative Vorzeichen zeigt an, dass die *Originale Zielfigur* zwar größer wahrgenommen wird als die *Quellfigur*, die Sakkaden sich jedoch umgekehrt hierzu verhalten.

Die Amplituden der Sakkaden für die *Quellfigur* und der *Adjustierten Zielfiguren* unterscheiden sich hingegen wie erwartet deutlich voneinander ( $t(6) = 9,77$ ;  $p \leq 0,001$ ). Der absolute Abstand betrug hier  $\sim 0,74$  cm.

Erwartungsgemäß wurde ebenfalls der Vergleich der *Originalen Zielfigur* und der *Adjustierten Zielfigur* signifikant ( $t(6) = 8,50$ ;  $p \leq 0,001$ ). Die Sakkaden für die *Originale Zielfigur* waren größer als die der *Adjustierten Zielfigur*.

Für die Bestimmung der Größe des motorischen Effektes (Abb. 8.8) muss zunächst analog zu den vorherigen Studien die Steigung über den Zusammenhang der tatsächlichen Objektgröße zur Amplitude der Sakkade bestimmt werden. Da für die Ponzo Illusion keine „neutrale Figur“ bestimmt werden kann, wird auf die *Quellfigur* zurückgegriffen. Diese Figur entspricht wohl am ehesten einer Bedingung, die von Externalisten als „neutral“ bezeichnet werden würde, da sich die konvergierenden

Linien nicht in unmittelbarer Nähe der Figur befinden. Da die Amplituden der Sakkaden annähernd so beschrieben werden können, dass sie der tatsächlichen Größe des Objektes folgen, wird man für die Ponzo Illusion keinen bedeutenden Fehler machen, wenn man dieses Vorgehen wählt. Die Steigung wird ermittelt durch die Differenz der Amplituden der Sakkaden nach der 6 cm großen *Quellfigur* und der 4 cm großen *Quellfigur*, dividiert durch 2,0. Die Steigung wird (wie auch in den vorherigen Studien) durch die individuellen Mittelwerte bestimmt. Es ergibt sich somit eine über alle Probanden gemittelte Steigung von 1,06 (SD = 0,16). Der korrigierte motorische Effekt ( $m$ ) berechnet sich aus der Differenz der Amplituden der Sakkaden ( $M$ ) für die *Originalen Zielfiguren* und der *Quellfiguren*, dividiert durch die ermittelte Steigung. Daraus folgt ein korrigierter motorischer Effekt mit einer Größe von  $m = -0,20$  cm (SD = 0,19 cm). Das negative Vorzeichen zeigt die reduzierte Amplitudengröße der *Originalen Zielfigur* im Vergleich zur *Quellfigur* an.

### 8.3 Ergebnisse für den Vergleich des perzeptuellen und des motorischen Effektes

Für den Vergleich des perzeptuellen und des motorischen Effektes wurde eine Dissoziation erwartet, d.h. der perzeptuelle Effekt sollte deutlich größer ausfallen als der motorische. Tabelle 8.4 und Abbildung 8.9 stellen die erhaltenen Effekte noch einmal zusammen dar.

Tab. 8.4: Perzeptueller und motorischer Effekt.

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Perzeptueller Effekt</b>	0,55	0,15	0,05
<b>Motorischer Effekt</b>	- 0,20	0,19	0,07

Beide Effekte sind an den jeweiligen Steigungen korrigiert. Die Größe dieser Effekte bezieht sich auf die gemittelte Figurgröße von 5 cm.

Der statistische Vergleich wird wie erwartet signifikant ( $t(6) = 15,57$ ;  $p \leq 0,001$ ). Der perzeptuelle Effekt ist größer als der motorische Effekt. Mit einer Effektstärke von 5,77 (berechnet aus der Differenz der Mittelwerte, relativiert durch die Streuung) wird deutlich, wie groß dieser Unterschied ausgefallen ist. Damit kann eine Dissoziation von Perception und Handlung unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden, genau wie bei der Steg Illusion, festgestellt werden.

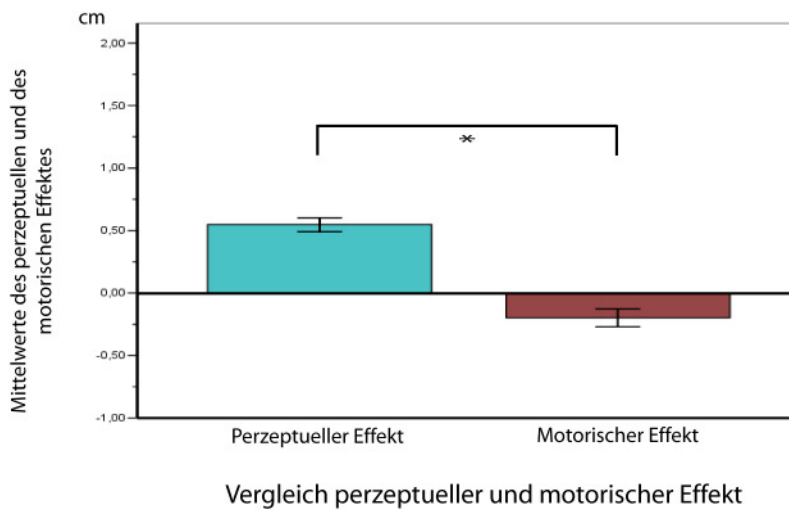


Abb. 8.9: Vergleich der Mittelwerte für den perzeptuellen und den motorischen Effekt (cm). Die Effekte unterscheiden sich signifikant. Die Größe der Effekte bezieht sich auf die mittlere Objektgröße von 5 cm. Beide Effekte sind an ihren jeweiligen Steigungen relativiert, d.h. also korrigiert. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant.

## 8.4 Diskussion

In dieser Studie sollte der Nachweis geführt werden, dass eine Dissoziation von Perception und Handlung für die Ponzo Illusion unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden als motorisches Maß nachweisbar ist. Im Gegensatz zur Steg Illusion hat ein Betrachter bei der Ponzo Illusion keinen wahrgenommenen Tiefeneindruck. Dennoch kann man davon ausgehen, dass eine interne Bedeutung in Form einer dreidimensionalen Szene durch die Ponzo Illusion angeregt wird. Dies drückt sich in Form des perzeptuellen Effektes aus.

In Experiment 1 dieser Studie wurde zunächst der perzeptuelle Effekt gemessen. Die verwendeten Stimuli erzeugten einen deutlichen Effekt, der eine durchschnittliche Größe von 0,55 cm (SD = 0,15 cm) aufwies (bezogen auf die gemittelte Objektgröße von 5 cm). Mit dieser Größe sollten sich motorische Effekte, sofern vorhanden, nachweisen lassen.

Der motorische Effekt wurde in Experiment 2 gemessen. Mit einer Größe von - 0,20 cm (SD = 0,19 cm) fiel dieser sogar entgegen der Erwartung leicht negativ aus. Mit anderen Worten: Obwohl die *Originalen Zielfiguren* auf die Probanden größer wirkten als die *Quellfiguren* (bei gleicher physikalischer Größe), wurden kleinere Amplituden der Sakkaden für die *Originalen Zielfiguren* ermittelt. Dies deutet auf einen

*Reduktionseffekt* hin, ähnlich dem, der auch schon bei Gilster et al. (2006) gefunden wurde. Die Autoren zeigten einen solchen Effekt bei der Ebbinghaus Illusion (siehe Kapitel 3.3.2.1) für die maximalen Griffweiten auf. Das von ihnen verwendete „Neutralobjekt“ (Planet ohne Trabanten), das perzeptuell zwischen den beiden „illusorischen“ Bedingungen lag, wies überraschenderweise die größten Werte für die maximalen Griffweiten auf. Die Autoren interpretierten diesen Befund funktionell: Die Hand verhielt sich so, als ob sie (bei den illusorischen) Bedingungen „durch ein Loch“ greifen musste. Für das Neutralobjekt galt diese Einschränkung nicht. Bemerkenswerterweise waren sich die Probanden der Zweidimensionalität der umgebenden Trabanten bewusst. Dennoch wirkten sich diese auf die motorischen Handlungen aus, ganz so, als ob sie dreidimensionale Hindernisse wären.

Bei dem in *Studie 2* gefundenen *Reduktionseffekt* sind jedoch die Amplituden von Sakkaden vermindert, und nicht die Griffweiten von Daumen und Zeigefinger wie bei Gilster et al. (2006). Bei Augenbewegungen erscheint es auf den ersten Blick nicht besonders plausibel, dass auch diese denselben Einschränkungen unterliegen sollten wie die Hand. Da für die Steg Illusion kein *Reduktionseffekt* gefunden wurde, sollen die beiden Illusionen im Folgenden noch einmal hinsichtlich ihrer Übereinstimmung und ihrer Unterschiede betrachtet werden: Es wurde schon mehrfach festgestellt, dass beide Illusionen beim Betrachter eine Tiefeninterpretation anregen, nach der sich die horizontalen Balken in unterschiedlicher Entfernung zum Betrachter befinden können. Weisen die Figuren den gleichen Sehwinkel bei verschiedener interpretierter Tiefe auf, so werden diese Figuren als unterschiedlich groß wahrgenommen (Emmert, 1881). Bei der Steg Illusion gibt der Betrachter an, eine dreidimensionale Szene zu sehen (bewusster Eindruck über eine dreidimensionale Szene), bei der Ponzo Illusion gibt ein Beobachter dies üblicherweise nicht an (kein bewusster dreidimensionaler Eindruck).

Neben den bewussten und unbewussten Eindrücken über die Tiefe ergeben sich aber weitere, möglicherweise entscheidende Unterschiede zwischen diesen Illusionen. Bei der Steg Illusion werden die Figuren *oberhalb* des Steges wahrgenommen. Die Figuren scheinen entweder auf dem Steg zu liegen oder sogar über diesem zu „schweben“. In beiden Fällen stellen die „Begrenzungen“ des Steges kein Hindernis dar. Man könnte in Anlehnung an die Gestaltpsychologie von einer deutlichen Figur-Grund-Trennung sprechen. Die horizontalen Balken heben sich deutlich vom Hintergrund ab. Anders sieht es bei der Ponzo Illusion aus. Aus den perzeptuellen Berichten wird deutlich, dass keine wahrgenommene Tiefe vorhanden ist. Die Figuren befinden sich in der Wahrnehmung „in einer Ebene“. Zusätzlich weisen sowohl die horizontalen Balken als auch die konvergierenden Linien dieselbe Farbe auf. Im Vergleich mit der Steg Illusion würde man hier von einer deutlich weniger ausgeprägten wahrgenommenen Figur-

Grund-Trennung sprechen wollen. Es wäre somit denkbar, dass die horizontalen Balken und die konvergierenden Linien in gewisser Weise als „zusammengehörig“ gesehen werden, d.h. im Sinne einer „Gestalt“.

Eine mögliche Erklärung für das Auftreten des Reduktionseffektes bei der Ponzo Illusion und das Nichtvorhandensein dieses Effektes bei der Steg Illusion bietet somit die unterschiedliche Figur-Grund-Trennung, die bei der Steg Illusion deutlich ausgeprägter ist. Wieso die Amplituden von Sakkaden sich davon beeinflussen lassen, bleibt zunächst ungeklärt, zunächst kann jedoch festgestellt werden, dass entgegen der Intuition eine Verminderung der Sakkaden bei der Ponzo Illusion feststellbar ist, wenn die Enden der Balken von den konvergierenden Linien „eingerahmt“ werden.

Dieser gefundene Effekt stellt jedoch nicht die erhaltenen Ergebnisse infrage, die im Wesentlichen denen aus *Studie 2* entsprechen. Da für die Steg Illusion keine Hinweise auf einen *Reduktionseffekt* vorliegen (die Amplituden der Sakkaden wiesen für die *Quellfiguren* für die drei Entfernungen fast exakt die gleichen Werte auf), kann auch bei der Ponzo Illusion davon ausgegangen werden, dass sich die Amplituden der Sakkaden für die *Quellfigur* und für die *Originale Zielfigur* gleichen würden, wenn der *Reduktionseffekt* eliminiert würde.

Somit lässt sich auch für die Ponzo Illusion eine Dissoziation von Perzeption und Handlung unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden als motorisches Maß nachweisen. Die bewusste Wahrnehmung der intern angesprochenen Konzepte (in diesem Fall Objekte unterschiedlicher Länge, die sich in verschiedenen Entfernungen zum Betrachter befinden) ist nicht notwendig, um Handlungen zu erzeugen, die in einem funktionellen Zusammenhang mit diesen Konzepten stehen. Die ermittelten Amplituden der Sakkaden sind nach dem Sehwinkel und nicht nach der wahrgenommenen Größe der Figuren skaliert, genau so, wie man es in einer „realen, dreidimensionalen“ Szene erwarten würde.

Dieser Befund widerlegt die Entscheidungsregel des Paradigmas der visuellen Illusionen. Nach diesem Vorgehen ist die verwendete Illusion nur „Mittel zum Zweck“. Sie dient nur dazu, das perzeptuelle System „zu täuschen“ und das Ausmaß dieser „Täuschung“ mit den motorischen Effekten zu vergleichen. Da für die Müller-Lyer Illusion eine Assoziation, für die Steg Illusion und die Ponzo Illusion jedoch eine Dissoziation unter Verwendung desselben motorischen Maßes (Amplituden von Sakkaden) gefunden wurde, führt dies die Entscheidungsregel des Paradigmas der visuellen Illusionen vor eine unüberwindbare Schwierigkeit. Die Regel gibt vor, bei einer Assoziation auf ein System, bei einer Dissoziation auf zwei Systeme zu schließen.

Nach den bisherigen Ergebnissen dieser Arbeit erscheint diese Regel jedoch unbrauchbar zu sein. Nach internalistischer Sicht war dies zu erwarten, denn diese trennt nicht in richtige oder falsche Wahrnehmungen. Das Ergebnis der Dissoziation von Perzeption und Handlung ergibt sich demnach nicht aus der Annahme zweier Systeme, sondern aus den zugeschriebenen Funktionen, die die jeweiligen *Outputs* (perzeptuell oder motorisch) erfüllen sollen.

Angewendet auf die hier vorliegende Situation ergibt sich die Vorhersage einer Dissoziation von Perzeption und Handlung daher, dass der Stimulus intern als „ein Objekt, positioniert in einer dreidimensionalen Szene“ kodiert wird (d.h. ein horizontaler Balken einer bestimmten Länge und Entfernung vom Betrachter), für den, je nach intendierter Handlung, unterschiedliche funktionelle Beschränkungen bzw. Anforderungen bestehen. Für die Amplituden von Sakkaden wird man in der vorliegenden Situation (gleicher Sehwinkel, da verschieden große Objekte in unterschiedlicher Entfernung) gleiche Größen (da diese auf den Sehwinkel bezogen sein sollten), für die maximale Griffweite hingegen unterschiedliche Größen (da diese auf die Größe der Objekte, unabhängig von der Entfernung bezogen sein sollten) vorhersagen.

Die Annahme über die Assoziation von Perzeption und Handlung unter Verwendung der maximalen Griffweite als motorisches Maß wird in *Studie 5* überprüft. In *Studie 4* wird zunächst noch ein Kontrollexperiment durchgeführt. Dieses soll dem möglichen Einwand entgegenwirken, dass bei der Ponzo Illusion (und damit auch der Steg Illusion), anders als bei Müller-Lyer Illusion, nicht die „gesamte“ Illusion im Fokus des Handelnden liegt und mögliche Unterschiede zwischen der Müller-Lyer Illusion und der Ponzo Illusion darauf zurückzuführen sein könnten.

## 9 Studie 4: Die Ponzo Illusion (Kontrolle)

*Studie 4* stellt ein Kontrollexperiment zu *Studie 3* und indirekt auch zu *Studie 2* dar. Ein möglicher Einwand für die unterschiedlichen Ergebnisse aus *Studie 1* (Assoziation bei der Müller-Lyer Illusion unter Verwendung von Sakkaden) im Vergleich zur *Studie 2* und zur *Studie 3* (Dissoziationen bei der Steg Illusion und der Ponzo Illusion unter Verwendung von Sakkaden) könnte darin bestehen, dass die Müller-Lyer Figuren „an sich“ eine Illusion bewirken, während bei der Steg Illusion und der Ponzo Illusion die illusorische Wirkungen „auf der gesamten Szene“ beruhen. Bei der motorischen Handlung hingegen kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Fokus des Betrachters



auf der entsprechenden Figur (entweder der *Quell-* oder der *Zielfigur*) liegt und der Rest der Szene, also die konvergierenden Linien, nicht beachtet wird. Bei der Müller-Lyer Illusion hingegen stammt die illusorische Wirkung von den entsprechenden Figuren selbst. Mit anderen Worten: Während bei der Müller-Lyer Illusion ein fairer Vergleich von Perzeption und Handlung angenommen wird, kann dies für die Steg Illusion und die Ponzo Illusion nicht zwangsläufig vorausgesetzt werden.

Aus diesem Grund sollen in dieser Studie noch einmal die Amplituden von Sakkaden an der Ponzo Illusion untersucht werden. Im Gegensatz zur vorherigen Studie soll hier jedoch die Aufmerksamkeit des Probanden auf „die gesamte Szene“ gelenkt werden. Sollten sich durch diese Manipulation deutliche Abweichungen zu den Ergebnissen der *Studie 2* und der *Studie 3* ergeben, würde dies die bisherigen Interpretationen zu diesen Studien deutlich einschränken. Übereinstimmungen zu den Befunden dieser Studien würden hingegen die bisherigen Schlussfolgerungen bestätigen. In *Studie 4* nahmen dieselben Versuchspersonen aus *Studie 3* teil. Daher konnte auf die Ergebnisse der perzeptuellen Effekte zurückgegriffen werden.

Es sei noch erwähnt, dass *Studie 5*, in der die maximalen Griffweiten an der Ponzo Illusion untersucht werden, ebenfalls als Kontrollexperiment aufgefasst werden kann, da für dieses abhängige Maß eine Assoziation von Perzeption und Handlung vorhergesagt wird, was im Gegensatz steht zur vorhergesagten und gefunden Dissoziation unter Verwendung von Amplituden von Sakkaden. Sollte sich die Annahme nach einer Fokussierung der Aufmerksamkeit auf den jeweiligen Stimulus (*Quell-* bzw. *Zielfigur*) bewahrheiten, so würde man keinen Unterschied in den Ergebnissen für verschiedene abhängige Maße erwarten.

## 9.1 Experiment: Sakkaden

### 9.1.1 Methode

#### Versuchspersonen

Dieselben sieben Versuchspersonen aus *Studie 3* nahmen auch an dieser Studie teil.

#### Versuchsdesign

Die unabhängigen und abhängigen Variablen sind identisch zu *Studie 3*. Somit werden für die unabhängigen Variablen die Faktoren *Figuren* (3 Stufen) und die *Größe* (2 Stufen) unterschieden. Die abhängige Variable stellt die Amplitude der Sakkade dar.

Für die *Versuchsbedingungen* ergeben sich analog zu *Studie 3*:

*Figuren (Quellfigur, Originale Zielfigur und Adjustierte Zielfigur) x Größe (4 cm und 6 cm) = 6 Bedingungen*

Aufgrund der von *Studie 3* abweichenden Durchführung des Experimentes (siehe unten) wurden die Bedingungen für die *Quellfiguren* 32 Mal und für die *Zielfiguren* (sowohl *Originale* als auch *Adjustierte*) 16 Mal durchlaufen. Daraus ergeben sich insgesamt pro Proband 128 Durchgänge. Für jede Bedingung wurde eine Hälfte der Durchgänge von „links nach rechts“ (Abduktion) und die andere Hälfte von „rechts nach links“ (Adduktion) durchgeführt (betrachtet wird immer nur das rechte Auge).

### **Material**

Sofern nicht anders dargestellt, war das Material dieses Experiments identisch mit dem unter Experiment 2 von *Studie 3* beschriebenen.

### **Durchführung**

Abweichend von den bisherigen Studien blieb die jeweilige Ponzo Illusion (eine *Quellfigur* mit einer *Originalen Zielfigur* bzw. einer *Adjustierten Zielfigur*) über einen längeren Zeitraum sichtbar (im Folgenden Sequenz genannt). An den Figuren wurden während dieser Zeit Sakkaden von einem zum anderen Ende durchgeführt (Abb. 9.1). Eine Sequenz enthielt 8 Durchgänge an der *Quellfigur* und 8 Durchgänge an der entsprechenden *Zielfigur* (*Original* oder *Adjustiert*). Da die jeweiligen *Zielfiguren* stets mit einer *Quellfigur* präsentiert wurden, ergab sich für diese die doppelte Anzahl an Durchgängen.

Zu Beginn einer Sequenz wurden die Probanden aufgefordert, die gesamte Szene zu inspizieren. Nach acht Sekunden signalisierte ein Ton (500 Hz), dass der Proband das linke (bzw. rechte) Ende der *Quellfigur* fixieren sollte (Abb. 9.2). Im Abstand von jeweils anderthalb Sekunden wurden weitere Töne präsentiert (500 Hz). Ein Ton signalisierte jeweils einen Blickwechsel mit anschließender Fixation eines neuen Zielpunktes (entlang der in Abb. 9.2 skizzierten roten Pfeile). Der Startpunkt wurde nach vier Tönen wieder erreicht. Pro Sequenz wurden auf diese Weise acht Sakkaden an der *Quellfigur* und acht Sakkaden an der jeweiligen *Zielfigur* durchgeführt. Innerhalb einer Sequenz wurden entweder nur Abduktionen oder nur Adduktionen des rechten Auges für die horizontalen Sakkaden durchgeführt.

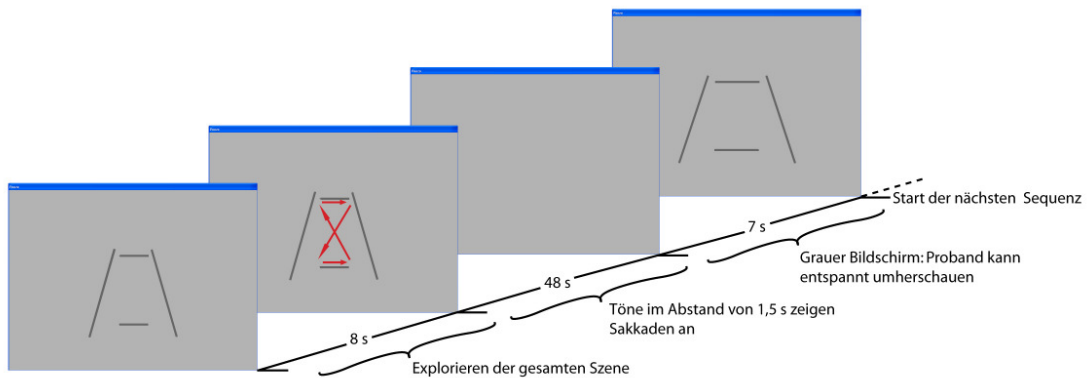


Abb. 9.1: Schema über den zeitlichen Ablauf einer Sequenz. Die jeweilige Ponzo Illusion soll über einen Zeitraum von 8 s visuell exploriert werden. Nach 8 s ist ein kurzer Ton (500Hz) zu hören. Der Proband blickt nun auf das linke (bzw. rechte) Ende der *Quellfigur*. Im Abstand von 1,5 s werden weitere Töne präsentiert. Nach jedem Ton soll eine Sakkade entlang des hier mit roten Pfeilen skizzierten Pfades ausgeführt werden. Je nach Startpunkt der Sakkade (links oder rechts auf der *Quellfigur*) unterscheiden sich die Richtungen dieser Pfade (siehe Abb. 9.2). Nach 48 s (entspricht 8 Sakkaden an der *Quell-* und der jeweiligen *Zielfigur*) erscheint ein grauer Bildschirm für die Dauer von 7 s. Danach beginnt eine neue Sequenz.

Insgesamt wurden acht Sequenzen von einem Probanden durchlaufen. Die ersten vier Sequenzen wurden für vier Probanden als Abduktion und für drei Probanden als Adduktion durchgeführt. Abduktionen und Adduktionen wurden nicht randomisiert, da dies eventuell zu Schwierigkeiten bei der Durchführung für die Probanden geführt hätte.

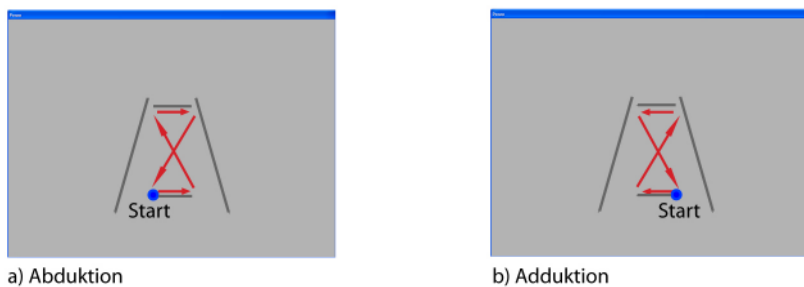


Abb. 9.2: Schema für den Verlauf der Augenbewegungen. a) Abduktion des rechten Auges bei Durchführung der horizontalen Sakkaden. Nach dem ersten Ton fixiert der Proband das linke Ende der *Quellfigur* (Start). Nach jedem folgenden Ton (Abstand 1,5 s) wird eine Sakkade entlang der roten Pfeile durchgeführt. b) Adduktion des rechten Auges bei Durchführung der horizontalen Sakkaden. Nach dem ersten Ton fixiert der Proband das rechte Ende der *Quellfigur* (Start). Nach jedem folgenden Ton (Abstand 1,5 s) wird eine Sakkade entlang der roten Pfeile durchgeführt.

Vor der ersten und der fünften Sequenz wurde eine Kalibrierung durchgeführt. Außerdem wurde vor jeder Sequenz darauf hingewiesen, die Szene bis zum ersten Ton ausgiebig zu inspizieren. Der Startpunkt und die Richtung der horizontalen Sakkaden wurden ebenfalls benannt. Nach einer Sequenz wurde ein grauer Bildschirm für sieben

Sekunden präsentiert. Während dieser Zeit konnte der Proband kurz ausruhen und umherschauen. Die Aufnahmedauer betrug ca. zehn Minuten ( $\pm$  mehrere Sekunden durch die Kalibrierungen).

Die Instruktion lautete wie folgt: „Zunächst sehen Sie zwei horizontale Balken und zwei konvergierende Linien. Schauen Sie sich bitte ausgiebig das gesamte Bild an. Sie haben dafür acht Sekunden Zeit. Sie hören dann einen Ton. Fixieren Sie daraufhin das linke Ende (bzw. das rechte Ende) des unteren horizontalen Balkens. Beim nächsten Ton schauen Sie *mit einem Blick* auf das andere Ende des Balkens. Bleiben Sie dort mit ihrem Blick bis zum nächsten Ton. Dann wechseln Sie, wieder *mit einem Blick* auf das linke Ende (bzw. rechte Ende) des oberen horizontalen Balkens. Sie *kreuzen* also mit ihrem Blick. Sie können nun, wenn sie möchten, mit den Augen blinzeln. Beim nächsten Ton schauen Sie wieder *mit einem Blick* auf das andere Ende des horizontalen Balkens. Nach dem nächsten Ton *kreuzen* Sie wieder auf das linke Ende des unteren Balkens. Dies machen Sie solange weiter, bis ein grauer Bildschirm erscheint. Sie können sich nun kurz ausruhen und umherschauen. Nach sieben Sekunden erscheint ein neues Bild. Bitte beachten Sie: Sie dürfen zwischendurch mit den Augen blinzeln, jedoch nicht, wenn Sie von einem Ende des horizontalen Balkens auf das andere Ende schauen.“

Anschließend wurde den Probanden erläutert, dass sich die eben beschriebenen Vorgänge noch weitere sieben Male wiederholen und dass Kalibrierungen vor der ersten und der fünften Sequenz durchgeführt werden. Der Ablauf wurde anschließend anhand einer Probesequenz eingeübt. Wenn keine Fragen mehr auf Seiten des Probanden bestanden, wurde mit der Datenaufzeichnung begonnen.

### 9.1.2 Ergebnisse

Die Faktoren *Figuren* (3 Stufen) und der Faktor *Größe* (2 Stufen) wurden bei dem vorliegenden within-subject-design unterschieden. Die sieben Probanden führten insgesamt 896 Sakkaden aus (7 x 128). Von diesen wurden 844 Sakkaden als gültig beurteilt (~ 94,2 %). Die Gründe für den Ausfall von Daten sind identisch mit denen aus den *Studien 1-3*.

Die Ergebnisse für alle getesteten Bedingungen sind in Tabelle 9.1 und Abbildung 9.3 dargestellt. Es ist bereits ersichtlich, dass die Ergebnisse dieser Studie den Ergebnissen aus *Studie 3* sehr ähneln. Dieser Eindruck wird durch die statistische Auswertung

bestätigt. Hierfür wurden zunächst die Bedingungen über den Faktor *Größe* gemittelt (Tab. 9.2 und Abb. 9.4).

Tab. 9.1: Amplituden der Sakkaden für alle getesteten Bedingungen.

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Quellfigur 4 cm</b>	3,89	0,16	0,06
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	3,74	0,20	0,08
<b>Adjustierte Zielfigur an 4 cm</b>	3,17	0,14	0,05
<b>Quellfigur 6 cm</b>	5,91	0,31	0,12
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	5,71	0,27	0,10
<b>Adjustierte Zielfigur an 6 cm</b>	5,12	0,23	0,09

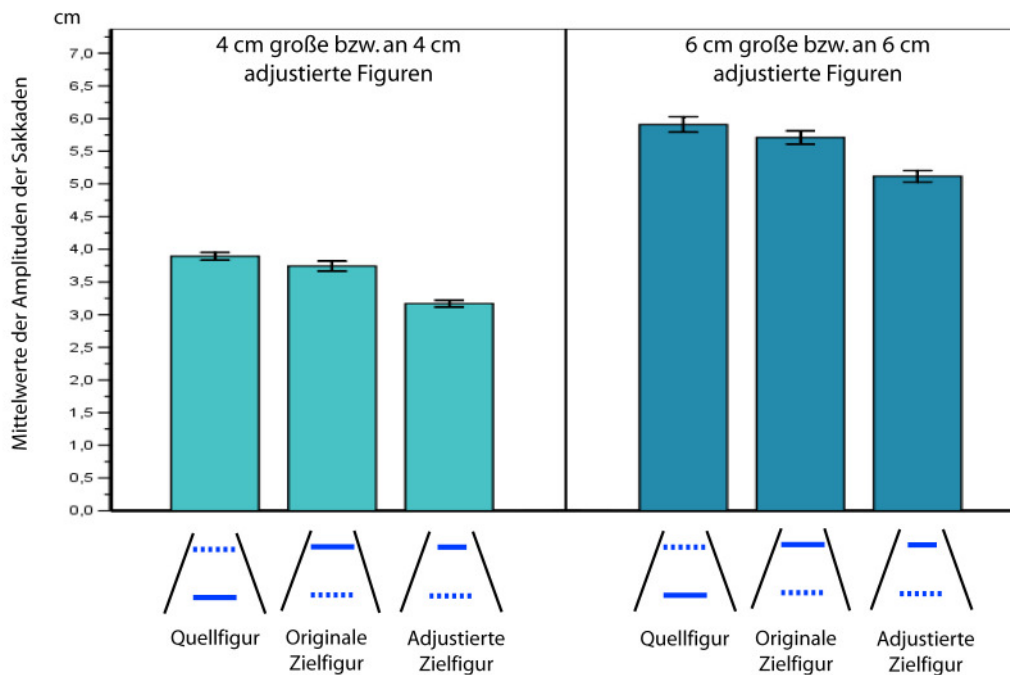


Abb. 9.3: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden (cm) für alle getesteten Bedingungen. Die linken drei Balken stellen die 4 cm großen Figuren (*Quellfigur*, *Originale Zielfigur*) bzw. die an 4 cm *Adjustierte Zielfigur* dar. Die rechten drei Balken stellen analog die 6 cm Bedingungen dar. Die *Originalen Zielfiguren* wirken (bei gleicher physikalischer Größe) auf den Betrachter größer als die *Quellfiguren*. Genau wie in *Studie 3* fallen die Sakkaden der *Originalen Zielfiguren* jedoch nicht größer aus als die der *Quellfiguren*. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die inferenzstatistische Auswertung (siehe Tab. 9.2 und Abb. 9.4).

Zur Erinnerung: Genau wie in *Studie 3* wiesen die *Quellfigur* und die *Originale Zielfigur* dieselben Größen auf (gemittelt 5 cm). Einem Betrachter erscheinen diese beiden Figuren unterschiedlich groß (*Studie 3*). Für die hier betrachteten gemittelten Größen wurde die *Zielfigur* auf die Größe 4,45 cm adjustiert um perzeptuelle Gleichheit zu erlangen.

Tab. 9.2: Amplituden der Sakkaden (gemittelt über die *Größe*).

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Quellfigur (gemittelte Größe 5 cm)</b>	4,90	0,22	0,08
<b>Originale Zielfigur (gemittelte Größe 5 cm)</b>	4,73	0,23	0,09
<b>Adjustierte Zielfigur (gemittelte Größe 4,45 cm)</b>	4,14	0,17	0,06

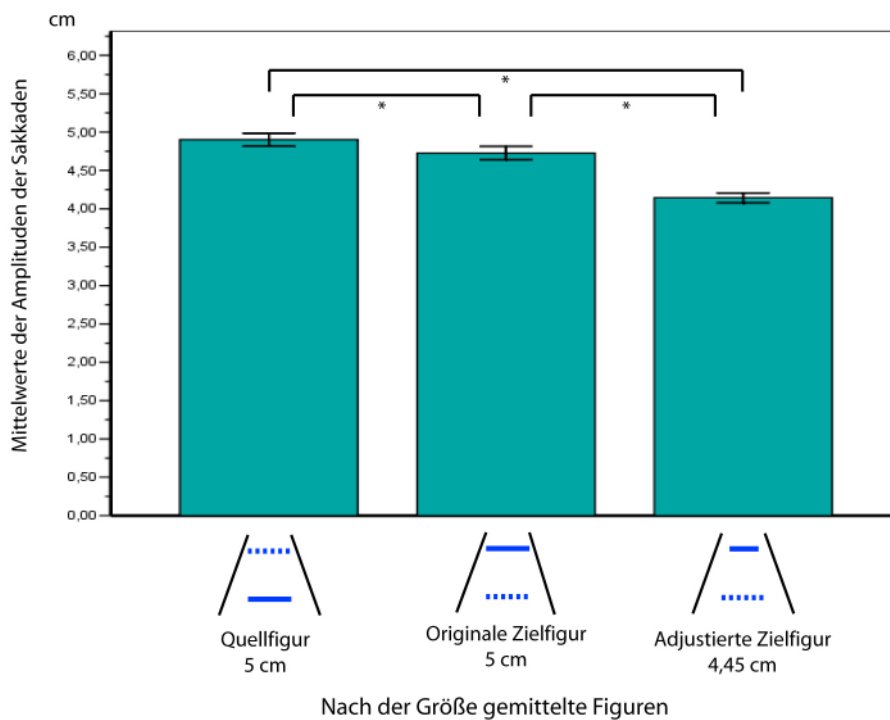


Abb. 9.4: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden (cm), gemittelt über die *Größe* der Figuren. Deutlich zu erkennen ist der Unterschied zwischen der *Quellfigur* und der *Adjustierten Zielfigur*. Diese beiden Bedingungen wirkten auf die Probanden gleich groß, obwohl sie physikalisch verschieden groß waren. Die Amplitude der Sakkade orientiert sich demnach eher an der tatsächlichen Größe der Figur. Die *Originale Zielfigur* wirkt größer als die *Quellfigur* trotz physikalisch gleicher Größen. Die Amplitude der Sakkade für die *Originale Zielfigur* ist jedoch im Vergleich zur *Quellfigur* sogar leicht vermindert. Dieser „Reduktionseffekt“ wurde auch schon in *Studie 3* gefunden. Die Amplituden der Sakkaden für die *Originale Zielfigur* und für die *Adjustierte Zielfigur* unterscheiden sich ebenfalls signifikant voneinander (Kontrolle). Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant.

Die Amplituden der Sakkaden fielen für die *Originale Zielfigur* kleiner aus im Vergleich zur *Quellfigur* ( $t(6) = 3,92$ ;  $p = 0,008$ ; zweiseitiger Test). Der in *Studie 3* gefundene Reduktionseffekt bestätigt sich damit auch hier. Erwartungsgemäß unterschieden sich auch die Amplituden der Sakkaden für die *Quellfigur* und der *Adjustierten Zielfiguren* ( $t(6) = 8,71$ ;  $p \leq 0,001$ ). Ebenso wird hypothesenkonform der Vergleich der *Originalen Zielfiguren* und der *Adjustierten Zielfiguren* signifikant ( $t(6) = 7,75$ ;  $p \leq 0,001$ ). Dieser Vergleich kann als Kontrolle aufgefasst werden, da sich diese Figuren sowohl in der wahrgenommenen als auch in der tatsächlichen Größe voneinander unterscheiden.

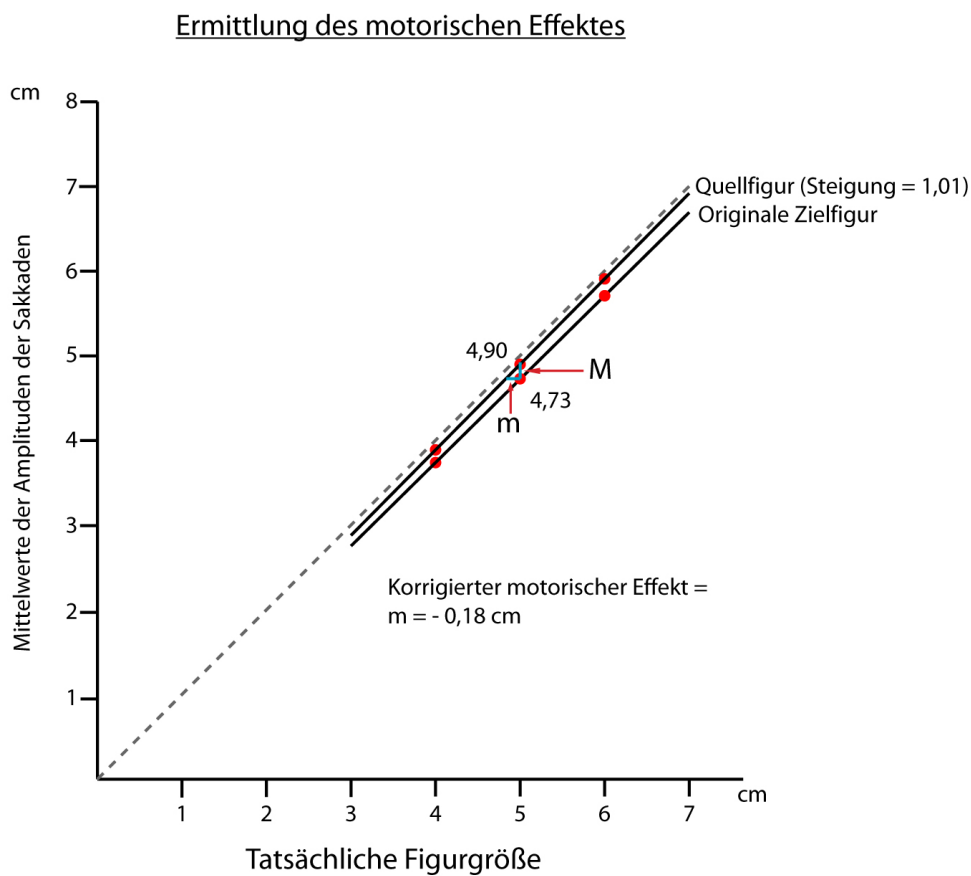


Abb. 9.5: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden für die *Quellfiguren* und für die *Originalen Zielfiguren* zur Ermittlung des motorischen Effektes. Die in rot eingetragenen Punkte markieren die Amplituden der Sakkaden für die entsprechenden tatsächlichen Größen der *Quellfigur* bzw. der *Originalen Zielfigur*. Die Gerade für die *Originale Zielfigur* ist genau wie in *Studie 3* „nach unten“ verschoben im Vergleich zur *Quellfigur*. Diese Verschiebung ist Ausdruck des *Reduktionseffektes*. Der motorische Effekt wird auf die gemittelte Figurgröße von 5 cm bezogen und berechnet sich aus der Differenz der Amplituden der Sakkaden, geteilt durch die ermittelte Steigung. Das negative Vorzeichen zeigt an, dass die *Originale Zielfigur* zwar größer wahrgenommen wird als die *Quellfigur*, die Sakkaden sich jedoch umgekehrt hierzu verhalten. Mit einer Größe von - 0,18 cm ist der hier ermittelte motorische Effekt fast exakt gleich zum ermittelten Effekt in *Studie 3* (- 0,20 cm; vgl. Abb. 8.8).

Das generelle „Muster“ der Amplituden der Sakkaden ist zwar das gleiche wie in *Studie 3*, dennoch scheint es einen Unterschied in den absoluten Werten für die Amplituden zu geben (vgl. Tab. 9.2 und Tab. 8.3). Die Differenz der Amplituden (jeweils gemittelt über die drei Figuren) ergibt einen Mittelwert von 0,14 cm (SD= 0,32 cm). Der statistische Vergleich wird jedoch nicht signifikant ( $t(6) = 1,19$ ;  $p = 0,28$ ; zweiseitiger Test).

Tab. 9.3: Perzeptueller Effekt und motorische Effekte (*Studie 3* und *Studie 4*).

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Perzeptueller Effekt (<i>Studie 3</i>)</b>	0,55	0,15	0,05
<b>Motorischer Effekt (<i>Studie 3</i>)</b>	- 0,20	0,19	0,07
<b>Motorischer Effekt (<i>Studie 4</i>)</b>	- 0,18	0,12	0,05

Alle Effekte sind an den jeweiligen Steigungen korrigiert. Die Größe dieser Effekte bezieht sich auf die gemittelte Figurgröße von 5 cm.

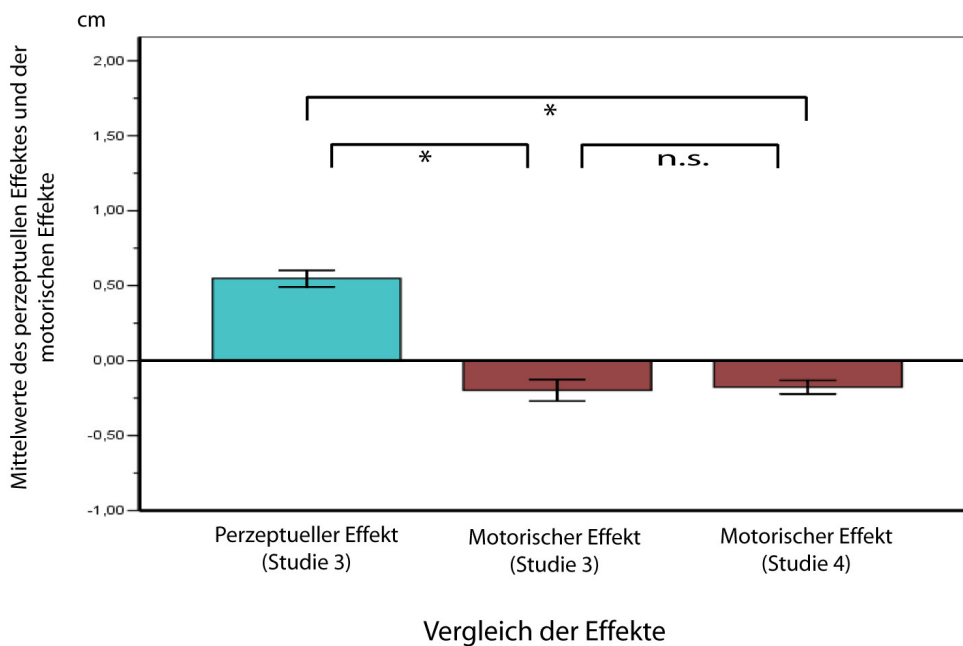


Abb. 9.6: Vergleich der Effekte (perzeptuell und motorisch) untereinander. Der perzeptuelle Effekt (linker Balken) wurde in *Studie 3* bestimmt. Der mittlere Balken stellt den motorischen Effekt dar, der ebenfalls in *Studie 3* ermittelt wurde. Der motorische Effekt der *Studie 4* (Balken rechts) unterscheidet sich nicht signifikant vom motorischen Effekt aus *Studie 3*. Beide zeigen einen leicht negativen Effekt (*Reduktionseffekt*, weitere Erläuterungen siehe Text). Der perzeptuelle Effekt unterscheidet sich signifikant von beiden motorischen Effekten. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signikant; n.s. = nicht signifikant.



Der motorische Effekt ergibt sich analog zu den Berechnungen aus *Studie 3* (Abb. 8.8). Die über alle Probanden gemittelte Steigung weist eine Größe von 1,01 (SD = 0,11) auf. Der korrigierte motorische Effekt wird mit  $m = -0,18$  cm (SD = 0,12 cm) berechnet. Auch hier zeigt das negative Vorzeichen den Reduktionseffekt an. Die erhaltenen Ergebnisse sind fast identisch mit denen aus *Studie 3*. Dies wird in Tabelle 9.3 und Abbildung 9.6 verdeutlicht.

Der Vergleich der motorischen Effekte aus *Studie 3* und *Studie 4* wird erwartungsgemäß nicht signifikant ( $t(6) = 0,19$ ;  $p = 0,86$ ; zweiseitiger Test). Der perzeptuelle Effekt und der motorische Effekt aus *Studie 4* hingegen unterscheiden sich hypothesenkonform ( $t(6) = 8,39$ ;  $p \leq 0,001$ ). Es ist für die Amplituden der Sakkaden also nicht entscheidend, ob die Aufmerksamkeit nur auf einer Figur liegt (*Studie 3*) oder auf der gesamten Szene (*Studie 4*).

## 9.2 Diskussion

Die Ergebnisse aus dieser Studie sind nahezu identisch mit denen aus *Studie 3* (Experiment 2), in der Sakkaden an der Ponzo Illusion untersucht wurden. Der Unterschied zwischen diesen beiden Studien bestand in der Durchführung.

In *Studie 3* schaute der Proband zu Beginn eines Durchganges ein Fixationskreuz an. Das Ende eines horizontalen Balkens erschien dann genau an diesem Punkt. Nun wurde mit einem Blick auf das andere Ende des Balkens geschaut. Dieses Ende wurde solange fixiert, bis ein neutraler, grauer Hintergrund erschien. Unter diesen Umständen erscheint der Einwand plausibel, dass der Betrachter seine Aufmerksamkeit nur auf den jeweiligen horizontalen Balken lenkt und den Rest der Szene „ausblendet“. Wenn dies so wäre, würde man keinen Unterschied zwischen den Amplituden der Sakkaden erwarten für den Vergleich der *Quellfiguren* mit den *Originalen Zielfiguren*, da diese die gleiche physikalische Länge aufweisen. Da der perzeptuelle Unterschied zwischen diesen Bedingungen ermittelt wurde durch den Abgleich der *Zielfigur* an die *Quellfigur*, ist zumindest bei dieser perzeptuellen Aufgabe gesichert, dass die Aufmerksamkeit des Probanden beiden Figuren gilt.

Durch eine veränderte Prozedur in *Studie 4* sollte gewährleistet werden, dass die Aufmerksamkeit des Probanden auf „die gesamte Szene“ gelenkt wird. Hierfür wurde dazu aufgefordert, die Illusion über einen Zeitraum von acht Sekunden visuell zu explorieren. Anschließend wurden Sakkaden im Wechsel zwischen den *Quellfiguren*

und den Zielfiguren (*Originale* und *Adjustierte*) durchgeführt. Hierdurch wurde erreicht, dass der Betrachter einem ständigen Vergleich zwischen den Figuren ausgesetzt war.

Wie sich in den Ergebnissen dieser Studie und im Vergleich zu *Studie 3* gezeigt hat, führte die Änderung in der Prozedur zu keiner nachweisbaren Änderung in den Amplituden der Sakkaden. Somit kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Unterschiede zwischen *Studie 1* (Sakkaden an der Müller-Lyer Illusion mit dem Befund einer Assoziation) und den *Studien 2-4* (Sakkaden an der Steg Illusion und an der Ponzo Illusion mit dem Befund einer Dissoziation) auf einem unfairen Vergleich in den letztgenannten Studien beruhen. Die bisherigen Schlussfolgerungen behalten also weiterhin ihre Gültigkeit.

## 10 Studie 5: Die Ponzo Illusion (Greifen)

In *Studie 5* soll zum einen Hypothese 2 untersucht werden, nach der sich für unterschiedliche motorische Maße unter Verwendung derselben Illusion sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen von Perzeption und Handlung nachweisen lassen sollten. Zum anderen wurde nach Hypothese 3 angenommen, dass diese Dissoziationen bzw. Assoziationen nicht willkürlich auftreten. Stattdessen werden diese durch die Annahme der internen Bedeutung, die durch den Stimulus angeregt wird, vorhergesagt. Eine solche Vorhersage wurde bereits ausführlich für die Ponzo Illusion (Kapitel 8) theoretisch dargelegt. In der *Studie 3* und der *Studie 4* (sowie indirekt auch *Studie 2*) wurde bereits unter der Verwendung von Amplituden von Sakkaden eine (vorhergesagte) Dissoziation von Perzeption und Handlung an der Ponzo Illusion belegt. Beim Greifen nach den horizontalen Balken der Illusion wird hingegen eine Assoziation von Perzeption und Handlung erwartet. Dies sollte zumindest für die Verwendung der maximalen Griffweite gelten, bei der in vielen Studien eine Korrelation mit der tatsächlichen Objektgröße nachgewiesen wurde (siehe Kapitel 2.2). In diesem Zusammenhang wird angenommen, dass die maximale Griffweite mit der wahrgenommenen Objektgröße und nicht mit der tatsächlichen Größe korrelieren sollte. Dies stellt, auch wenn es zunächst so scheint, keinen Widerspruch zu dem eben genannten Befund dar. In den „klassischen“ Studien (Jeannerod, 1981, 1984) zum Nachweis der Korrelation von tatsächlicher Objektgröße und maximaler Griffweite gab es nämlich ebenfalls hohe Korrelationen von tatsächlicher Objektgröße und wahrgenommener Größe, da keine „Illusionen“ in diesen Studien verwendet wurden. Bei der Ponzo Illusion hingegen fallen die tatsächliche Größe und die perzeptuelle Größe auseinander. Gerade dies ist der perzeptuelle Effekt. Nach internalistischer Lesart

liegt dem Effekt ein Größenkonstanzphänomen zugrunde, nach dem die in unterschiedlicher Entfernung interpretierten (im Sinne von intern angeregter Tiefe) horizontalen Balken unterschiedliche Größen (im Sinne von zugeschriebener Größe eines dreidimensionalen Objektes) aufweisen müssen, da die Balken dem Betrachter unter dem gleichen Sehwinkel erscheinen (Emmert, 1881).

Während die Amplitude der Sakkade sowohl von der interpretierten Tiefe und der wahrgenommenen Größe der Objekte abhängig sein sollte und damit den Sehwinkel als entscheidendes Kriterium nutzt, sollte beim Greifen, zumindest unter Betrachtung der maximalen Griffweite, nur die wahrgenommene Größe eine Rolle spielen.

Zur Erinnerung: Man unterscheidet eine Reich- von einer Greifbewegung (Jeannerod, 1981). Die Reichbewegung dient dazu, die Hand zum Objekt zu befördern. Die Formung der Hand findet bereits während der Reichbewegung statt. Diese ist spezifisch für das Objekt und die intendierte Handlung. Beim Präzisionsgriff wird die maximale Griffweite nach ca. 60-70 % der Dauer der Bewegung erreicht (Jeannerod, 1984). Wichtig ist nun, dass sich die Befunde zur Griffweite auf reale, dreidimensionale Objekte beziehen. Da der perzeptuelle Effekt bei der Ponzo Illusion als Ausdruck von unterschiedlich großen dreidimensionalen Objekten verstanden wird, sollte sich die maximale Griffweite entsprechend dieser Interpretation einstellen. Diese Annahme entspricht „dem zweiten Teil“ von Hypothese 3, nach der sich eine Handlung (zumindest in gewissen Grenzen; siehe dazu die Erläuterungen bei der abhängigen Variable dieser Studie) an einer dreidimensionalen Szeneninterpretation orientieren sollte, selbst wenn die verwendeten Stimuli zweidimensional sind.

Fraglich ist jedoch, wieso in bisherigen Studien (siehe Kapitel 3.3.2.3), in denen Greifhandlungen an der Ponzo Illusion untersucht wurden, keine Assoziationen von Perzeption und Handlung auftraten, so wie hier vorhergesagt. Mehrere Aspekte können hier eine Rolle spielen:

(1) Kleine perzeptuelle Effekte: Brenner und Smeets (1996) maßen einen perzeptuellen Effekt von 0,8 mm. Jackson und Shaw (2000) gaben keine Größe für den perzeptuellen Effekt an. Westwood et al. (2000b) ermittelten Effekte von 2 mm. Bartelt und Darling (2002) schließlich konnten anhand ihrer manuellen Messungen für 20 mm und 40 mm große Objekte keine perzeptuellen Effekte nachweisen. Lediglich bei 60 mm großen Objekten fanden sie einen signifikanten Unterschied, was nicht für die Güte der Messung spricht. Somit wurde der größte perzeptuelle Effekt mit 2 mm bei Westwood et al. (2000b) ermittelt. Es ist jedoch äußerst fraglich, ob bei solch kleinen Effekten

überhaupt die Möglichkeit besteht, motorische Effekte zu finden, insbesondere da die Streuungen beim Greifen größer sind als bei den perzeptuellen Messungen.

(2) Sichtbedingung: In allen vier Studien wurde unter voller Sicht (closed-loop) gegriffen. Lediglich Bartelt und Darling (2000) verwendeten neben dem realen Greifen eine pantomimische Bedingung ohne Sicht beim Greifen (open-loop). Diese Variation führte auch zu keinen messbaren motorischen Effekten. Hierbei ist zu bedenken, dass in zahlreichen Studien (Daprati und Gentilucci, 1997; Otto-de Haart, Carey und Milne, 1999; Westwood et al., 2000c), von denen in Kapitel 3.3.2 berichtet wurden, die Fähigkeit einer Online-Korrektur beim Greifen nachgewiesen werden konnte. In der Regel fallen motorische Effekte kleiner aus, wenn unter closed-loop Bedingungen gegriffen wird. Die maximale Griffweite oder auch das Ende einer Zeigebewegung stellen dann nicht mehr die ursprünglich geplante Handlung dar, sondern die bereits durch das visuelle Feedback korrigierte. Ein fairer Vergleich von Perzeption und Handlung kann daher beim Greifen nur dadurch gewährleistet werden, dass die Sicht auf das Objekt bei der Handlung unterbunden wird.

(3) Anzahl der Durchgänge pro Bedingung: Brenner und Smeets (1996) machen keine Angaben über die Anzahl der durchgeführten Durchgänge. In der Studie von Bartelt und Darling (2002) wurden lediglich fünf Wiederholungen pro Versuchsbedingung durchgeführt. Dies erscheint, gerade auch gemessen an der Streuung von Greifhandlungen, zu wenig, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

(4) Keine Korrekturen der perzeptuellen und motorischen Effekte anhand der Steigungen: Insbesondere beim Greifen nach Objekten finden sich häufig (Jeannerod, 1984, Grosskopf & Kuitz-Buschbeck, 2006) Steigungen, die deutlich unter 1,0 liegen. Im Gegensatz dazu wurden bei zwei Studien zur Ponzio Illusion (Westwood et al., 2000b; Bartelt & Darling, 2002) die manuelle Methode verwendet, von der bekannt ist, dass sie eher zu Steigungen führt, die Werte  $> 1,0$  aufweisen (Franz, 2003a). Ohne eine Korrektur um die jeweiligen Steigungen ist daher eher mit dem Befund einer Dissoziation von Perzeption und Handlung zu rechnen (siehe Kapitel 3.3.3.1).

(5) Reduktionseffekt: Die Ergebnisse aus den *Studien 3 und 4* legen die Existenz eines *Reduktionseffektes* unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden nahe. Ein ähnlicher Effekt wurde in der Studie von Gilster et al. (2006) beim Greifen nach den Planeten der Ebbinghaus Illusion gefunden. Es ist zu vermuten, dass ein solcher *Reduktionseffekt* auch beim Greifen nach der Ponzio Illusion existiert. Da ein solcher Effekt der perzeptuellen Illusion entgegenwirken würde, kann man verminderte motorische Effekte erwarten. In den *Studien 3 und 4* wurde unter der Verwendung der

Amplituden der Sakkaden sogar ein negativer motorischer Effekt gemessen. Obwohl die *Originale Zielfigur* (siehe Abb. 8.7) größer wirkt als die *Quellfigur*, wurden kleinere Amplituden der Sakkaden ermittelt. Dieser negative Effekt kann nur auf dem Reduktionseffekt basieren. Fände man nun beim Greifen nach der Ponzo Illusion vergleichbar große perzeptuelle und motorische Effekte, so würde dies, unter Annahme eines existierenden Reduktionseffektes, bereits für eine Assoziation von Perzeption und Handlung sprechen. Diese wäre lediglich durch den Reduktionseffekt „verdeckt“. Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, den Vergleich verschiedener motorischer Messungen an der Ponzo Illusion in dieser Arbeit durchführen zu können.

Die *Studie 5* besteht nur aus einem motorischen Experiment. Da dieselben Probanden aus den *Studien 3 und 4* auch an dieser Studie teilnahmen, kann für den perzeptuellen Effekt auf die Ergebnisse aus *Studie 3* zurückgegriffen werden. Außerdem kann so der motorische Effekt dieser Studie direkt mit den motorischen Effekten aus den *Studien 3 und 4* verglichen werden.

## 10.1 Experiment: Greifen

### 10.1.1 Methode

#### Versuchspersonen

Dieselben sieben Probanden aus den *Studien 3 und 4* nahmen auch an dieser Studie teil.

#### Versuchsdesign

Die unabhängigen Variablen sind identisch mit *Studie 3 und 4*. Es werden also die *UV Figuren* (3 Stufen: *Quellfigur*, *Originale Zielfigur* und *Adjustierte Zielfigur*) und die *UV Größe* (2 Stufen: 4 cm und 6 cm) unterschieden.

#### *AV Maximale Griffweite*

Als abhängige Variable wird die maximale Griffweite (im Folgenden auch maximale Griffapertur genannt) von Daumen und Zeigefinger betrachtet. Um größtmögliche Vergleichbarkeit mit den *Studien 3 und 4* (und indirekt auch mit *Studie 2*) zu erreichen, sollten die gleichen Stimuli auch für diese Studie verwendet werden. Da die Ponzo Illusion in den bisherigen Studien zweidimensional auf einem Monitor dargestellt wurde, ergibt sich für das Greifen nach den horizontalen Balken eine Besonderheit: Statt einer „realen“ Greifbewegung, bei der das Objekt in die Hand genommen wird, kann der Proband bei einem zweidimensionalen Stimulus das auf dem Bildschirm

dargestellte Objekt nicht umfassen. Dies ähnelt in gewisser Weise einer pantomimischen Bewegung. Auch bei einer solchen Handlung ist die maximale Griffweite mit der Objektgröße korreliert (Milner et al., 2001). Beim Greifen nach den Figuren „auf dem Monitor“ ergibt sich jedoch im Vergleich zum pantomimischen Greifen „im Raum“, d.h. also beim Greifen nach Objekten, die vor dem Ergreifen von ihrer Position entfernt werden, ein Unterschied. Beim letzteren erinnert sich der Proband an das Objekt im dreidimensionalen Raum. Er führt mit einer Reichtbewegung die Hand an die entsprechende Stelle und umschließt imaginär das Objekt (welches vom Versuchsleiter vor dem Ergreifen entfernt wurde). Unterschiedliche Entfernungen der Objekte vom Handelnden werden entsprechend einer „realen“ Greifhandlung berücksichtigt. Neben der maximalen Griffweite gilt dies ebenso für Variablen wie die Dauer oder die Geschwindigkeit der Handlung. Im Vergleich zum „realen“ Greifen fehlen jedoch ein visuelles und insbesondere ein haptisches Feedback beim Erfassen des Objektes. Beim Greifen nach Figuren „auf dem Monitor“ kann das visuelle Feedback hingegen gesteuert werden. Die Figur kann entweder sichtbar oder nicht sichtbar sein. Ein haptisches Feedback ist auch hier, zumindest durch die zu ergreifenden Objekte, nicht gegeben. Lässt man den Probanden nun „gegen den Monitor“ greifen, so stellt dies zwar ein haptisches Feedback dar, das sich aber auf die zweidimensionale Monitorebene bezieht und nicht auf die intern angeregte dreidimensionale Interpretation.

Es ergibt sich also, generell gesprochen, eine „Konkurrenzsituation“ zwischen einer zweidimensionalen (Monitor) und einer dreidimensionalen Ebene (intern angesprochenen Konzepte). Zwar wird die Hand durch den Raum bewegt, die Zielobjekte befinden sich jedoch alle in einer Ebene auf dem Monitor. Nach der dreidimensionalen Interpretation befinden sich die horizontalen Balken jedoch in unterschiedlicher Entfernung zum Betrachter. Es stellt sich also die Frage, wie der Handelnde diesen Konflikt auflöst. Man wird sich relativ schnell (z.B. anhand eines Bildes mit Tiefeneindruck) davon überzeugen können, dass er nicht „durch“ den Monitor greifen wird.

Es muss also hier angenommen werden, dass die Handlung im zeitlichen Verlauf der Bewegung von einer „eher dreidimensional geplanten Bewegung“ zu einer Handlung wird, deren Zielobjekte auf einer zweidimensionalen Ebene liegen. Man kann sich dies als eine Art Kontinuum vorstellen, auf dem die Handlung sich zwischen der dreidimensional interpretierten Szene und der zweidimensionalen Ebene (die zwar in einem dreidimensionalen Raum liegt, jedoch nicht den „gemeinten“, d.h. „interpretierten“ Raum, darstellt) bewegt. Problematisch wird dies für den hier vertretenen internalistischen Ansatz vor allem dann, wenn sich die untersuchte Variable, über die Vorhersagen in Bezug auf den dreidimensionalen Raum bestehen, auf diesem

Kontinuum zum Zeitpunkt der Messung schon auf der „zweidimensionalen“ und nicht mehr auf der „dreidimensionalen“ Seite befindet.

Greift die Versuchsperson nun mit visuellem Feedback, besteht die Möglichkeit, dass die maximale Griffweite, die typischerweise bei 60 - 70 % der Bewegungszeit (Jeannerod, 1984) gemessen wird, bereits durch eine Online-Korrektur an den zweidimensionalen Stimulus angepasst wird, so wie dies in Studien innerhalb des PVI dargestellt wurde (Daprati und Gentilucci, 1997; Otto-de Haart, Carey und Milne, 1999). Durch die Vermeidung visuellen Feedbacks während des Greifens soll die Möglichkeit einer Online-Korrektur unterbunden werden.

Es sei angemerkt, dass die Verwendung von realen, dreidimensionalen Balken (z.B. auf den Monitor angebrachte „Stöckchen“), die durch einen Probanden tatsächlich ergriffen werden könnten, das eben geschilderte grundsätzliche Problem nicht lösen. Zwar könnte man davon ausgehen, dass die Handlung für den Probanden nachvollziehbarer und nicht so abstrakt wirkt wie das Greifen „auf den Monitor“. Die Balken wären aber dennoch auf einer zweidimensionalen Ebene angebracht. Die skizzierte Konkurrenz von dreidimensionaler Interpretation und zweidimensionaler Monitorebene bliebe also bestehen. Zudem wäre durch die Verwendung realer Balken die Vergleichbarkeit mit den *Studien 2-4* erheblich eingeschränkt. Mögliche Unterschiede in den Ergebnissen der Studien könnten auf die Verwendung dieser variierten Stimuli zurückgeführt werden.

Das Greifen „auf den Monitor“ hat auch Konsequenzen für den Bewegungsablauf. In Vorversuchen wurde festgestellt, dass die maximale Griffweite sich nur geringfügig von der Griffweite am Ende der Bewegung unterscheidet, wenn der Proband seine Finger auf dem Monitor aufsetzt. Das beim realen Greifen charakteristische Schließen der Hand entfällt also weitgehend. Die Bewegung ähnelt damit einer Zeigebewegung mit zwei Fingern. Entscheidender Unterschied zum Zeigen (mit einem Finger) ist jedoch, dass bei der hier durchgeführten Bewegung die *Größe* des Objektes durch den Abstand von Daumen und Zeigefinger kodiert wird.

Für die *Versuchsbedingungen* ergeben sich analog zu *Studie 3*:

*Figuren* (3 Stufen) x *Größe* (2 Stufen) = 6 Bedingungen

Jede Bedingung wird 16 Mal durchgeführt. Daraus ergeben sich insgesamt pro Proband 96 Durchgänge. Das Experiment wird in zwei Blöcken mit jeweils 48 Durchgängen

durchgeführt. In jedem Block befinden sich 8 Wiederholungen pro Bedingung. Innerhalb eines Blocks werden die Durchgänge randomisiert dargeboten.

### **Material**

Das Experiment wurde im Greiflabor *Jeannerod* des Physiologischen Instituts der Universität Kiel durchgeführt.

#### *Aufzeichnung der Daten*

Die Aufzeichnung der Daten erfolgte mit einem *Motion Capture System* (MacReflex, Firma Qualisys, Göteborg, Schweden). Dieses System erfasst mittels dreier Kameras die Position der Hand im dreidimensionalen Raum. Die Kameras besitzen ein Cosmicar f 8,5 - Objektiv, um das 40 Infrarot-Leuchtdioden kreisförmig angeordnet sind. Das Licht dieser Dioden wird von halbkugelförmigen Markierungspunkten (Durchmesser 7 mm), im Folgenden Marker genannt, reflektiert und von den Kameras registriert. Der Mittelpunkt eines Markers wird mit einer Genauigkeit von 0,4 mm (Angaben des Herstellers) berechnet. Den Probanden werden drei Marker am Daumnagel, am Zeigefingernagel und über dem Processus styloideus radii (am Handgelenk) aufgeklebt. Da infrarotes Licht für die Datenaufzeichnung verwendet wird, konnten die Greifbewegungen auch im Dunkeln vermessen werden. Die zeitliche Auflösung der Kameras beträgt 50 Hz. Durch eine Kalibrierung mit einem Kalibrierrahmen wurden die Kameras vor jeder neuen Datenaufzeichnung geeicht. Die Kameras zeichnen das Bild auf und senden die Daten an Videoprozessoren. Mit diesen werden zunächst zweidimensionale Koordinaten für jede Kamera berechnet. Über einen Computer (MacIntosh Performa 630) und die Software MacReflex (1996) werden dreidimensionale Koordinaten für die verwendeten Marker ermittelt.

#### *Versuchsaufbau*

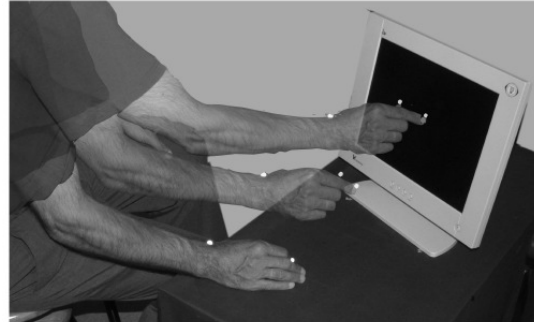
Der Proband saß linksseitig an einem Tisch (Fläche: 90 x 45 cm, Höhe 57 cm), der mit schwarzem Tuch überklebt war (Abb. 10.1). Der Stuhl war höhenverstellbar. Auf dem Tisch befand sich der Monitor, auf dem die Stimuli präsentiert wurden. Als Startposition für die Hand diente ein auf den Tisch geklebter weißer Filzkreis (Durchmesser 1,5 cm, Höhe 2 mm). Zwei Kameras befanden sich auf der linken und eine Kamera auf der rechten Seite des Tisches, so dass die Marker während der Bewegungsausführung von allen drei Kameras aufgezeichnet wurden. Der Stuhl konnte nach Bedarf weiter nach vorn bzw. nach hinten positioniert werden, so dass der Proband bequem vom Startpunkt aus mit der Hand in etwa auf die Mitte des Monitors greifen konnte. Das Ellenbogengelenk nahm dabei in Startposition eine rechtwinklige Stellung ein, der Arm und die Hand sollten in einer geraden Bewegung nach vorn geführt werden



können. Der direkte Abstand von der Startposition zur Mitte des Zielobjektes (in etwa auf Mitte des Bildschirms; siehe Abb. 10.2) betrug 45 cm.



a) Aufbau zur Messung von Greifbewegungen



b) Darstellung der Bewegung im zeitlichen Verlauf

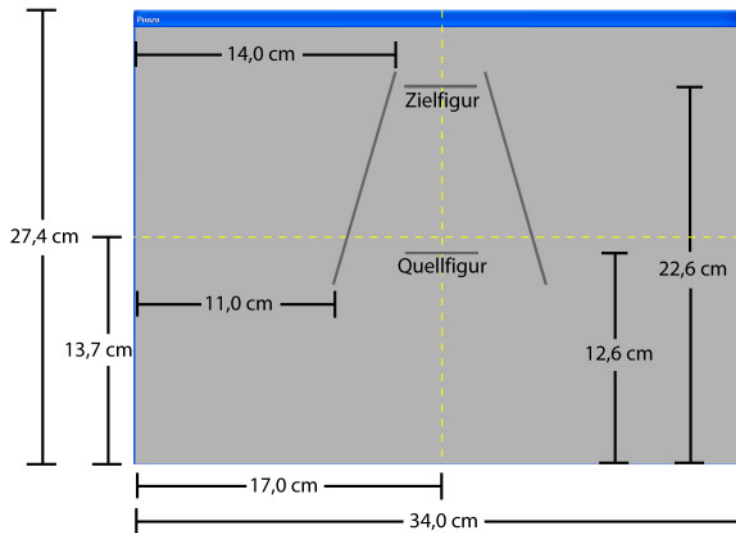
Abb. 10.1: Versuchsaufbau und Darstellung der Bewegung. a) Aufbau zur Messung von Greifbewegungen: Auf einem Tisch befindet sich der Monitor, auf dem die Stimuli präsentiert werden. Ein höhenverstellbarer Hocker befindet sich auf der linken Seite des Tisches. Drei Kameras sind so positioniert, dass sie die an der Hand angebrachten Marker während des gesamten Zeitraumes der Bewegung erfassen können. b) Darstellung der Bewegung im zeitlichen Verlauf: Der Proband sitzt in bequemer Reichentfernung zum Monitor. In der Startposition liegt die Hand entspannt auf dem Tisch, Daumen und Zeigefinger berühren dabei einen auf den Tisch angebrachten runden Filz. Die Hand wird unter Zunahme der Distanz von Daumen und Zeigefinger zur Zielposition befördert. In der Endposition berühren Daumen und Zeigefinger den Monitor. Anschließend wird die Hand wieder an die Startposition zurückgeführt.

### *Beschreibung der Stimuli*

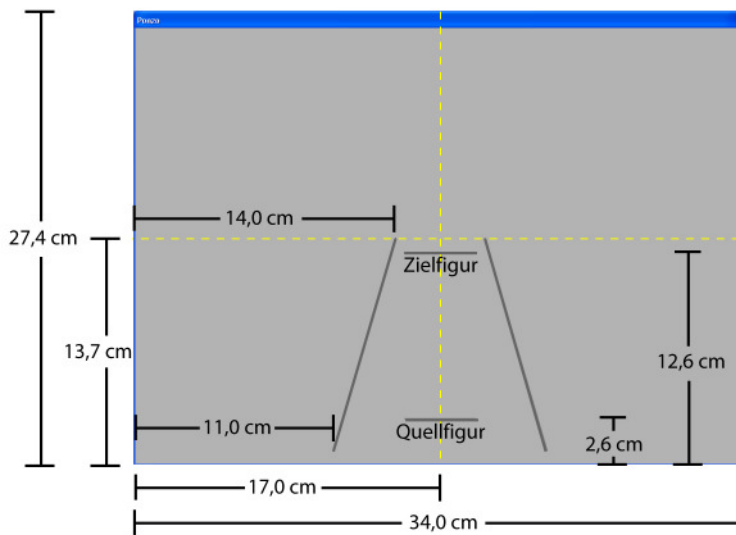
Die Stimuli wurden auf dem Monitor (Maße 27,4 cm x 34,0 cm) dargeboten, waren also vollständig zweidimensional. Der Monitor war an einen Computer (HP Compaq nx8220) angeschlossen, der die Stimuluspräsentation steuerte.

In Vorversuchen stellte sich heraus, dass sich die Griffweiten für gleich große Stimuli (horizontale Balken ohne konvergierende Linien) unterschieden, je nachdem, auf welcher Höhe sich die Balken befanden. Je höher der Balken auf dem Schirm zu sehen war, desto kleiner fiel die maximale Griffweite aus (im Folgenden Höheneffekt genannt). Diese Verringerung der Griffweiten ist nicht identisch mit dem in *Studie 3 und 4* gemessenen Reduktionseffekt, denn schließlich wurde dieser nicht in *Studie 2* (Amplituden der Sakkaden an der Steg Illusion) gefunden. Auch dort variierte die Höhe der Stimuli leicht (siehe Abb. 7.2). Die gemessenen Amplituden der Sakkaden waren aber praktisch identisch für alle drei getesteten *Entfernungen*, denen unterschiedliche Höhen für die Balken entsprechen. Um den in den Vorversuchen gefundenen

Höheneffekt zu kontrollieren, wurden die zu greifenden *Quellfiguren* (mit den konvergierenden Linien) erhöht bzw. die *Zielfiguren* erniedrigt (Abb. 10.2). Die Farbe der Stimuli (dunkelgrau für die Balken und die konvergierenden Linien; hellgrau für den Hintergrund) waren identisch zu den *Studien 3 und 4*.



a) Verschiebung der Ponzo Illusion „nach oben“ (4 cm Bedingungen).



b) Verschiebung der Ponzo Illusion „nach unten“ (4 cm Bedingungen).

Abb. 10.2: Schema der verwendeten Stimuli für die 4 cm Bedingungen (6 cm Bedingungen siehe Anhang F). Die gelb gestrichelten Linien zeigen die Mitten der horizontalen und vertikalen Bildgröße an. a) Nach oben verschobene Ponzo Illusion. b) Nach unten verschobene Ponzo Illusion.

### Durchführung

Das Licht im Raum war über den gesamten Zeitraum eines Blocks gelöscht. Zu Beginn eines Durchganges wurde die Hand an die Startposition geführt. Der weiße Filz sollte mit Daumen und Zeigefinger berührt werden (Abb. 10.1b). Die Finger wurden dabei leicht gebeugt, so dass die Hand entspannt an der Startposition ruhte. Der Bildschirm zeigte zu diesem Zeitpunkt einen schwarzen Hintergrund. Dann erschien die Ponzo Illusion auf dem Monitor (Abb. 10.3). Der Proband schaute für 2,5 s auf die Illusion. Dann ertönte ein kurzes Startsignal (500 Hz Ton). Die Illusion war für weitere 500 ms sichtbar. Der Proband sollte nun mit einer natürlichen, nicht hastigen Bewegung nach dem horizontalen Balken greifen, der sich „in der Mitte“ des Bildschirms befand. Die Sichtbarkeit der Ponzo Illusion von 500 ms nach dem Ton erwies sich in Vorversuchen als sinnvoll, da sonst eine Tendenz bei den Probanden bestand, hastig mit der Bewegung zu beginnen. Durch die noch andauernde Präsentation begann die Bewegung fast zeitgleich mit der Präsentation des schwarzen Bildschirms, der die Ponzo Illusion ersetzte. Auf diese Weise konnte eine „Online-Korrektur“ der Griffweite an den Stimulus vermieden werden. Die gemessene maximale Griffapertur sollte folglich die geplante Handlung abbilden.

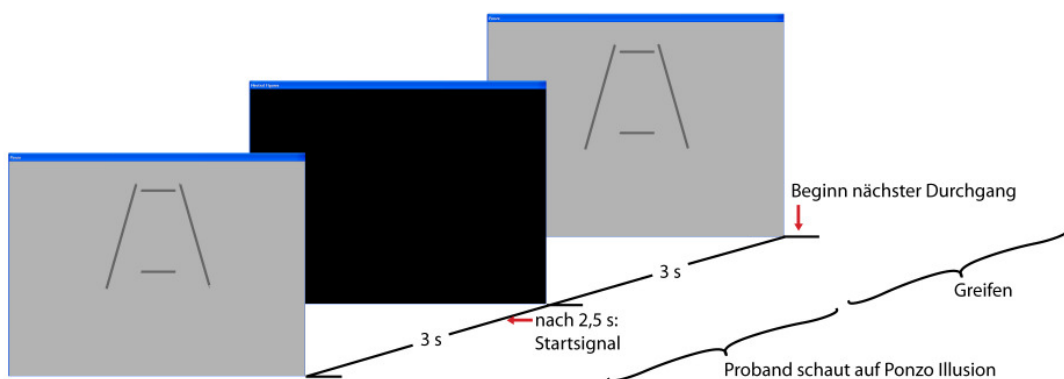


Abb. 10.3: Schema über den zeitlichen Ablauf eines Durchganges. Die Ponzo Illusion ist für drei Sekunden sichtbar. Nach zweieinhalb Sekunden wird ein 500 Hz Ton präsentiert. Da die Anweisung an den Probanden lautet, ohne Hast zu greifen, beginnt die Bewegung in der Regel dann, wenn der Bildschirm bereits ein schwarzes Bild zeigt. Durchgänge, in denen zu früh gegriffen wurde, wurden aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Die Versuchsperson „greift“ auf den schwarzen Bildschirm und bewegt die Hand anschließend wieder an die Startposition zurück. Anschließend beginnt ein neuer Durchgang.

Die Aufgabe für den Probanden bestand darin, die Enden des jeweiligen horizontalen Balkens mit Daumen und Zeigefinger zu berühren. Da zum Zeitpunkt des Kontaktes bereits ein schwarzer Bildschirm präsentiert wurde, sollten die Finger an die Position geführt werden, wo zuvor noch die Figuren zu sehen waren. Die Berührung des Monitors wurde eingeführt, um eine möglichst gute Standardisierung der Bewegung zu erhalten. Anderenfalls hätte die Bewegung möglicherweise eine deutlich größere

Varianz in Variablen wie zurückgelegte Distanz, Geschwindigkeit oder Dauer aufgewiesen. Damit wäre vermutlich auch eine größere Streuung für die maximale Griffweite verbunden gewesen. Nach der Berührung des Monitors wurde die Hand wieder an die Startposition zurückgeführt.

Die Probanden übten die Prozedur anhand eines Problockes (48 Durchgänge). Diese hohe Zahl an Durchgängen erschien sinnvoll, da die Bewegung zunächst sehr „unnatürlich“ erscheint. Gerade bei den ersten Durchgängen zeigt sich noch eine deutliche Variabilität in den Griffweiten. Zudem sollte sichergestellt werden, dass die Versuchspersonen in einer „normalen“ Geschwindigkeit greifen. Bei einigen Probanden zeigte sich zunächst die Tendenz, sehr hastig zu greifen. Dies legte sich jedoch durch die wiederholte Übung bei allen Versuchsteilnehmern.

Die in MacReflex erhaltenen zweidimensionalen Koordinaten mussten durch ein so genanntes „Tracking“-Verfahren in dreidimensionale Koordinaten überführt werden. Diese „Rohdaten“ wurden für die Bestimmung der maximalen Griffweite (sowie weiterer Parameter wie Reaktionszeit, Bewegungsdauer, Geschwindigkeit u.v.m.; siehe hierzu Ergebnisse in Anhang F) mit dem Programm OWIT 2.3.2 (Physiologisches Institut Kiel) weiterverarbeitet. Abbildung 10.4 zeigt beispielhaft eine Darstellung der Griffweite über den zeitlichen Verlauf. Die Daten beziehen sich auf mehrere Durchgänge an einer Bedingung bei einem Probanden.

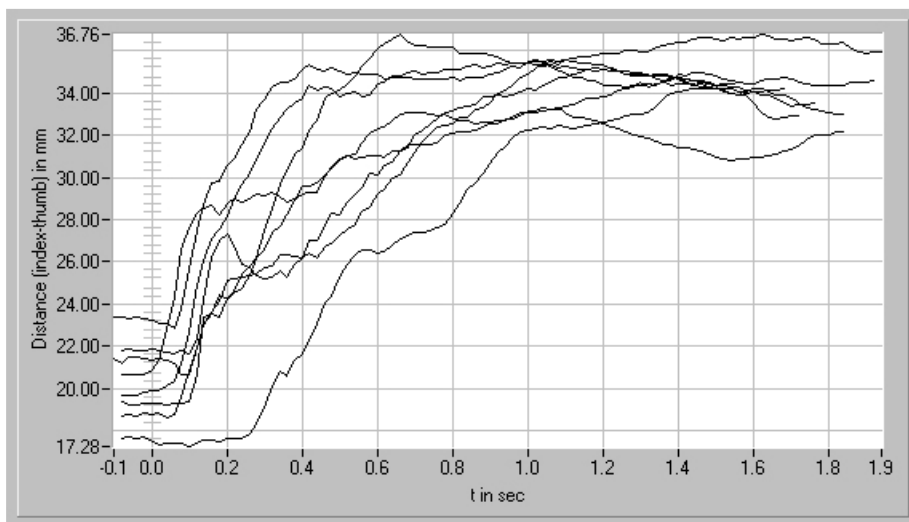


Abb. 10.4: Beispielhafte Darstellung der Griffweite von Daumen und Zeigefinger über den zeitlichen Verlauf. Die Griffweite nimmt zunächst deutlich zu und erreicht ein Maximum. Dieses wird in einigen Fällen bis zum Ende der Bewegung aufrechterhalten. In einige Fällen verringert sich die Griffapertur wieder, genau so, wie man es beim Greifen nach „realen“ Objekten erwarten würde.

Der Ausschluss von Durchgängen erfolgte durch die Auswertung der Variablen maximale Griffweite (Abweichungen von  $\pm 1,0$  cm vom Mittelwert der jeweiligen Bedingung bei einem Probanden), Reaktionszeit (negative Reaktionszeit oder Greifen erst nach zwei Sekunden nach dem Startsignal) und Bewegungsdauer (länger als drei Sekunden). Bei einigen Durchgängen konnte es zudem vorkommen, dass eine oder mehrere Kameras keine Daten aufzeichnen konnten, etwa wenn der Proband seine Hand drehte oder der Marker trotz Sicht der Kameras nicht richtig detektiert wurde. Diese Ausfälle waren jedoch relativ gering (siehe Ergebnisse).

### 10.1.2 Ergebnisse

Das zugrunde liegende Design ist identisch mit dem aus *Studie 3* (Experiment 2) und *Studie 4*, d.h. es wurden die Faktoren *Figuren* (3 Stufen) und *Größe* (2 Stufen) unterschieden. Als abhängige Variable wurde die maximale Griffweite ausgewertet.

Die sieben Probanden führten insgesamt 672 Greifbewegungen aus (7 x 96), von denen 645 als gültige Durchgänge (~ 96 %) in die folgende Auswertung eingegangen sind. In Tabelle 10.1 und Abbildung 10.5 sind die Ergebnisse für alle getesteten Bedingungen dargestellt.

Tab. 10.1: Maximale Griffweiten für alle getesteten Bedingungen.

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Quellfigur 4 cm</b>	3,52	0,51	0,19
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	3,70	0,70	0,27
<b>Adjustierte Zielfigur an 4 cm</b>	3,41	0,68	0,26
<b>Quellfigur 6 cm</b>	4,50	0,63	0,24
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	4,74	0,78	0,29
<b>Adjustierte Zielfigur an 6 cm</b>	4,46	0,74	0,28

Zur Beantwortung der Frage, ob eine Assoziation von Perzeption und Handlung vorliegt, wurden die Daten über den Faktor *Größe* gemittelt (Tab. 10.2 und Abb. 10.6), da dieser nur relevant ist, um die Steigung über den Zusammenhang von tatsächlicher Objektgröße zur maximalen Griffweite zu ermitteln.

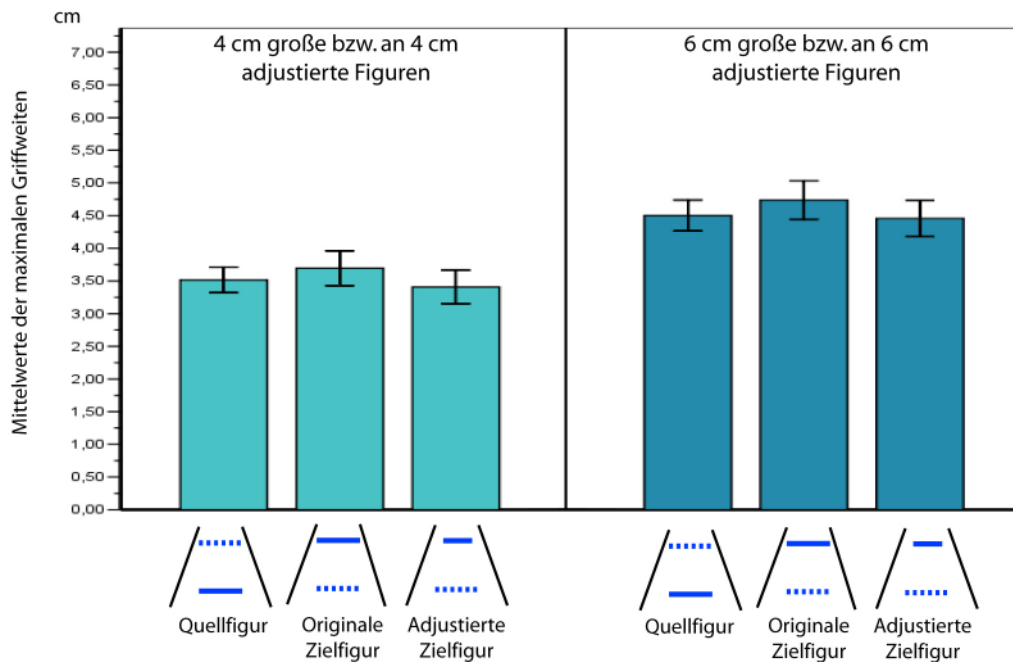


Abb. 10.5: Mittelwerte der maximalen Griffweiten (cm) für alle getesteten Bedingungen. Die linken drei Balken stellen die 4 cm großen Figuren (*Quellfigur*, *Originale Zielfigur*) bzw. die an 4 cm *Adjustierte Zielfigur* dar. Die rechten drei Balken stellen analog die 6 cm Bedingungen dar. Die *Originalen Zielfiguren* wirken (bei gleicher physikalischer Größe) auf den Betrachter größer als die *Quellfiguren*. Die *Quellfiguren* und die *Adjustierten Zielfiguren* hingegen sind physikalisch verschieden groß, werden jedoch als gleich groß wahrgenommen. Die maximalen Griffweiten scheinen den wahrgenommenen Größen zu entsprechen (statistische Tests werden für die in der *Größe* zusammengefassten Daten gerechnet: siehe Abb. 10.6). Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM.

Tab. 10.2: Maximale Griffweiten (gemittelt über die *Größe*).

	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Quellfigur (gemittelte Größe 5 cm)</b>	4,01	0,57	0,21
<b>Originale Zielfigur (gemittelte Größe 5 cm)</b>	4,22	0,74	0,28
<b>Adjustierte Zielfigur (gemittelte Größe 4,45 cm)</b>	3,93	0,70	0,27

Für den Nachweis einer Assoziation von Perzeption und Handlung müssen die maximalen Griffweiten für physikalisch gleich große Objekte verglichen werden, die perzeptuell unterschiedlich groß wirken. Der Vergleich der *Quellfigur* mit der *Originalen Zielfigur* wird erwartungsgemäß signifikant ( $t(6) = 3,15$ ;  $p = 0,010$ ). Die max. Griffweiten nach der *Originalen Zielfigur* waren demnach größer als die nach der *Quellfigur*. Entsprechend wurde erwartet, dass kein (oder nur ein geringer) Unterschied zwischen der *Quellfigur* (gemittelte tatsächliche Größe von 5 cm) und der *Adjustierten Zielfigur* (gemittelte tatsächliche Größe von 4,45 cm) bei der max. Griffapertur besteht. Der Vergleich zeigt hypothesenkonform keinen signifikanten Unterschied zwischen diesen Bedingungen ( $t(6) = 1,37$ ;  $p = 0,22$ ; zweiseitiger Test). Es gilt auch hier wie

schon zuvor in den *Studien 2-4*, dass ein nichtsignifikanter Test *nicht* die Nullhypothese bestätigt. Zusammen mit dem signifikanten Test des Vergleichs der *Quellfigur* mit der *Originalen Zielfigur* und den nachfolgenden Vergleichen der perzeptuellen und motorischen Effekte ergibt sich jedoch ein einheitliches Bild, welches mit den aufgestellten Hypothesen übereinstimmt. Der Vergleich der *Originalen Zielfigur* und der *Adjustierten Zielfigur* dient der Kontrolle. Der Vergleich zeigt den erwarteten signifikanten Unterschied ( $t(6) = 11,83$ ;  $p < 0,001$ ).

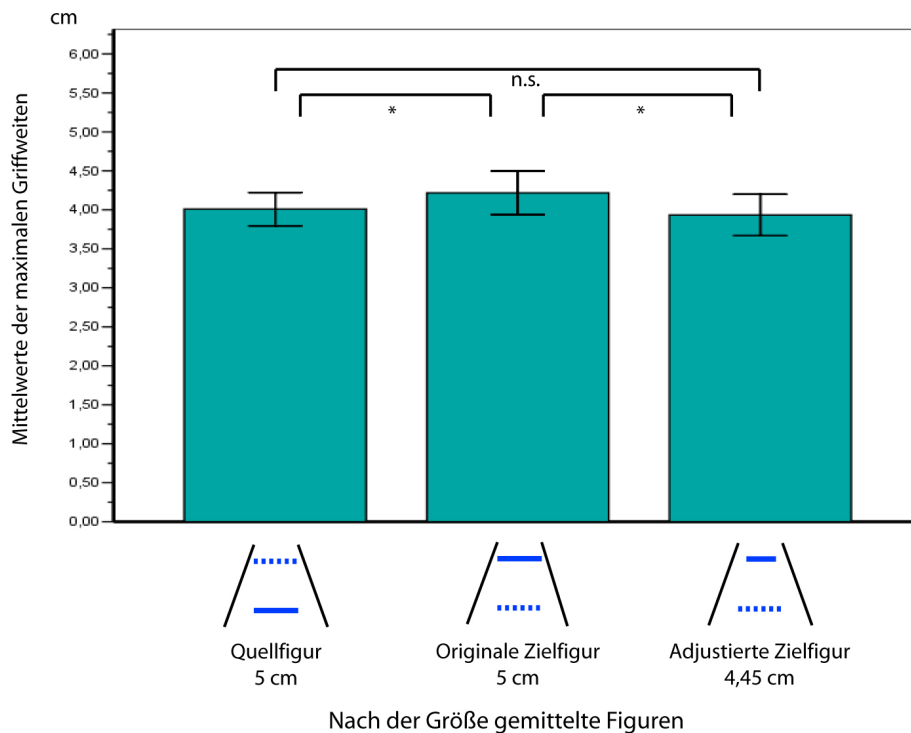


Abb. 10.6: Mittelwerte der maximalen Griffweiten (cm), gemittelt über die *Größe* der Figuren. Die *Quellfigur* unterscheidet sich signifikant von der *Originalen Zielfigur*, d.h. die maximalen Griffweiten orientieren sich nicht nach der tatsächlichen, sondern nach der wahrgenommenen Größe der Figuren. Dieses wird zusätzlich durch den Vergleich der *Quellfigur* und der *Adjustierten Zielfigur* verdeutlicht. Diese Figuren wirken gleich groß, trotz physikalischer Verschiedenheit. Die maximalen Griffweiten lassen sich nicht signifikant voneinander unterscheiden. Der Vergleich *Originale Zielfigur* und *Adjustierte Zielfigur* wird ebenso signifikant. Dieser Vergleich dient der Kontrolle. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant; n.s. = nicht signifikant.

Der motorische Effekt wird analog zu den *Studien 3 und 4* berechnet (Abb. 10.7). Die tatsächliche Größe der Figuren wird gegen die Mittelwerte der maximalen Griffweiten sowohl für die *Quellfigur* als auch für die *Originale Zielfigur* aufgetragen. Es ist deutlich zu erkennen, dass im Vergleich zu den Steigungen für die *Quellfigur* in den *Studien 3 und 4*, in denen Amplituden von Sakkaden gemessen wurden (vgl. Abb. 8.8 und 9.5), die hier gemessene Steigung mit 0,49 deutlich geringer ausfällt unter Betrachtung der maximalen Griffweite. Die Steigung zeigt an, dass einer Vergrößerung

der tatsächlichen Objektgröße um 1 cm nur eine Zunahme der maximalen Griffweite von  $\sim 0,5$  cm gegenübersteht. Würde man die erhaltenen motorischen Effekte nicht um die gemessene Steigung korrigieren, führt dies zu einer deutlichen Unterschätzung des motorischen Effektes. Der korrigierte motorische Effekt ( $m$ ) ergibt sich aus der Differenz der Mittelwerte (gemittelte Größen von 5 cm) für die *Originalen Zielfiguren* und der *Quellfigur* ( $M$ ), geteilt durch die Steigung. Der so erhaltene korrigierte Effekt weist eine Größe von  $m = 0,41$  cm (SD = 0,31 cm) auf.

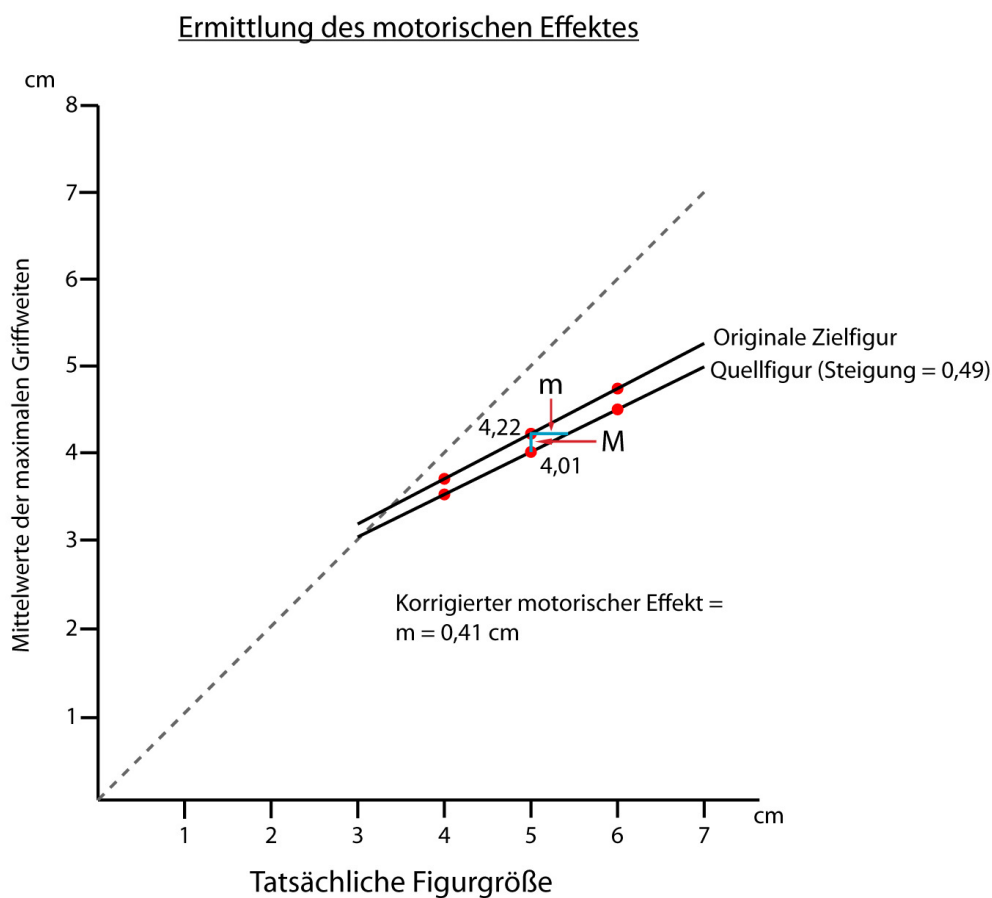


Abb. 10.7: Mittelwerte der maximalen Griffweiten für die *Quellfiguren* und für die *Originalen Zielfiguren* zur Ermittlung des motorischen Effektes. Die eingetragenen Punkte (rot) markieren die Griffaperturen für die entsprechenden tatsächlichen Größen der *Quellfigur* bzw. der *Originalen Zielfigur*. Die Geraden sind erwartungsgemäß zueinander verschoben, d.h. die Griffweiten orientierten sich nach der wahrgenommenen und nicht nach der tatsächlichen Größe der Figuren. Der korrigierte motorische Effekt ( $m$ ) wird auf die gemittelte Figurgröße von 5 cm bezogen und berechnet sich aus der Differenz der Griffaperturen ( $M$ ), geteilt durch die ermittelte Steigung, die für die *Quellfigur* ermittelt wurde. Der korrigierte motorische Effekt weist eine Größe von  $m = 0,41$  cm auf. Bemerkenswert ist insbesondere die deutlich kleinere Steigung beim Greifen im Vergleich zu den Amplituden der Sakkaden (vgl. Abb. 8.8). Ohne eine Korrektur um diese Steigung wird der motorische Effekt deutlich unterschätzt.



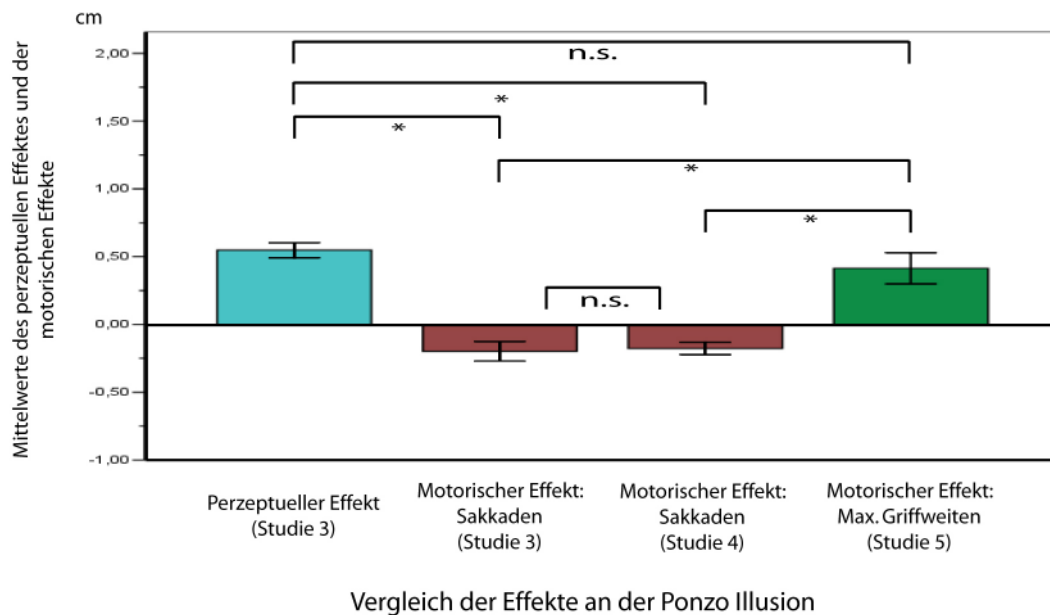


Abb. 10.8: Vergleich der Effekte an der Ponzo Illusion. Der perzeptuelle Effekt (linker Balken, blau) wurde in Studie 3 bestimmt. Die mittleren beiden Balken (rot) wurden in den Studien 3 und 4 ermittelt und beziehen sich auf die Amplituden von Sakkaden. Beide Effekte zeigen einen deutlich sichtbaren Reduktionseffekt (d.h. eine negative Abweichung von Null). Der rechte Balken (grün) stellt den in dieser Studie gemessenen motorischen Effekt für die maximale Griffweite dar. Dieser Effekt unterscheidet sich von den anderen beiden motorischen Effekten (rot). Im Vergleich zum perzeptuellen Effekt ist hingegen kein statistischer Unterschied nachweisbar. Die übrigen Vergleiche wurden in den Studien 3 und 4 beschrieben. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. **Beachte:** Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant; n.s. = nicht signifikant.

Der erhaltene motorische Effekt für die maximalen Griffweiten kann nun mit dem perzeptuellen Effekt (siehe Studie 3) und den motorischen Effekten für die Amplituden von Sakkaden (Studien 3 und 4) verglichen werden (Abb. 10.8). In den Studien 3 und 4 wurde eine Dissoziation von Perception und Handlung bei der Ponzo Illusion unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden nachgewiesen. Für die maximalen Griffweiten hingegen wurde eine Assoziation von Perception und Handlung vorhergesagt. Für den Nachweis erwartet man keinen (oder nur geringen) Unterschied zwischen dem perzeptuellen Effekt und dem motorischen Effekt. Der Vergleich dieser Bedingungen wird entsprechend dieser Erwartung nicht signifikant ( $t(6) = 0,84$ ;  $p = 0,22$ ). Da dieser Vergleich auf die Nichtbestätigung eines Unterschiedes abzielt („Nullhypothese bestätigen“), kommt dem Vergleich der motorischen Effekte für die Amplituden der Sakkaden und der maximalen Griffweite eine große Bedeutung zu. Entsprechend der Hypothese, nach der für die Amplituden von Sakkaden eine Dissoziation und für die maximale Griffweite eine Assoziation erwartet wird, sollten sich die motorischen Effekte aus Studie 3 und 4 (siehe Abb. 10.8) vom motorischen Effekt unterscheiden, der in dieser Studie gemessen wurde. Es wird sowohl der Vergleich für den motorischen Effekt aus Studie 3 zu Studie 5 signifikant ( $t(6) = 3,78$ ;  $p = 0,005$ ) als auch der Vergleich des motorischen Effektes aus Studie 4 mit Studie 5 ( $t(6)$

= 5,24;  $p = 0,001$ ). Die motorischen Effekte unterscheiden sich also für die verschiedenen motorischen Maße, so wie in den Hypothesen vorhergesagt.

Für die *explorative Datenanalyse* wurden der Bewegungsbeginn, die Bewegungsdauer, die Durchschnittsgeschwindigkeit, der Zeitpunkt der maximalen Griffweite sowie der relative Zeitpunkt des Erreichens der maximalen Griffweite betrachtet. In Tabelle 10.3 sind die Mittelwerte mit den Standardabweichungen dieser Parameter, gemittelt über alle Bedingungen dargestellt. In Anhang F finden sich diese Variablen auch nach den einzelnen Versuchsbedingungen aufgeschlüsselt.

Tab. 10.3: Darstellung der explorativen Datenanalyse, zusammengefasst über alle Bedingungen.

	<b>Mittelwert</b>	<b>SD</b>
<b>Bewegungsbeginn</b>	461 ms	180 ms
<b>Bewegungsdauer</b>	1499 ms	284 ms
<b>Durchschnittsgeschwindigkeit</b>	25,07 cm/s	6,39 cm/s
<b>Zeitpunkt der maximalen Griffweite</b>	810 ms	372 ms
<b>Relativer Zeitpunkt der maximalen Griffweite</b>	55 %	23 %

Die explorativen Daten werden im Folgenden rein deskriptiv beschrieben, da dies für die vorliegende Fragestellung ausreichend ist. Der Bewegungsbeginn lag im Mittel bei 461 ms nach dem Startton. Da die Ponzo Illusion 500 ms nach diesem Signal durch ein schwarzes Bild ersetzt wurde, fand die Bewegung der Hand ohne die Möglichkeit einer visuellen „Online-Korrektur“ statt. Es sei angemerkt, dass eine solche Korrektur den erwarteten Ergebnissen zuwiderlaufen und nicht etwa die aufgestellten Hypothesen begünstigen würde. Der Bewegungsbeginn darf dabei nicht als Reaktionszeit verstanden werden, da die Probanden die ausdrückliche Anweisung hatten, „ohne Hast“ und möglichst „natürlich“ nach den Figuren zu greifen. Auch die Bewegungsdauer von ~ 1,5 s und eine Durchschnittsgeschwindigkeit von ~ 25 cm/s belegen, dass die Probanden dieser Aufforderung nachgekommen sind. Der Zeitpunkt der maximalen Griffweite lag mit 55 % nur leicht unter den Angaben, die typischerweise gefunden werden. Jeannerod (1984) etwa gibt hier Werte von 60 - 70 % an. Zusammengefasst lässt sich für die explorativen Daten konstatieren, dass diese keine Bedenken hinsichtlich der Gültigkeit für die in dieser Studie erhaltenen Ergebnisse hervorrufen.

## 10.2 Diskussion

Ziel dieser Studie war der Nachweis einer Assoziation von Perzeption und Handlung unter Verwendung der maximalen Griffweite bei der Ponzo Illusion. Diese Assoziation sollte sich im Gegensatz zu den gefundenen Dissoziationen aus den *Studien 3 und 4* ergeben. In diesen wurde zwar ebenfalls die Ponzo Illusion untersucht, als motorisches Maß hingegen wurden dort die Amplituden von Sakkaden betrachtet.

Die erhaltenen Ergebnisse dieser Studie bestätigen die gemachten Annahmen. Die Griffweiten für physikalisch gleich große aber perzeptuell verschieden große Objekte unterschieden sich gemäß der wahrgenommenen Größe. In der Größe adjustierte Figuren (also physikalisch verschieden), die perzeptuell die gleiche Größe aufwiesen, unterschieden sich hingegen nicht voneinander. Entsprechend dieser Befunde konnte ein (korrigierter) motorischer Effekt gefunden werden ( $m = 0,41$  cm), der deutlich größer war als die motorischen Effekte, die in den *Studien 3 und 4* für die Amplituden von Sakkaden ermittelt wurden. Diese betragen  $-0,20$  cm bzw.  $-0,18$  cm (siehe Abb. 10.8).

Die Ergebnisse dieser Studie widersprechen zudem den bisherigen Befunden zum Greifen an der Ponzo Illusion (Brenner & Smeets, 1996; Jackson & Shaw, 2000; Westwood et al., 2000b; Bartelt & Darling, 2002). Mögliche Gründe für nicht gefundene Assoziationen wurden bereits ausführlich zu Beginn von Kapitel 10 besprochen. Zu diesen Gründen gehören: (1) Kleine perzeptuelle Effekte; (2) Greifen unter closed-loop Bedingungen; (3) Geringe Anzahl an Wiederholungen pro Bedingung; (4) Keine durchgeführte Korrektur der perzeptuellen und motorischen Effekte anhand der Steigungen; (5) Ein möglicher Reduktionseffekt, der einer erwarteten Assoziation entgegenwirkt. Alle fünf Punkte konnten im Zusammenwirken der *Studien 3-5* entweder kontrolliert bzw. verbessert werden:

(1) Der perzeptuelle Effekt wies eine Größe von  $0,55$  cm ( $SD = 0,15$  cm) auf. Bisherige Studien gaben entweder gar keine Effekte an (Jackson & Shaw, 2000) oder die gemessenen Effekte waren sehr klein (Brenner & Smeets, 1996; Westwood et al., 2000b; Bartelt & Darling, 2002). Berücksichtigt man noch die Steigung für die maximalen Griffweiten, die in *Studie 5* bei  $\sim 0,5$  lag, so wird man bei einer Assoziation von Perzeption und Handlung (unkorrigierte) motorische Effekte erwarten, die nur halb so groß sind wie die perzeptuellen. Da die Streuungen beim Greifen häufig größer ausfallen als perzeptuelle Messungen, wird der Nachweis bei kleinen perzeptuellen Effekten deutlich erschwert. Es bleibt unklar, wieso bisherige Studien so geringe perzeptuelle Effekte finden konnten. Bei der hier verwendeten Methode, bei der die

Probanden die Größe der *Zielfigur* an die Größe der *Quellfigur* adjustierten (Studie 3), konnten für alle Probanden deutliche perzeptuelle Effekte gefunden werden.

(2) Die Greifbewegung wurde in dieser Studie unter open-loop (keine Sicht) Bedingungen durchgeführt. Durch zahlreiche Studien (Daprati und Gentilucci, 1997; Otto-de Haart, Carey und Milne, 1999; Pisella et al., 2000) ist die Fähigkeit belegt, die Griffweite „online“ zu korrigieren, sofern visuelles Feedback gegeben ist. Diese Korrektur findet nicht dadurch statt, dass die Probanden ständig zwischen Zielobjekt und Hand hin- und herschauen und „bewusst“ die Hand vergrößern bzw. verkleinern. Vielmehr scheint es so zu sein, dass diese Korrektur eher unbewusst erfolgt. Bezüglich der TVSH würde man jedoch fordern, dass sich eine Dissoziation von Perzeption und Handlung im Paradigma der visuellen Illusionen auch ohne eine solche Online-Korrektur zeigen lassen sollte, denn schließlich sollte bereits die zu Bewegungsbeginn geplante Handlung „korrekter“ sein als die Perzeption, da das motorische System als „richtig“ arbeitend aufgefasst wird. Die Online-Korrektur kann in diesem Zusammenhang dementsprechend nur als „Feinabstimmung“ einer ohnehin richtigen Bewegungsplanung aufgefasst werden. Um die geplante Bewegung zu erfassen, muss jedoch die Sicht auf den Stimulus während der Ausführung der Handlung verhindert werden. Man würde nach der TVSH analog zu einer Sakkade, die eine ballistische Bewegung darstellt und somit nach der Initiierung nicht mehr änderbar ist, eine Dissoziation auch für die maximalen Griffweiten erwarten, da die TVSH diese Annahme für alle motorischen Handlungen macht.

(3) Durch die beträchtliche Zahl an Wiederholungen pro getesteter Bedingung (16 Mal) wurde versucht, ein hohes Maß an Verlässlichkeit für die gemessenen Werte zu erreichen. Da ~ 96 % der durchgeführten Durchgänge in die dargestellten Ergebnisse eingegangen sind, wurde dieses Ziel erreicht. Da Greifbewegungen einer relativ großen Streuung unterliegen, ist eine entsprechende Zahl an Wiederholungen unerlässlich, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten. Bartelt und Darling (2002) etwa ließen ihre Probanden lediglich fünf Wiederholungen pro Versuchsbedingung ausführen.

(4) Die Notwendigkeit der Korrektur um die Steigungen für den Zusammenhang von tatsächlicher Objektgröße zum abhängigen Maß (in diesem Fall die maximale Griffweite) ist bereits mehrfach betont worden. Keine der bisherigen Studien zur Ponzo Illusion führte jedoch eine solche Korrektur durch. Daher werden, unter Zugrundelegung von Steigungen, die  $< 1,0$  sind, die motorischen Effekte systematisch unterschätzt. Bei der hier gemessenen Steigung wurde der motorische Effekt gewissermaßen „verdoppelt“. Hier sollte noch einmal deutlich betont werden, dass eine solche Korrektur unbedingt nötig ist, da man sonst bereits unter Bedingungen, in denen

keine „visuellen Illusionen“ benutzt werden, eine Dissoziation von Perzeption und Handlung erwarten kann, sofern sich die Steigungen für die perzeptuellen und motorischen Referenzen voneinander unterscheiden (siehe Kapitel 3.3.3.1), so wie es auch hier der Fall ist.

(5) Der in den *Studien 3 und 4* gefundene Reduktionseffekt (negativer motorischer Effekt) und der Befund von Gilster et al. (2006), die einen solchen Effekt für die maximale Griffweite bei der Ebbinghaus Illusion fanden, ließen auch für diese Studie einen solchen Effekt vermuten. Dieser würde dem erwarteten motorischen Effekt entgegenwirken, so dass der Nachweis einer Assoziation von Perzeption und Handlung erschwert wird. Tatsächlich wurde jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen dem motorischen Effekt für das Greifen und dem perzeptuellen Effekt (ermittelt in *Studie 3*) gemessen. Zwar wies der perzeptuelle Effekt einen größeren absoluten Wert im Vergleich zum motorischen Effekt auf. Dieser Unterschied erreichte aber keine statistische Signifikanz. Es bleibt daher unklar, ob ein Reduktionseffekt auch für die maximale Griffweite besteht. Ein solcher Effekt würde sich eventuell durch mehr Probanden (höheres N) zeigen lassen.

Summiert man die Aspekte der eben angesprochenen Punkte auf, so wird deutlich, warum bisherige Studien keine Assoziation von Perzeption und Handlung an der Ponzo Illusion unter Verwendung der maximalen Griffweite gefunden haben.

Ein weiterer Unterschied bisheriger Studien zu der hier durchgeführten Untersuchung besteht in der Verwendung der Stimuli. Die hier benutzten Stimuli waren ausschließlich zweidimensional. Dieses Vorgehen wurde zum einen gewählt, um größtmögliche Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus den *Studien 3 und 4* zu erhalten. Hätte man die horizontalen Balken dreidimensional gestaltet, so wäre nicht mehr gewährleistet, dass die gemessenen perzeptuellen Effekte aus *Studie 3* mit denen von Stimuli, die aus einem „Mix“ aus zweidimensionalen und dreidimensionalen Stimuli bestehen, übereinstimmen. Zum anderen würde die Verwendung dreidimensionaler horizontaler Balken die generelle Problematik des „Konfliktes“ der zweidimensionalen Ebene des Monitors und der dreidimensionalen Tiefeninterpretation nicht lösen. Der perzeptuelle Effekt wird genau wie der motorische Effekt für das Greifen nach den Figuren auf die dreidimensionale Tiefeninterpretation zurückgeführt. Verwendet man dreidimensionale Balken, so würde man diese aber auf der zweidimensionalen Monitorebene anbringen. Da das Greifen auf dieser Ebene durchgeführt wird, kann der Konflikt nicht durch die Verwendung dreidimensionaler Stimuli aufgelöst werden.

Der Verzicht auf dreidimensionale Stimuli führte zu Greifhandlungen, die sich im Wesentlichen in zwei Punkten von „realen“ Greifhandlungen unterscheiden und nicht unabhängig voneinander sind: (1) Die maximale Griffweite in dieser Studie unterschied sich nicht deutlich von der Griffweite am Ende der Bewegung (siehe Abb. 10.4), wie man es beim Greifen nach realen Objekten erwarten würde. Somit entfiel größtenteils eine deutlich erkennbare schließende Bewegung der Hand, wie man sie beim Ergreifen von realen Objekten beobachten kann. Die maximalen Griffaperturen waren dennoch mit den zu greifenden Objekten korreliert (jeweils bezogen auf eine *Quell-* bzw. *Zielfigur*; vgl. Abb. 10.6 und Abb. 10.7). (2) Die absolut gemessenen Werte für das Greifen nach den zweidimensionalen Stimuli unterboten die tatsächlichen Objektgrößen. Bei einer realen Greifbewegung überschreitet die maximale Griffweite die tatsächliche Objektgröße, um nach der folgenden schließenden Bewegung von Daumen und Zeigefinger das Objekt umfassen zu können. Das Unterschreiten der tatsächlichen Objektgröße kann auf zwei Aspekte zurückgeführt werden: Zum einen wurden die Marker so an Daumen und Zeigefinger befestigt, dass sich diese bei Berührung des Monitors „nebeneinander“ und nicht „gegenüber“ befinden (Abb. 10.1). Auf diese Weise wurde gewährleistet, dass die Kameras zu jedem Zeitpunkt die Position der Marker erfassen konnten. Zum anderen führten die Probanden keine umschließenden Bewegungen aus, da die Objekte lediglich zweidimensional waren. Stattdessen ähnelte die Bewegung in gewisser Weise einer Zeigebewegung, wenn man die Finger einzeln betrachtet. Der Abstand der Finger zueinander kodierte jedoch die Größe des Objektes. Es lässt sich also sagen, dass die hier ausgeführten Bewegungen zwischen Greif- und einer Zeigebewegungen stehen. Bei einer „reinen“ Zeigebewegung würde man allerdings keine Assoziation von Perzeption und Handlung erwarten, sondern genau wie bei den Sakkaden eine Dissoziation, da beim Zeigen auf die Enden einer Figur der Sehwinkel und nicht die interpretierte Figurengröße entscheidend sein sollte. Für die hier durchgeführte Bewegung steht der „Anteil der Zeigebewegung“ also dem „Anteil der Greifbewegung“ gegenüber. Da der gemessene motorische Effekt jedoch keinen signifikanten Unterschied zum perzeptuellen Effekt aufweist, kann davon ausgegangen werden, dass die Bewegung eher als eine Greif- denn eine Zeigebewegung aufgefasst werden kann.

Hätte man die horizontalen Balken dreidimensional gestaltet, würde man im Wesentlichen den gleichen Ausgang für die Experimente erwarten. Zwar würde man vermutlich größere absolute Werte für die maximale Griffapertur erhalten, das generelle Muster der Unterschiede zwischen den Bedingungen sollte hingegen erhalten bleiben. Es müsste dann allerdings auch der perzeptuelle Effekt anhand dieser Stimuli erhoben werden, da ansonsten die Gefahr besteht, dass durch den gleichzeitigen Gebrauch von dreidimensionalen und zweidimensionalen Stimuli die Stärke der Illusion abnimmt.

Konsequenterweise würde man in diesem Fall auch fordern, die Amplituden von Sakkaden anhand dieser Stimuli zu untersuchen.

## 11 Allgemeine Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde der Zusammenhang von Perzeption und Handlung (ZPH) sowohl theoretisch als auch experimentell untersucht. Es ist dabei deutlich geworden, dass es *den* Zusammenhang nicht gibt. Die Fülle der unterschiedlichen Herangehensweisen und Operationalisierungen lassen eine solche Charakterisierung nicht zu. In einer ersten allgemeinen Annäherung kommen jedoch alle Ansätze darin überein, dass es nicht um die allgemeinen Prinzipien der einzelnen Komponenten (Perzeption oder Handlung) geht, sondern um ihr Zusammenwirken. So wird nicht etwa untersucht, wie eine Greifhandlung im Allgemeinen abläuft, sondern wie sich Variationen der tatsächlichen bzw. wahrgenommenen Größe, der Festigkeit, der Oberflächenbeschaffenheit, der Entfernung usw. auf die Handlung (und eventuell vice versa) auswirken. Unter Perzeption (Wahrnehmung) wird dabei meist der bewusste Eindruck über ein Objekt oder eine Szene verstanden. Bei Handlungen hingegen betont man ein zielgerichtetes Verhalten, das sich von „einfachen“ Bewegungen abgrenzt.

Für das Verständnis bisheriger Ansätze über den ZPH und die hier vertretene Sicht ist eine Betrachtung externalistischer und internalistischer Konzeptionen der Wahrnehmung unerlässlich. Die externalistische Sicht erweist sich dabei als diejenige, die den meisten Menschen als intuitiv richtig erscheint. Sie liegt den einflussreichsten Ansätzen der Wahrnehmungspsychologie und denen über den ZPH zugrunde (Treisman & Gelade, 1980; Milner & Goodale, 1995; Hommel et al., 2001). Eng verknüpft mit dieser Sicht ist die theoretische Betrachtung von den so genannten Illusionen. Demnach können, durch entsprechende Stimuli, *richtige* oder *falsche* Wahrnehmungen erzeugt werden. Eine *falsche* Wahrnehmung liegt dann vor, wenn die Wahrnehmung von der physikalischen Beschreibung des Reizes abweicht. Dies ist dann der Fall, wenn der *gleiche Reiz* (etwa der Planet einer Ebbinghaus Figur) *unterschiedlich wahrgenommen* wird, oder zwei physikalisch *verschiedene Reize* zur *gleichen Wahrnehmung* führen.

Aus einer internalistischen Sicht basiert die Definition einer Illusion auf der irrgläubigen Annahme, dass Wahrnehmung überhaupt mit einer physikalischen Beschreibung übereinstimmen kann. Wir sehen Farben statt Wellenlängen, wir hören Töne statt Luftdruckschwankungen, wir schmecken etwas Salziges statt Molekülstrukturen usw. Physikalische und psychologische Konzepte fallen immer

auseinander. Der Externalist ordnet also den physikalischen Beschreibungen eine Wahrnehmung zu und bemerkt dabei häufig nicht, dass er zwei Ebenen (die physikalische und die psychologische) ganz selbstverständlich miteinander verbindet.

Der Internalist hingegen betont die Wichtigkeit der (biologischen) Grundausstattung, die das Individuum mitbringt. Demnach kann die Wahrnehmung nur verstanden werden, wenn man die internen Konzepte herausfindet, die den jeweiligen Spezies inne sind. Die physikalischen Reize, denen man ausgesetzt ist, werden als Zeichen (Helmholtz, 1867) verstanden. Der Reiz selbst *besitzt* demnach nicht die Eigenschaften, die ein Externalist ihm zuschreibt. Entsprechend werden auch keine Unterscheidungen in reale oder illusorische Wahrnehmungen vorgenommen. Nähme ein Internalist die von Externalisten gegebene Definition einer Wahrnehmungstäuschung wörtlich, so wäre er gezwungen, jede Wahrnehmung als illusorisch zu klassifizieren, da die Wahrnehmung *immer* von der physikalischen Beschreibung abweicht.

Bisherige Ansätze, die sich mit dem ZPH beschäftigen, sind ausschließlich externalistisch geprägt. Die beiden wohl zurzeit einflussreichsten Theorien, die *Theory of Event Coding* (TEC, Hommel et al., 2001) und die *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) unterscheiden sich jedoch trotz der externalistischen Sicht grundlegend voneinander.

Die TEC versteht sich als *common-coding approach*. Es wird eine gemeinsame Kodierungsebene für perzeptuelle und motorische *Event codes* angenommen. Charakteristisch für diesen Ansatz ist die Verwendung assoziativer Paradigmen, in denen den Probanden bestimmte Regeln vorgegeben werden, die einen Reiz mit einer bestimmten Handlung verbinden. Die Handlung ist in der Regel jedoch nicht an den Reiz angepasst, d.h. die Versuchsperson soll beispielsweise einen bestimmten Knopf drücken, sobald ein bestimmter Reiz erscheint. Die Zuordnung von Reiz und ausgelöster Handlung ist demnach willkürlich gewählt und hat keine (natürliche) funktionelle Bedeutung. Bei den abhängigen Maßen handelt es dementsprechend meist um Reaktionszeiten oder um das Ausmaß des richtigen (im Sinne der Regel) Antwortverhaltens. Der Ansatz weist zwei wesentliche Schwächen auf, die ihn als wenig geeignet erscheinen lassen, um den ZPH zu untersuchen. Zum einen ist er zu beliebig in dem Sinn, dass die *Events* unbestimmt bzw. unterbestimmt sind. Zum anderen ist unklar, ob die verwendeten Paradigmen geeignet sind, um etwas über die zugrunde liegende Kodierung zu erfahren. Hier stellt sich insbesondere die Frage, ob die Operationalisierungen die gemeinten perzeptuellen und motorischen Kodierungen erfassen oder ob nicht vielmehr die Fähigkeit der Probanden überprüft wird, gelernte



Regeln anzuwenden. Unterschiede in den abhängigen Maßen könnten so auf unterschiedlich komplexe Regeln zurückführbar sein.

Ein alternativer und weit einflussreicherer Ansatz stellt die *Two Visual Systems Hypothesis* (TVSH, Milner & Goodale, 1995) dar. Diese versteht sich als *separate-coding approach*, d.h. die Theorie postuliert getrennte Verarbeitungen für perzeptuelle und motorische Inhalte. Im Gegensatz zu klassischen Stufenmodellen (Sanders, 1983) werden die angenommenen Systeme nicht als seriell, sondern als parallel arbeitend angenommen. Ein wesentliches Kennzeichen der TVSH ist ihre Anbindung an zwei Bahnsysteme, die ihren Ursprung im primären visuellen Kortex haben: die so genannte ventrale und dorsale Bahn. Diese Bahnen verknüpfen unterschiedliche Hirnareale (siehe Abb. 3.2) und sollen zwei funktionellen Systemen entsprechen, nämlich einem visuell-perzeptuellen und einem visuell-motorischen System. Neben klinischen Phänomenen, zu denen die Blindsight (Weiskrantz et al., 1974), die optische Ataxie (Rossetti et al., 2003) und die visuelle Agnosie (Biran & Coslett, 2003) gehören, ist es insbesondere ein experimentelles Paradigma, das Paradigma der visuellen Illusionen (PVI), welches zur großen Bekanntheit und Akzeptanz der TVSH beigetragen hat.

Während die TEC explizit auf die Verwendung (visueller) Illusionen verzichtet, da sie theoretisch nicht mit diesen umgehen kann, sollen diese im PVI dazu genutzt werden, Perception und Handlung voneinander zu dissoziieren und so die Annahmen über die getrennte Verarbeitung perzeptueller und motorischer Systeme zu bestätigen. Die zugrunde liegende Idee ist ausdrücklich externalistisch formuliert. Die Illusionen dienen dazu, das visuell-perzeptuelle System zu täuschen. Das visuell-motorische System hingegen sollte weitgehend immun gegen eine solche Täuschung sein, da dieses nach Ansicht von Milner und Goodale (1995) auf einer egozentrischen Kodierung im Gegensatz zu einer allozentrischen Kodierung des visuell-perzeptuellen Systems beruhen soll. Es existiert ein allgemein akzeptierter Konsens darüber, wie die Theorie mittels einer Entscheidungsregel getestet werden kann. Man misst perzeptuelle und motorische Effekte und vergleicht diese miteinander. Findet man einen Unterschied (Dissoziation), wird dies als Bestätigung für die TVSH aufgefasst (Aglioti et al., 1995). Gleichen sich die Effekte jedoch (Assoziation), so wird von einer gemeinsamen Kodierung ausgegangen (Franz et al., 2000). Wichtig zu betonen ist hier, dass von „richtigen“ und „falschen“ Wahrnehmungen und Handlungen gesprochen wird. Eine Assoziation im PVI bedeutet also das gleichzeitige Auftreten „falscher“ Wahrnehmungen und Handlungen, eine Dissoziation meist eine „falsche“ Wahrnehmung bei gleichzeitig „richtiger“ Handlung. Die umgekehrte Konstellation wird üblicherweise nicht beschrieben.

Aus einer internalistischen Sicht wird diese Entscheidungsregel jedoch als inadäquat zurückgewiesen. Nach diesem Ansatz werden die perzeptuellen und motorischen Effekte als Indikatoren für zugrunde liegende Konzepte und für funktionelle Anforderungen des jeweiligen *Outputs* (perzeptuell oder motorisch) angesehen. Dementsprechend werden, angepasst an den jeweiligen Stimulus und in Abhängigkeit der betrachteten perzeptuellen und motorischen Maße, sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen von Perzeption und Handlung erwartet. Es gibt demnach kein „richtig“ oder „falsch“ in Bezug auf die Perzeption oder die Handlung.

## 11.1 Zusammenfassung der Studien

Um diese Annahmen zu überprüfen, wurden vier Hypothesen aufgestellt, die in fünf Studien untersucht wurden. Es wurde angenommen, dass sich für dasselbe motorische Maß unter Verwendung unterschiedlicher Illusionen sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen von Perzeption und Handlung nachweisen lassen. Ebenso sollten sich für unterschiedliche motorische Maße unter Verwendung derselben Illusion sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen von Perzeption und Handlung zeigen lassen. Das Auftreten einer Dissoziation bzw. einer Assoziation sollte von den intern angesprochenen Konzepten und den funktionellen Anforderungen der jeweiligen Handlung abhängig sein. Für das Ergebnis der Handlung sollte es zudem unerheblich sein, ob man sich der Konzepte (wie etwa interpretierte Tiefe) bewusst ist oder nicht.

In *Studie 1* wurden perzeptuelle Effekte und motorische Effekte an der Müller-Lyer Illusion untersucht. In Hinblick auf die Hypothese, dass sich bei demselben motorischen Maß sowohl Dissoziationen als auch Assoziationen zeigen lassen sollten, erschien die Müller-Lyer Illusion ideal, da in zahlreichen Studien (Binsted & Elliott, 1999; Bernardis et al., 2005; de Grave et al., 2006a; de Grave et al., 2006b; Lavrysen et al., 2006; Knox & Bruno, 2007) deutliche motorische Effekte gefunden wurden, die annähernd an perzeptuellen Maßen liegen, so dass eine Assoziation unter Verwendung der Amplituden von Sakkaden nachgewiesen wurde. Da in der *Studie 2* (Steg Illusion) sowie den *Studien 3 und 4* (Ponzo Illusion) die Vorhersage einer Dissoziation von Perzeption und Handlung gemacht wurde (ebenfalls für die Amplituden von Sakkaden), konnte die Hypothese durch die Vergleiche der Ergebnisse der *Studie 1* mit den *Studien 2-4* überprüft werden. Ein weiterer Vorteil, der sich durch die Verwendung der Müller-Lyer Illusion ergab, war der Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Bestimmung des perzeptuellen Effektes. Auf diese Weise konnten die Überlegungen zur methodischen Fairness (siehe Kapitel 3.3.3.1) überprüft werden. Schließlich wurde noch der *center of gravity* Effekt an der Müller-Lyer Illusion untersucht (siehe Kapitel 3.3.2.2). Die

Existenz eines solchen zusätzlichen motorischen Effektes (neben dem illusorischen motorischen Effekt) würde der Interpretation der erwarteten Ergebnisse einer Assoziation zuwiderlaufen. Daher musste, sofern der Effekt existiert, dieser auf geeignete Art und Weise kontrolliert werden.

Für die perzeptuellen Ergebnisse an der Müller-Lyer Illusion wurden im Wesentlichen die gemachten Annahmen bestätigt. Der *Traditionelle Indirekte Vergleich* wies keinen kleineren perzeptuellen Effekt auf als die *Direkte Methode (Klein an Groß)*. Somit wurde, im Gegensatz zu den Befunden von Franz et al. (2000), kein Hinweis darauf gefunden, dass sich die Effekte verstärken, wenn man die „illusorischen Bedingungen“ direkt miteinander vergleicht, anstatt, wie bei der *Indirekten Methode*, ein „neutrales“ Objekt zum Abgleich zu verwenden. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den theoretischen Überlegungen zu diesen Methoden (siehe Kapitel 3.3.3.1).

Für den Vergleich von Perzeption und Handlung wurde der *Traditionelle Indirekte Vergleich* verwendet. Dieser Vergleich erscheint *fair*, da sowohl bei der Bestimmung des perzeptuellen als auch bei Bestimmung des motorischen Effektes die *Neutral-Figur* als Referenz verwendet wird.<sup>37</sup> Es zeigte sich ein motorischer Effekt, der sogar deutlich größer war als der perzeptuelle, was gewissermaßen einer Dissoziation in die entgegengesetzte Richtung (nach Erwartung von Vertretern der TVSH) entspricht. Dieses Ergebnis spricht gegen die TVSH, da sich nach dieser entweder kein oder nur ein deutlich kleinerer motorischer Effekt im Vergleich zum perzeptuellen Effekt ergeben sollte. Der Unterschied zwischen dem perzeptuellen und dem motorischen Effekt konnte durch einen (motorischen) *center of gravity* Effekt erklärt werden. Nach der Korrektur dieses Effektes (siehe Kapitel 6.2.2) konnten keine Unterschiede mehr zwischen dem perzeptuellen und dem motorischen Effekt festgestellt werden. Diese Korrektur wurde durchgeführt, um allgemeine Tendenzen der Sakkaden nach einem gedachten Mittelpunkt der jeweiligen Figuren (siehe Abb. 3.5) zu berichtigen. Nach dieser Korrektur konnte also eine Assoziation nachgewiesen werden. Es sei noch einmal daran erinnert, dass ohne eine solche Korrektur zwar von einer Dissoziation gesprochen werden kann, diese aber nicht mit der TVSH verträglich ist, da sie in die „falsche“ Richtung weist.

---

<sup>37</sup> Streng genommen stellt nicht die *Neutral-Figur*, sondern die jeweilige illusorische Bedingung die Referenz dar. Dies ist jedoch für die Bestimmung des korrigierten motorischen Effektes nicht von entscheidender Bedeutung. Zwar sind theoretisch minimale Unterschiede zwischen den motorischen Effekten für den *Traditionellen* und den *Umgekehrten Indirekten Vergleich* zu erwarten. Bei den hier erhaltenen Ergebnissen konnte jedoch kein statistischer Unterschied zwischen diesen Effekten ermittelt werden.

Einen sehr wichtigen Aspekt stellt die generelle Vorgehensweise zur Bestimmung des motorischen Effektes dar. Franz et al. (2000) führten die Korrektur um die Steigungen ein, die die tatsächliche Objektgröße mit der Größe des abhängigen Maßes verbinden (Kapitel 3.3.3.1). Das Ziel einer solchen Korrektur ist ein fairer Vergleich zwischen perzeptuellen und motorischen Maßen. Die grundlegende Idee für diese Korrektur lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: Unterscheidet sich die Steigung für den Zusammenhang von tatsächlicher Größe eines Objektes zur wahrgenommenen Größe von der Steigung der motorischen Messungen, dann muss eine Korrektur um diese Steigungen durchgeführt werden. Die Korrektur erfolgt dadurch, dass man den entsprechenden Effekt durch die erhaltene Steigung teilt. Führt man eine solche Korrektur nicht durch, dann wird man selbst für „neutrale“ Objekte (z.B. die *Neutral-Figur* der Müller-Lyer Illusion) eine Dissoziation von Perzeption und Handlung finden, sofern sich die erhaltenen Steigungen voneinander unterscheiden. Besonders deutlich wird dies bei Greifexperimenten, bei denen oft eine Steigung gemessen werden kann, die deutlich unter der für die perzeptuellen Messungen liegt (siehe auch *Studie 5*).

Auch bei den hier durchgeführten Experimenten wurde eine Korrektur um die Steigungen durchgeführt. Im Gegensatz zu bisherigen Studien (Franz et al., 2000; Franz, 2003a) wurden für die Müller-Lyer Illusion jedoch auch die Amplituden der Sakkaden für die *Neutral-Figur* gemessen. Auf diese Weise konnte die Steigung direkt ermittelt und nicht über die illusorischen Bedingungen geschätzt werden, wie dies sonst getan wurde. Es zeigte sich, dass die Steigung für diese Bedingung von der Steigung abweicht, die man aus dem arithmetischen Mittel der Steigungen aus den illusorischen Bedingungen erhält. Die hier verwendete Methode ist somit *fairer* als alle bisherigen Ansätze.

Aus der Verwendung der Müller-Lyer Illusion ergibt sich jedoch auch ein Nachteil: Die interne Bedeutung der Illusion ist weiterhin ungeklärt. Es existieren zwar die verschiedensten Versuche für Erklärungen (Gregory, 1966; Searleman et al., 2005), es bleibt jedoch unklar, inwiefern diese zutreffend sind. Somit konnte der Ausgang der Assoziation (bzw. der Dissoziation in die „falsche“ Richtung ohne eine Korrektur um den *center of gravity* Effekt) nicht aufgrund der internen Bedeutung vorhergesagt werden. Dies ist aber zunächst nicht entscheidend, da der wichtige Befund darin liegt, diese Assoziation mit der angenommenen Dissoziation bei der Steg Illusion und der Ponzio Illusion zu vergleichen. Es sei daran erinnert, dass die TVSH keinen Unterschied darin macht, welche Illusion und welches motorische Maß untersucht wird. Beide sind nur Mittel zum Zweck. Da die Entscheidungsregel nur darauf ausgelegt ist, Dissoziationen als Hinweis auf zwei Systeme und Assoziationen als Hinweis auf ein System anzusehen, würde das Auftreten von beidem bei ein und demselben Maß

(unabhängig von der Vorhersage durch interne Konzepte) die Entscheidungsregel als inadäquat ausweisen.

Dieser Nachweis gelang mit Hilfe der *Studien 2-4*. In *Studie 2* wurde die so genannte Steg Illusion untersucht, die in Anlehnung an die Ponzo Illusion geschaffen wurde. Bei dieser Illusion hat ein Betrachter den Eindruck, einen Steg entlangzuschauen, auf dem sich horizontale Balken in unterschiedlicher Entfernung von ihm befinden. Bei der Ponzo Illusion wird zwar von der gleichen intern angesprochenen Bedeutung ausgegangen, diese wird dem Betrachter aber nicht bewusst. Es sei darauf hingewiesen, dass auch das „Wissen“ des Betrachters um die interne Bedeutung nicht dafür sorgt, „Tiefe“ in der Ponzo Illusion zu sehen.

Die Ergebnisse für die Amplituden der Sakkaden fielen für die Steg Illusion erwartungsgemäß aus. Analog zu einer „realen“ dreidimensionalen Szene verhielten sich die Amplituden der Sakkaden gemäß des Sehwinkels, unter dem die Figuren den Probanden erschienen, und richteten sich nicht nach der wahrgenommenen Größe. Diese Dissoziation von Perzeption und Handlung steht somit im klaren Widerspruch zum Ergebnis aus *Studie 1*, in der eine Assoziation festgestellt wurde. Um zu überprüfen, ob diese gegensätzlichen Ergebnisse auf dem bewussten Erleben der Probanden über die intern angesprochene Bedeutung beruhen, wurde die Ponzo Illusion in *Studie 3* untersucht. Es zeigte sich auch hier im Wesentlichen das gleiche Ergebnis. Die Amplituden der Sakkaden waren nach der tatsächlichen und nicht nach der wahrgenommenen Größe skaliert. Ein Unterschied im Vergleich zur Steg Illusion bestand darin, dass ein *Reduktionseffekt* gefunden wurde, ähnlich dem, der in der Studie von Gilster et al. (2006) dargestellt ist. Die Amplituden der Sakkaden für Objekte, die von den konvergierenden Linien „eingerahmt“ wurden, waren leicht vermindert. Der Effekt war zwar relativ klein (~ 0,2 cm), dennoch war er statistisch nachweisbar.

Die Ursache für diesen *Reduktionseffekt* bleibt unklar. Nach der Interpretation von Gilster et al. (2006) könnte der bei der Ebbinghaus Illusion gefundene *Reduktionseffekt* für die maximalen Griffweiten auf funktionelle Besonderheiten des abhängigen Maßes zurückgehen. Demnach stellen die Trabanten der Ebbinghaus Illusion Hindernisse dar, die von der Hand vermieden werden müssen. Bemerkenswert war dies vor allem deshalb, da den Probanden die Zweidimensionalität der Trabanten bewusst war. Für die Amplituden von Sakkaden ist es jedoch aus funktioneller Sicht nicht verständlich, wieso diese ebenfalls reduziert sein sollten. Der Blick dürfte, anders als die Hand, nicht von Hindernissen beeinflusst werden. Ein möglicher Ansatzpunkt für eine Erklärung kann in den verwendeten Stimuli gesucht werden. Bei der Steg Illusion erscheinen die horizontalen Balken über dem Steg. Sie „schweben“ gewissermaßen im Raum. Bei der

Ponzo Illusion gibt es keine solche Trennung. Perzeptuell erscheinen die horizontalen Balken und die konvergierenden Linien in einer Ebene zu liegen. Selbst wenn man eine „Tiefe in das Bild hineindenkt“, bleiben die horizontalen Balken auf derselben „Höhe“ wie die konvergierenden Linien. Dies entspricht der Bahngleisinterpretation, bei der die Bahnschienen (die konvergierenden Linien) und die Bahnschwellen (die horizontalen Balken) eine „Höhenebene“ bilden, die Schwellen also nicht über den Schienen „schweben“. In Anlehnung an die Gestaltpsychologie könnte man auch sagen, dass die Balken und der Steg bei der Steg Illusion eine deutliche Figur-Grund Trennung aufweisen, während dies bei der Ponzo Illusion nicht der Fall ist. Dennoch bleibt unklar, wieso die Amplituden der Sakkaden unter dieser zweiten Bedingung vermindert ausfallen.

Der Vergleich der Ergebnisse für die Steg Illusion und die Ponzo Illusion regt eine interessante Frage an, nämlich die nach dem *adäquaten minimalen Reiz*. Der *Reduktionseffekt* zeigt, dass ein *fairer* Vergleich für Perzeption und Motorik von vielen Faktoren abhängig sein kann, die (nach heutigem Wissensstand) nicht ohne weiteres voraussehbar sind. Betrachtet man die Ponzo Illusion als eine Art *minimalen Stimulus* zur Anregung des Konzeptes *Tiefe*, so wäre man vielleicht geneigt zu folgern, dass auch die messbaren perzeptuellen und motorischen Effekte unter Nutzung eines minimalen Stimulus ein Minimum an Faktoren beinhalten. Die Steg Illusion, die unstrittig über die Klassifikation *minimaler Reiz* hinausgeht, würde demnach mindestens die Effekte enthalten, die der minimale Reiz angeregt hat und eventuell noch weitere, die durch die zunehmende *Reichhaltigkeit* des Reizes hinzukommen. Wie sich hier gezeigt hat, wäre dies jedoch eine irreführende Annahme. Die zunehmende *Reichhaltigkeit* des Reizes bei der Steg Illusion führte im Vergleich zur Ponzo Illusion dazu, dass „der gemeinte“ motorische Effekt, d.h. derjenige Effekt, der als funktionell für die untersuchte Handlung angenommen wird, sich ohne weitere Effekte (wie den hier gefundenen *Reduktionseffekt*) zeigt. Letztendlich stellt sich also auch wieder die Frage nach der *Fairness* beim Vergleich perzeptueller und motorischer Effekte. Durch die Verwendung unterschiedlicher Stimuli konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass zwischen den von der Theorie gemeinten Effekten und den tatsächlich messbaren Effekten noch deutliche Lücken existieren. Hier scheint noch ein großer Bedarf darin zu bestehen, mehr über zusätzlich wirksame Effekte zu lernen, die eigentlich nicht Teil der Theorie sind, aber die Ergebnisse in merklicher Weise beeinflussen können.

Der gefundene *Reduktionseffekt* bei der Ponzo Illusion für die Amplituden der Sakkaden verändert allerdings nicht das generelle Muster der Ergebnisse. Es lässt sich somit konstatieren, dass eine Assoziation von Perzeption und Handlung feststellbar ist, wenn die Müller-Lyer Illusion verwendet wird. Eine Dissoziation hingegen wurde gefunden,

wenn die Ponzo Illusion bzw. die Steg Illusion verwendet wird. Dieses Ergebnis ist nicht vereinbar mit der Entscheidungsregel des PVI. Nach dieser Regel würden die Ergebnisse gleichzeitig für zwei Systeme und für die Existenz nur eines Systems sprechen. Dies ist offensichtlich nicht möglich. Die Entscheidungsregel ist daher als inadäquat zurückzuweisen.

In *Studie 5* wurde die Ponzo Illusion mit einer weiteren abhängigen Variable untersucht, nämlich mit der maximalen Griffweite von Daumen und Zeigefinger beim Greifen nach den horizontalen Balken. Die Verwendung dieses Maßes stellte einen wichtigen Test für die gemachten Annahmen dar. Es wurde vorhergesagt, dass im Gegensatz zu den Amplituden von Sakkaden an der Ponzo Illusion, bei der eine Dissoziation festgestellt wurde, nun eine Assoziation von Perzeption und Handlung auftreten sollte. Diese Vorhersage bestätigte sich ebenfalls. Die maximalen Griffweiten waren nach der wahrgenommenen und nicht nach der tatsächlichen Größe der horizontalen Balken skaliert. Dies entspricht genau der Erwartung, die man hat, wenn man nach physikalisch unterschiedlich großen Objekten in einer „realen“ dreidimensionalen Szene greift. Da die hier vertretene Annahme darin besteht, dass die Ponzo Illusion auf einer solchen dreidimensionalen Szeneninterpretation beruht, stimmt das erhaltene Ergebnis mit dieser Annahme überein. Dies zeigt nicht nur wiederholt die Unangemessenheit der Entscheidungsregel des PVI, da für verschiedene motorische Handlungen sowohl eine Assoziation (beim Greifen) als auch eine Dissoziation (bei Sakkaden) an der Ponzo Illusion belegt wird, sondern demonstriert auch die Möglichkeit, mittels der angenommenen internen Konzepte unterschiedliche Vorhersagen für verschiedene abhängige Maße zu machen, die sich experimentell bestätigen lassen. Dies geht deutlich über die bisherigen Ansätze hinaus, die lediglich entweder eine Dissoziation bzw. eine Assoziation erwarten, je nachdem, ob man ein Befürworter der TVSH ist (Milner & Goodale, 1995) oder ob man Vertreter eines *common-coding* Ansatzes ist (Hommel et al., 2001; Franz et al., 2000).

Für die maximalen Griffweiten stellt sich jedoch in Anlehnung an die Befunde der Amplituden der Sakkaden ebenfalls die Frage, ob nicht auch bei diesem Maß ein *Reduktionseffekt* zu erwarten wäre. Es sei an den gefundenen Reduktionseffekt für die Griffaperturen in der Studie von Gilster et al. (2006) erinnert, die diesen Effekt für die Ebbinghaus Illusion zeigen konnten. Man würde daher folgern, dass auch bei der Ponzo Illusion ein solcher Effekt nachweisbar sein sollte. Der ermittelte motorische Effekt war zwar leicht kleiner als der perzeptuelle Effekt, dieser Unterschied wurde jedoch statistisch nicht signifikant. Hier wäre es sicher interessant, die Anzahl der Probanden zu erhöhen. Es könnte sich dann herausstellen, dass in der Tat ein Unterschied zwischen den Effekten besteht, der gerade den *Reduktionseffekt* darstellen sollte. An dieser Stelle

sei erwähnt, dass „kleine“ Unterschiede zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten nicht „zwingend“ für eine Dissoziation von Perzeption und Handlung sprechen. In der Tat existiert bis heute kein überzeugendes bzw. anerkanntes Kriterium, ab welchem Unterschied (d.h. ab welcher Größe) Vertreter oder Gegner der TVSH von einer Dissoziation sprechen wollen. Für die hier erhaltenen Ergebnisse kann jedoch konstatiert werden, dass selbst bei einem (hier nicht gefundenen) signifikantem Unterschied zwischen dem perzeptuellen und motorischen Effekt (für die Griffweiten) immer noch ein deutlich größerer Unterschied zwischen den beiden gemessenen motorischen Effekten (Sakkaden versus Griffaperturen) bestanden hätte. Die Ergebnisse für die Amplituden der Sakkaden an der Steg Illusion bieten einen möglichen Ausweg aus dieser unklaren Situation. Die Abwesenheit des *Reduktionseffektes* für die Steg Illusion bei den Sakkaden lässt vermuten, dass auch die Griffweiten unbeeinflusst von diesem Effekt sein sollten. Die Messung maximaler Griffweiten an der Steg Illusion scheint daher vielversprechend für zukünftige Untersuchungen.

Die eben angestellte Argumentation führt zu weiteren Schlussfolgerungen. Wenn man annimmt, dass ein *Reduktionseffekt* sowohl bei den Amplituden von Sakkaden als auch beim Greifen wirksam sein könnte, würde dies eine mögliche weitere Erklärung für bisherige Ergebnisse an der Ponzo Illusion liefern. Da der *Reduktionseffekt* der „illusorischen“ Wirkung entgegensteht, wäre man geneigt zu sagen, dass ein „nicht zu großer“ Unterschied zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten immer noch für eine Assoziation (und nicht für eine Dissoziation) spricht. Um eine solche Interpretation vorzunehmen, ist aber zwingend der Vergleich mit anderen motorischen Maßen nötig, wie hier mit den Amplituden von Sakkaden. Da für diese sogar ein „negativer“ motorischer Effekt gefunden wurde, d.h. also verringerte Amplituden von Sakkaden in Bedingungen, in denen der horizontale Balken größer wirkt, muss hier ein *Reduktionseffekt* angenommen werden. Über den Vergleich unterschiedlicher motorischer Maße können somit Unterschiede (bzw. keine Unterschiede) zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten in einem anderen Licht erscheinen.

Der Befund einer Assoziation von Perzeption und Handlung unter Nutzung der maximalen Griffweite bei der Ponzo Illusion kann zudem als eine weitere Kontrolle gegen den möglichen Einwand einer „lokalen“ motorischen Handlung im Vergleich mit einer eher „globalen“ perzeptuellen Verarbeitung aufgefasst werden. Der mögliche Einwand bezieht sich auf den Vergleich der Ergebnisse für die Müller-Lyer Illusion und die Ponzo Illusion. Während die „Illusion“ bei den Müller-Lyer Figuren auf die Figuren selbst, d.h. auf die *Arrows* an den horizontalen Balken zurückführbar ist, wird die illusorische Wirkung der Ponzo Illusion auf die gesamte Szene, d.h. inklusive der konvergierenden Linien, zurückgeführt. Die illusorische Wirkung der Ponzo Illusion



kann somit als global verstanden werden. Die Unterschiede zwischen den Amplituden der Sakkaden bei der Müller-Lyer Illusion und der Ponzo Illusion könnten auf dieser Unterscheidung beruhen. In *Studie 4* wurde versucht, dies durch ein verändertes Design an der Ponzo Illusion zu kontrollieren. Die Probanden wurden aufgefordert, sich die gesamte Szene über einen Zeitraum von acht Sekunden anzuschauen. Damit sollte gewährleistet werden, dass die Aufmerksamkeit der Probanden nicht nur auf den horizontalen Balken liegt. Die Versuchspersonen führten dann eine Reihe von Sakkaden an den horizontalen Balken durch, wobei die Ponzo Illusion während der gesamten Zeit sichtbar war. Die Ergebnisse dieser *Studie 4* unterschieden sich nicht von den Ergebnissen der *Studie 3*, so dass die zuvor gezogenen Schlussfolgerungen als gültig angesehen werden können. Die Untersuchung der maximalen Griffweite erlaubt ebenfalls diesen Schluss. Wäre die Argumentation gültig, dass die motorische Reaktion sich lokal verhält, so würde man auch für die maximalen Griffweiten eine Skalierung erwarten, die sich nach der tatsächlichen Größe der Objekte orientiert. Da sich die Griffaperturen jedoch nach der wahrgenommenen Größe richteten, ist dies ein weiterer Beleg für die Gültigkeit der hier gemachten Aussagen.

## 11.2 Konsequenzen für die Betrachtung des ZPH

Was bedeuten die hier dargestellten theoretischen Überlegungen und experimentellen Befunde nun für das Bild über den Zusammenhang von Perzeption und Motorik? Die Ergebnisse scheinen weder für bisherige Ansätze des *common-coding* (Hommel et al., 2001, Franz et al., 2000) noch für die des *separate-coding* der TVSH (Milner & Goodale, 1995) zu sprechen.

Diese Ansätze ignorieren im Wesentlichen die Funktionen, die sowohl durch die Wahrnehmung als auch durch die Handlung erfüllt werden. Diese stellen sich jedoch als die wichtigsten Komponenten zum Verständnis der erhaltenen Messergebnisse heraus. Für die Perzeption wird nach internalistischer Lesart eine repräsentationale Funktion angenommen. Die Repräsentation bezieht sich dabei immer auf eine dreidimensionale Szene. Die Inhalte dieser Szene werden durch die intern verfügbaren Konzepte bestimmt, die durch den Input angeregt werden. Der Input kann abstrakt auf dem Alberti-Fenster beschrieben werden. Für die Ponzo Illusion (bzw. analog für die Steg Illusion) wird demnach angenommen, dass die physikalisch gleich großen horizontalen Balken unterschiedlich große Objekte in einer dreidimensionalen Szene repräsentieren, die sich in unterschiedlicher Entfernung vom Beobachter befinden. Der perzeptuelle Effekt stellt einen Indikator für diese Interpretation dar. Da sowohl bei der Ponzo Illusion als auch bei der Steg Illusion perzeptuelle Effekte gemessen werden, kann dies

auch so verstanden werden, dass eine interne dreidimensionale Interpretation auch ohne einen bewussten Tiefeneindruck angeregt wird.

Für die untersuchten motorischen Handlungen wurden ebenfalls Funktionen angenommen, die sich auch in den erhaltenen Ergebnissen widerspiegeln. Beim Greifen nach einem Objekt muss dessen Größe adäquat in die Griffweite umgesetzt werden. Dementsprechend wird man eine geringere Griffweite für kleinere Objekte im Vergleich zu größeren Griffweiten beim Greifen nach größeren Objekten erwarten. Die gemessenen Griffweiten bei der Ponzo Illusion entsprechen dieser Erwartung, sofern man die dreidimensional angeregte Interpretation und nicht die zweidimensionale Größe der Balken der Ponzo Illusion, die tatsächlich gleich groß sind, zugrunde legt. Bei der Amplitude von Sakkaden müssen zwei Aspekte berücksichtigt werden: die interpretierte Größe der Figuren und die interpretierte Entfernung. Um das Objekt von einem Ende zum anderen Ende zu inspizieren, sollte der Sehwinkel herangezogen werden, der sich nach dem Emmertschen Gesetz (1881) aus dem Quotienten von der Größe des Objektes und der Entfernung des Objektes vom Beobachter ergibt. Da der Sehwinkel in der Ponzo Illusion für beide Balken gleich groß ist, wurden gleich große Amplituden von Sakkaden vorhergesagt. Auch dies bestätigte sich.

Milner und Goodale (1995) irren sich demnach aus ihrem externalistischen Verständnis heraus darin, dass eine Dissoziation im PVI zeigt, wie „korrekt“ das visuell-motorische und wie „falsch“ das visuell-perzeptuelle System arbeitet. Eine solche Zuschreibung wird den Phänomenen nicht gerecht. Das perzeptuelle System irrt sich nicht, sondern macht genau das, was es tun soll. Dissoziationen stellen keinen Fehler dar, sondern können Ausdruck ein- und desselben intern angesprochenen Konzeptes darstellen, so wie dies für die Ponzo Illusion beschrieben wurde. Die verwendeten visuellen Illusionen stellen dabei den Trigger für die intern verfügbaren Konzepte dar.

Die Begriffe Dissoziation bzw. Assoziation tragen demnach auch keine theoretische Bedeutung. Sie können eine solche gar nicht besitzen, da sie nur auf der illusorischen Ebene einer externalistischen Sicht als sinnvoll angesehen werden. Während also Vertreter eines externalistischen Ansatzes in einer Dissoziation bzw. einer Assoziation ein *erklärungswürdiges Phänomen* sehen, wird dies nach internalistischer Lesart verneint.

Im Gegensatz zu den Annahmen der TEC oder der TVSH bestehen die hier gemachten Annahmen zur Funktion des jeweiligen Outputs aus inhaltlichen Überlegungen, die immer spezifisch sind. Während die TEC als größtes Problem die völlige Abwesenheit funktioneller Überlegungen aufweist und stattdessen alle Befunde mittels der

angenommenen *Features* erklären möchte, bleibt die TVSH mit ihrer funktionellen Beschreibung des perzeptuellen Systems als allozentrisch und des motorischen Systems als egozentrisch so allgemein, dass dies in Verbindung mit der Annahme der Trennung in illusorische und reale Wahrnehmung zu nur einer möglichen Vorhersage führt. Diese hält einer empirischen Überprüfung jedoch nicht stand, wie sich in den hier durchgeführten Studien gezeigt hat.

Wie kann man sich nun die zugrunde liegende Logik des Zusammenhangs von Perception und Handlung vorstellen und wie unterscheidet sich diese von bisherigen Ansätzen? Statt wie die TVSH von zwei voneinander unabhängigen Systemen auszugehen, die den visuellen Input nach unterschiedlichen Vorgehensweisen (allozentrisch versus egozentrisch) auswerten, wird hier angenommen, dass die beobachtbaren Effekte (sowohl perzeptuell als auch motorisch) auf *demselben* angesprochenen Konzept beruhen. Bei diesem kann es sich z.B. um ein *Objekt* in einer *dreidimensionalen Szene* handeln. Zu diesem Objekt gehören bestimmte Parameter, wie Länge, Farbe, Form, Festigkeit usw. (Mausfeld, 2005a). Die messbaren Effekte im PVI sollen Ausdruck dieses angesprochenen Konzeptes sein. Ein ganz wesentlicher Unterschied zu der TEC besteht nun darin, dass nicht etwa unabhängige *Features* (die man in TEC schon vor dem Zusammenschluss zu Objekten mit Attributen wie rot, links, weit usw. kennzeichnet) durch das *Binding* zusammengeschlossen werden und so die Objekte gewissermaßen additiv bilden. Vielmehr wird davon ausgegangen, dass intern abstrakte Objektklassen vorliegen, zu denen die entsprechenden Parameter (wie Farbe, Form, Festigkeit usw.) gehören und die durch den Stimulus einen Wert zugewiesen bekommen. Illustriert wird diese Idee durch den in Kapitel 3.2 beschriebenen Necker Würfel sowie durch die Wahrnehmung von Transparenz (siehe Abb. 3.1), als auch durch die ausführlich dargestellte Adelson Illusion (Kapitel 1.3, siehe Abb. 1.3). Es gibt demnach keine *roten*, *linken* oder *großen* *Features*, unabhängig von Objekten oder Szenen, in denen diese Parameter eine Bedeutung haben.

Illustrativ kann man eine Analogie zu objektorientierten Programmiersprachen bilden (z.B. C++ oder Java). In diesen gibt es Klassen, die als abstrakte Datentypen aufgefasst werden können. Zu diesen Klassen gehören *Variablen* (Parameter), die bestimmte Werte annehmen können sowie bestimmte *Methoden* oder *Funktionen*, die es erlauben, Operationen auf diesen Datentypen vorzunehmen. Der Datentyp ist die abstrakte Vorlage für eine *Instanz*, die zur Laufzeit des Programms tatsächlich gebildet wird.

Bezogen auf die internen Konzepte würde man sagen, dass die Klasse *Dreidimensionales Objekt* intern verfügbar ist und durch den Stimulus (die Ponzo Illusion) eine *Instanz* (Balken einer bestimmten Länge, Farbe, Dicke usw.) basierend

auf diesem *Datentyp* gebildet wird. Beobachtbar ist immer nur die *Instanz*, von der auf den *abstrakten Datentyp* geschlossen werden kann. Genau dieser Schluss wird zur Erklärung der Ponzo Illusion, der Steg Illusion oder einer entsprechenden „realen“ dreidimensionalen Szene (siehe das Gedankenspiel in Kapitel 3.3.3.2) gezogen.

Diese Annahmen über die internen Konzepte, die sich in der Wahrnehmungspsychologie als äußerst erfolgreich erweisen, stellen sich auch bei motorischen Handlungen als der Schlüssel zum Verständnis für diese heraus, wie in der vorliegenden Untersuchung gezeigt werden konnte. Die Vorhersagen der motorischen Handlungen in den *Studien 2-5* basierten auf eben diesen Annahmen. Bisherige Ansätze machen weder diese Vorhersagen, noch können sie die erhaltenen Ergebnisse erklären.

Es sollte an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass die Annahme der Nutzung gleicher Konzepte durch das perzeptuelle und das motorische System nicht gleichzusetzen ist mit (bisherigen) Formulierungen des *common-codings*, was an der Unterscheidung der Bedeutung der *Features* in TEC und der internalistischen Sichtweise über intern verfügbare Objekte und deren (zu den Objekten gehörigen) Parametern deutlich wird. Man könnte sagen, dass der hier vertretene Ansatz einen *common-internal-meaning approach* darstellt: Die interne Bedeutung wird durch das perzeptuelle und das motorische System geteilt und ist auf eine dreidimensionale Szene bezogen. Der Output dieser Systeme ist durch die Funktion zu erklären, die jeweils in Bezug auf diese interne Bedeutung erfüllt werden soll.

Ein weiterer wichtiger Aspekt betrifft die Aussagekraft des hier vertretenen Ansatzes. Die Betrachtungen beziehen sich auf eine abstrakte Beschreibung der zugrunde liegenden Logik des Zusammenwirkens von Perzeption und Handlung. Eine solche Betrachtung ist vollständig unabhängig davon, wie dies (neurophysiologisch) implementiert ist. Dies bedeutet aber nicht, dass Befunde aus klinischen Studien an Patienten oder aus bildgebenden Studien ignoriert werden sollen. Vielmehr werden diese Daten, wie alle anderen auch, als weitere abhängige Maße verstanden, mit denen versucht werden kann, Erkenntnisse für die psychologischen Theorien zu gewinnen.

Im Folgenden soll daher noch einmal auf diese Befunde eingegangen werden. In Kapitel 3.3.1 wurde bereits ausführlich erläutert, dass die Daten zur Blindsight, der visuellen Agnosie und der optischen Ataxie weit weniger überzeugend sind, als teilweise von Vertretern der TVSH dargestellt. Die beiden letztgenannten sollen zusammen eine so genannte Doppeldissoziation konstituieren. Für eine Doppeldissoziation muss eine erste Entität ohne eine zweite und die zweite Entität ohne die erste vorliegen (Teuber, 1955). Nach den dargestellten Befunden in Kapitel 3.3.1 scheinen insbesondere bei den

optischen Ataxien häufig auch perzeptuelle Defizite bei den Patienten vorhanden zu sein. Eine „harte“ Formulierung einer Doppeldissoziation, nach der man fordern würde, zum einen Patienten mit „reinen visuellen Agnosien“ (nur perzeptuelle Defizite) und zum anderen Patienten mit „reinen optischen Ataxien“ (nur motorische Defizite) vorzuweisen, ist entsprechend schwer zu rechtfertigen.

Eine interessante Frage stellt sich jedoch danach, was eine tatsächlich existierende *reine* Doppeldissoziation für die TVSH und den hier vertretenen Ansatz bedeuten würde. Nach gängiger Ansicht würde diese für die Unabhängigkeit der angenommenen Systeme sprechen. Es bleiben jedoch Alternativen zu dieser Interpretation, die mit dem hier vertretenen Ansatz verträglich wären. Demnach würde ein solcher Befund zwar darauf hindeuten, dass man es mit zwei voneinander unterscheidbaren Output Systemen (perzeptuell und motorisch) zu tun hat, dies lässt jedoch dennoch zu, dass sie auf dieselbe interne Konzeptstruktur zurückgreifen. Jedes Output System würde demnach spezifische Verarbeitungen durchlaufen (möglicherweise implementiert in der dorsalen und der ventralen Bahn), die aber auf einer gemeinsamen „höherstufigen“ Interpretation beruhen und dementsprechend nicht voneinander unabhängig sind. In diesem Sinn ist auch zu verstehen, dass es nicht *den* motorischen Output gibt, sondern auch hier eine Unterscheidung getroffen werden muss zwischen unterschiedlichen funktionellen Anforderungen, die an die jeweilige Handlung geknüpft sind. Nur so ist zu erklären, dass beim Greifen nach unterschiedlich großen Objekten die Griffweite an diese Größen angepasst sind (d.h. also unterschiedliche Griffweiten), bei den Amplituden von Sakkaden nach diesen Objekten (wenn sie den gleichen Sehwinkel zum Beobachter durch unterschiedliche Entfernungen aufweisen) jedoch gleich große Sakkaden zu messen sind. Der jeweilige motorische Output (Greifen versus Sakkaden) unterliegt somit unterschiedlichen funktionellen Anforderungen und muss dementsprechend spezifisch verarbeitet werden. Nichtsdestoweniger basieren nach dem hier vertretenen Ansatz die spezifischen Verarbeitungen auf demselben internen Konzept und nicht auf verschiedenen prinzipiellen Verarbeitungen, die sich als allozentrisch (perzeptuelles System nach der TVSH) oder egozentrisch (motorisches System) charakterisieren lassen. Eine *reine* Doppeldissoziation von Perception und Handlung wäre also nicht einmal ein schlüssiger Hinweis auf die Gültigkeit der TVSH. Sie ist mit mindestens einem anderen Ansatz, nämlich dem hier vertretenen, vereinbar.

Ein ganz ähnlich gelagertes Problem ergibt sich bei Studien zur funktionellen Bildgebung, wobei die meisten Studien die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) nutzen. Es existieren zahlreiche Studien, die vornehmlich daran interessiert sind, die Beteiligungen der dorsalen und ventralen Bahnen an perzeptueller und motorischer Verarbeitung aufzuzeigen (Lee & van Donkelaar, 2002; Culham et al.,

2003; Shmuelof & Zohary, 2005; Valyear et al., 2006; Rice et al., 2007; Króliczak et al., 2007; Cavina-Pratesi et al., 2007).

Die Ergebnisse dieser Studien werden von den Autoren als Bestätigung für die TVSH aufgefasst. Es stellt sich jedoch auch hier die Frage, genau wie bei der Diskussion um Doppeldissoziationen, ob zwischen den psychologischen Annahmen der TVSH und dem hier vertretenen Ansatz durch Hilfe bildgebender Studien entschieden werden kann. Dies muss verneint werden. Der hier vertretene Ansatz ist unabhängig von der neuronalen Implementierung. Er beschreibt eine mögliche zugrunde liegende Logik der Kodierung perzeptueller und motorischer Inhalte.<sup>38</sup> Auf dieser Ebene sind die TVSH und die internalistische Sichtweise nicht verträglich.

### 11.3 Einschränkungen der durchgeführten Studien

Im Folgenden sollen Einschränkungen der durchgeführten Studien zusammenfassend dargestellt und diskutiert werden. In *Studie 1* wurde die Müller-Lyer Illusion in einem perzeptuellen und einem motorischen Experiment untersucht. Für diese Illusion gibt es bis heute keine schlüssige und allgemein akzeptierte „Erklärung“. Ein großer Teil dieser Untersuchung behandelt jedoch die Wichtigkeit der internen Bedeutung, nach der immer gefragt werden sollte, wenn man verstehen möchte, wieso ein bestimmtes Ergebnis (in diesem Fall eine Assoziation von Perzeption und Handlung) zu erwarten ist. Auf diese Frage wurde auch in *Studie 1* keine Antwort gegeben. Das Argument hierfür ist denkbar einfach: Es sollte lediglich gezeigt werden, dass Assoziationen von Perzeption und Handlung bei dieser Illusion auftreten (wobei die Vorhersage einzig und allein auf vorherigen Studien beruhte), um dieses Ergebnis mit dem theoretisch vorhergesagten Ergebnis an der Steg Illusion und der Ponzo Illusion vergleichen zu können, bei denen eine Dissoziation von Perzeption und Handlung (für Sakkaden) angenommen und auch bestätigt wurde. Durch dieses Vorgehen konnte zwar gezeigt werden, dass das Paradigma der visuellen Illusionen mit der zugehörigen Entscheidungsregel nicht angemessen ist; eine Erklärung dafür, warum eine Assoziation von Perzeption und Handlung bei der Müller-Lyer Illusion vorliegt, bleibt jedoch offen.

In *Studie 5* wurde das Greifen an der Ponzo Illusion untersucht. Tatsächlich waren die zu ergreifenden Objekte jedoch lediglich zweidimensionale Striche auf dem

---

<sup>38</sup> In Bezug auf Marr (1982, siehe Kapitel 1.2) betrifft dies die erste Ebene (*Computational theory*), in der die abstrakte Logik einer Aufgabe beschrieben wird, sowie die zweite Ebene (*Representation and algorithm*), in der der Input und der Output betrachtet werden, ebenfalls auf einer abstrakten Beschreibungsebene.

Computermonitor, so dass die Probanden keine „reale“ Greifhandlung ausführten. Da das Zielobjekt am Ende der Bewegung nicht in die Hand genommen werden konnte, gibt es kein haptisches Feedback für den Probanden. Die Bewegungsprofile dieser Greifhandlungen kann man als einen Mix aus einer Greif- und einer Zeigebewegung auffassen. Die ermittelten absoluten maximalen Griffweiten waren im Vergleich zu den Erwartungen, die man beim Greifen nach realen Objekten hat, vermindert.

Zu beachten ist jedoch folgendes: Bei der durchgeführten Bewegung sollten der Daumen und der Zeigefinger auf die Endpunkte der horizontalen Balken geführt werden. Der Abstand der Finger kodiert nach den hier gemachten Annahmen die interpretierte Länge dieser Balken. Selbst wenn man diese Bewegung eher als Zeigebewegung anstelle einer Greifbewegung auffassen möchte, unterscheidet sich diese von einer Zeigebewegung, die nur mit einem Finger durchgeführt wird. Bei letzterer ist nicht die (interpretierte) Länge entscheidend, sondern nur noch die gesehene Position des Ziels. Unter diesen Umständen würde man erwarten, dass beim Zeigen auf diese Endposition mit nur einem Finger kein Unterschied zwischen den Bedingungen für die unterschiedlich groß wahrgenommenen (aber tatsächlich gleich großen) Objekten bestehen sollte. Hier gilt die gleiche Argumentation wie beim Schwinkel für die Amplituden der Sakkaden, da die Endpunkte dieser dreidimensional interpretierten Figuren „den gleichen Schnittpunkt“ auf der zweidimensionalen Monitorebene aufweisen. Der erhaltene Unterschied für die Griffweiten unter Nutzung von Daumen und Zeigefinger deutet aber tatsächlich auf die intendierte Längenkodierung hin.

Eine offensichtliche Alternative wäre es, die Probanden nach dreidimensionalen Objekten („Stöckchen“) greifen zu lassen, so wie dies analog auch schon in zahlreichen anderen Studien im PVI durchgeführt wurde (Aglioti et al., 1995; Daprati und Gentilucci, 1997). Eine sich ergebende Schwierigkeit ist hier jedoch die Vergleichbarkeit mit den perzeptuellen und den motorischen Maßen für die Amplituden von Sakkaden. Es kann nämlich nicht ausgeschlossen werden, dass die Verwendung realer Balken zu einer verminderten „illusorischen“ Wirkung führt, die den zu zeigenden Effekten zuwiderläuft. Dies kann besonders dann erwartet werden, wenn die realen Balken sich so deutlich vom restlichen Stimulus abheben, dass sie keine einheitliche „Gestalt“ mit dem Hintergrund bilden. Konsequenterweise müssten dann auch die perzeptuellen und die motorischen Messungen für die Sakkaden mit diesen realen Balken durchgeführt werden. Insbesondere der perzeptuelle Abgleich sollte durch ein solches Verfahren deutlich aufwendiger werden.

Eine möglichst gute Vergleichbarkeit der verschiedenen Effekte war eines der gesteckten Ziele dieser Untersuchung. Nach den Voruntersuchungen an der Ponzo

Illusion zum Greifen stellte sich jedoch ein Höheneffekt heraus, der in Kapitel 10.1.1 beschrieben wurde. Aus diesem Grund mussten die Stimuli für die Ponzo Illusion in der Höhe so angepasst werden, dass die zu ergreifenden Balken sich bei jedem Durchgang auf exakt gleicher Höhe befanden. Streng genommen waren die Stimuli in den *Studien 3 und 4* (Sakkaden) also nicht vollständig mit denen aus *Studie 5* (Greifen) identisch. Es sei hier angemerkt, dass ein solcher Höheneffekt für die Amplituden von Sakkaden in den durchgeführten Vorversuchen nicht feststellbar war. Die Ergebnisse der *Studien 3 und 4* sind also nicht auf diesen Effekt zurückführbar.

Eine Studie zum Greifen nach der Steg Illusion wurde nicht durchgeführt. Die Erwartungen an die Ergebnisse sind hier die gleichen wie für die Ponzo Illusion. Auch hier wäre es wünschenswert, die maximale Griffweite beim Greifen nach realen Balken zu untersuchen.

Die Anzahl der Probanden (acht in den *Studien 1 und 2*; sieben in den *Studien 3-5*) in den jeweiligen Studien lag an der unteren Grenze für die parametrische Auswertung. Eine Erhöhung der Probandenzahl in den Studien hätte jedoch zu erheblich größerem Aufwand für die Auswertung geführt. Es sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, dass jeder Proband zahlreiche perzeptuelle Abgleiche (8 - 10 Wiederholungen pro Versuchsbedingung), Sakkaden (12 - 16 Wiederholungen) und/oder Greifbewegungen (16 Wiederholungen) in den jeweiligen Studien durchgeführt hat. Die Ergebnisse für jeden einzelnen Probanden können daher als verlässlich eingestuft werden.

Daher wurde entschieden, eher eine weitere Studie (*Studie 5*) durchzuführen und damit die inhaltliche Aussagekraft dieser Untersuchung zu steigern, als durch eine Erhöhung der Probandenzahlen in den übrigen Studien die Sicherheit der Ergebnisse in diesen Studien zu erhöhen. Als Alternative bei der geringen Anzahl der Probanden hätten sich nonparametrische Verfahren angeboten. Prinzipiell wird man hier jedoch keine nennenswerten Unterschiede in den „Kernaussagen“ erwarten können. Dafür waren, dies kann man generell festhalten, die erhaltenen Effekte zu deutlich.



## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit stellt eine theoretische und experimentelle Untersuchung über den Zusammenhang von Perzeption und Handlung dar. Als ein wesentliches Kernproblem bei der Frage nach diesem Zusammenwirken kann die Art der (abstrakten) Kodierung perzeptueller und motorischer Inhalte identifiziert werden. Ein experimentelles Paradigma, das so genannte Paradigma der visuellen Illusionen (PVI), wird in bisherigen Ansätzen als eine Möglichkeit angesehen, auf die zugrunde liegenden Kodierungen zu schließen. Die visuellen Illusionen werden dafür benutzt, „illusorische“ Wahrnehmungen zu erzeugen, und diese mit motorischen Handlungen zu vergleichen, die an diesen Illusionen durchgeführt werden. Nach einer allgemein akzeptierten Entscheidungsregel werden Dissoziationen (d.h. Unterschiede zwischen den erhaltenen perzeptuellen und motorischen Effekten) als Beleg für getrennte perzeptuelle und motorische Kodierungen angesehen (*Two Visual Systems Hypothesis*, TVSH, Milner & Goodale, 1995), während Assoziationen (d.h. keine Unterschiede zwischen perzeptuellen und motorischen Effekten) als Beleg für eine gemeinsame Kodierung aufgefasst werden (Franz et al., 2000).

Aus einer internalistischen Sicht, die Wahrnehmung nicht in die Kategorien „real“ und „illusorisch“ einteilt, wurden die Schlussfolgerungen aus dem PVI infrage gestellt. In den durchgeführten Studien wurde gezeigt, dass (1) für dasselbe motorische Maß (Amplituden von Sakkaden) sowohl eine Assoziation (unter Verwendung der Müller-Lyer Illusion) als auch eine Dissoziation (Ponzo Illusion bzw. die Steg Illusion als eine Abwandlung der Ponzo Illusion) von Perzeption und Handlung und (2) für dieselbe Illusion (Ponzo Illusion) sowohl eine Assoziation (maximale Griffweite) als auch eine Dissoziation (Amplituden von Sakkaden) für verschiedene motorische Maße nachweisbar sind. Die Entscheidungsregel konnte demnach als nicht angemessen zurückgewiesen werden. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse an der Steg Illusion und der Ponzo Illusion unter der Annahme einer internen Bedeutung dieser Illusionen vorhergesagt. Die interne Bedeutung bezieht sich auf eine dreidimensionale Szeneninterpretation, die durch die Stimuli angeregt wird.

Die Ergebnisse sind nicht vereinbar mit bisherigen Formulierungen über den Zusammenhang von Perzeption und Handlung. Stattdessen wird von einer gemeinsamen Kodierungsebene ausgegangen, die jedoch nicht auf einzelnen *Features* basiert (*Theory of Event Coding*, Hommel et al., 2001), sondern auf intern verfügbaren Konzepten, die darauf ausgelegt sind, dreidimensionale Szenen zu repräsentieren.

## LITERATUR

- Adelson, E. H. (1993). Perceptual organization and the judgement of brightness. *Science*, 262, 2042-2044.
- 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.
- Allport, D. A. (1987). Selection for Action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action. In H. Heuer & F. Sanders (Hrsg.), *Perspectives on perception and action* (S. 395-419). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Allport, D. A., Tipper, S. P. & Chmiel, N. R. J. (1985). Perceptual integration and postcategorical filtering. In M. I. Posner & O. S. Marin (Hrsg.), *Attention and Performance XI* (S. 107-132). Erlbaum.
- Aristoteles. Metaphysik 1041 b 10 (VII. Buch (Z))
- Bahill, A. T., Clark, M. R. & Stark, L. (1975a). Computer Simulation of Overshoot in Saccadic Eye Movements. *Computer Programs in Biomedicine*, 4, 230-236.
- Bahill, A. T., Clark, M. R. & Stark, L. (1975b). Dynamic overshoot in Saccadic Eye Movements is Caused by Neurological Control Signal Reversals. *Experimental Neurology*, 48, 107-122.
- Bahill, A. T., Clark, M. R. & Stark, L. (1975c). The Main Sequence, A Tool for Studying Human Eye Movements. *Mathematical Biosciences*, 24, 191-204.
- Bálint, R. (1909). Seelenlähmung des "Schauens", optische Ataxie, räumliche Störung der Aufmerksamkeit. *Monatsschrift für Psychiatrie und Neurologie*, 25, 51-81.
- Bartelt, R. & Darling, W. G. (2002). Opposite effects on perception and action induced by the Ponzo illusion. *Experimental Brain Research*, 146, 433-440.
- Becker, W. & Fuchs, A. F. (1969). Further properties of the human saccadic system: Eye movements and correction saccades with and without visual fixation points. *Vision Research*, 9, 1247-1258.
- Becker, W. & Jürgens, R. (1990). Human oblique saccades: Quantitative analysis of the relation between horizontal and vertical components. *Vision Research*, 30, 893-920.
- Bernardis, P., Knox, P. & Bruno, N. (2005). How does action resist visual illusion? Uncorrected oculomotor information does not account for accurate pointing in peripersonal space. *Experimental Brain Research*, 162, 133-144.

## Literatur

- Binsted, G. & Elliott, D. (1999). The Müller-Lyer illusion as a perturbation to the saccadic system. *Human Movement Science*, 18, 103-117.
- Biran, I. & Coslett, H. B. (2003). Visual Agnosia. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 3, 508-512.
- Boghen, D., Troost, B. T., Daroff, R. B., Dell'Osso, L. F. & Birkett, J. E. (1974). Velocity characteristics of normal human saccades. *Investigative Ophthalmology*, 13(8), 619-623.
- Brenner, E. & Smeets, J. B. J. (1996). Size illusion influences how we lift but not how we grasp an object. *Experimental Brain Research*, 111, 473-476.
- Bridgeman, B. (1990). The physiological basis of the act of perceiving. In O. Neumann & W. Prinz (Hrsg.), *Relationships between perception and action* (S. 21-41). Berlin: Springer.
- Bridgeman, B., Lewis, S., Heit, G. & Nagle, M. (1979). The relationship between cognitive and motor-oriented systems of visual position perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 692-700.
- Bruno, N. (2001). When does action resist visual illusions? *TRENDS in Cognitive Sciences*, 5(9), 379- 382.
- Bruno, N. & Bernardis, P. (2002). Dissociating perception and action in Kanizsa's compression illusion. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 723-730.
- Bruno, N. & Bernardis, P. (2003). When does action resist visual illusions? Effector position modulates illusory influences on motor responses. *Experimental Brain Research*, 151, 225-237.
- Burr, D. C., Morrone, M. C. & Ross, J. (1994). Selective suppression of the magnocellular visual pathway during saccadic eye movements. *Nature*, 371, 511-513.
- Campion, J., Latto, R. & Smith, Y. M. (1983). Is blindsight an effect of scattered light, spared cortex, and threshold vision? *The Behavioral and Brain Sciences*, 6, 423-486.
- Carey, D. P. (2001). Do action systems resist visual illusions? *TRENDS in Cognitive Sciences*, 5(3), 109- 113.
- Caveman. (2000). Sticky Wicket: The invited review. *Journal of Cell Science*, 113, 3125-3126.
- Cavina-Pratesi, C., Goodale, M. A. & Culham, J. C. (2007). fMRI Reveals a Dissociation between Grasping and Perceiving the Size of Real 3D Objects. *PLoS ONE*, 5, 1-14.

## Literatur

- Coren, S. & Girgus, J. S. (1972). A comparison of five methods of illusion measurement. *Behavior Research and Instrumentation*, 4(5), 240-244.
- Coren, S. & Girgus, J. S. (1978). *Seeing is Deceiving*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Culham, J. C., Danckert, S. L., DeSouza, J. F. X., Gati, J. S., Menon, R. S. & Goodale, M. A. (2003). Visually guided grasping produces fMRI activation in dorsal but not ventral stream brain areas. *Experimental Brain Research*, 153, 180-189.
- D'Zmura, M., Colantoni, P., Knoblauch, K. & Laget, B. (1997). Color transparency. *Perception*, 26, 471-492.
- Danckert, J. A., Sharif, N., Haffenden, A. M., Schiff, K. C. & Goodale, M. A. (2002). A temporal analysis of grasping in the Ebbinghaus illusion: planning versus online control. *Experimental Brain Research*, 144, 275-280.
- Danckert, J. & Rossetti, Y. (2005). Blindsight in action: what can the different subtypes of blindsight tell us about the control of visually guided actions? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 29, 1035-1046.
- Daprati, E. & Gentilucci, M. (1997). Grasping an illusion. *Neuropsychologia*, 35(12), 1577-1582.
- De Grave, D. D. J., Biegstraaten, M., Smeets, J. B. J. & Brenner, E. (2005). Effects of the Ebbinghaus figure on grasping are not only due to misjudged size. *Experimental Brain Research*, 163, 58-64.
- De Grave, D. D. J., Brenner, E. & Smeets, J. B. J. (2004). Illusions as a tool to study the coding of pointing movements. *Experimental Brain Research*, 155, 56-62.
- De Grave, D. D. J., Franz, V. H. & Gegenfurtner, K. R. (2006a). The influence of the Brentano illusion on eye and hand movements. *Journal of Vision*, 6, 727-738.
- De Grave, D. D. J., Smeets, J. B. J. & Brenner, E. (2006b). Why are saccades influenced by the Brentano illusion? *Experimental Brain Research*, 175, 177-182.
- De Valois, R. L., Morgan, H. C., Polson, M. C., Mead, W. R. & Hull, E. M. (1974). Psychophysical studies of monkey vision. I. Macaque luminosity and color vision tests. *Vision Research*, 14(1), 53-67.
- De Valois, R. L., Morgan, H. & Snodderly, D. M. (1974). Psychophysical studies of monkey vision. III. Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers. *Vision Research*, 14(1), 75-81.
- Dewar, M. T. & Carey, D. P. (2006). Visuomotor 'imunity' to perceptual illusion: A mismatch of attentional demands cannot explain the perception-action dissociation. *Neuropsychologia*, 44, 1501-1508.

## Literatur

- Dijkerman, H. C., Le, S., Démonet, J.-F. & Milner, A. D. (2004). Visuomotor performance in a patient with visual agnosia due to an early lesion. *Cognitive Brain Research*, 20, 12-25.
- Dodge, R. (1903). Five types of eye movement in the horizontal meridian plane of the field of regard. *American Journal of Physiology*, 8, 307-329.
- Doma, H. & Hallett, P. E. (1988). Dependence of saccadic eye-movements on stimulus luminance, and an effect of task. *Vision Research*, 28(8), 915-924.
- Donders, F. C. (1869). On the speed of mental processes. *Acta Psychologica*, 30, 412-431.
- Donkelaar, P. v. (1999). Pointing movements are affected by size-contrast illusions. *Experimental Brain Research*, 125, 517-520.
- Dyde, R. T. & Milner, A. D. (2002). Two illusions of perceived orientation: one fools all of the people some of the time; the other fools all of the people all of the time. *Experimental Brain Research*, 144, 518-527.
- Ehrsson, H. H., Fagergren, A. & Forssberg, H. (2001). Differential Fronto-Parietal Activation Depending on Force Used in a Precision Grip Task: An fMRI Study. *Journal of Neurophysiology*, 85, 2613-2623.
- Ellis, R. R., Flanagan, J. R. & Lederman, S. J. (1999). The influence of visual illusions on grasp position. *Experimental Brain Research*, 125, 109-114.
- Elsner, B. & Hommel, B. (2004). Contiguity and contingency in action-effect learning. *Psychological Research*, 68, 138-154.
- Emmert, E. (1881). Größenverhältnisse der Nachbilder. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 19, 443-450.
- Faul, F. (1997). Theoretische und experimentelle Untersuchung chromatischer Determinanten perzeptueller Transparenz. *Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel*.
- Findlay, J. M. (1982). Global visual processing for saccadic eye movements. *Vision Research*, 22, 1033-1045.
- Fitts, P. M. (1957). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Flanagan, J. R. (1996). Action-Perception Coupling in Judgments of Hand-Held Loads. In A. M. Wing, P. Haggard & J. R. Flanagan (Hrsg.), *Hand and Brain: The Neurophysiology and Psychology of Hand Movements* (S. 415-430). San Diego: Academic Press.

## Literatur

- Forsberg, H. (1998). The Neurophysiology of Manual Skill Development. In K. J. Connolly (Hrsg.), *The Psychobiology of the Hand* (S. 97-122). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Franz, V. H. (2001). Action does not resist visual illusions. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 5(11), 457-459.
- Franz, V. H. (2003a). Manual size estimation: a neuropsychological measure of perception? *Experimental Brain Research*, 151, 471-477.
- Franz, V. H. (2003b). Planning versus online control: dynamic illusion effects in grasping? *Spatial Vision*, 16, 211-223.
- Franz, V. H., Bühlhoff, H. H. & Fahle, M. (2003). Grasp effects of the Ebbinghaus illusion: obstacle avoidance is not the explanation. *Experimental Brain Research*, 149, 470-477.
- Franz, V. H., Fahle, M., Bühlhoff, H. H. & Gegenfurtner, K. R. (2001). Effects of Visual Illusions on Grasping. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 1124-1144.
- Franz, V. H., Gegenfurtner, K. R., Bühlhoff, H. H. & Fahle, M. (2000). No Evidence for a Dissociation Between Perception and Action. *Psychological Science*, 11(1), 20-25.
- Gancarz, G. & Grossberg, S. (1998). A neural model of the saccade generator in the reticular formation. *Neural Networks*, 11, 1159-1174.
- Garcin, R., Rondot, P. & de Recondo, J. (1967). Optic ataxia localized in two left homonymous visual hemifields. *Revue neurologique*, 116, 707-714.
- Gazzaniga, M. S., Fendrich, R. & Wessinger, C. M. (1994). Blindsight reconsidered. *Current Directions in Psychological Science*, 3, 93-96.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B. & Mangun, G. R. (1998). *Cognitive Neuroscience*. New York: Norton & Company.
- Gentilucci, M., Chieffi, S., Daprati, E., Saetti, M. C. & Toni, I. (1996). Visual illusion and action. *Neuropsychologia*, 34(5), 369-376.
- Gentilucci, M., Fogassi, L., Luppino, G., Matelli, M., Camarda, R. & Rizzolatti, G. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. *Experimental Brain Research*, 71, 475-490.
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Gilster, R., Kuhtz-Buschbeck, J. P., Wiesner, C. D. & Ferstl, R. (2006). Grasp effects of the Ebbinghaus illusion are ambiguous. *Experimental Brain Research*, 171(3), 416-420.

## Literatur

- Glazebrook, C. M., Dhillon, V. P., Keetch, K. M., Lyons, J., Amazeen, E., Weeks, D. J. & Elliott, D. (2005). Perception-action and the Müller-Lyer illusion: amplitude or endpoint bias. *Experimental Brain Research*, 160, 71-78.
- Glover, S. (2002). Visual illusions affect planning but not control. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 6(7), 288-292.
- Glover, S. (2003). Optic ataxia as a deficit specific to the on-line control of action. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 27, 447-456.
- Glover, S. (2004). Separate visual representations in the planning and control of action. *Behavioral and brain sciences*, 27, 3-78.
- Glover, S. & Dixon, P. (2001). Motor adaptation to an optical illusion. *Experimental Brain Research*, 137(2), 254-258.
- Glover, S. & Dixon, P. (2002). Dynamic effects of the Ebbinghaus illusion in grasping: support for a planning/control model of action. *Perception & Psychophysics*, 64, 266-278.
- Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Goodale, M. A. (1998). Visuomotor control: Where does vision end and action begin? *Current Biology*, 8, 489-491.
- Goodale, M. A. & Haffenden, A. (1998). Frames of Reference for Perception and Action in the Human Visual System. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 22(2), 161-172.
- Goodale, M. A., Jakobson, L. S. & Keillor, J. M. (1994). Differences in the visual control of pantomimed and natural grasping movements. *Neuropsychologia*, 32(10), 1159-1178.
- 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.
- Goodale, M. A. & Westwood, D. A. (2004). An evolving view of duplex vision: separate but interacting cortical pathways for perception and action. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 203-211.
- Gregory, R. L. (1966). *Eye and brain*. New York: McGraw-Hill.
- Groner, R. & Groner, M. T. (1989). Attention and Eye Movement Control: An Overview. *European Archives of Psychiatry and Neurological Sciences*, 239, 9-16.
- Grosskopf, A. & Kuhtz-Buschbeck, J. P. (2006). Grasping with the left and right hand: a kinematic study. *Experimental Brain Research*, 168, 230-240.

## Literatur

- 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. & Goodale, M. A. (2000). Independent effects of pictorial displays on perception and action. *Vision Research*, 40, 1597-1607.
- Haffenden, A. M., Schiff, K. C. & Goodale, M. A. (2001). The dissociation between perception and action in the Ebbinghaus illusion: Nonillusory effects of pictorial cues on grasp. *Current Biology*, 11, 177-181.
- Hartung, B., Schrater, P. R., Bühlhoff, H. H., Kersten, D. & Franz, V. H. (2005). Is prior knowledge of object geometry used in visually guided reaching? *Journal of Vision*, 5, 504-514.
- Heath, M., Rival, C. & Binsted, G. (2004). Can the motor system resolve a pre-movement bias in grip aperture? Online analysis of grasping the Müller-Lyer illusion. *Experimental Brain Research*, 158, 378-384.
- Heath, M., Rival, C., Neely, K. & Krigolson, O. (2006). Müller-Lyer figures influence the online reorganization of visually guided grasping movements. *Experimental Brain Research*, 169, 473-481.
- Heinroth, O. (1977). *Aus dem Leben der Vögel*. Berlin: Springer.
- Helmholtz, H. v. (1855). Über das Sehen des Menschen. In H. v. Helmholtz (Hrsg.), *Vorträge und Reden*
- Helmholtz, H. v. (1867). *Handbuch der physiologischen Optik*. Hamburg: Voss.
- Hepp-Reymond, M.-C., Huesler, E. J. & Maier, M. A. (1996). Precision Grip in Humans: Temporal and Spatial Synergies. In A. M. Wing, P. Haggard & J. R. Flanagan (Hrsg.), *Hand and Brain: The Neurophysiology and Psychology of Hand Movements* (S. 37-68). San Diego: Academic Press.
- Hickok, G. (2000). Speech Perception, Conduction Aphasia, and the Functional Neuroanatomy of Language. In Y. Grodzinsky, L. Shapiro & D. Swinney (Hrsg.), *Language and the Brain* (S. 87-104). San Diego: Academic Press.
- Hikosaka, O., Takikawa, Y. & Kawagoe, R. (2000). Role of the Basal Ganglia in the Control of Purposive Saccadic Eye Movements. *Physiological Reviews*, 80(3), 953-978.
- Hoffman, D. D. (1998). *Visual Intelligence: How we create what we see*. New York: Norton & Company, Inc.
- Hoffmann, J. & Sebald, A. (2007). Eye vergence is susceptible to the hollow-face illusion. *Perception*, 36, 461-470.
- Holmes, G. (1918). Disturbances of visual orientation. *British Journal of Ophthalmology*, 2, 449-506.



## Literatur

- Hommel, B. (Hrsg.) (1997). Toward an Action-Concept Model of Stimulus-Response Compatibility. In B. Hommel & W. Prinz (Hrsg.), *Theoretical Issues in Stimulus-Response Compatibility* (S. 281-320). Amsterdam: Elsevier.
- Hommel, B. (1998). Event files: Evidence for automatic integration of stimulus-response episodes. *Visual Cognition*, 5, 183-216.
- Hommel, B. (2007). Feature integration across perception and action: Event files affect response choice. *Psychological Research*, 71, 42-63.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G. & Prinz, W. (2001). The Theory of Event Coding (TEC): A framework for perception and action planning. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 849-937.
- Horn, A. K. E., Büttner-Ennever, J. A., Suzuki, Y. & Henn, V. (1995). Histological Identification of Premotor Neurons for Horizontal Saccades in Monkey and Man by Parvalbumin Immunostaining. *The Journal of Comparative Neurology*, 359, 350-363.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1959). Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. *Journal of Physiology*, 148, 574-591.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1961). Integrative action in the cat's lateral geniculate body. *Journal of Physiology*, 155, 385-398.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1977). Functional architecture of macaque monkey cortex. *Proceedings of the Royal Society of London*, 198, 1-59.
- Hughes, L. E., Bates, T. C., Davies, A. A. (2004). Grasping at sticks: pseudoneglect for perception but not action. *Experimental Brain Research*, 157, 397-402.
- Hume, D. (1993). *Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand*. Hamburg: Meiner.
- Hyvärinen, J. & Poranen, A. (1974). Function of the parietal associative area 7 as revealed from cellular discharges in alert monkeys. *Brain*, 97, 673-692.
- Ingle, D. (1973). Two visual systems in the frog. *Science*, 181, 1053-1055.
- Irtel, H. (1993). *Experimentalpsychologisches Praktikum*. Berlin: Springer. Berlin: Springer.
- Jackson, S. R. & Shaw, A. (2000). The Ponzo Illusion Affects Grip-Force But Not Grip-Aperture Scaling During Prehension Movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(1), 418-423.
- James, T. W., Culham, J., Humphrey, G. K., Milner, A. D. & Goodale, M. A. (2003). Ventral occipital lesions impair object recognition but not object-directed grasping: an fMRI study. *Brain*, 126, 2463-2475.

## Literatur

- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt.
- Jeannerod, M. (1981). Intersegmental Coordination During Reaching at Natural Visual Objects. In J. Long & A. Baddeley (Hrsg.), *Attention and Performance* (Bd. IX, S. 153-168). Hillsdale: Erlbaum.
- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movements. *Journal of Motor Behavior*, 16, 235-254.
- Jeannerod, M. (1994). Reichen und Greifen. Die parallele Spezifikation visumotorischer Kanäle. In H. Heuer und S. W. Keele (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Band 3: Psychomotorik* (Bd. 3, S. S. 509-574). Göttingen: Hogrefe.
- Jeannerod, M. & Jacob, P. (2005). Visual cognition: a new look at the two-visual systems model. *Neuropsychologia*, 43, 301-312.
- Johansson, R. S. (1996). Sensory Control of Dexterous Manipulation in Humans. In A. M. Wing, P. Haggard & J. R. Flanagan (Hrsg.), *Hand and Brain: The Neurophysiology and Psychology of Hand Movements* (S. 381-414). San Diego: Academic Press.
- Kahneman, D., Treisman, A. & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: Object-specific integration of information. *Cognitive Psychology*, 24, 175-219.
- Kapoula, Z. A., Robinson, D. A. & Hain, T. C. (1986). Motion of the eye immediately after a saccade. *Experimental Brain Research*, 61, 386-394.
- Katz, D. (1911). *Die Erscheinungsweisen der Farben und ihre Beeinflussung durch die individuelle Erfahrung*. Leipzig: Barth.
- Klinke, R. & Silbernagl, S. (2003). *Lehrbuch der Physiologie*. Stuttgart: Thieme.
- Knill, D. C. (2005). Reaching for visual cues to depth: The brain combines depth cues differently for motor control and perception. *Journal of Vision*, 5, 103-115.
- Knox, P. C. & Bruno, N. (2007). When does action resist visual illusion? The effect of Müller-Lyer stimuli on reflexive and voluntary saccades. *Experimental Brain Research*, 181, 277-287.
- Köhler, W. (1971). *Die Aufgabe der Gestaltpsychologie*. Berlin: De Gruyter.
- Koffka, K. (1922). Perception: An introduction to the Gestalt-theorie. *Psychological Bulletin*, 19, 531-585.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Kommerell, G. Olivier, D. & Theopold, H. (1976). Adaptive programming of phasic and tonic components in saccadic eye movements. Investigations in patients with abducens palsy. *Investigative Ophthalmology*, 15(8), 657-660.

## Literatur

- Króliczak, G., Cavina-Pratesi, C., Goodman, D. A. & Culham, J. C. (2007). What does the Brain Do When You Fake It? An fMRI Study of Pantomimed and Real Grasping. *Journal of Neurophysiology*, *97*, 2410-2422.
- Kroliczak, G., Heard, P., Goodale, M. A. & Gregory, R. L. (2005). Dissociation of perception and action unmasked by the hollow-face illusion. *Brain Research*, *1080*, 9-16.
- Kuhtz-Buschbeck, J. P., Gilster, R., Wolff, S., Ulmer, S., Siebner, H. & Jansen, O. (2008). Brain activity is similar during precision- and power gripping with light force: an fMRI study. *NeuroImage*, *40*, 1469-1481.
- Kuhtz-Buschbeck, J. & Wolf, T. (2002). *OWIT Special Edition 2*.
- Lavrysen, A., Helsen, W. F., Elliott, D., Buekers, M. J., Feys, P. & Heremans, E. (2006). The type of visual information mediates eye and hand movement bias when aiming to a Müller-Lyer illusion. *Experimental Brain Research*, *174*, 544-554.
- Lee, J.-H. & Donkelaar, P. v. (2002). Dorsal and ventral visual stream contributions to perception-action interactions during pointing. *Experimental Brain Research*, *143*, 440-446.
- Lehman, S. L. & Stark, L. W. (1983). Multipulse Controller Signals: III. Dynamic Overshoot. *Biological Cybernetics*, *48*, 9-10.
- Leigh, R. J. & Kennard, C. (2004). Using saccades as a research tool in the clinical neurosciences. *Brain*, *127*, 460-477.
- Leigh, R. J. & Zee, D. S. (1999). *The Neurology of Eye Movements*. Oxford: Oxford University Press.
- Lindberg, D. C. (1976). *Theories of Vision from Al-Kindi to Kepler*. Chicago: University of Chicago.
- Lissauer, H. (1890). Ein Fall von Seelenblindheit nebst einem Beitrag zur Theorie derselben. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, *21*, 222-270.
- Locke, J. (2006). *Versuch über den menschlichen Verstand. Band 1: Buch 1 und 2*. Hamburg: Meiner.
- Lorenz, K. (1978). *Vergleichende Verhaltensforschung. Grundlagen der Ethologie*. Wien: Springer Verlag.
- Lotze, H. (1852). *Medicinische Psychologie oder Physiologie der Seele*. Leipzig: Weidmann.

## Literatur

- Malach, R., Reppas, J. B., Benson, R. R., Kwong, K. K., Jiang, H., Kennedy, W. A., Ledden, P. J., Brady, T. J., Rosen, B. R. & Tootell, R. B. H. (1995). Object-related activity revealed by functional magnetic resonance imaging in human occipital cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92, 8135-8139.
- Marotta, J. J., DeSouza, J. F. X., Haffenden, A. M. & Goodale, M. A. (1998). Does a monocularly presented size-contrast illusion influence grip aperture? *Neuropsychologia*, 36(6), 491-497.
- Marr, David. (1982). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L., Jeannerod, M., Athenes, S. & Dugas, C. (1987). Constraints on Human Arm Movement Trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 41(3), 365-378.
- Mausfeld, R. (2002). The Physicalistic Trap in Perception Theory. In Heyer, D. & Mausfeld, R. (Hrsg.), *Perception and the Physical World* (S. 75-112). West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Mausfeld, R. (2005a). Wahrnehmungspsychologie. In A. Schütz, H. Selg & S. Lautenbacher (Hrsg.), *Einführung in die Psychologie* (S. 106-130). Stuttgart: Kohlhammer.
- Mausfeld, R. (2005b). Wahrnehmungspsychologie: Geschichte und Ansätze. In J. Funke & P. French (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie: Kognition* (S. 97-107). Göttingen: Hogrefe.
- Mausfeld, R. & Andres, J. (2002). Second-order statistics of colour codes modulate transformations that effectuate varying degrees of scene invariance and illumination invariance. *Perception*, 31, 209-224.
- May, C. P., Kane, M. J. & Hasher, L. (1995). Determinants of negative priming. *Psychological Bulletin*, 118, 35-54.
- McCarley, J. S., Kramer, A. F. & DiGirolamo, G. J. (2003). Differential effects of the Müller-Lyer illusion on reflexive and voluntary saccades. *Journal of Vision*, 3, 751-760.
- Meegan, D. V., Glazebrook, C. M., Dhillon, V. P., Tremblay, L., Welsh, T. N. & Elliott, D. (2004). The Müller-Lyer illusion affects the planning and control of manual aiming movements. *Experimental Brain Research*, 155, 37-47.
- Mendoza, J. E., Elliott, D., Meegan, D. V., Lyons, J. L. & Welsh, T. N. (2006). The Effect of the Müller-Lyer Illusion on the Planning and Control of Manual Aiming Movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(2), 413-422.

## Literatur

- Milner, A. D., Dijkerman, H. C., McIntosh, R. D., Rossetti, Y. & Pisella, L. (2003). Delayed reaching and grasping in patients with optic ataxia. *Progress in Brain Research*, 142, 225-242.
- Milner, A. D., Dijkerman, H. C., Pisella, L., McIntosh, R. D., Tilikete, C., Vighetto, A. & Rossetti, Y. (2001). Grasping the past: delay can improve visuomotor performance. *Current Biology*, 11, 1896-1901.
- Milner, A. D. & Goodale, M. A. (1995). The Visual Brain in Action. In *Oxford Psychology Series* (Bd. 27). Oxford: Oxford University Press.
- Milner, A. D. & Goodale, M. A. (2007). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46, 774-85.
- Milner, A. D., Paulignan, Y., Dijkerman, H. C. & Jeannerod, M. (1999). A paradoxical improvement of misreaching in optic ataxia: new evidence for two separate neural systems for visual localization. *Proceedings of the Royal Society B*, 266, 2225-2229.
- Milner, A. D., Perrett, D. I., Johnston, R. S., Benson, P. J., Jordan, T. R. et al. (1991). Perception and Action in "Visual Form Agnosia". *Brain*, 114, 405-428.
- Mon-Williams, M. & Bull, R. (2000). The Judd illusion: evidence for two visual streams or two experimental conditions? *Experimental Brain Research*, 130, 273-276.
- Moss, C. F. & Surlykke, A. (2001). Auditory scene analysis by echolocation in bats. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 110, 2207-2226.
- Mountcastle, V. B., Lynch, J. C., Georgopoulos, A., Sakata, H. & Acuna, C. (1975). Posterior Parietal Association Cortex of the Monkey: Command Functions for Operations Within Extrapersonal Space. *Journal of Neurophysiology*, 38(4), 871-908.
- Müsseler, J. & Hommel, B. (1997). Blindness to Response-Compatible Stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(3), 861-872.
- Muir, R. B. & Lemon, R. N. (1983). Corticospinal neurons with a special role in precision grip. *Brain Research*, 261, 312-316.
- Napier, J. R. (1956). The Prehensile Movements of the Human Hand. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 38B(4), 902-913.
- Neisser, U. (1985). The role of invariant structures in the control of movement. In M. Frese & J. Sabini (Hrsg.), *Goal directed behavior: the concept of action in psychology* (S. 97-109). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

## Literatur

- Neumann, O. & Prinz, W. (1990). Prologue: Historical Approaches to Perception and Action. In O. Neumann & W. Prinz (Hrsg.), *Relationships between Perception and Action* (S. 5-19). Berlin: Springer.
- Norman, J. (2002). Two visual systems and two theories of perception: An attempt to reconcile the constructivist and ecological approaches. *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 73-144.
- Orden, G. C. van, Pennington, B. F. & Stone, G. O. (2001). What do double dissociations prove? *Cognitive Science*, 25, 111-172.
- Otto-de Haart, E. G., Carey, D. P. & Milne, A. B. (1999). More thoughts on perceiving and grasping the Müller-Lyer illusion. *Neuropsychologia*, 37, 1437-1444.
- Paulignan, Y. & Jeannerod, M. (1996). Prehension Movements: The Visuomotor Channels Hypothesis Revisited. In A. M. Wing, P. Haggard & J. R. Flanagan (Hrsg.), *Hand and Brain: The Neurophysiology and Psychology of Hand Movements* (S. 265-282). San Diego: Academic Press.
- Paulignan, Y., MacKenzie, C., Marteniuk, R. & Jeannerod, M. (1990). The coupling of arm and finger movements during prehension. *Experimental Brain Research*, 79, 431-435.
- Pavani, F., Boscagli, I., Benvenuti, F., Rabuffetti, M. & Farnè, A. (1999). Are perception and action affected differently by the Titchener circles illusion? *Experimental Brain Research*, 127, 95-101.
- Perenin, M.-T. & Vighetto, A. (1988). Optic ataxia: a specific disruption in visuomotor mechanisms. *Brain*, 111, 643-674.
- Pisella, L., Binkowski, F., Lasek, K., Toni, I. & Rossetti, Y. (2006). No double-dissociation between optic ataxia and visual agnosia: Multiple sub-streams for multiple visuo-manual integrations. *Neuropsychologia*, 44, 2734-2748.
- Prablanc, C. & Martin, O. (1992). Automatic control during hand reaching at undetected two-dimensional target displacements. *Journal of Neurophysiology*, 67, 455-469.
- Prinz, W. (1984). Modes of linkage between perception and action. In W. Prinz & A. F. Sanders (Hrsg.), *Cognition and Motor processes*. Berlin: Springer-Verlag.
- Prinz, W. (1987). Ideo-motor action. In H. Heuer & A. F. Sanders (Hrsg.), *Perspectives on perception and action*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prinz, W. (Hrsg.) (1990). A common coding approach to perception and action. In O. Neumann & W. Prinz (Hrsg.), *Relationships between perception and action* (S. 167-201). Berlin: Springer.
- Prinz, W. (1997a). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(2), 129-154.

## Literatur

- Prinz, W. (Hrsg.) (1997b). Why Donders has led us astray. In B. Hommel & W. Prinz (Hrsg.), *Theoretical Issues in Stimulus-Response Compatibility* (S. 247-267). Amsterdam: Elsevier.
- Prinzmetal, W. (1995). Visual Feature Integration in a World of Objects. *Current Directions in Psychological Science*, 4, 90-94.
- Prinzmetal, W., Henderson, D. & Ivry, R. (1995). Loosening the Constraints on Illusory Conjunctions: Assessing the Roles of Exposure Duration and Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(6), 1362-1375.
- Proctor, R. W. & Reeve, T. G. (1985). Compatibility effects in the assignment of symbolic stimuli to discrete finger responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 541-553.
- Qualisys. (1996). *MacReflex*. Göteborg, Schweden:
- Rice, N. J., Valyear, K. F., Goodale, M. A., Milner, A. D. & Culham, J. C. (2007). Orientation sensitivity to graspable objects: An fMRI adaptation study. *NeuroImage*, 36, T87-T93.
- Rizzolatti, G. & Matelli, M. (2003). Two different streams form the dorsal visual system: anatomy and function. *Experimental Brain Research*, 153, 146-157.
- Rossetti, Y., Goldenberg, G. & Rode, G. (2005). Current issues in sensori-motor rehabilitation. In H. J. Freund, M. Jeannerod, M. Hallett & Leguarda (Hrsg.), *Higher-motor disorders*. Oxford: Oxford University Press.
- Rossetti, Y., Pisella, L. & Vighetto, A. (2003). Optic ataxia revisited: Visually guided action versus immediate visuomotor control. *Experimental Brain Research*, 153, 171-179.
- Rossetti, Y., Revol, P., McIntosh, R., Pisella, L., Rode, G. et al. (2005). Visually guided reaching: bilateral posterior parietal lesions cause a switch from fast visuomotor to slow cognitive control. *Neuropsychologia*, 43, 162-177.
- Sacks, O. (1990). *Der Mann der seine Frau mit einem Hut verwechselte*.
- Sailer, U., Flanagan, J. R. & Johansson, R. S. (2005). Eye-Hand Coordination during Learning of a Novel Visuomotor Task. *The Journal of Neuroscience*, 25(39), 8833-8842.
- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53, 61-97.
- Scheich, H., Langner, G., Tidemann, C., Coles, R. B. & Gruppy, A. (1986). Electroreception and electrolocation in platypus. *Nature*, 319, 401-402.

## Literatur

- Schone, H. (1962). Optisch gesteuerte Lageänderungen. *Zeitschrift für Vergleichende Physiologie*, *45*, 590-604.
- Schubö, A., Aschersleben, G. & Prinz, W. (2001). Interactions between perception and action in a reaction task with overlapping S-R assignments. *Psychological Research*, *65*, 145-157.
- Schubö, A., Prinz, W. & Aschersleben, G. (2004). Perceiving while acting: action affects perception. *Psychological Research*, *68*, 208-215.
- Scudder, C. A., Kaneko, C. R. S. & Fuchs, A. F. (2002). The brainstem burst generator for saccadic eye movements. A modern synthesis. *Experimental Brain Research*, *142*, 439-462.
- Searleman, A., Porac, C., Dafoe, C. & Hetzel, B. (2005). Altering Mueller-Lyer illusion magnitude using figural additions at the wing-shaft intersections. *American Journal of Psychology*, *118*, 619-637.
- Shmuelof, L. & Zohary, E. (2005). Dissociation between Ventral and Dorsal fMRI Activation during Object and Action Recognition. *Neuron*, *47*, 457-470.
- Smeets, J. B. J., Brenner, E., de Grave, D. D. J. & Cuijpers, R. H. (2002). Illusions in action: consequences of inconsistent processing of spatial attributes. *Experimental Brain Research*, *147*, 135-144.
- Smeets, J. B. J. & Hooge, I. T. C. (2003). Nature of Variability in Saccades. *Journal of Neurophysiology*, *90*, 12-20.
- SMI. (2007). *Technical Note: SMI BeGaze Event Detection*.
- Sprenger, A., Rottach, K. & Heide, W. (2000). Okulographische Methoden. *Klinische Neurophysiologie*, *31*, 199-203.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donder's method. *Acta Psychologica*, *30*, 276-315.
- Stoerig, P. (2006). Blindsight, conscious vision, and the role of primary visual cortex. *Progress in Brain Research*, *155*, 217-234.
- Stoerig, P. & Cowey, A. (1997). Blindsight in man and monkey. *Brain*, *120*, 535-559.
- Stoerig, P., Hübner, M. & Pöppel, E. (1985). Signal detection analysis of residual vision in a field defect due to a post-geniculate lesion. *Neuropsychologia*, *23*(5), 589-599.
- Strassman, A., Highstein, S. M. & McCrea, R. A. (1986). Anatomy and Physiology of Saccadic Burst Neurons in the Alert Squirrel Monkey. I. Excitatory Burst Neurons. *The Journal of Comparative Neurology*, *249*, 337-357.



## Literatur

- Teuber, H. L. (1955). Physiological psychology. *Annual Review of Psychology*, 6, 267-296.
- Teuber, H. L. (1968). Alteration of perception and memory in man. In L. Weiskrantz (Hrsg.), *Analysis of Behavioral Change*. New York: Harper and Row.
- Thompson, A. A. & Westwood, D. A. (2007). The hand knows something that the eye does not: Reaching movements resist the Müller-Lyer illusion whether or not the target is foveated. *Neuroscience letters*.
- Tinbergen, N. (1951). *The Study of Instinct*. Oxford: Clarendon Press.
- Tinbergen, N. (1963). On aims and methods of Ethology. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20, 410-433.
- Treisman, A. (1993). The perception of features and objects. In A. Baddeley & L. Weiskrantz (Hrsg.), *Attention: Selection, Awareness, and Control* (S. 5-35). Oxford: Oxford University Press.
- Treisman, A. (1996). The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, 6, 171-178.
- Treisman, A. (1998). Feature binding, attention and object perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 353, 1295-1306.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A. & Schmidt, H. (1982). Illusory Conjunctions in the Perception of Objects. *Cognitive Psychology*, 14, 107-141.
- Troost, B. T., Weber, R. B. & Daroff, R. B. (1974). Hypometric Saccades. *American Journal of Ophthalmology*, 78, 1002-1005.
- Ungerleider, L. G. & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. In *Analysis of visual behavior* (S. 549-586). Cambridge, MA: MIT Press.
- Valyear, K. F., Culham, J. C., Sharif, N., Westwood, D. & Goodale, M. A. (2006). A double dissociation between sensitivity to changes in object identity and object orientation in the ventral and dorsal visual streams: A human fMRI study. *Neuropsychologia*, 44, 218-228.
- Van Doorn, H., van der Kamp, J. & Savelsbergh, G. J. P. (2007). Grasping the Müller-Lyer illusion: The contributions of vision for perception in action. *Neuropsychologia*, 45, 1939-1947.
- Van Gisbergen, J. A. M., Robinson, D. A. & Gielen, S. (1981). A Quantitative Analysis of Generation of Saccadic Eye Movements by Burst Neurons. *Journal of Neurophysiology*, 45(3), 417-442.

## Literatur

- Walcott, C., Gould, J. L. & Kirschvink, J. L. (1979). Pigeons have magnets. *Science*, 205, 1027-1028.
- Weber, R. B. & Daroff, R. B. (1972). Corrective movements following refixation saccades: Type and control system analysis. *Vision Research*, 12(3), 467-475.
- Weiskrantz, L. (1986). *Blindsight: A Case Study and Implications*. Oxford: Oxford University Press.
- Weiskrantz, L. (1996). Blindsight revisited. *Current Biology*, 6, 215-220.
- Weiskrantz, L., Warrington, E. K., Sanders, M. D. & Marshall, J. (1974). Visual capacity in the hemianopic field following a restricted occipital ablation. *Brain*, 97, 709-728.
- Welford, A. T. (1960). The measurement of sensory-motor performance: survey and reappraisal of twelve year's progress. *Ergonomics*, 3, 189-230.
- Wertheimer, M. (1922). Untersuchungen zur Lehre der Gestalt. I. Prinzipielle Bemerkungen. *Psychologische Forschung*, 1, 47-58.
- Westwood, D. A., Chapman, C. D. & Roy, E. A. (2000a). Pantomimed actions may be controlled by the ventral visual stream. *Experimental Brain Research*, 130, 545-548.
- Westwood, D. A., Dubrowski, A., Carnahan, H. & Roy, E. A. (2000b). The effect of illusory size on force production when grasping objects. *Experimental Brain Research*, 135, 535-543.
- Westwood, D. A., Heath, M. & Roy, E. A. (2000c). The effect of a pictorial illusion on closed-loop and open-loop prehension. *Experimental Brain Research*, 134, 456-463.
- Westwood, D. A., McEachern, T. & Roy, E. A. (2001). Delayed grasping of a Müller-Lyer figure. *Experimental Brain Research*, 141, 166-173.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics. Communication and control in the animal and the machine*. New York: Wiley.
- Wing, A. M. & Fraser, C. (1983). The contribution of the thumb to reaching movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 35A, 297-309.
- Wong, E. & Mack, A. (1981). Saccadic programming and perceived location. *Acta Psychologica*, 48, 123-131.
- Wundt, W. (1898). Die geometrisch-optischen Täuschungen. *Akademie der sächsischen Wissenschaften*, 24, 53-178.
- Wundt, W. (1903). *Grundzüge der physiologischen Psychologie*. Leipzig: Engelmann.

## Literatur

Zeki, S. (1994). *A Vision of the Brain*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Ziehen, T. (1920). *Leitfaden der physiologischen Psychologie*. Jena: G. Fischer.

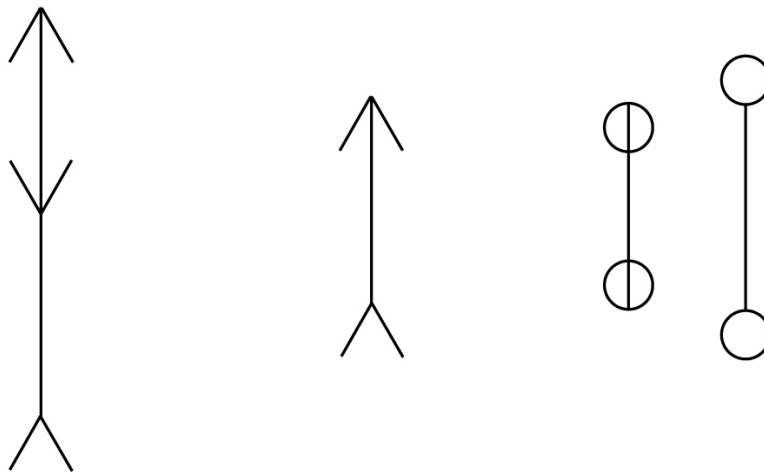
Zilles, K. & Rehkämper, G. (1994). *Funktionelle Neuroanatomie: Lehrbuch und Atlas*. Berlin: Springer Verlag.

## **ABKÜRZUNGEN**

FIT	Feature Integration Theory (Treisman & Gelade, 1980)
PVI	Paradigma der visuellen Illusionen
TEC	Theory of Event Coding (Hommel et al., 2001)
TVSH	Two Visual Systems Hypothesis (Milner & Goodale, 1995)
ZPH	Zusammenhang von Perzeption und Handlung

# ANHANG

## A Theoretischer und empirischer Hintergrund



a) Brentano Illusion

b) Judd Illusion

c) Hantelform

Abb. A1: Variationen der Müller-Lyer Illusion. a) Brentano Illusion: Die *Arrow-In-Figur* und die *Arrow-Out-Figur* sind zusammengefügt. Die „*Arrow-Out* Strecke“ wirkt größer als die „*Arrow-In* Strecke“. b) Judd Illusion: Der wahrgenommene Mittelpunkt des Balkens ist nach unten verschoben. c) Hantelform: Statt *Arrows* werden hier Kugeln an die Enden der Balken angebracht. Die Balken wirken dadurch unterschiedlich groß.

## Anhang B

### B Studie 1

Tab. B1: Kolmogorow-Smirnow Tests zur Prüfung der Verteilungsvoraussetzungen: Experiment 1: Perzeptuell

Versuchsbedingung	Extremste Differenzen	Asymptotische Signifikanz
<b>AO → AO 4 cm</b>	0,214	0,858
<b>AI → AO 4 cm</b>	0,187	0,941
<b>N → AO 4 cm</b>	0,153	0,992
<b>AO → AI 4 cm</b>	0,219	0,838
<b>AI → AI 4 cm</b>	0,139	0,998
<b>N → AI 4 cm</b>	0,234	0,772
<b>AO → N 4 cm</b>	0,189	0,938
<b>AI → N 4 cm</b>	0,183	0,952
<b>N → N 4 cm</b>	0,244	0,730
<b>AO → AO 6 cm</b>	0,176	0,965
<b>AI → AO 6 cm</b>	0,173	0,971
<b>N → AO 6 cm</b>	0,261	0,649
<b>AO → AI 6 cm</b>	0,210	0,873
<b>AI → AI 6 cm</b>	0,240	0,747
<b>N → AI 6 cm</b>	0,180	0,958
<b>AO → N 6 cm</b>	0,176	0,965
<b>AI → N 6 cm</b>	0,162	0,985
<b>N → N 6 cm</b>	0,118	1,000

n = 8; Kritischer Wert für die Extremsten Differenzen: 0,454; Grenzwert Asymptotische Signifikanz = 0,05  
 Abk.: AO = Arrow-Out; AI = Arrow-In; N = Neutral; → = Adjustiert an.

## Anhang B

Tab. B2: Kolmogorow-Smirnow Tests zur Prüfung der Verteilungsvoraussetzungen: Experiment 2: Sakkaden

Versuchsbedingung	Extremste Differenzen	Asymptotische Signifikanz
<b>AO → AO 4 cm</b>	0,212	0,867
<b>AI → AO 4 cm</b>	0,254	0,679
<b>N → AO 4 cm</b>	0,171	0,974
<b>AO → AI 4 cm</b>	0,302	0,460
<b>AI → AI 4 cm</b>	0,256	0,673
<b>N → AI 4 cm</b>	0,182	0,954
<b>AO → N 4 cm</b>	0,203	0,895
<b>AI → N 4 cm</b>	0,225	0,814
<b>N → N 4 cm</b>	0,129	0,999
<b>AO → AO 6 cm</b>	0,270	0,602
<b>AI → AO 6 cm</b>	0,181	0,955
<b>N → AO 6 cm</b>	0,256	0,669
<b>AO → AI 6 cm</b>	0,170	0,974
<b>AI → AI 6 cm</b>	0,158	0,988
<b>N → AI 6 cm</b>	0,213	0,859
<b>AO → N 6 cm</b>	0,163	0,984
<b>AI → N 6 cm</b>	0,183	0,951
<b>N → N 6 cm</b>	0,167	0,978

n = 8; Kritischer Wert für die Extremsten Differenzen: 0,454; Grenzwert Asymptotische Signifikanz = 0,05  
Abk.: AO = Arrow-Out; AI = Arrow-In; N = Neutral; → = Adjustiert an.

## Anhang B

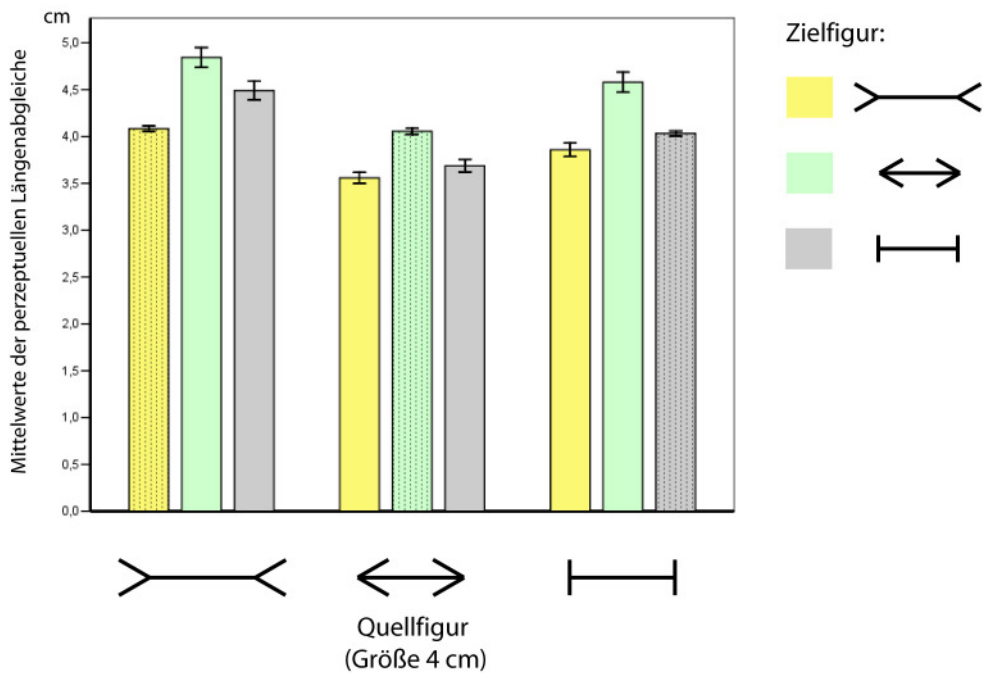


Abb. B1: Mittelwerte der perzeptuellen Längenabgleiche (cm) der Zielfiguren an die 4 cm großen Quellfiguren. Die gepunkteten Balken geben gleiche Ziel- und Quellfiguren an, d.h. diese Zielfiguren sollten bei einem gelungenem Abgleich eine Länge von ungefähr 4 cm aufweisen. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM.

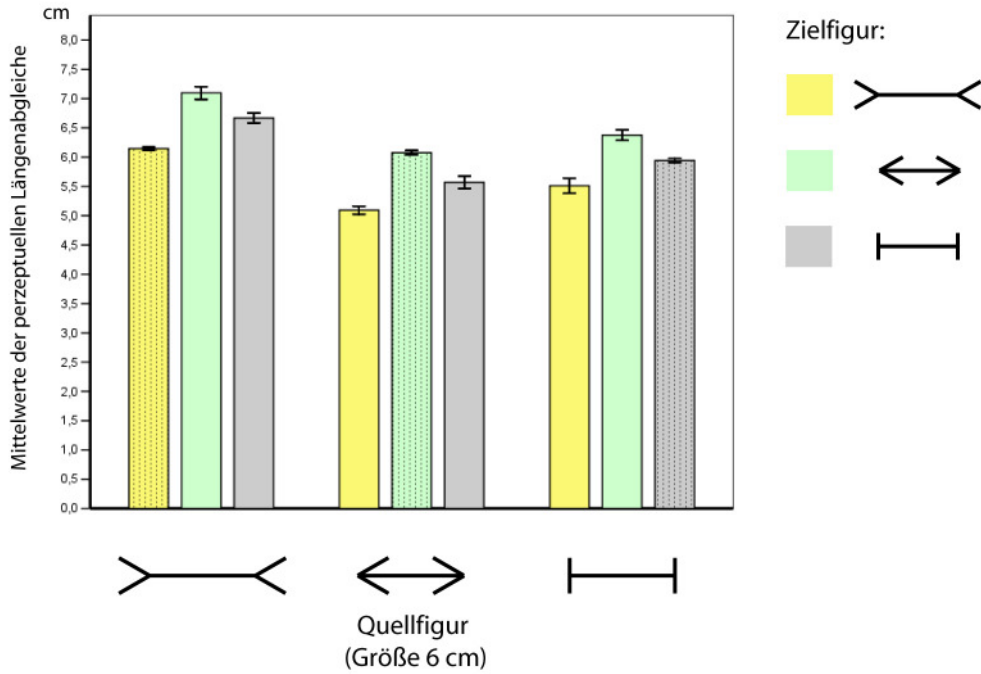


Abb. B2: Mittelwerte der perzeptuellen Längenabgleiche (cm) der Zielfiguren an die 6 cm großen Quellfiguren. Die gepunkteten Balken geben gleiche Ziel- und Quellfiguren an, d.h. diese Zielfiguren sollten bei einem gelungenem Abgleich eine Länge von ungefähr 6 cm aufweisen. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM.



## Anhang B

Tab. B3: Amplituden der Sakkaden für die *Adjustierten Figuren* (jeweils drei abgegliche *Zielfiguren* an die entsprechenden *Quellfiguren*) für die gemittelte Größe von 5 cm.

Quellfigur (gemittelte Größe 5 cm)	Zielfigur	Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
Arrow-Out	Arrow-Out	5,38	0,27	0,1
	Arrow-In	4,98	0,24	0,08
	Neutral	5,26	0,23	0,08
Arrow-In	Arrow-Out	4,64	0,19	0,07
	Arrow-In	4,17	0,28	0,1
	Neutral	4,35	0,21	0,07
Neutral	Arrow-Out	5,05	0,26	0,09
	Arrow-In	4,58	0,29	0,1
	Neutral	4,75	0,17	0,06

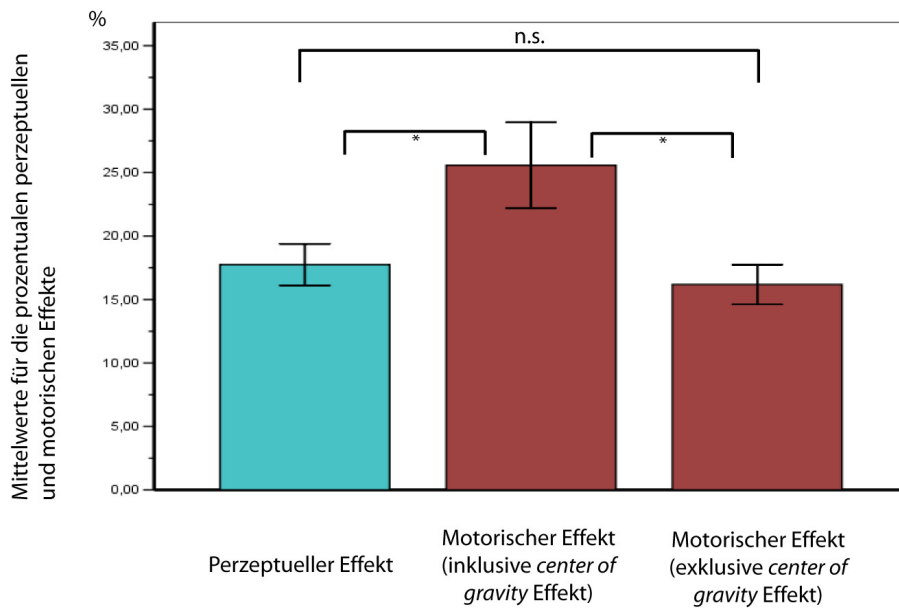
Die grau unterlegten *Zielfiguren* zeigen an, dass es sich um identische *Quell- und Zielfiguren* handelt, d.h. diese *Zielfiguren* weisen eine gemittelte Größe von 5 cm auf.

Tab. B4: Prozentuale perzeptuelle und motorische Effekte.

Art des Effektes	Mittelwert (%)	SD (%)	SEM (%)
Perzeptueller Effekt	17,8	4,6	1,6
Motorischer Effekt (inklusive <i>center of gravity</i> Effekt)	25,6	9,6	3,4
Motorischer Effekt (ohne <i>center of gravity</i> Effekt)	16,2	4,4	1,6

Der perzeptuelle Effekt wurde durch den *Traditionellen Indirekten Vergleich* ermittelt.

## Anhang B



### Vergleich prozentualer perzeptueller und motorischer Effekte

Abb. B3: Vergleich der Mittelwerte für den prozentualen perzeptuellen und die prozentualen motorischen Effekte. Der perzeptuelle Effekt (blau) entspricht dem *Traditionellen Indirekten Vergleich*, der sich, wie die motorischen Effekte, auf die *Neutral-Figur* als Referenz bezieht. Der mittlere Balken stellt den motorischen Effekt dar, der noch den *center of gravity* Effekt enthält. Diese Bedingung unterscheidet sich von den anderen beiden signifikant. Der rechte Balken stellt den motorischen Effekt dar, der um den *center of gravity* Effekt korrigiert wurde. Dieser motorische Effekt unterscheidet sich nicht signifikant vom perzeptuellen Effekt. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe dieser Streuung hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant; n.s. = nicht signifikant. Die Tests wurden zweiseitig auf dem 5 % Niveau durchgeführt.

## C Studie 2

Tab. C1: Kolmogorow-Smirnow Tests zur Prüfung der Verteilungsvoraussetzungen: Experiment 1: Perzeptuell

Versuchsbedingung	Extremste Differenzen	Asymptotische Signifikanz
<b>nah 4 cm</b>	0,190	0,936
<b>mittel 4 cm</b>	0,240	0,747
<b>fern 4 cm</b>	0,175	0,966
<b>nah 6 cm</b>	0,164	0,982
<b>mittel 6 cm</b>	0,177	0,964
<b>fern 6 cm</b>	0,228	0,801

n = 8; Kritischer Wert für die Extremsten Differenzen: 0,454; Grenzwert Asymptotische Signifikanz = 0,05

Tab. C2: Kolmogorow-Smirnow Tests zur Prüfung der Verteilungsvoraussetzungen: Experiment 2: Sakkaden

Versuchsbedingung	Extremste Differenzen	Asymptotische Signifikanz
<b>Quellfigur nah 4 cm</b>	0,218	0,842
<b>Quellfigur mittel 4 cm</b>	0,196	0,919
<b>Quellfigur fern 4 cm</b>	0,175	0,966
<b>Zielfigur nah 4 cm</b>	0,278	0,568
<b>Zielfigur mittel 4 cm</b>	0,201	0,903
<b>Zielfigur fern 4 cm</b>	0,194	0,924
<b>Quellfigur nah 6 cm</b>	0,196	0,918
<b>Quellfigur mittel 6 cm</b>	0,225	0,814
<b>Quellfigur fern 6 cm</b>	0,149	0,994
<b>Zielfigur nah 6 cm</b>	0,355	0,266
<b>Zielfigur mittel 6 cm</b>	0,150	0,994
<b>Zielfigur fern 6 cm</b>	0,183	0,951

n = 8; Kritischer Wert für die Extremsten Differenzen: 0,454; Grenzwert Asymptotische Signifikanz = 0,05

## Anhang C

Tab. C3: Amplituden der Sakkaden für die 4 cm großen *Quellfiguren* unterschiedlicher *Entfernung* und der *Adjustierten Zielfiguren*.

		Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Entfernung Quellfigur</b>	<i>nah</i>	3,69	0,27	0,10
	<i>mittel</i>	3,71	0,39	0,14
	<i>fern</i>	3,71	0,29	0,10
<b>Adjustierte Zielfiguren</b>	<i>nah</i>	3,52	0,25	0,09
	<i>mittel</i>	3,76	0,31	0,11
	<i>fern</i>	4,08	0,28	0,10

Anm.: Die *Adjustierten Zielfiguren* befanden sich stets in *mittlerer* Entfernung.

Tab. C4: Amplituden der Sakkaden für die 6 cm großen *Quellfiguren* unterschiedlicher *Entfernung* und der *Adjustierten Zielfiguren*.

		Mittelwert (cm)	SD (cm)	SEM (cm)
<b>Entfernung Quellfigur</b>	<i>nah</i>	5,47	0,40	0,14
	<i>mittel</i>	5,55	0,47	0,17
	<i>fern</i>	5,56	0,37	0,13
<b>Adjustierte Zielfiguren</b>	<i>nah</i>	5,37	0,36	0,13
	<i>mittel</i>	5,64	0,48	0,17
	<i>fern</i>	5,68	0,45	0,16

Anm.: Die *Adjustierten Zielfiguren* befanden sich stets in *mittlerer* Entfernung.

## Anhang C

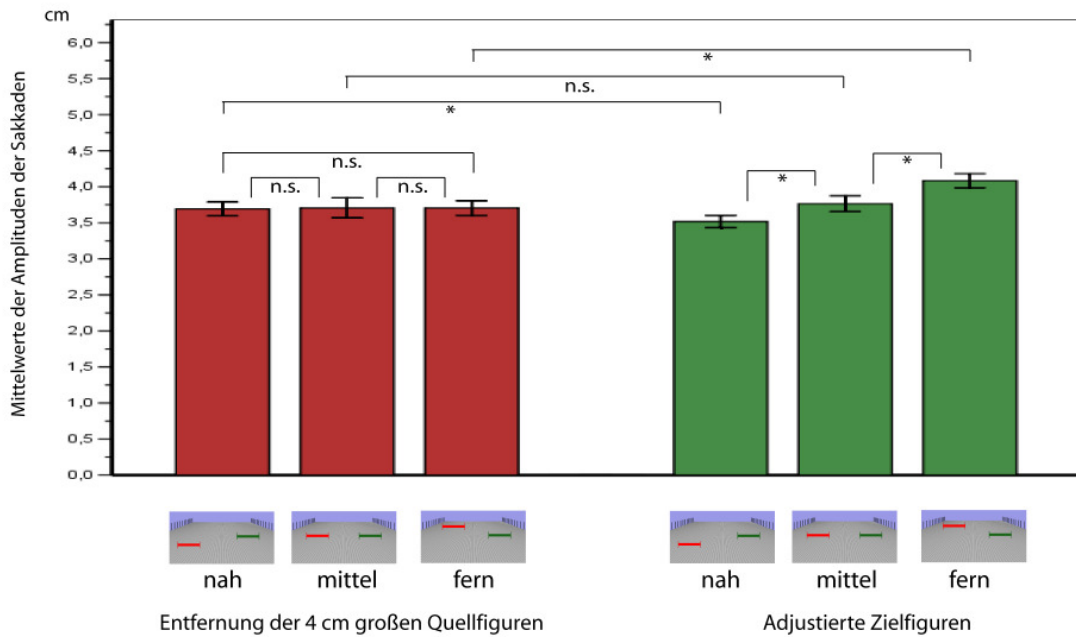


Abb. C1: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden (cm) für die drei *Quellfiguren* (4 cm Länge) unterschiedlicher *Entfernung* (rot) und für die drei an die *Quellfiguren Adjustierten Zielfiguren* (grün). Die Amplituden der Sakkaden richten sich nach der tatsächlichen Größe der Figuren. Es besteht kein Unterschied zwischen den Stufen der *Quellfiguren*. Die Stufen der *Adjustierten Zielfiguren* hingegen weisen die vorhergesagten Unterschiede auf. Der Vergleich der jeweiligen *Quellfiguren* mit den *Adjustierten Zielfiguren* zeigt die erwarteten Ergebnisse. Es bestehen jeweils signifikante Unterschiede zwischen den Vergleichen der Stufenkombinationen *Quellfiguren nah* und *Adjustierte Zielfiguren nah* sowie *Quellfiguren fern* und *Adjustierte Zielfiguren fern*. Kein Unterschied hingegen besteht für den Vergleich der *Quellfiguren* und der *Adjustierten Zielfiguren*, wenn die *mittleren Entfernungen* betrachtet werden (Kontrolle). Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. **Beachte:** Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant; n.s. = nicht signifikant.

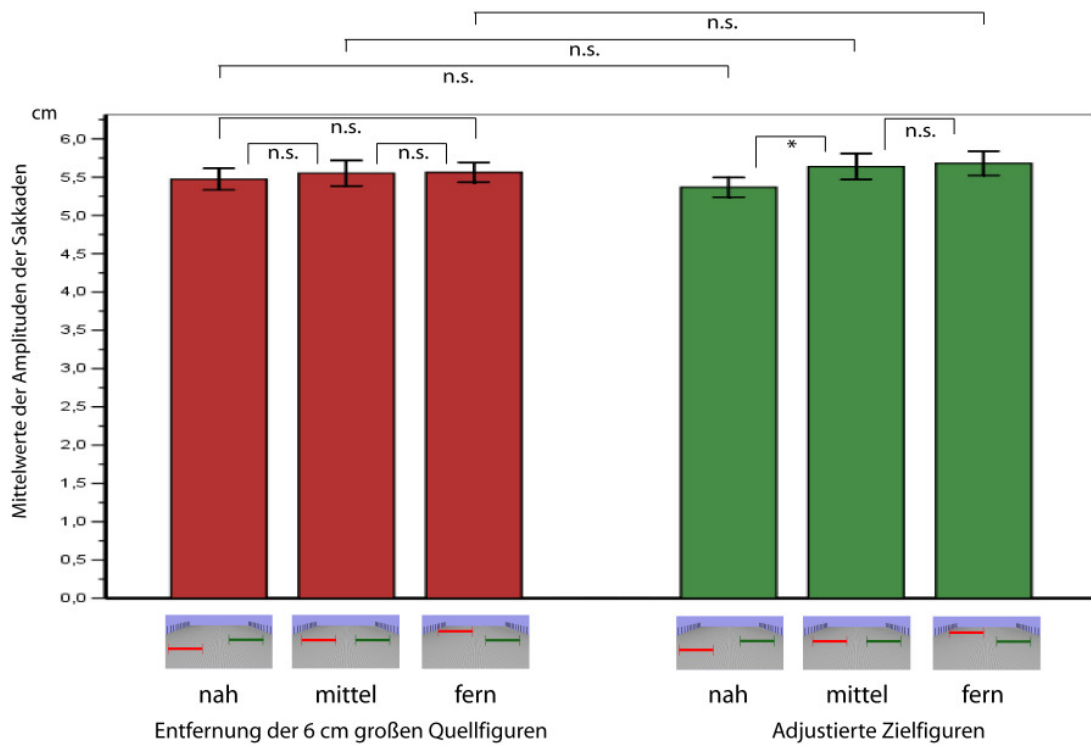


Abb. C2: Mittelwerte der Amplituden der Sakkaden (cm) für die drei *Quellfiguren* (6 cm Länge) unterschiedlicher *Entfernung* (rot) und für die drei an die *Quellfiguren Adjustierten Zielfiguren* (grün). Die Ergebnisse für die 6 cm Bedingungen sind nicht so deutlich wie die 4 cm Bedingungen. Es deutet sich zwar graphisch dieselbe Tendenz an (rot = ohne Veränderung, grün = „Treppenstruktur“), die Streuung war aber anscheinend zu groß, um der Erwartung entsprechende Ergebnisse bei dem gegebenen  $n = 8$  zu ermitteln. Die Fehlerbalken entsprechen  $\pm 1$  SEM. Beachte: Die Größe des SEM hat aufgrund der Messwiederholung keine Bedeutung für die statistische Auswertung. \* = signifikant; n.s. = nicht signifikant.

## Anhang C

Tab. C5: Vergleiche der Amplituden der Sakkaden für *Quellfiguren* mit der *Größe* von 4 cm und der an diese *Adjustierten Zielfiguren*.

		t-Wert (7 df)	Signifikanz
<b>Vergleich <i>Quellfiguren</i> untereinander (Größe 4 cm)</b>	<i>nah - mittel</i>	0,18	0,43 (n.s.)
	<i>mittel - fern</i>	0,01	0,50 (n.s.)
	<i>nah - fern</i>	0,21	0,42 (n.s.)
<b>Vergleich <i>Adjustierte Zielfiguren</i> untereinander</b>	<i>nah - mittel</i>	4,97	0,001
	<i>mittel - fern</i>	7,48	< 0,001
<b>Vergleich der <i>Quellfiguren</i> mit den jeweiligen <i>Adjustierten Zielfiguren</i></b>	<i>nah</i>	2,69	0,016
	<i>mittel</i>	0,86	0,21 (n.s.)
	<i>fern</i>	7,38	< 0,001

Abk.: df = Freiheitsgrade; n.s. = nicht signifikant

Tab. C6: Vergleiche der Amplituden der Sakkaden für *Quellfiguren* mit der *Größe* von 6 cm und der an diese *Adjustierten Zielfiguren*.

		t-Wert (7 df)	Signifikanz
<b>Vergleich <i>Quellfiguren</i> untereinander (Größe 6 cm)</b>	<i>nah - mittel</i>	0,93	0,19 (n.s.)
	<i>mittel - fern</i>	0,11	0,46 (n.s.)
	<i>nah - fern</i>	1,07	0,16 (n.s.)
<b>Vergleich <i>Adjustierte Zielfiguren</i> untereinander</b>	<i>nah - mittel</i>	2,84	0,01
	<i>mittel - fern</i>	0,42	0,34 (n.s.)
<b>Vergleich der <i>Quellfiguren</i> mit den jeweiligen <i>Adjustierten Zielfiguren</i></b>	<i>nah</i>	1,21	0,13 (n.s.)
	<i>mittel</i>	1,06	0,16 (n.s.)
	<i>fern</i>	1,04	0,17 (n.s.)

Abk.: df = Freiheitsgrade; n.s. = nicht signifikant

## Anhang D

### D Studie 3

Tab. D1: Kolmogorow-Smirnow Tests zur Prüfung der Verteilungsvoraussetzungen: Experiment 1: Perzeptuell

Versuchsbedingung	Extremste Differenzen	Asymptotische Signifikanz
Zielfigur adjustiert an 4 cm	0,146	0,998
Zielfigur adjustiert an 6 cm	0,176	0,982

n = 7; Kritischer Wert für die Extremsten Differenzen: 0,483; Grenzwert Asymptotische Signifikanz = 0,05

Tab. D2: Kolmogorow-Smirnow Tests zur Prüfung der Verteilungsvoraussetzungen: Experiment 2: Sakkaden

Versuchsbedingung	Extremste Differenzen	Asymptotische Signifikanz
Quellfigur 4 cm	0,185	0,971
Originale Zielfigur 4 cm	0,192	0,959
Adjustierte Zielfigur 4 cm	0,194	0,955
Quellfigur 6 cm	0,284	0,625
Originale Zielfigur 6 cm	0,311	0,509
Adjustierte Zielfigur 6 cm	0,248	0,782

n = 7; Kritischer Wert für die Extremsten Differenzen: 0,483; Grenzwert Asymptotische Signifikanz = 0,05



**E Studie 4**

Tab. E1: Kolmogorow-Smirnow Tests zur Prüfung der Verteilungsvoraussetzungen: Sakkaden

<b>Versuchsbedingung</b>	<b>Extremste Differenzen</b>	<b>Asymptotische Signifikanz</b>
<b>Quellfigur 4 cm</b>	0,357	0,335
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	0,142	0,999
<b>Adjustierte Zielfigur 4 cm</b>	0,251	0,768
<b>Quellfigur 6 cm</b>	0,151	0,997
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	0,172	0,986
<b>Adjustierte Zielfigur 6 cm</b>	0,140	0,999

n = 7; Kritischer Wert für die Extremsten Differenzen: 0,483; Grenzwert Asymptotische Signifikanz = 0,05

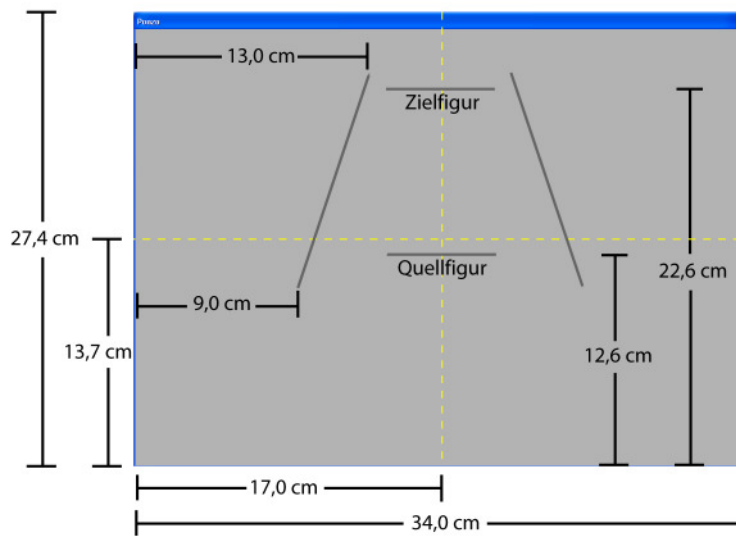
**F Studie 5**

Tab. F1: Kolmogorow-Smirnow Tests zur Prüfung der Verteilungsvoraussetzungen: Maximale Griffweiten

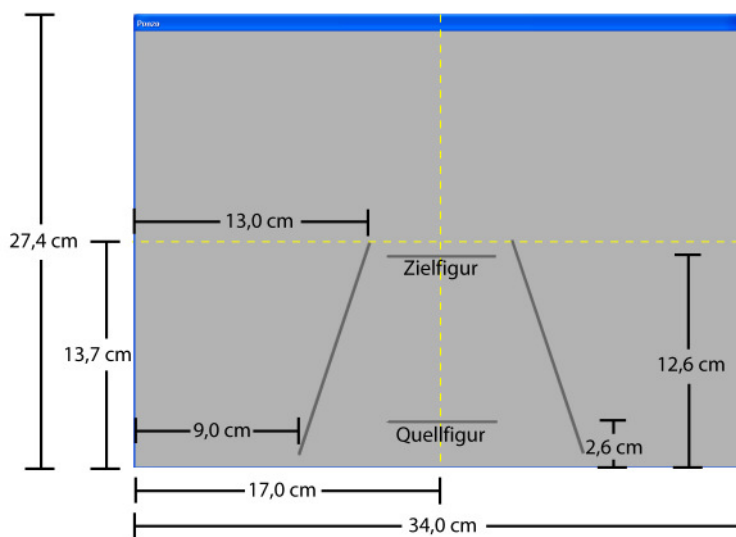
Versuchsbedingung	Extremste Differenzen	Asymptotische Signifikanz
<b>Quellfigur 4 cm</b>	0,226	0,865
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	0,246	0,792
<b>Adjustierte Zielfigur 4 cm</b>	0,307	0,526
<b>Quellfigur 6 cm</b>	0,328	0,439
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	0,340	0,394
<b>Adjustierte Zielfigur 6 cm</b>	0,350	0,357

n = 7; Kritischer Wert für die Extremsten Differenzen: 0,483; Grenzwert Asymptotische Signifikanz = 0,05

## Anhang F



a) Verschiebung der Ponzo Illusion „nach oben“ (6 cm Bedingungen).



b) Verschiebung der Ponzo Illusion „nach unten“ (6 cm Bedingungen).

Abb. F1: Schema der verwendeten Stimuli für die 6 cm Bedingungen. Die gelb gestrichelten Linien zeigen die Mitten der horizontalen und vertikalen Bildgröße an. a) Nach oben verschobene Ponzo Illusion. b) Nach unten verschobene Ponzo Illusion.

## Anhang F

Tab. F2: Bewegungsbeginn für alle getesteten Bedingungen.

	Mittelwert (ms)	SD (ms)
<b>Quellfigur 4 cm</b>	461	198
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	449	167
<b>Adjustierte Zielfigur an 4 cm</b>	448	177
<b>Quellfigur 6 cm</b>	477	171
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	468	184
<b>Adjustierte Zielfigur an 6 cm</b>	466	181

Tab. F3: Bewegungsdauer für alle getesteten Bedingungen.

	Mittelwert (ms)	SD (ms)
<b>Quellfigur 4 cm</b>	1495	312
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	1490	279
<b>Adjustierte Zielfigur an 4 cm</b>	1501	254
<b>Quellfigur 6 cm</b>	1494	278
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	1522	311
<b>Adjustierte Zielfigur an 6 cm</b>	1491	270

Tab. F4: Durchschnittsgeschwindigkeit für alle getesteten Bedingungen.

	Mittelwert (cm/s)	SD (cm/s)
<b>Quellfigur 4 cm</b>	25,73	7,52
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	25,51	6,81
<b>Adjustierte Zielfigur an 4 cm</b>	24,61	5,80
<b>Quellfigur 6 cm</b>	25,32	6,42
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	24,69	6,37
<b>Adjustierte Zielfigur an 6 cm</b>	24,58	5,32

## Anhang F

Tab. F5: Zeitpunkt der maximalen Griffweite für alle getesteten Bedingungen.

	<b>Mittelwert (ms)</b>	<b>SD (ms)</b>
<b>Quellfigur 4 cm</b>	762	404
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	790	357
<b>Adjustierte Zielfigur an 4 cm</b>	741	369
<b>Quellfigur 6 cm</b>	869	359
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	868	388
<b>Adjustierte Zielfigur an 6 cm</b>	827	339

Tab. F6: Relativer Zeitpunkt der maximalen Griffweite für alle getesteten Bedingungen.

	<b>Mittelwert (%)</b>	<b>SD (%)</b>
<b>Quellfigur 4 cm</b>	51	25
<b>Originale Zielfigur 4 cm</b>	54	23
<b>Adjustierte Zielfigur an 4 cm</b>	50	25
<b>Quellfigur 6 cm</b>	59	23
<b>Originale Zielfigur 6 cm</b>	57	22
<b>Adjustierte Zielfigur an 6 cm</b>	56	22

# CURRICULUM VITAE

## Zur Person

---

Name: René Gilster

Geburtsdatum: 08.09.1977

Geburtsort: Bremerhaven

Familienstand: ledig

Staatsangehörigkeit: deutsch

## Arbeitsverhältnisse

---

Seit 05/2005: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Physiologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Promotionszeitraum: 05/2005 - 12/2008

12/2004 – 04/2005: Ambulanz der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie Schleswig

## Schulbildung und Studium

---

10/2003 – 09/2004: Studium der Psychologie an der CAU Kiel  
09/2004 Diplom Psychologie  
Gesamtnote: Sehr gut

Thema der Diplomarbeit: „Dissoziation von visuellen Subsystemen? Eine Studie über den Einfluss der Titchener-Illusion auf das Greifen nach Objekten unter Berücksichtigung von visuellem Feedback und der Präsentationsdauer“

09/2002 – 06/2003: Fulbright Stipendium an der University of California, Irvine  
Graduate student im Department of Cognitive Sciences

10/1998 – 08/2002: Studium der Psychologie an der CAU Kiel

09/1994 – 06/1997: Gymnasium Wesermünde in Bremerhaven  
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

## Zivildienst

---

07/1997 – 08/1998: Haus Arche in Bremerhaven  
Wohnheim für Psychisch Kranke