

Die Rolle von Aufmerksamkeitsprozessen
bei der Fehlwahrnehmung dynamischer Reize

Elena Carbone

Die Rolle von Aufmerksamkeitsprozessen
bei der Fehlwahrnehmung dynamischer Reize

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften
in der
Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft
der Universität Bielefeld

vorgelegt von

Elena Carbone

1. Gutachter: Prof. Dr. Odmar Neumann

2. Gutachter: HD Dr. Achim Schützwohl

Vorwort

Mein herzlicher Dank gilt allen, die mir beim Schreiben dieser Arbeit geholfen haben. Ihre Hilfe reichte von Aufmunterungen, über Unterstützung bei der Programmierung und der Durchführung von Experimenten, sprachliche und stilistische Anmerkungen zu früheren Versionen dieser Arbeit, bis hin zu fachlichen Anregungen und Diskussionen. Die wichtigsten dieser Helfer in alphabetischer Reihenfolge waren: Ulrich Ansorge, Uwe Brandt, Claudia Carbone, Kristina Fast, Heike Hartwig-Jakobs, Manfred Heumann, Lothar Kehrer, Werner Klotz, Hendrik Kösling, Heidi Mescher, Jochen Müsseler, Odmar Neumann, Michael Niepel, Lorenz "Max" Sichelschmidt, Ingrid Scharlau, Achim Schützwohl, Iris Sieveke und Peter Wolff.

Bielefeld, im Juli 2001

Elena Carbone

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung.....	1
1	Die Fröhlich-Phänomene und der "moderne" Fröhlich-Effekt.....	3
1.1	Die Fröhlich-Phänomene und ihre Untersuchungsmethode.....	3
1.2	Fröhlichs Interpretation der einzelnen Phänomene.....	8
1.3	Kritik an Fröhlichs Interpretation und der Versuchsmethodik	14
1.4	Der "moderne" Fröhlich-Effekt	17
2	Das Wetterwart-Modell und sein bisheriger Anwendungsbereich.....	20
2.1	Das Wetterwart-Modell.....	20
2.2	Bisheriger Anwendungsbereich des Wetterwart-Modells.....	24
2.2.1	Metakontrast	24
2.2.2	Fehrer-Raab-Effekt.....	30
2.2.3	Tandem-Effekt	33
2.2.4	Fröhlich-Effekt.....	35
3	Bisherige Befunde zum Fröhlich-Effekt	37
3.1	Müsseler (1987).....	37
3.2	Carbone (1995)	41
3.3	Müsseler und Aschersleben (1998).....	46
3.4	Müsseler, Stork, Kerzel und Jordan (eingereicht).....	59
3.5	Kirschfeld und Kammer (1999).....	65
3.6	Zusammenfassung.....	66
4	Aufklärung von Widersprüchen und neue Befunde zum Fröhlich-Effekt.....	68
4.1	Experiment 1.....	68
4.2	Experiment 2.....	80
4.3	Experiment 3.....	84
4.4	Experiment 4.....	89
4.5	Experiment 5.....	93
4.6	Experiment 6.....	101
4.7	Zusammenfassung.....	104

5	Ähnliche Phänomene und alternative Erklärungsansätze	106
5.1	Der flash-lag Effekt.....	106
5.1.1	Nachweis des flash-lag Effektes und die Extrapolationserklärung.....	106
5.1.2	Alternativerklärungen für den flash-lag Effekt.....	118
5.1.3	Experimente zum flash-lag Effekt	132
5.1.3.1	Experiment 7	133
5.1.3.2	Experiment 8.....	138
5.1.3.3	Experiment 9.....	145
5.2	Das representational momentum	151
5.2.1	Die Analogie zum 'physical momentum' und bestätigende Befunde	151
5.2.2	Kritik an der Analogie und ein alternativer Theorierahmen.....	159
5.2.3	Experimente zum representational momentum	164
5.2.3.1	Experiment 10.....	164
5.2.3.2	Experiment 11.....	168
5.3	Zusammenfassung.....	172
6	Neue, aus dem Wetterwart-Modell abgeleitete Phänomene	174
6.1	Experiment 12.....	174
6.2	Experiment 13.....	178
6.3	Experiment 14.....	192
6.4	Experiment 15.....	195
6.5	Experiment 16.....	197
6.6	Zusammenfassung.....	201
7	Allgemeine Diskussion und physiologische Plausibilität des Wetterwart-Modells	202
7.1	Allgemeine Diskussion	202
7.2	Physiologische Plausibilität des Wetterwart-Modells	209
	Zusammenfassung.....	226
	Literaturverzeichnis	231

0 Einleitung

Aufmerksamkeit ist ein Gebiet innerhalb der Kognitionswissenschaften, das derzeit intensiv erforscht wird. So führt die Eingabe des Suchbegriffs "attention" in einer psychologischen Datenbank zu etwa 100.000 Einträgen. Hinter diesem Begriff verbergen sich sehr heterogene Themen. Sie reichen etwa von experimentell ausgerichteten Arbeiten zu visueller Suche (z.B. Kaptein, Theeuwes & van der Heijden, 1995) über die Untersuchung spezifischer Aufmerksamkeitsstörungen, die mit bestimmten Krankheitsbildern – wie Neglect, Parkinson oder Schizophrenie – zusammenhängen (z.B. Husain et al., 1997; Filoteo et al., 1997; Docherty et al., 1996) bis hin zur Modellierung spezifischer Aufmerksamkeitsmechanismen (z.B. Usher & Niebur, 1996). Eine Gemeinsamkeit fast aller dieser Arbeiten ist, daß ausschließlich statische Reize eingesetzt wurden. Mein Thema bewegt sich hingegen im Schnittbereich zwischen Aufmerksamkeit, der Wahrnehmung zeitlicher Dynamik, Raumrepräsentation und Bewußtsein. Genaugenommen beschäftigt sich die Arbeit mit der Beschaffenheit der Prozesse, die dazu führen, daß ein sich dynamisch veränderndes Objekt bewußt wahrgenommen werden kann. Für ein konkretes Objekt könnte man etwa fragen "Welche Prozesse müssen ablaufen, damit ein plötzlich auf die Straße rollender Ball wahrgenommen werden kann?". Die zentrale Annahme innerhalb dieser Arbeit lautet, daß hierzu Aufmerksamkeitsprozesse notwendig sind. Über die Annahme solcher Prozesse lassen sich bestimmte Wahrnehmungsverzerrungen erklären bzw. vorhersagen, und mit Hilfe dieser Arbeit soll versucht werden, die Aufmerksamkeitserklärung über experimentell erzeugte Verzerrungen weiter zu stützen und die zugrundeliegenden Mechanismen näher zu untersuchen.

Die Arbeit besteht aus sieben Kapiteln, die sich grob in einen Theorieteil (Kapitel 1-3), einen experimentell ausgerichteten Teil (Kapitel 4-6) und die Abschlußdiskussion (Kapitel 7) unterteilen lassen. Im ersten Kapitel stelle ich eine dieser Wahrnehmungsverzerrungen – den Fröhlich-Effekt – einschließlich der damaligen Methode, Interpretation und Kritik ausführlich dar. Das zweite Kapitel dient der Beschreibung des Aufmerksamkeitsansatzes. Neben der Darstellung dieses sogenannten Wetterwart-Modells werden die Phänomene vorgestellt, zu deren Erklärung es bis heute herangezogen wurde. Zu diesen Phänomenen gehört auch der in Kapitel 1 beschriebene

Fröhlich-Effekt. Im dritten Kapitel wird die bisherige Befundlage zum Fröhlich-Effekt dargestellt und ihre Vereinbarkeit mit dem Wetterwart-Modell diskutiert. Außerdem werden Widersprüche bzw. Unklarheiten in den Befunden herausgearbeitet. Im vierten Kapitel stelle ich eigene Experimente vor, die einzelne der zuvor diskutierten Unklarheiten aufklären sollten. Zusätzlich wurden weitere Vorhersagen des Wetterwart-Modells in bezug auf den Fröhlich-Effekt überprüft. Das fünfte Kapitel beschäftigt sich mit zwei weiteren Wahrnehmungsphänomenen: Dem 'flash-lag' Effekt und dem 'representational momentum'. Ich werde auch ihre bisherigen Erklärungsansätze vorstellen und zu klären versuchen, inwieweit diese zur Erklärung des Fröhlich-Effektes geeignet sind bzw. umgekehrt, das Wetterwart-Modell dazu genutzt werden kann, den flash-lag Effekt und/oder das representational momentum zu erklären. Innerhalb des sechsten Kapitels soll das Wetterwart-Modell auf seine Gültigkeit hin überprüft werden, indem neue Wahrnehmungsverzerrungen direkt aus den Modellannahmen abgeleitet und experimentell untersucht werden. Den Abschluß der Arbeit bilden eine allgemeine Diskussion der Befunde und Überlegungen zu möglichen physiologischen Grundlagen des Aufmerksamkeitsmodells.

1 Die Fröhlich-Phänomene und der "moderne" Fröhlich-Effekt

In diesem Kapitel soll die Wahrnehmungsverzerrung eingeführt werden, mit deren Beziehung zum Wetterwart-Modell sich ein großer Teil dieser Arbeit beschäftigen wird: Der Fröhlich-Effekt. Das Kapitel beginnt mit der Beschreibung der Wahrnehmungsphänomene, die der Physiologe Friedrich Wilhelm Fröhlich Anfang des letzten Jahrhunderts entdeckt hat und der Umstände, unter denen sie zum ersten Mal beobachtet wurden. Es folgt die Darstellung der Versuchsmethode, die in systematischen Folgeuntersuchungen eingesetzt wurde. Im Anschluß daran werde ich Fröhlichs Interpretation seiner Beobachtungen sowie Kritik an diesen Schlußfolgerungen vorstellen. Den Abschluß des Kapitels bilden Überlegungen dazu, wie der Begriff "Fröhlich-Effekt" in der aktuellen Forschung verwendet wird.

1.1 Die Fröhlich-Phänomene und ihre Untersuchungsmethode

Fröhlich entdeckte Anfang der zwanziger Jahre bei Versuchen zu Nachbildern eine Positionstäuschung, die bei bewegten Reizen auftritt (Fröhlich, 1921)¹. Die damalige Reizeanordnung bestand aus einem 1 mm breiten und 15 mm hohen Lichtspalt, der von rechts nach links durch einen 120 mm breiten und 40 mm hohen Fensterausschnitt bewegt wurde. Die Fensterränder, an denen der Reiz das Fenster betrat bzw. wieder verließ, waren für die Beobachter unsichtbar, da das Beobachtungsfenster und der Untersuchungsraum stark abgedunkelt waren. Während der gesamten Reizbewegung fixierten die Beobachter (meist Fröhlich selbst oder einer seiner Mitarbeiter) einen Lichtpunkt, der sich 15 mm unterhalb der Reizbahn befand. Abbildung 1.1 verdeutlicht diese Reizeanordnung aus der Sicht der Beobachter, wobei hier und in allen übrigen Abbildungen zu Fröhlichs Untersuchungen die Reize invers dargestellt sind. Je heller also die ursprünglichen Flächen, desto dunkler sind sie in den Abbildungen dargestellt.

¹ Fröhlich (1929) selbst behauptete zwar, der norwegische Astronom Pihl (1894) habe dieses Phänomen entdeckt, ich hoffe aber, dies in Carbone (1995) überzeugend widerlegt zu haben.

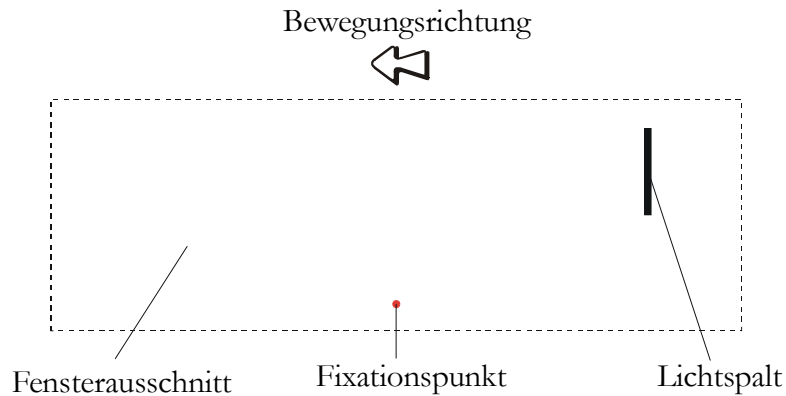


Abbildung 1.1 Darstellung der Versuchsanordnung Fröhlichs zur Untersuchung von Nachbildern (Fröhlich, 1921). Der Fensterrand ist hier gestrichelt dargestellt, da er für die Beobachter unsichtbar war.

Zunächst fiel Fröhlich auf (Beschreibung in Fröhlich, 1922), daß bei geringer Reizintensität die zurückgelegte Strecke rechts vom Fixationspunkt – also auf der Eintrittsseite – kürzer wirkte als die auf der linken Seite. Um den Grund für diese Täuschung herauszufinden, verlagerte Fröhlich den Fixationspunkt so weit nach rechts, daß er sich genau unter dem Rand befand, an dem der Reiz in das Fenster eintrat. Unter diesen Umständen zeigte sich eine deutliche Diskrepanz zwischen objektiver und wahrgenommener Reizanzordnung. Objektiv betrat der Reiz kontinuierlich das Fenster und "durchwanderte" es mit gleichbleibender Geschwindigkeit. Demnach hätte das erste Wahrnehmungsbild dem in das Fenster eintretenden Lichtspalt entsprechen sollen. Im Gegensatz dazu zeichnete sich das Wahrnehmungsbild durch die folgenden vier Eigenschaften aus, die in Abbildung 1.2 den objektiven Reizgegebenheiten gegenübergestellt sind:

Erstens wies der wahrgenommene gegenüber dem tatsächlichen Lichtspalt eine **Verbreiterung** auf.

Zweitens konnte Fröhlich eine **Verschiebung** nachweisen. Der relativ zur Bewegungsrichtung vordere Rand wurde ein Stück weit vom rechten Fensterrand entfernt wahrgenommen.

Drittens wies der wahrgenommene Lichtstreifen eine **charakteristische Helligkeitsverteilung** auf. Die wahrgenommene Lichtstärke nahm in Bewegungsrichtung zunächst zu und anschließend wieder ab (Abbildung 1.2 zeigt eine

Helligkeitsverteilung, die ihr Maximum in der Mitte aufweist. Es sind jedoch auch andere Helligkeitsverteilungen möglich).

Viertens befand sich zwischen dem äußeren – also rechten – Rand des wahrgenommenen Lichtstreifens und dem Fensterrand ein sogenanntes **dunkles Intervall**: Der wahrgenommene äußere Reizrand setzte nicht direkt am Fensterrand an, sondern es bestand eine Lücke. In Folgeuntersuchungen stellte Fröhlich fest, daß das dunkle Intervall nur bei schwachen Reizintensitäten auftrat. Bei hohen Intensitäten hingegen setzte der wahrgenommene Lichtstreifen direkt am Fensterrand an.

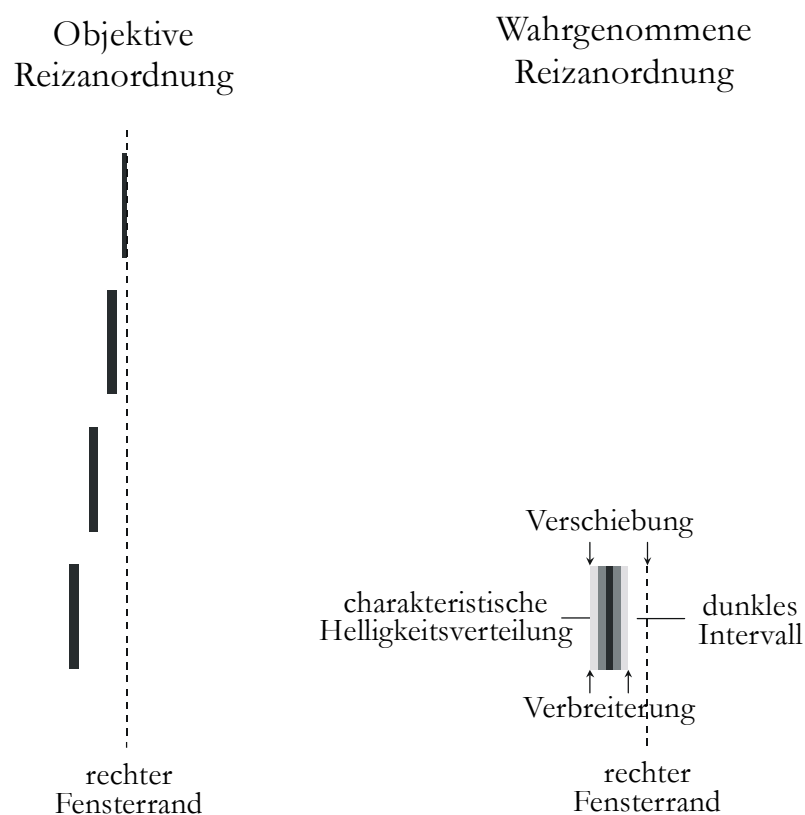


Abbildung 1.2 Gegenüberstellung der von Fröhlich (1921) verwendeten Reizanordnung und ihrer Wahrnehmung.

Das letztgenannte Merkmal – also das dunkle Intervall – war die Ursache für die subjektiv unterschiedlich langen Reizstrecken links und rechts vom Fixationspunkt. Die rechte Strecke wirkte kürzer, weil ausschließlich auf dieser Seite ein Stück der Laufstrecke nicht wahrgenommen wurde.

Im Anschluß an diese Beobachtungen führte Fröhlich eine Reihe von systematischen Untersuchungen durch. Die dabei eingesetzte, technisch recht aufwendige

Versuchsapparatur soll im folgenden näher beschrieben werden, damit sie später mit aktuellen Untersuchungsmethoden verglichen werden kann. Da die Angaben zur Versuchsmethodik in den einzelnen Arbeiten nicht vollständig sind, beziehen sich die folgenden Ausführungen auf mehrere Arbeiten (Fröhlich, 1921, 1929; Kovács, 1923; Kronenberger, 1925; Monjé, 1925; Vogelsang, 1924). Abbildung 1.3 zeigt die verwendete Apparatur aus der Draufsicht, und Abbildung 1.4 verdeutlicht zusätzlich die Versuchsanordnung aus der Sicht der Beobachter. Für eine detailliertere Darstellung der Versuchsmethodik siehe Carbone (1995).

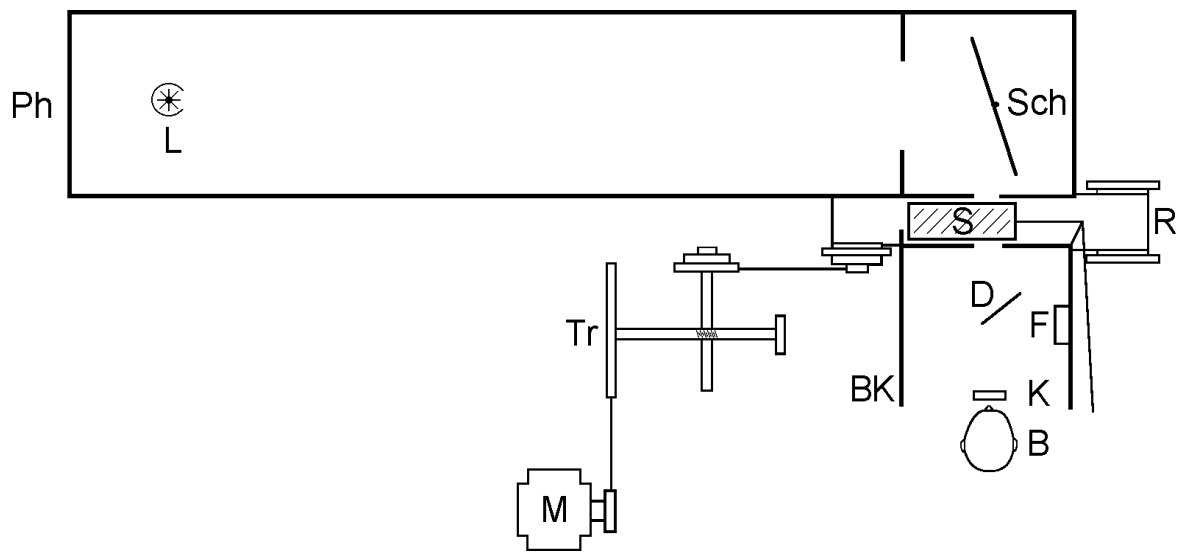


Abbildung 1.3 Schematische Darstellung der Versuchsapparatur Fröhlichs. *Ph* Photometer, *L* Lichtquelle, *Sch* Schirm des Photometers, *R* Rollen zur Spaltbewegung, *S* Spaltschlitten, *BK* Beobachtungskasten, *F* Fixierpunktlampe, *D* Deckglas zum Reflektieren der Lichtpunkte, *K* Kopfstütze, *B* Beobachter, *M* Motor, *Tr* Tischtransmission (nach Monjé, 1925).

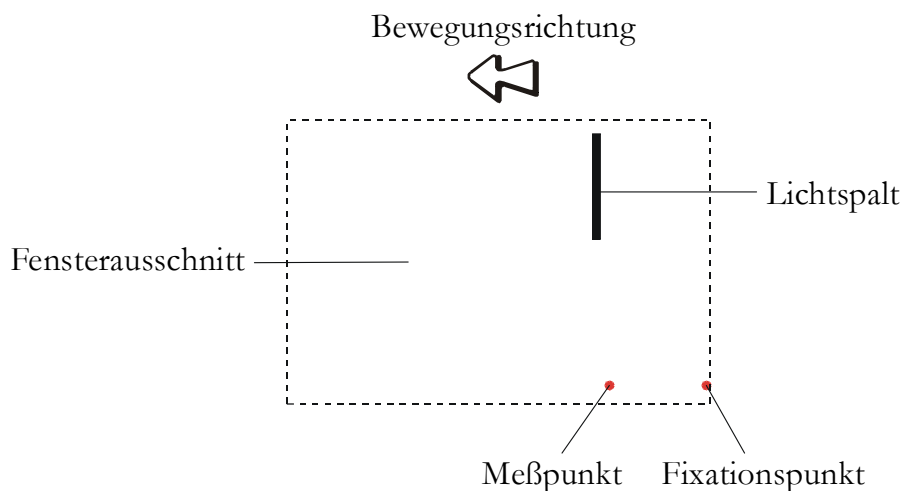


Abbildung 1.4 Versuchsanordnung aus Sicht der Beobachter bei einer größtmöglichen Fensterbreite von 60 mm.

Fröhlichs Beobachter blickten monokular, bei fixiertem Kopf, in einen geschwärzten Beobachtungskasten. In der hinteren Wand des Kastens, 300 mm entfernt vom Beobachter, befand sich ein Fensterausschnitt, der auf eine Breite zwischen 1 und 60 mm eingestellt werden konnte. Durch diesen Ausschnitt bewegte Fröhlich einen Lichtspalt auf einem Holzschlitten von rechts nach links. Die Spaltvorrichtung auf dem Schlitten bestand aus einem schwarzem Karton mit einer Aussparung von 90 mm². Durch zusätzliche schwarze Kartonblätter waren Höhe und Breite des Spaltes variabel. In den meisten Untersuchungen wurde aber ein 15 mm hoher und 1 mm breiter Spalt eingesetzt. Beleuchtet wurde der Spalt durch einen Lichtschirm, der sich hinter dem Kartonausschnitt befand. Über eine photometrische Einrichtung – Metallfadenlampen, die auf der Photometerbahn verschoben werden konnten – waren verschiedene Intensitäten auf dem Schirm realisierbar. Gelatinefilter, die vor dem Spalt angebracht wurden, ermöglichten zusätzlich den Einsatz farbiger Reize. Angetrieben wurde der Spaltschlitten durch einen Elektromotor, der – über eine Tischtransmission, eine Riemenübertragung und verschiedene Widerstände – Geschwindigkeiten zwischen 2.5 und 250 mm/s (0.48 – 47.75°/s) ermöglichte.

Zu Beginn jedes Durchgangs wurde der Spaltschlitten vom Beobachter mit Hilfe einer Darmsaite nach rechts zurückgezogen. Das Loslassen der Saite löste den Beobachtungsdurchgang aus, und etwa eine Sekunde später trat der Lichtspalt in das Fenster ein.

Durch ein Deckglas wurden zwei rote Lichtpunkte in die Spaltbahn projiziert. Einer von ihnen diente als Fixationspunkt und befand sich 20 mm unterhalb des rechten Randes, also genau unter der Stelle, an der der Lichtspalt in den Fensterausschnitt eintrat. Der andere Lichtpunkt (Meßpunkt) konnte von den Beobachtern durch das Drehen eines Zahnrades verschoben werden. Über der Versuchsanordnung befand sich eine Skala, auf die die jeweilige Einstellung des Meßpunktes mit 2½facher Vergrößerung übertragen wurde und vom Versuchsleiter abgelesen werden konnte.

In den meisten Untersuchungen bestimmte Fröhlich mit Hilfe dieses Meßpunktes die Verschiebung, in einigen wenigen aber auch die Verbreiterung und die Helligkeitsverteilung. Mit dem dunklen Intervall hingegen befaßte er sich nicht weiter. Um das Ausmaß der Verschiebung zu ermitteln, markierte der jeweilige Beobachter den

Ort, an dem er den inneren, also den linken Rand des Lichtstreifens wahrgenommen hatte. Zur Bestimmung der wahrgenommenen Breite wurde der Abstand zwischen Fixationspunkt und Meßpunkt auf die entsprechende Breite eingestellt. In bezug auf die Helligkeitsverteilung schließlich wurde der Ort des Maximums über die Verschiebung des Meßpunktes relativ zum Fixationspunkt bestimmt. Die absolute Lage des Helligkeitsmaximums ließ sich natürlich nur im Verhältnis zur Spaltbreite interpretieren.

1.2 Fröhlichs Interpretation der einzelnen Phänomene

Geht man von den Fällen aus, in denen das dunkle Intervall fehlt, scheinen am Beginn der Laufstrecke Positionen, die der Reiz objektiv nacheinander durchläuft, gleichzeitig wahrgenommen zu werden. Unter diesen Umständen sind Verschiebung und Verbreiterung identisch und wurden von Fröhlich über einen Einfluß der Empfindungszeit erklärt. Über diese schrieb er:

"Das Bestehen der Empfindungszeit ist eine unabweichliche Forderung, es muß zwischen der Einwirkung eines Sinnesreizes und dem Auftreten der damit verknüpften Empfindung eine bestimmte Zeit vergehen. Im Gebiete des Gesichtsinnes muß der Lichtreiz erst die lichtempfindlichen Elemente in Erregung versetzen, dieser Erregungsvorgang muß durch Vermittlung verschiedener Nervenzellstationen zu dem in der Großhirnrinde gelegenen Sehzentrum geleitet werden, das Sehzentrum muß erst auf die ihm zugeleiteten Erregungsvorgänge ansprechen, bevor die Empfindung eintritt." (Fröhlich, 1923, S.2f)

Eine einfache konstante Verschiebung der Wahrnehmung durch die Empfindungszeit kann nicht die Erklärung für die Verschiebung und Verbreiterung sein, da in diesem Fall objektiver und wahrgenommener Reiz vollständig identisch wären. Die Wahrnehmung sollte lediglich zeitlich verzögert einsetzen. Dies verdeutlicht Abbildung 1.5.

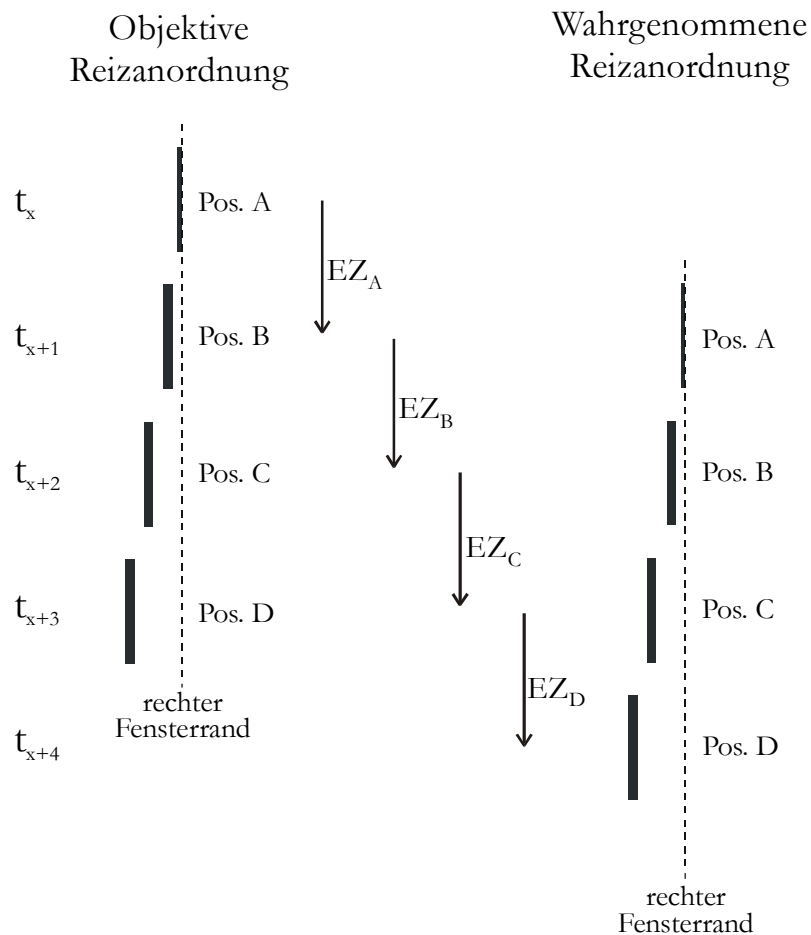


Abbildung 1.5 Hypothetische Gegenüberstellung der von Fröhlich (1921) verwendeten Reizanordnung und ihrer Wahrnehmung bei einer konstanten Empfindungszeit von einer Zeiteinheit. Die Pfeile EZ_A bis EZ_D symbolisieren die Empfindungszeiten für die Reize an den jeweiligen Positionen A-D.

Um die gleichzeitige Wahrnehmung objektiv in zeitlicher Abfolge stattfindender Ereignisse zu ermöglichen, müssen die Empfindungszeiten für die einzelnen Reizpositionen unterschiedlich sein: Genaugenommen müssen die Empfindungszeiten von der ersten bis zur letzten Position (von A bis D) kontinuierlich abnehmen und in einem Punkt zusammenfallen. Fröhlich behauptete sogar, daß die Empfindungszeit kontinuierlich verkürzt werde, bis sie an der letzten, als gleichzeitig wahrgenommenen Position Null beträgt. Der Reiz würde sich demnach also gleichzeitig objektiv an der innersten Position befinden und wahrgenommen werden. Abbildung 1.6 verdeutlicht Fröhlichs Interpretation.

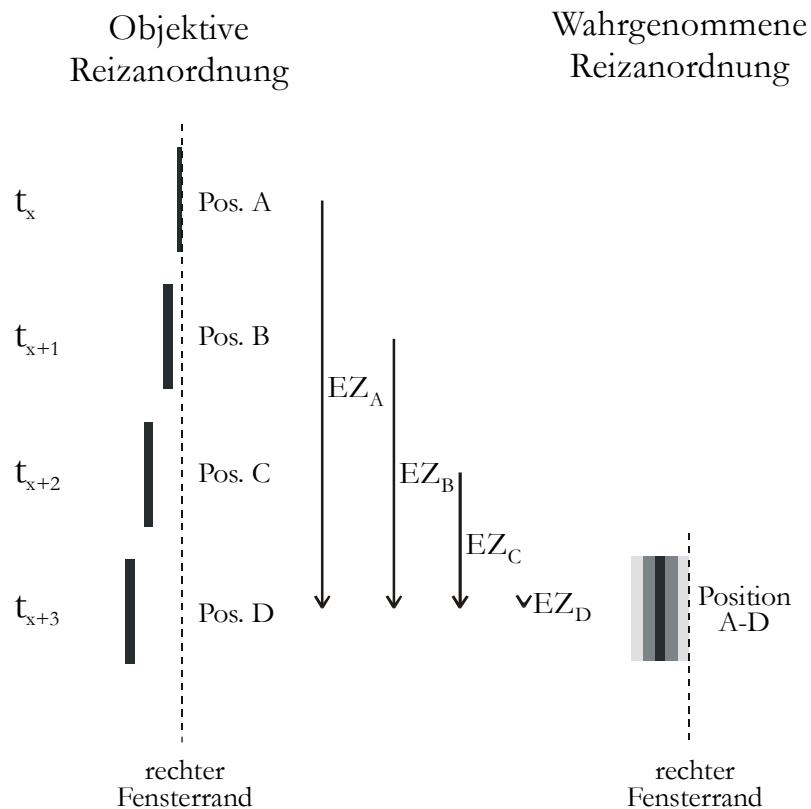


Abbildung 1.6 Hypothetische Gegenüberstellung der von Fröhlich (1921) verwendeten Reizanordnung und ihrer Wahrnehmung unter Fröhlichs Annahme der kontinuierlichen Empfindungszeitverkürzung bis auf den Wert 0.

Als physiologische Ursache für die Empfindungszeitverkürzung betrachtete Fröhlich die Lichtzerstreuung auf der Retina. Generell erzeugen Lichtreize kein scharf umgrenztes Netzhautbild. Das Licht überstrahlt die Ränder und belichtet auch angrenzende Netzhautbereiche (dies gilt als gesichert, wie sich z.B. in Cornsweet, 1970, S. 357 oder in Wandell, 1995, S. 19 nachlesen läßt). Die Größe des mitbelichteten Netzhautbereiches und die Stärke der Mitbelichtung wächst mit der jeweiligen Reizintensität. Wenn also der Lichtspalt bis zu seiner vollständigen Sichtbarkeit ins Fenster wandert, vergrößert sich die Lichtstärke und damit auch der Bereich und die Stärke der Mitbelichtung. Diese Mitbelichtung bewirkt laut Fröhlich eine Art Vorreizung oder Voraktivierung, durch die sich die Empfindungszeit an späteren Positionen verkürzt. Um eine kontinuierliche Empfindungszeitverkürzung bis 0 zu ermöglichen, sind eine Reihe weiterer Annahmen nötig, die mit Hilfe von Abbildung 1.7 verdeutlicht werden sollen.

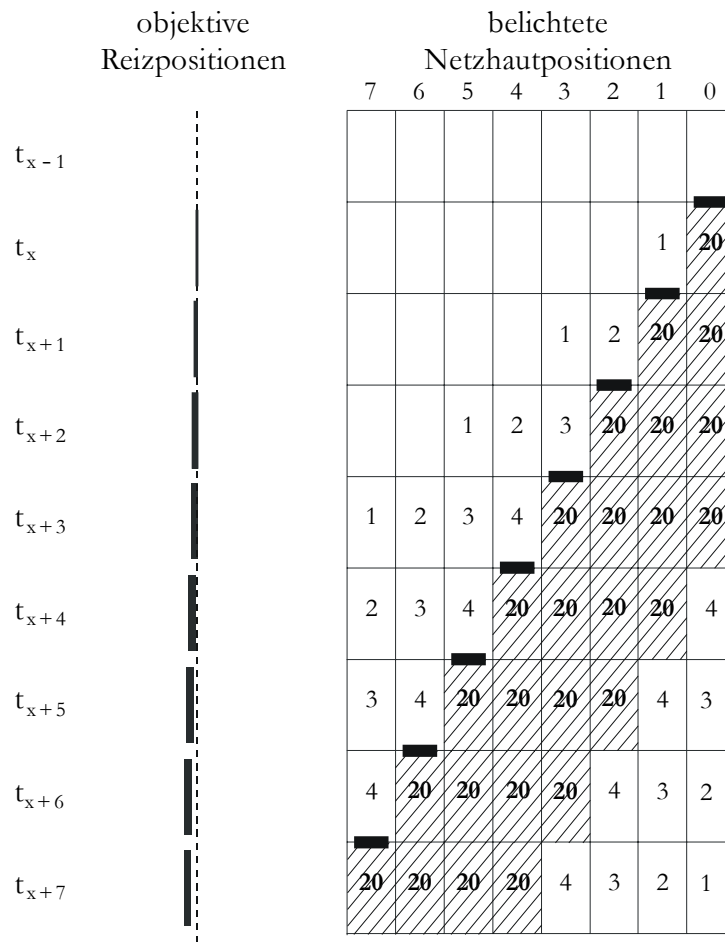


Abbildung 1.7 Gegenüberstellung objektiver Reizpositionen zu bestimmten Zeitpunkten und dadurch belichteter Netzhautbereiche links vom Fensterrand. Die Zahlen symbolisieren die jeweilige Belichtungsintensität.

Dargestellt sind die objektiven Reizpositionen vor und während des Eintritts in den Fensterausschnitt und die Netzhautbereiche, die hierdurch belichtet werden. Die dargestellten Netzhautbereiche befinden sich direkt nebeneinander und ausschließlich links vom Fensterrand. Der Reiz wandert kontinuierlich ins Fenster. Nehmen wir aber dennoch vereinfacht an, er würde das Fenster bis zur vollständigen Sichtbarkeit in vier abgestuften Schritten betreten. Zunächst (zum Zeitpunkt t_x) wäre er zu einem Viertel, dann zur Hälfte, anschließend zu drei Vierteln und schließlich vollständig sichtbar. Die Zahlen unterhalb der Netzhautpositionen 0 bis 7 symbolisieren die Belichtungsintensität für die einzelnen Netzhautbereiche zu verschiedenen Zeitpunkten. Die schraffierten Zwanzigerwerte entsprechen den Retinaorten, an denen sich der Spalt in seiner jeweiligen Breite gerade befindet. Alle übrigen Zahlenwerte repräsentieren die Belichtung über die Lichtzerstreuung. Die Höhe der Aktivierungswerte wurde willkürlich festgelegt, ist aber auch nicht weiter relevant. Wichtig ist lediglich, daß einerseits die Stärke der

Mitbelichtung ansteigt, wenn der Reiz in den Fensterausschnitt hineinwandert (die Zahlenwerte steigen an), und daß sich andererseits der mitbelichtete Bereich vergrößert (die Werte sind über eine größere Zahl von Netzhautpositionen verteilt). Betrachtet man die Vorreizung durch die Mitbelichtung an den einzelnen Netzhautpositionen – also die Summe der Voraktivierungswerte bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Reiz an dieser Position ankommt (Zahlen oberhalb des fettgedruckten Balkens) –, wird deutlich, daß die Vorreizung von Position 0 (keine Vorreizung) bis zu Position 7 (Vorreizung beträgt 10) kontinuierlich größer wird. Das Ausmaß der Voraktivierung nimmt also kontinuierlich zu, und im gleichen Maße fällt die Höhe der Aktivierung, die der Reiz an diesen Positionen bis zur Weiterleitung der Erregung zum visuellen Cortex aufbringen muß. Wenn man annimmt, daß diese kritische Erregung bei höherer Voraktivierung schneller erreicht werden kann, sollte dadurch die Empfindungszeit kontinuierlich kürzer werden. Nimmt man zusätzlich an, daß die Schwelle für die Weiterleitung in unserem Beispiel bei 10 Einheiten liegt, so wird diese an Position 7 zum Zeitpunkt t_{x+6} allein durch die Vorreizung erreicht. Nimmt man außerdem eine Dauer von einer Zeiteinheit für die Weiterleitung bis zum visuellen Cortex und dem Wahrnehmungseindruck an, wird der Reiz zur gleichen Zeit an Position 7 wahrgenommen, zu der er objektiv diese Position erreicht. So sollte laut Fröhlichs Überlegungen eine Empfindungszeit von 0 zustande kommen.

Fröhlich selbst schrieb über seine Überlegungen zur Lichtzerstreuung als Ursache der Empfindungszeitverkürzung:

"Es werden demnach in dem Moment, in welchem der Spalt hinter dem Schirmand hervortritt, ausgedehnte Netzhautpartien, darunter auch diejenigen, an welchen später der vordere Rand des Lichtstreifens auftritt, wenn auch schwächer gereizt. Je weiter der Spalt in die Spaltbahn vorrückt, um so mehr werden die Stellen, an welcher nach Ablauf der E.Z. [Empfindungszeit] der vordere Rand des Lichtstreifens auftritt, gereizt und um so schneller wird der Empfindungsvorgang eintreten. So kann es kommen, daß nach Vorübergehen der E.Z. die Empfindung an einer Stelle anzuklingen beginnt, an welche der bewegte Spalt eben angekommen ist." (Fröhlich, 1929, S. 34)

Das bei schwachen Intensitäten auftretende dunkle Intervall erklärte Fröhlich über Hemmungsmechanismen. Der eintretende Lichtspalt belichtet bestimmte Retinaorte. Wenn er weiterwandert, fällt das Licht auf benachbarte Orte, und die zuvor gereizten Bereiche werden gehemmt. Hierzu schreibt er:

"Das dunkle Intervall, welches am helladaptierten Auge am Beginn der Spaltbahn beobachtet wird ... kann mit Wirkungen zusammenhängen, die aus den oben beschriebenen Beobachtungen von Exner, Stigler und Piéron hervorgehen und von Stigler als Metakontrast bezeichnet worden sind. Indem der Spalt von jenen Stellen abrückt, welche er zuerst gereizt hat, unterdrückt er dort das Auftreten der Empfindung, ebenso wie ein nachfolgender starker Reiz den vorhergehenden schwachen Reiz unterdrückt." (Fröhlich, 1929, S. 34)

Bei Vorhandensein eines dunklen Intervalls sind Verschiebung und Verbreiterung nicht mehr identisch. Die Verschiebung ergibt sich in diesem Fall aus dem dunklen Intervall und der Verbreiterung.

Die Helligkeitsverteilung innerhalb des verbreiterten Balkens spiegelt laut Fröhlich den zeitlichen Verlauf der Empfindung wider. Fröhlich (1929) bemerkt dazu:

"Auch die Helligkeitsverteilung im Lichtstreifen kann dem Verständnis nach keine Schwierigkeiten bereiten, indem die Empfindung in einzelnen Elementen eben anklingt, in den benachbarten bereits ihr Maximum erreicht hat, in wieder anderen bereits im Abklingen begriffen ist." (Fröhlich, 1929, S. 63)

Zum damaligen Zeitpunkt war die Erklärung der Verschiebung über die Empfindungszeitverkürzung von besonders großem Interesse, da sie – falls Fröhlichs Überlegungen zuträfen – eine Möglichkeit zur Messung absoluter Empfindungszeiten zur Verfügung stellte². Wenn die Empfindungszeit tatsächlich kontinuierlich bis auf Null verkürzt wird, der Reiz also gleichzeitig an einer Position wahrgenommen wird, an der er sich objektiv gerade befindet (Position D in Abbildung 1.6), dann entspricht die Empfindungszeit für den Lichtspalt an der allerersten Position (Position A in Abbildung 1.6) genau der Zeitspanne, die der Reiz für die Strecke von dieser ersten Position (A) bis zur innersten noch gleichzeitig wahrgenommenen Position (D) benötigt hat ($t_{x+3} - t_x$). Bei Fröhlich liest sich dies folgendermaßen:

"Auch der dem bewegten Spalt entsprechende Lichtstreifen läuft mit Spaltgeschwindigkeit durch die Spaltbahn, aber er fängt erst an jener Stelle A1 zu laufen an, an welcher er aufgetaucht ist, er braucht daher für das Durchlaufen der kürzeren Strecke A1B kürzere Zeit. Die Differenz zwischen der Zeit AB und A1B gibt die Empfindungszeit wieder, d.h. die Verspätung, mit welcher der Lichtreiz aufgetaucht ist. Die Größe der E.Z. läßt sich dann einfacher aus dem Quotienten

² Die Bedeutung, die einer Methode zur Messung der Empfindungszeit in der damaligen Zeit zugeschrieben wurde, wurde in Carbone (1995) näher diskutiert.

Größe der Verschiebung V durch Spaltgeschwindigkeit s berechnen
 $\frac{V}{s} = \text{E.Z.}$ (Fröhlich, 1929, S. 25)

Beträgt die Verschiebung beispielsweise 5 mm und die Spaltgeschwindigkeit 100 mm/s, hätte Fröhlich daraus eine Empfindungszeit von 50 ms berechnet.

1.3 Kritik an Fröhlichs Interpretation und der Versuchsmethodik

Bereits kurz nach Veröffentlichung seiner "Methode zur Messung der Empfindungszeit" wurde Fröhlich von Forscherkollegen heftig angegriffen (z.B. Wirth, 1927; Müller, 1924; Rubin, 1929). So schreibt Wirth:

"Eine isolierte Bestimmung der "Empfindungszeit" zwischen dem Reiz und der bewußten Empfindung ist allerdings nicht möglich. Was in neuester Zeit von Physiologen, wie Fr. W. Froehlich, Vogelsang, Hazelhoff u.a. als eine solche Bestimmung gedeutet wird, ist wohl in Wirklichkeit zum Teil ein Unterschied zweier Empfindungszeiten, deren absoluter Betrag nicht bekannt ist, teils eine psychologisch sehr kompliziert bedingte Zeitverschiebungstäuschung, wie sie auch zwischen Empfindungen des nämlichen Sinnes bei verschiedener Raumlage auftreten kann." (Wirth, 1927, S. 222)

Insgesamt wurde Fröhlichs Verfahren von seinen Kollegen nicht als Methode zur Messung der Empfindungszeit akzeptiert. Allerdings geht fast keiner dieser Autoren auf Fröhlichs Untermauerungsversuche über die Lichtzerstreuung und die dadurch bedingte Empfindungszeitverkürzung bis auf 0 ein. Eine äußerst unsachliche "Begründung" für das Ignorieren der Überlegungen Fröhlichs findet sich bei Rubin (1929):

"Für das Studium des Phänomens hat es nicht genügend Interesse, hier die von Fröhlich angegebenen, ziemlich komplizierten und künstlichen Begründungen seiner Auffassung, die mitunter etwas Richtiges enthalten, zu analysieren." (Rubin, 1929, S. 102)

Neben den Forschern, die die Idee der Empfindungszeitverkürzung ignoriert haben, gab es auch einige, die Fröhlichs Erklärung auf die einer konstanten Wahrnehmungsverzögerung reduziert haben. So schreibt Metzger (1932):

"Fröhlich hat bekanntlich die Verlagerung der Stelle des Auftauchens folgendermaßen zu erklären versucht: Zwischen dem Beginn der Reizung und dem Auftauchen des Streifens vergeht eine gewisse Zeit, die Empfindungszeit (E.Z.); man sieht nun den Streifen an der Stelle auftauchen, bis zu welcher der Reiz während dieser Zeit weitergewandert ist." (Metzger, 1932, S. 177).

Diese Überlegung wird im Anschluß dann entsprechend als unrichtig abgelehnt (siehe Abbildung 1.5). Weiter unten im Text von Metzger heißt es:

"Es ist nämlich gar nicht ohne weiteres einzusehen, wieso einer Reizung am Anfang der Bahn nicht nach Ablauf der E.Z. eine Erscheinung am Anfang der Bahn folgen sollte, ganz gleich, wie weit das Reizgebilde sich inzwischen von der ursprünglichen Stelle entfernt hat." (Metzger, 1932, S. 177)

Im Unterschied zu diesen Autoren versucht meine folgende Kritik auch die physiologischen Überlegungen zur Empfindungszeitverkürzung mit einzubeziehen. Zunächst aber soll deutlich gemacht werden, daß sich die Messung der Empfindungszeit über die Fröhlich-Methode auch aus theoretischen Gründen angreifen läßt, selbst wenn die Empfindungszeitverkürzung bis auf 0 tatsächlich die Ursache für die Verschiebung sein sollte.

Wie bereits beschrieben, ergibt sich laut Fröhlich die Empfindungszeit für den Lichtspalt, der in das Fenster eintritt (Position A in Abbildung 1.6), aus dem Zeitintervall, das der Reiz für das Zurücklegen der Strecke von Position A bis zur letzten als gleichzeitig wahrgenommenen Position (Position D) benötigt hat. Für die Berechnung verwendet Fröhlich aber die Zeitspanne, die der Reiz vom Fensterrand (also bevor er das Fenster betreten hat) bis zur letzten, als gleichzeitig wahrgenommenen Position benötigt. Im Grunde bestimmt er also die Empfindungszeit für die letzte Reizposition vor dem Fensterrand. Die Dauer, die der Reiz bis zur ersten Position innerhalb des Fensters benötigt (wie klein sie auch immer sein mag), müßte also in jedem Fall von Fröhlichs Empfindungszeiten abgezogen werden.

Kommen wir nun zur Kritik an der speziellen Annahme der Empfindungszeitverkürzung bis auf 0: Einerseits erscheint diese Annahme extrem willkürlich, da eine systematische Verkürzung und das zeitliche Zusammenfallen der einzelnen Empfindungszeiten in einem Punkt ausreichen würden, um die Verschiebung und Verbreiterung zu erklären. Andererseits sollte die Mitbelichtung benachbarter Retinaorte, die in Abschnitt 1.2 beschrieben und in Abbildung 1.7 dargestellt wurde, nicht nur für Bereiche gelten, die sich auf der Seite befinden, in die sich der Spalt bewegt (nur diese sind in Abbildung 1.7 dargestellt), sondern auch für die Netzhautorte, die durch Positionen außerhalb des Fensters gereizt werden. Fügt man diese zu Abbildung 1.7 hinzu, ergibt sich Abbildung 1.8.

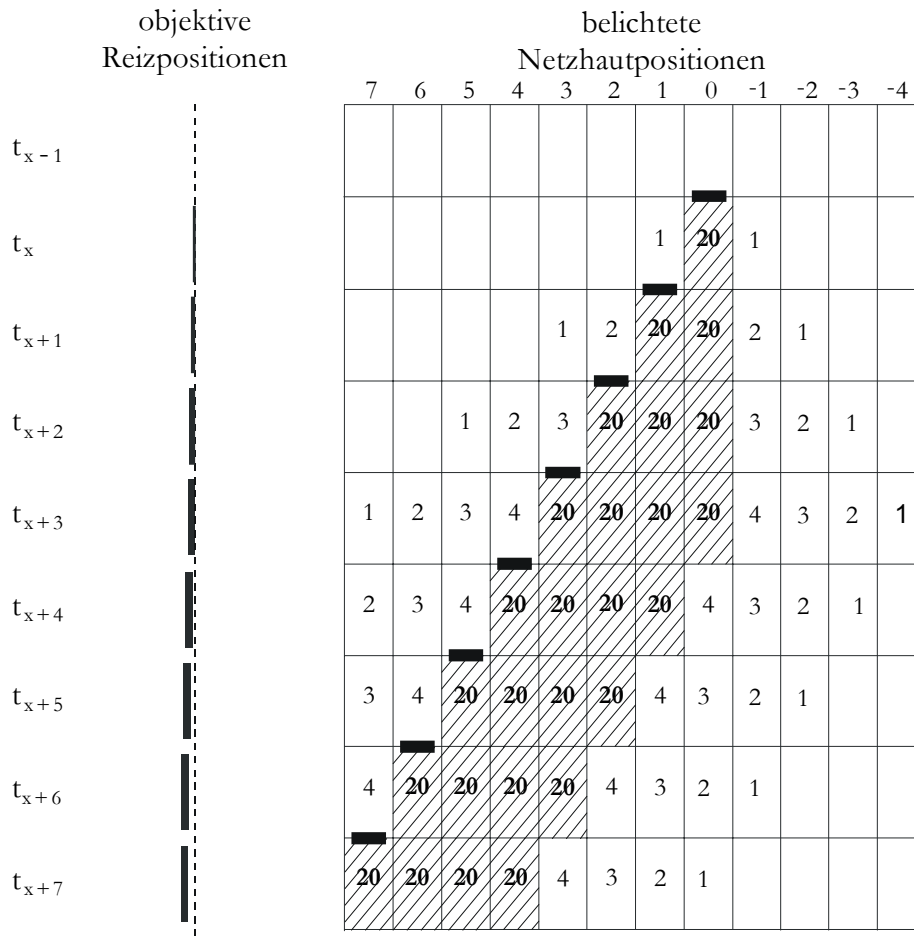


Abbildung 1.8 Gegenüberstellung objektiver Reizpositionen zu bestimmten Zeitpunkten und dadurch belichteter Netzhautbereiche.

Zuvor wurde eine Schwelle von 10 Einheiten angenommen, um eine Empfindung hervorzurufen. Diese wird aber auch außerhalb des Fensterausschnittes allein durch die Lichtzerstreuung erreicht (an Position -1). Es sollte demnach also Fälle geben, in denen die Verbreiterung sich über den Fensterrand hinaus ausdehnt. Solche Fälle wurden aber von Fröhlich an keiner Stelle berichtet und scheinen daher gegen seine Interpretation zu sprechen.

Neben den Kritikpunkten zu den physiologischen Überlegungen Fröhlichs zur Empfindungszeitverkürzung läßt sich auch Kritik an der Versuchsmethodik anbringen. Diese scheint mir aus praktischen Gründen nicht zur experimentellen Untersuchung des Fröhlich-Effektes geeignet zu sein. Der rote Meßpunkt, der von den Beobachtern auf den wahrgenommenen Eintrittsort eingestellt wurde, war ausschließlich im Inneren des Fensters sichtbar. Somit konnten die Beobachter also nur Positionen innerhalb (und nicht außerhalb) des Fensters einstellen, wodurch sich durch Zufallsstreuungen im Mittel eine positive Verschiebung ergeben müßte, selbst wenn kein "echter Effekt" vorliegen würde.

Für die frühen Untersuchungen hat dies sicher eine geringe Rolle gespielt, da Fröhlich und seine Mitarbeiter die Verschiebung zunächst introspektiv gesichert hatten und anschließend lediglich ihre genaue Größe ermitteln wollten. Allerdings ergibt sich gerade aus dem Einsatz von geübten Beobachtern eine weitere methodische Schwäche, auf die Rubin (1929) explizit hinweist. Seiner Meinung nach könnten Einstellungen der Beobachter Fröhlichs Befunde systematisch verzerrt haben. Er schrieb:

"Einstellungen usw., über die die Vp. Herr werden kann, muß man einen viel größeren Einfluß einräumen, als Fröhlich dies tut. Hierdurch wird die Versuchstechnik, die so fern wie möglich vom Ideal der Unwissenheit war, etwas bedenklich." (Rubin, 1929, S. 111f)

Insgesamt scheint also keine Empfindungszeitverkürzung bis auf 0 vorzuliegen, und damit wäre auch die Idee der Empfindungszeitmessung hinfällig (weitere Kritikpunkte finden sich bei Erismann, 1935). Dennoch ist natürlich nicht ausgeschlossen, daß eine Verkürzung der Empfindungszeit (wenn auch nicht bis auf den Wert 0) für die Verschiebung und Verbreiterung verantwortlich ist. Aus den methodischen Kritikpunkten ergeben sich zwei Forderungen: Einerseits sollte die Meßmethode so verbessert werden, daß sich auch negative Verschiebungen ergeben können. Andererseits sollten aufgrund möglicher Einstellungseffekte Vpn eingesetzt werden, die keinerlei Kenntnis über die Fröhlich-Phänomene besitzen.

1.4 Der "moderne" Fröhlich-Effekt

Im Grunde beinhalten Fröhlichs Phänomene zwei Verschiebungen: Den Effekt, den er selbst als "Verschiebung" bezeichnete, also die verlagerte Wahrnehmung des vorderen Balkenrandes und das bei niedrigen Intensitäten auftretende "dunkle Intervall". Bereits relativ kurze Zeit nach den ersten Berichten über die Phänomene wurde diese Differenzierung vernachlässigt. So beschreibt Metzger (1932) die räumliche Verlagerung folgendermaßen:

"Wenn ein Lichtspalt sich mit einer gewissen Geschwindigkeit hinter dem Rand eines Schirmes hervorbewegt, taucht der gesehene Lichtstreifen nicht an der Stelle des Schirmrandes, sondern in einiger Entfernung davon auf. Die Stelle des Auftauchens ist also um eine bestimmte Strecke in Bewegungsrichtung verlagert." (Metzger, 1932, S. 176)

Hier wird suggeriert, es spiele keine Rolle, ob der relativ zur Bewegungsrichtung innere oder äußere wahrgenommene Balkenrand als Maß für die Verschiebung verwendet wird. So ist es nicht verwunderlich, daß in modernen Untersuchungen Fröhlichs Beobachtungen ebenfalls auf eine nicht näher differenzierte räumliche Verlagerung reduziert werden. Dieses als **Fröhlich-Effekt** bezeichnete Phänomen wird dort etwa folgendermaßen beschrieben:

"Ein in ein Fenster eintretender bewegter Reiz wird erst wahrgenommen, wenn er schon ein Stück ins Fenster gewandert ist." (Neumann & Müsseler, 1990, S. 77).

In den konkreten Experimenten wurde aber stets das "dunkle Intervall" als Maß für die Verschiebung eingesetzt, d.h. die Beobachter markieren den relativ zur Bewegungsrichtung äußeren Rand des Reizes. Mir erscheint es jedoch nicht nur aus Konsistenzgründen sinnvoll, das dunkle Intervall als Verschiebungsmaß zu verwenden. Wenn man – wie wir später sehen werden – ein Modell untersuchen will, das eine Fehllokalisierung in Richtung der Bewegung vorhersagt, nicht aber eine Verbreiterung des wahrgenommenen Reizes, scheint es sinnvoll zu sein, das dunkle Intervall als Maß für die räumliche Fehllokalisierung einzusetzen, da es die subjektive Verbreiterung gegenüber dem objektiven Reiz nicht enthält und damit ein konservativeres Maß darstellt als Fröhlichs Verschiebung.

Diese Auffassung des dunklen Intervalls als die "reine Verschiebung" ist allerdings nicht mit Fröhlichs Interpretation dieses Phänomens vereinbar. Nach seiner Ansicht setzt der verbreiterte wahrgenommene Reiz im Grunde stets am Fensterrand an. Der Reizbereich nahe diesem Rand wird aber bei niedrigen Intensitäten durch Hemmungsmechanismen unterdrückt (siehe Abschnitt 1.2). Die Annahme, daß Hemmungsmechanismen bei niedrigen, nicht aber bei hohen Intensitäten wirksam sein sollten, scheint aber wenig überzeugend zu sein. Fröhlich zieht explizit den Vergleich zum Metakontrast, d.h. einer speziellen Form von Maskierung, bei der die Sichtbarkeit eines Reizes durch einen nachfolgenden, räumlich angrenzenden Reiz reduziert wird (für eine ausführlichere Beschreibung des Metakontrast-Phänomens siehe Abschnitt 2.1). Wie Bachmann (1994, S. 37ff) aber gezeigt hat, findet Maskierung sowohl bei hohen als auch bei niedrigen Reizintensitäten statt. Für plausibler halte ich – wie ich bereits in Carbone (1995) diskutiert habe – eine Erklärung über Nachbilder. Bei stationären Reizen entstehen

Nachbilder im Anschluß an die Reizdarbietung. Zunächst zeigen sich positive (annähernd gleichfarbige) Nachbilder, und später wechseln sich positive und negative (komplementär gefärbte oder auch dunkle) Nachbildphasen ab. Bei bewegten Reizen und festem Fixationspunkt wird die zeitliche Abfolge der Nachbilder räumlich sichtbar. Sie befinden sich hinter der primären Reizempfindung. Je stärker die Intensität der Reize, desto intensiver und dauerhafter werden die einzelnen Nachbildphasen und desto kürzer wird die Latenz zwischen Reiz und erster positiver Nachbildphase (Brown, 1966). Über diese Annahmen läßt sich das Vorhandensein des dunklen Intervalls bei niedrigen Intensitäten und seine Abwesenheit bei hohen Reizstärken erklären: Bei niedrigen Intensitäten wäre das positive Nachbild schwach ausgeprägt und würde möglicherweise auch zu spät einsetzen, um die Strecke zwischen Fensterrand und Reiz auszufüllen (also das dunkle Intervall zu verdecken). Bei starken Intensitäten würde es hingegen sehr schnell entstehen, wäre intensiv und dauerhaft und könnte so das dunkle Intervall für den Beobachter unsichtbar machen. Im Gegensatz zu Fröhlichs Annahme wäre das dunkle Intervall demnach immer vorhanden, könnte aber durch Nachbilder verdeckt werden.

Aufgrund dieser Überlegungen halte ich es für gerechtfertigt, das dunkle Intervall als "reine Verschiebung" zu betrachten. Wenn also in den folgenden Kapiteln – wie in den anderen aktuellen Arbeiten – vom "Fröhlich-Effekt" die Rede ist, bezeichnet dieser Begriff stets Fröhlichs "dunkles Intervall".

2 Das Wetterwart-Modell und sein bisheriger Anwendungsbereich

Nach der Beschreibung des Fröhlich-Effektes als zentrales Wahrnehmungsphänomen innerhalb dieser Arbeit stelle ich in diesem Kapitel das Aufmerksamkeitsmodell vor, dessen Gültigkeit mit Hilfe solcher Wahrnehmungsverzerrungen überprüft wird. Die grundlegenden Ideen des sogenannten Wetterwart-Modells von Odmar Neumann lassen sich bis in die 70er Jahre zurückverfolgen (Neumann, 1978, 1979). Es soll zunächst theoretisch eingeordnet und beschrieben werden. Anschließend wird ein Überblick über die verschiedenen Phänomene gegeben, die bisher mit Hilfe dieses Modells erklärt worden sind.

2.1 Das Wetterwart-Modell

Laut Neumann (1990a, 1992) dienen Aufmerksamkeitsmechanismen dazu, bestimmte Probleme bei der **Handlungssteuerung** zu lösen. Unter dem Begriff der Handlungssteuerung versteht er – im Gegensatz zur Bildung einer Handlungsabsicht und der Auslösung der Handlung – die Kontrolle der konkreten Handlungsausführung (Neumann, 1987). Handlungssteuerung bezieht sich demnach auf die Art und Weise der Handlungsausführung, anders gesagt, auf das **Wie** und nicht auf das **Was** einer Handlung. Da in jeder Situation, in der ein Handlungsziel besteht, viele Möglichkeiten existieren, Handlungen konkret auszuführen, sind Mechanismen nötig, die die vielen Möglichkeiten auf eine spezifische Handlung reduzieren. Diese Selektionsprobleme werden durch insgesamt fünf unterschiedliche Aufmerksamkeitsmechanismen gelöst (Neumann, 1991, 1992, 1996):

Erstens sorgt **Verhaltenshemmung** dafür, daß nicht versucht wird, mehrere physisch unvereinbare Handlungen auszuführen (z.B. gleichzeitiges Fahrradfahren und Gehen). Sobald eine der Handlungen in Gang gesetzt wird, wird die andere gehemmt. Zweitens wird durch **Hemmung beim Einsatz von Fertigkeiten** verhindert, daß dieselbe Fertigkeit zum gleichen Zeitpunkt mehrfach eingesetzt wird (z.B. gleichzeitiges schnelles und langsames Fahrradfahren). Drittens sind **Mechanismen der perzeptiven und sensorischen Selektion** dafür zuständig, daß genau ein Reiz ausgewählt wird, der die Handlung initiiert und ihre Ausführung festlegt (so könnte der Fahrradfahrer etwa zwischen einem Rennrad und einem Mountainbike auswählen). Da sich die Reize meist durch ihre räumliche Position voneinander unterscheiden, geschieht diese Selektion

hauptsächlich durch die Zuwendung zum jeweiligen Ort des Objektes. Viertens sorgt die **Regulation des psychophysiologischen Erregungsniveaus** dafür, daß die Aufrechterhaltung einer Handlung und die Möglichkeit, eine bestehende Handlung abubrechen, richtig gewichtet werden (etwa das Weiterfahren und das Anhalten an einer Ampel). Fünftens schließlich ermöglicht der Mechanismus **Handlungsplanung und Koordination des Handelns durch einen Handlungsplan** die Kombination vorhandener Fertigkeiten, so daß trotz Verhaltenshemmung beispielsweise mehrere Handlungen gleichzeitig ausgeführt werden können (beispielsweise Fahrradfahren und das gleichzeitige Transportieren eines Koffers in einer Hand).

Aufgrund der Unterschiedlichkeit dieser Mechanismen haben sich laut Neumann (1992) bisherige Aufmerksamkeitstheorien meist nur auf je einen dieser Mechanismen bezogen ("**lokale Modelle**"), und so entstand zwangsläufig die heutige Vielfältigkeit der aktuellen Aufmerksamkeitsansätze. Neben der Beschränkung auf einen Mechanismus hält Neumann (1990a, 1992) es zudem für sinnvoll, ein Aufmerksamkeitsmodell auf je eine Sinnesmodalität zu beschränken, da die Modalitäten vermutlich unterschiedliche Selektionsmechanismen erfordern. Er schreibt:

"Daß die Selektion eines Gegenstandes im Dienst der Handlungssteuerung vorwiegend durch Mechanismen innerhalb der einzelnen Sinnesmodalitäten geleistet wird, ist funktionell plausibel. Die Selektionsprobleme sind in den Modalitäten unterschiedlich; z.B. spielt die Unterdrückung von Rauschen bei der auditiven Selektion eine größere Rolle als bei der visuellen, während die räumliche Lokalisation für die visuelle Selektion wahrscheinlich wichtiger ist als die auditive ... Dies dürfte unterschiedliche, den spezifischen Problemen angepaßte Mechanismen verlangen." (Neumann, 1987, S.121)

Das nachfolgend beschriebene Wetterwart-Modell läßt sich der Komponente der perzeptiven und sensorischen Selektion zuordnen. Zusätzlich ist es auf die visuelle Modalität beschränkt. Es beschäftigt sich nicht mit inhaltlichen Kriterien der Reizselektion, sondern mit der zeitlichen Abfolge der Prozesse vom Auftauchen eines Reizes über die Selektion bis hin zur bewußten Repräsentation. Den Kern des Modells bilden seit langem bekannte Eigenschaften visueller Aufmerksamkeit (Müsseler & Neumann, 1992):

Erstens: Das Auftauchen (oder auch die extreme Veränderung) eines Reizes löst eine Aufmerksamkeitsverlagerung in seine Richtung aus.

Zweitens: Damit ein Reiz bewußt wahrgenommen werden kann, muß Aufmerksamkeit auf ihn gerichtet werden.

Drittens: Jede Aufmerksamkeitsverlagerung kostet Zeit.

Im Detail nimmt Neumann (Neumann, 1982, 1987; Neumann & Müsseler, 1990; Müsseler & Neumann, 1992) zwei interne Repräsentationsebenen an, auf denen Änderungen der Umwelt aktualisiert werden können:

Erstens auf der Ebene der **internen Raumkarte** ('spatial map') der visuellen Welt. Veränderungen in der Welt führen über sogenannte Kodierungsprozesse zu einer Aktualisierung ('updating') ihrer Einträge. Die Repräsentationen innerhalb dieser Raumkarte sind räumlich geordnet. Die Art der Koordinaten (retinale oder Umweltkoordinaten) und des Koordinatensystems (2-D, 2½-D, 3-D im Sinne von Marr, 1982) wird ausdrücklich offen gelassen. Die Kodierungsprozesse kommen schnell zum Abschluß, und der Inhalt der Raumkarte ist nicht bewußt repräsentiert.

Zweitens auf der Ebene des **inneren Modells** ('internal representation'). Nicht alle, sondern nur hinreichend extreme (z.B. intensive oder plötzliche auftretende) Änderungen führen – zusätzlich zur Aktualisierung der Raumkarte – zur Auslösung eines Aufmerksamkeitssignals. Dies bewirkt eine Fokussieränderung³ in Richtung des Reizes. Die Aufmerksamkeitsverlagerung ist – im Vergleich zur Aktualisierung der Raumkarte – ein langsamer Prozeß. Welchen Anteil am Gesamtprozeß das Lösen ('disengagement'), die Verlagerung selbst ('displacement') und die Neufokussierung der Aufmerksamkeit ('engagement') hat, wird offen gelassen. Der Abschluß der Verlagerung ist die Voraussetzung dafür, daß die Reizänderung im inneren Modell abgebildet und damit bewußt werden kann. Hierbei bewirkt der Aktualisierungsvorgang der Repräsentation, daß ein Inhalt bewußt wird, nicht die Repräsentation selbst.

³ Den Begriff der "Fokussieränderung" verwende ich hier im Sinne von Neumann und Müsseler (1990) als Verlagerung der Aufmerksamkeit. Der Begriff "konstantes Fokussieren" bezieht sich im Gegensatz dazu auf das fortlaufende Beachten eines Reizes.

Abbildung 2.1 verdeutlicht die Abfolge der im Wetterwart-Modell postulierten Prozesse auf den beiden Repräsentationsebenen, die auf eine extreme Reizänderung folgen.

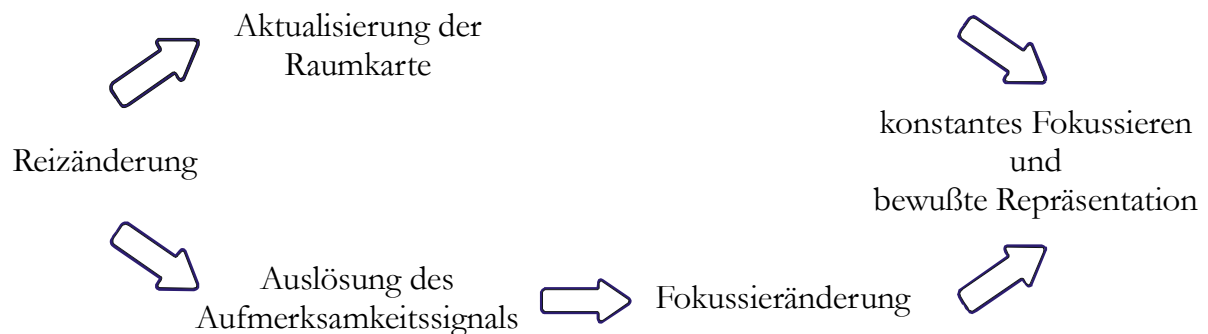


Abbildung 2.1 Abfolge der Prozesse, die laut Wetterwart-Modell auf eine extreme Reizänderung folgen.

Weniger extreme Reizänderungen werden zwar in der Raumkarte aktualisiert, lösen aber kein Aufmerksamkeitssignal und damit auch keine Aufmerksamkeitszuwendung und bewußte Repräsentation aus. Daraus ergibt sich, daß in der Raumkarte alle Details der Umwelt repräsentiert sind, während das innere Modell nur Informationen enthält, die beachtet worden sind.

Neumann verdeutlichte die Modellannahmen durch folgende namensgebende Analogie (Neumann, 1982, 1987; Neumann & Müsseler, 1990; Müsseler & Neumann, 1992):

Ein Wetterwart überwacht in einer Station eine große Zahl von Instrumenten. Wenn sich ein Umweltparameter ändert (z.B. der Luftdruck), springt kurze Zeit später der entsprechende Anzeigenwert um. Da der Wetterwart nicht alle Instrumente gleichzeitig im Auge behalten kann, ändert sich durch den neuen Umweltparameter nicht nur der angezeigte Wert, sondern es wird gleichzeitig ein Warnton ausgelöst. Es dauert dann eine gewisse Zeit, bis sich der Wetterwart der Anzeige zugewendet und sie abgelesen hat. Falls erforderlich, gibt er nach Ablesen der Anzeige den entsprechenden Wert in einen Fernschreiber ein.

Wie sind nun Analogie- und Modellelemente einander zugeordnet? Der sich ändernde Parameter steht für die externe Reizänderung, und die diversen Instrumente an den verschiedenen Orten repräsentieren die jeweiligen Orte in der Raumkarte. Die Anzeige

auf den Instrumenten entspricht dem, was an diesen Orten in der Raumkarte abgebildet ist, und das akustische Signal spiegelt das Aufmerksamkeitssignal wider. Die Zuwendung des Wetterwarts zum Instrument findet sich im Fokussieren der Aufmerksamkeit wieder, und mit dem Ablesen der Instrumentenanzeige ist die bewußte Wahrnehmung des Reizes an seinem Ort gemeint. Abbildung 2.2 verdeutlicht noch einmal die zeitliche Abfolge von Modell- und Analogieprozessen.

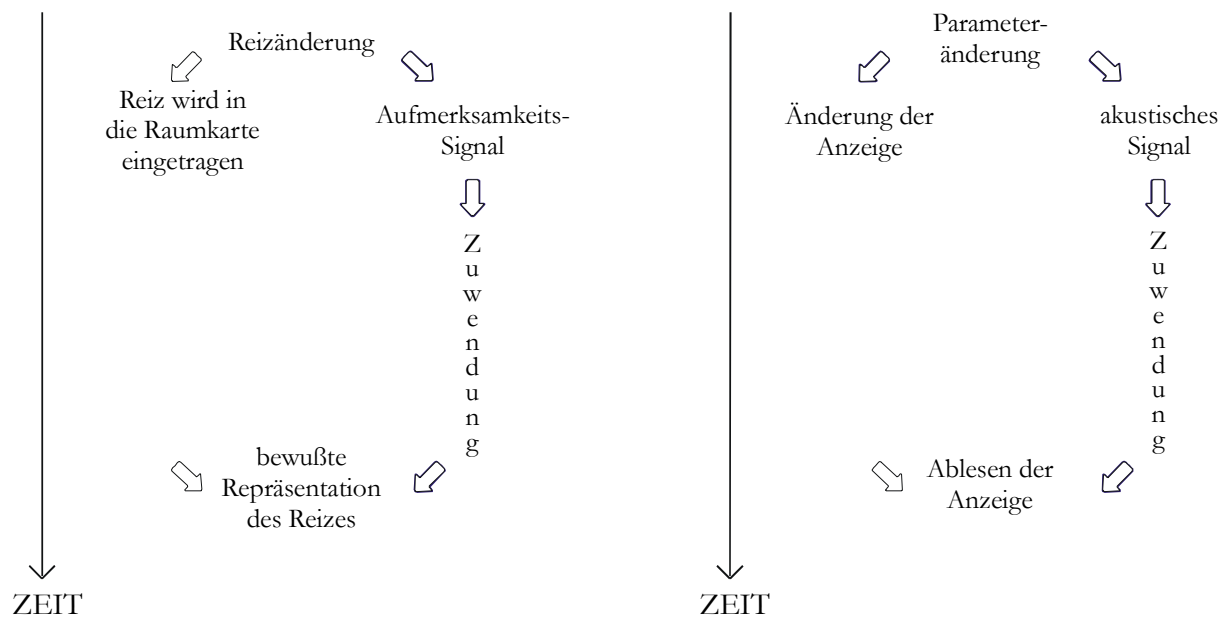


Abbildung 2.2 Gegenüberstellung der zeitlichen Abfolge von Prozessen innerhalb des Modells (links) und der Analogie (rechts).

2.2 Bisheriger Anwendungsbereich des Wetterwart-Modells

2.2.1 Metakontrast

Ursprünglich wurde das Wetterwart-Modell entwickelt, um Befunde zum **Metakontrast** zu erklären⁴. Wie bereits in Abschnitt 1.4 kurz angerissen, handelt es sich hierbei um eine Form rückwirkender visueller Maskierung, d.h. ein zeitlich nachfolgender Reiz beeinträchtigt die Sichtbarkeit eines vorangehenden Reizes. Metakontrast tritt auf, wenn auf einen peripher dargebotenen einfachen figuralen Testreiz in kurzem zeitlichen Abstand ein zeitlich anschließender Maskierreiz folgt. Beispielsweise könnte zuerst eine schwarze Scheibe (Testreiz) und anschließend ein ebenfalls schwarzer Ring

⁴ Auf die Darstellung der Entwicklungsgeschichte des Wetterwart-Modells wird hier verzichtet und auf Neumann (1987), Neumann & Müsseler (1990) und Carbone (1995) verwiesen.

(Maskierreiz) gezeigt werden, der die Scheibe umschließt (Scheibe-Ring-Anordnung). Unter diesen Umständen wird die Sichtbarkeit des ersten Reizes stark herabgesetzt. Im Extremfall kann der Testreiz sogar phänomenal unsichtbar werden. Die Maskierfunktion weist eine Reihe von Eigenschaften auf, die das Modell entsprechend erklären müßte. Die auffallendste dieser Eigenschaften ist die Abhängigkeit der Maskierstärke vom zeitlichen Abstand zwischen dem Beginn des Test- und des Maskierreizes ('stimulus onset asynchrony'; SOA). Die Wahrnehmbarkeit des Testreizes (etwa operationalisiert als Detektionswahrscheinlichkeit des Testreizes) nimmt zunächst bis zu einem gewissen SOA ab und in der Folge wieder zu. Das Minimum dieser U-Funktion und damit die maximale Maskierung liegt bei einem SOA von etwa 40-80 ms. Der abfallende und aufsteigende Ast der Maskierfunktion unterscheiden sich sowohl funktionell als auch phänomenal deutlich voneinander, was Neumann (1978) in einer Untersuchung systematisch nachgewiesen hat. Da die Befunde ohne Beschreibung der konkreten Versuchsanordnung recht schwer zu verstehen sind, soll die Methode an dieser Stelle kurz dargestellt werden. Neumann verwendete die bereits erwähnte Scheibe-Ring-Anordnung. Die Darbietungszeit des Testreizes betrug stets 5 ms und die des Maskierreizes 5, 7.5 oder 10 ms. Das SOA variierte in einem Bereich zwischen 5 und 105 ms. Die Test-Maskierreiz-Folge erschien durchgehend rechts vom Fixationspunkt, und in der Hälfte der Durchgänge tauchte auf der entgegengesetzten Seite (also links vom Fixationspunkt) gleichzeitig mit dem Testreiz ein Zusatzreiz auf, der optisch mit dem Testreiz identisch war. Es wurden drei Urteile erfaßt:

Detektion: Die Vpn sollten angeben, ob sie den Testreiz gesehen hatten oder nicht.

Zeitliche Auflösung: Die Vpn sollten angeben, ob sie Test- und Maskierreiz als phänomenal gleichzeitig (Simultanität) oder in zeitlicher Abfolge (Sukzession) wahrgenommen hatten.

Dunkelheitsskalierung: Die Dunkelheit des Testreizes sollte anhand einer fünfstufigen Skala eingeschätzt werden.

Die Befunde sind in den folgenden beiden Abbildungen zusammengefaßt. Abbildung 2.3 zeigt die Abhängigkeit der Detektionswahrscheinlichkeit von den Variablen SOA,

Darbietungsdauer des Maskierreizes und des Zusatzreizes. Abbildung 2.4 gibt die Dunkelheitsskalierung getrennt für die Simultan- und Sukzessionsurteile wieder.

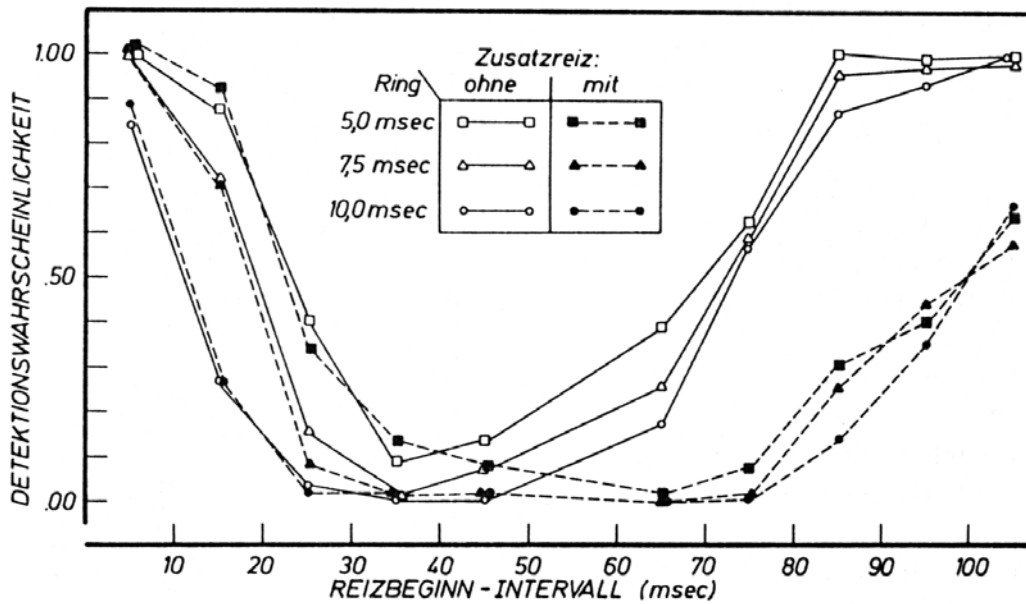


Abbildung 2.3 Abhängigkeit der Detektionswahrscheinlichkeit von den Variablen SOA (Reizbeginn-Intervall), Zusatzreiz und Maskierreizdauer (aus Neumann, 1978).

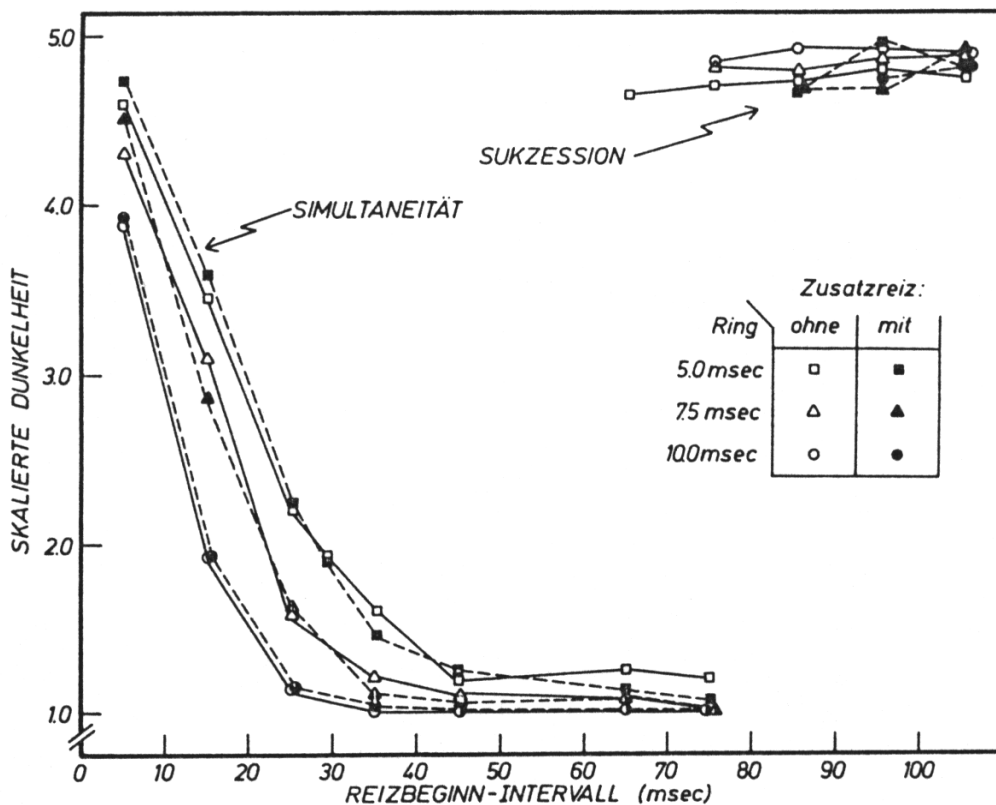


Abbildung 2.4 Skalierung der wahrgenommenen Dunkelheit des Testreizes getrennt für wahrgenommene Simultaneität bzw. Sukzession von Test- und Maskierreiz getrennt nach SOA (Reizbeginn-Intervall), Zusatzreiz und Maskierreizdauer (aus Neumann, 1978).

Neben dem bekannten Verlauf der Detektionsleistung über die SOAs zeigten sich folgende Unterschiede zwischen dem ab- und dem aufsteigenden Ast der Maskierfunktion:

Im SOA-Bereich des **abfallenden Astes** wurde der Testreiz, wenn er entdeckt wurde, simultan mit dem Maskierreiz wahrgenommen (in Abbildung 2.4 finden sich keine Sukzessionsurteile im Bereich der kurzen SOAs). Bei der verwendeten Scheibe-Ring-Anordnung wurde der Testreiz als Verdunkelung des Ringinneren sichtbar, und die Dunkelheitsskalierung nahm über die SOAs ab, bis der Testreiz nahezu unsichtbar war. Der Verlauf der skalierten Dunkelheit entsprach damit im abfallenden Ast dem Verlauf der Detektionsleistung (siehe Abbildung 2.3). Neumann konnte zusätzlich nachweisen, daß sich die Detektionsleistung aus der wahrgenommenen Verdunkelung des Ringinneren vorhersagen ließ. Er fand eine lineare Beziehung zwischen der wahrgenommenen Dunkelheit des Ringinneren und der Detektionsleistung ($r = 0.982$). Je größer die wahrgenommene Dunkelheit, desto wahrscheinlicher war die Entdeckung des Testreizes. Zusätzlich zeigte sich, daß die Darbietungszeit des Maskierreizes einen starken Einfluß auf den abfallenden Ast ausübte. Je länger die Darbietungsdauer, desto stärker wurde die Maskierung, bzw. desto schlechter war die Detektionsleistung (die Abstände zwischen Kreisen, Dreiecken und Quadraten in Abbildung 2.3). Der Zusatzreiz hingegen war im Bereich des abfallenden Astes wirkungslos.

Im Gegensatz dazu wurde im Bereich des **aufsteigenden Astes** in den Fällen, in denen der Testreiz sichtbar war, eine zeitliche Abfolge von Test- und Maskierreiz wahrgenommen (Sukzessionsurteile bei langen SOAs in Abbildung 2.4). Die Wahrnehmung einer Reizabfolge war stets mit hoher skalierten Dunkelheit verbunden. Neumann zeigte zusätzlich, daß sich die Detektionsleistung in der aufsteigenden Flanke über die Sukzessionswahrnehmung vorhersagen ließ. Er wies eine lineare Beziehung zwischen der Wahrnehmung zeitlicher Abfolge und der Detektionswahrscheinlichkeit nach ($r = 0.989$). Außerdem zeigte sich ein selektiver Einfluß des Zusatzreizes auf den aufsteigenden Ast. Genauer gesagt verschob er den aufsteigenden Ast in Richtung längerer SOAs, d.h. die Sichtbarkeit des Testreizes nahm im Vergleich zu Bedingungen ohne Zusatzreiz erst bei größeren SOAs wieder zu. Oder anders gesagt: Bei gleichem SOA war die Detektionswahrscheinlichkeit mit Zusatzreiz geringer als ohne ihn (für den aufsteigenden Ast liegen die dunklen Markierungen in Abbildung 2.3 unter den hellen).

Mit Hilfe des Wetterwart-Modells läßt sich der aufsteigende Ast der Maskierfunktion vollständig und der absteigende Ast in Kombination mit einer physiologischen Zusatzannahme erklären.

Für den aufsteigenden Ast müßte das Wetterwart-Modell folgende Befunde erklären können: **Erstens** die zunehmende Wahrscheinlichkeit für die Wahrnehmung einer Sukzession von Test- und Maskierreiz über die SOAs, **zweitens** die Festlegung der Detektionswahrscheinlichkeit durch die Wahrscheinlichkeit zeitlicher Auflösung und **drittens** den massiven Einfluß des Zusatzreizes. Laut Wetterwart-Modell wird der auftauchende Testreiz in die Raumkarte eingetragen und löst eine Aufmerksamkeitsverlagerung in seine Richtung aus. Anschließend wird der Maskierreiz gezeigt und überschreibt den Eintrag des Testreizes in der Raumkarte. Entscheidend dafür, ob der Testreiz gesehen wird oder nicht, ist laut Modell, ob die Aufmerksamkeitsverlagerung bereits abgeschlossen ist, wenn der Maskierreiz auftaucht. Gewinnt die Aufmerksamkeitsverlagerung den "Wettkampf", so wird der Testreiz bewußt wahrgenommen; gewinnt hingegen der Maskierreiz, wird nur er bewußt. Insofern wird immer genau dann, wenn der Testreiz gesehen wird, eine zeitliche Abfolge wahrgenommen. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Aufmerksamkeitsverlagerung schnell genug ist, hängt natürlich davon ab, wieviel Zeit ihr zur Verfügung steht, bis der Maskierreiz auftaucht, also vom SOA. Je länger das SOA, desto wahrscheinlicher sollte also der Testreiz sichtbar werden, bzw. die Testreiz-Maskierreiz-Abfolge wahrgenommen werden. Wird nun gleichzeitig mit dem Testreiz ein Zusatzreiz dargeboten, werden beide Reize in die Raumkarte eingetragen und konkurrieren um die Aufmerksamkeitszuwendung. Der Zusatzreiz wirkt hier als Distraktor, der die Zuwendungszeit zum Testreiz verlängert. Dies könnte dadurch geschehen, daß in einigen Fällen die Aufmerksamkeit fälschlicherweise zunächst auf den Zusatzreiz gerichtet wird. Diese Möglichkeit wurde aber von Neumann (1978; Bericht in Neumann & Müsseler, 1990) durch die Daten widerlegt. Wenn sich die mittlere Fokussierzeit aus den Fällen zusammensetzen würde, in denen sich mal der Zielreiz und mal der Maskierreiz durchsetzt, müßte die Varianz gegenüber der Bedingung ohne Zusatzreiz vergrößert sein und dadurch die Schwellenfunktion flacher ausfallen. Dies war aber nicht der Fall. Es bleiben laut Neumann und Müsseler (1990) zwei weitere Möglichkeiten: Erstens könnte sich stets der Testreiz durchsetzen, jedoch die Dauer bis zum Beginn der

Aufmerksamkeitsverlagerung verlängert sein. Zweitens wäre es möglich, daß nicht der Beginn verzögert wird, sondern sich die Ausführung der Aufmerksamkeitsverlagerung verlangsamt. In jedem Fall steigt durch die verlängerte mittlere Zeit die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Maskierreiz vor Abschluß der Verlagerung den Testreiz in der Raumkarte ersetzen kann. Für diese Idee, daß der Zusatzreiz als Distraktor wirkt, ein Aufmerksamkeitssignal auslöst und dadurch die Fokussieränderung verlängert, spricht laut Neumann und Müsseler (1990), daß ein ständig sichtbarer Zusatzreiz keine Wirkung hat, wohl aber sein Verschwinden. Außerdem wurde nachgewiesen, daß sich die Wirkung des Zusatzreizes verstärkt, wenn er dem Maskierreiz zeitlich vorangeht. Dies wäre zu erwarten, da das zeitliche Vorangehen die Möglichkeit des Zusatzreizes erhöht, Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen.

Kommen wir nun zum abfallenden Ast. Hier müssen folgende Aspekte durch das Modell erklärt werden: **Erstens** die abnehmende Wahrscheinlichkeit einer simultanen Wahrnehmung von Test- und Maskierreiz über die SOAs, **zweitens** die Festlegung der Detektionswahrscheinlichkeit durch die wahrgenommene Verdunkelung des Ringinnern und **drittens** der starke Einfluß der Maskierreiz-Darbietungszeit. Die gleiche Argumentation wie beim aufsteigenden Ast ist hier nicht möglich. Ohne Zusatzannahmen müßte die Maskierung hier vollständig sein, da der Zeitraum zwischen Test- und Maskierreiz so kurz ist, daß der Maskierreiz den Wettlauf stets gewinnen sollte. Hier zieht Neumann **periphere Helligkeitsintegration** als Erklärungsmechanismus heran. Ein Reiz überdauert seine Darbietungszeit für eine gewisse Zeit. Taucht in dieser kurzen Zeitspanne ein weiterer Reiz auf, wird die Resterregung des ersten mit der des zweiten integriert. Je kürzer der zeitliche Abstand zwischen den Reizen, desto stärker sind die Nachwirkungen des ersten Reizes. Der erste Reiz kann demnach also nachträglich die Wahrnehmung des zweiten verändern. Neumann und Müsseler (1990) stellen sich den konkreten Mechanismus und seine subjektive Wirkung folgendermaßen vor:

"Die sparsamste Annahme ist die, daß die Erregungsnachwirkung des Testreizes und die durch den Maskierreiz erzeugte Erregung einfach linear kombiniert werden. Da der Testreiz in unserem Fall schwarz und das Ringinnere weiß ist, würde eine solche Addition zu einer Verdunklung des Ringinneren führen." (Neumann & Müsseler, 1990, S. 93)

Mit Hilfe dieser Zusatzannahme lassen sich die Eigenschaften des abfallenden Astes erklären: Laut Modell sollte der Maskierreiz den Wettlauf stets gewinnen, allerdings wird

seine Wahrnehmung durch die Helligkeitsintegration mit dem zuvor gezeigten Testreiz moduliert, das Innere des Ringes sieht dunkel aus. An dieser Verdunkelung läßt sich das Auftauchen des Testreizes festmachen, und die Nachwirkungen des Testreizes sind umso extremer, je kürzer das SOA ist. Der Effekt der Maskierreiz-Darbietungszeit kommt dadurch zustande, daß mit zunehmender Energie des Maskierreizes die Möglichkeiten des Testreizes sinken, ihn zu modulieren. Daher sollte die Detektionswahrscheinlichkeit mit zunehmender Dauer des Maskierreizes abnehmen.

Auch innerhalb der Analogiesprache lassen sich die im Falle des Metakontrasts ablaufenden Prozesse verdeutlichen: Den beiden Reizen, die nacheinander am gleichen Ort auftauchen, würde ein Umweltparameter entsprechen, der zweimal hintereinander seinen Wert ändert. Dies würde dazu führen, daß der entsprechende Anzeigenwert ebenfalls zweimal hintereinander seinen Wert ändert. Der erste Anzeigenwert würde den Warnton und damit die Aufmerksamkeitszuwendung auslösen. Wäre der Wetterwart schneller als das Erscheinen des zweiten Anzeigenwertes, könnte er sowohl den ersten als auch den zweiten Wert ablesen. Erscheint die Anzeige aber, bevor er sich der Anzeige zugewendet hat, liest er lediglich den zweiten Wert ab. Er weiß nicht einmal, daß der erste existiert hat. Die SOA-Variation entspricht der Geschwindigkeit der Abfolge der beiden Anzeigenwerte und bestimmt analog die Dauer, die dem Wetterwart für die Zuwendung zur Verfügung steht. Dem Zusatzreiz, der gemeinsam mit dem Maskierreiz gezeigt wird, entsprechen zwei Anzeigenänderungen, die gleichzeitig stattfinden und entsprechend zwei Warntöne auslösen. Hier muß sich der Wetterwart für eine der beiden entscheiden und braucht dadurch zusätzliche Zeit für die Zuwendung.

2.2.2 Fehrer-Raab-Effekt

Über das Wetterwart-Modell läßt sich auch ein weiteres Phänomen erklären, das mit dem Metakontrast zusammenhängt, der nach seinen Entdeckern benannte **Fehrer-Raab-Effekt** (Fehrer & Raab, 1962). Er besteht darin, daß die einfache Reaktionszeit auf den Testreiz durch den anschließenden Maskierreiz nicht beeinträchtigt wird, obwohl die Sichtbarkeit des Testreizes stark reduziert ist. Unabhängig davon, ob geübte Beobachter den Maskierreiz noch entdecken können, findet man hier also eine Dissoziation zwischen der Wirkung des Maskierreizes auf die bewußte Repräsentation und die motorische Reaktion.

Das Wetterwart-Modell bietet laut Neumann und Müsseler (1990) zwei Möglichkeiten zur Erklärung des Fehler-Raab-Effektes an. Erstens könnte der Eintrag des Testreizes in die Raumkarte ausreichen, um eine motorische Reaktion auf den Testreiz auszulösen. Das System müßte also gar nicht auf den langsamen Fokussierprozeß und die damit verbundene bewußte Wahrnehmung warten, damit die Reaktion ausgeführt werden kann, sondern es gäbe eine "direkte Route" von der internen Raumkarte zur Motorik ("**direkte Parameterspezifikation**", Neumann, 1989, 1990b). Da die Reaktion in diesem Fall direkt gestartet werden kann, würde der nachfolgende Maskierreiz sie nicht mehr beeinträchtigen. In der Analogiesprache würde dieser direkten Route eine automatische Weiterleitung der Anzeigenänderung über den Fernschreiber entsprechen. Die zweite Möglichkeit kommt ohne diese Zusatzannahme der direkten Parameterspezifikation aus. Laut Wetterwart-Modell wird der Testreiz in die Raumkarte eingetragen und setzt über das Aufmerksamkeitssignal die Fokussieränderung in Gang. Während diese Verlagerung stattfindet, ersetzt der Maskierreiz den Testreiz in der Raumkarte und dessen Repräsentation wird nach Abschluß der Fokussieränderung "ausgelesen". Betrachtet man die Zeitverhältnisse "aus der Sicht des Maskierreizes", spart der Testreiz dem Maskierreiz eine bestimmte Zeitdauer (genau das SOA) für die Aufmerksamkeitsverlagerung. Entsprechend sollte die Reaktionszeit auf den Maskierreiz um genau diese Zeitspanne verkürzt sein. Innerhalb der Analogie würde der erste Anzeigenwert den Warnton und damit die Aufmerksamkeitszuwendung des Wetterwarts auslösen. Nehmen wir an, er benötigt hierzu gewöhnlich fünf Sekunden. Nach vier Sekunden ändert die Anzeige nun erneut ihren Wert, und der Wetterwart benötigt nun nur noch eine Sekunde für den Abschluß der Zuwendung und das Ablesen des zweiten Wertes. Die Reaktion erfolgt also aufgrund des zweiten Wertes, dieser kann aber – durch die verkürzte Zuwendungsdauer – früher wahrgenommen werden.

Diese Annahme der **zeitlichen Vorverlagerung** wurde in nachfolgenden Experimenten geprüft (Neumann, 1982). Wenn der Testreiz den Fokussiervorgang für den Maskierreiz tatsächlich verkürzt, dann sollte er früher wahrgenommen werden als ein gleicher Reiz, dem kein Testreiz vorangeht (Standardreiz). Außerdem sollte das Ausmaß der Vorverlagerung dem SOA entsprechen. Zur Bestimmung der zeitlichen Vorverlagerung wurde jeweils auf der rechten Seite die Testreiz-Maskierreiz-Folge mit einem festem SOA (in Experiment 1 von 80 ms) gezeigt und links der Standardreiz. Das SOA zwischen

Maskierreiz und Standardreiz war variabel, und die Vpn sollten jeweils entscheiden, welchen der beiden Reize sie zuerst wahrgenommen hatten. Es handelt sich also um ein zeitliches Reihenfolgeurteil ("**temporal order judgment**"; **TOJ**). Auf diese Weise konnte das Standardreiz-Maskierreiz-SOA ermittelt werden, an dem beide Reize als gleichzeitig wahrgenommen werden ("**point of subjective simultaneity**"; **PSS**). Wenn tatsächlich eine Vorverlagerung der bewußten Wahrnehmung durch den Testreiz existiert, sollte der Standardreiz früher als der Maskierreiz gezeigt werden müssen, um als gleichzeitig wahrgenommen zu werden, und dieser Betrag sollte dem SOA zwischen Testreiz und Maskierreiz entsprechen. In der Tat wurde eine Vorverlagerung nachgewiesen, allerdings entsprach ihr Ausmaß nicht dem SOA, sondern lediglich etwa der Hälfte. Dieser Befund, daß die Repräsentation des Maskierreizes durch den Prime zeitlich vorverlagert wird, daß aber dieser Wert deutlich geringer als das SOA und damit als der Fehler-Raab-Effekt ausfällt, wurde in mehreren aktuelleren Studien repliziert (Neumann, Esselmann & Klotz, 1993; Steglich & Neumann, 2000). Unabhängig vom Fehler-Raab-Effekt sprechen die Befunde von Stelmach und Herdman (1991) dafür, daß die Ausrichtung von Aufmerksamkeit die wahrgenommene zeitliche Reihenfolge beeinflussen kann, genaugenommen, daß der Reiz, auf den Aufmerksamkeit gerichtet wird, zeitlich vorverlagert wird. Die Vpn blickten durchgehend auf einen zentralen Fixationspunkt und sollten ihre Aufmerksamkeit entweder auf das linke oder rechte visuelle Feld richten (je nachdem, wo ein Marker gezeigt wurde). Anschließend wurden zwei Punkte mit variablem SOA gezeigt, einer auf der linken und einer auf der rechten Seite, und die Vpn sollten angeben, welchen sie zuerst wahrgenommen hatten. Es zeigte sich, daß sich die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf dieses zeitliche Reihenfolgeurteil auswirkte. Der nicht beachtete Reiz mußte dem beachteten zeitlich vorausgehen, damit beide als gleichzeitig wahrgenommen wurden.

Allerdings existieren auch Belege für die motorische Komponente – also für die Idee der direkten Parameterspezifikation. Wolff (1989) verwendete hierzu eine Zweifachwahl-Variante des Fehler-Raab-Paradigmas, in der er mit zwei geometrischen Figuren (Raute und Quadrat) arbeitete. Jede Figur war durch das Drücken einer Taste zu beantworten (z.B. Raute mit der linken und Quadrat mit der rechten Taste). Dem jeweiligen Zielreiz konnte eine verkleinerte Version des Zielreizes (kongruenter Testreiz), des Distraktors (inkongruenter Testreiz) oder eine neutrale Form (neutraler Testreiz) vorangehen. Test-

und Maskierreize waren so gewählt, daß die Testreize durch die Zielreize maskiert wurden. Es zeigte sich, daß selbst dann, wenn die Maskierung vollständig war, die Reaktionszeit in den kongruenten Fällen (wenn also z.B. dem relevanten Quadrat ein kleines Quadrat voranging) verkürzt und in den inkongruenten Fällen verlängert war (z.B. Raute vor Quadrat). Diese Befunde wurden in einer Reihe von weiteren Studien repliziert (beispielsweise von Neumann & Klotz, 1994; Ansorge, Klotz & Neumann, 1998; Klotz & Neumann, 1999). Insgesamt wurden also sowohl Belege für zeitliche Vorverlagerung als auch für direkte Parameterspezifikation gefunden. Nach wie vor ist aber nicht gesichert, in welchem Ausmaß die beiden Komponenten an der Entstehung des Fehrer-Raab-Effektes beteiligt sind.

2.2.3 Tandem-Effekt

Ein weiteres Phänomen, das über das Wetterwart-Modell erklärbar zu sein scheint, ist der sogenannte **Tandem-Effekt** (Kolbert, Müsseler & Neumann, 1982; Müsseler, 1987, Neumann & Müsseler, 1990). Er tritt auf, wenn zwei senkrechte Stäbe horizontal mit gleicher Geschwindigkeit durch ein Sichtfenster bewegt werden. Unter diesen Bedingungen wirkt der Abstand zwischen ihnen verkürzt (**Distanzreduktions-Effekt**). Ist die Distanz zwischen den Stäben größer als die tatsächliche Fensterbreite und die Geschwindigkeit hinreichend groß, wirkt der Abstand nicht nur verkürzt, sondern es tritt ein weiteres Phänomen hinzu: Die Stäbe scheinen sich gleichzeitig – also als Tandem – durch das Fenster zu bewegen, obwohl objektiv jeweils nur ein Stab im Fenster ist (**Simultanitätseffekt**).

Mit Hilfe des Wetterwart-Modells läßt sich der Tandem-Effekt folgendermaßen erklären: Der erste Stab, der in das Fenster eintritt, löst eine Fokussieränderung in seine Richtung aus. Nachdem er einmal fokussiert ist, folgt ihm die Aufmerksamkeit (konstantes Fokussieren). Wenn der zweite Stab auftaucht, wird die Position des ersten Stabs gespeichert, und es findet eine weitere Fokussieränderung in Richtung des zweiten Stabes statt. Nach Abschluß der Aufmerksamkeitsverlagerung wird die zweite Position ermittelt und mit der ersten verglichen. Da sich während der Fokussieränderung die Stäbe weiter bewegen, ist die Position beim Erreichen des zweiten Stabes nach Abschluß der Aufmerksamkeitsverlagerung gegenüber der Position, die diese Verlagerung ausgelöst hat, in Bewegungsrichtung verschoben. Kurz gesagt wird also für die Abstandsbestimmung

eine frühe Position des ersten Stabes mit einer späten Position des zweiten Stabes verglichen. Der wahrgenommene Stababstand ist demnach gegenüber dem tatsächlichen um genau die Strecke verkürzt, die der zweite Stab während der Fokussieränderung zurückgelegt hat.

Innerhalb der Wetterwart-Analogie würde den bewegten Reizen je ein Umweltparameter entsprechen, der seine räumliche Position innerhalb der Welt relativ schnell verändert (z.B. der Ort der maximalen Windgeschwindigkeit beim Auftreten eines Orkans) und dadurch auch die Anzeigen, auf denen er erscheint. Hier wird also nicht – wie beim Metakontrast – ein Anzeigenwert durch einen anderen überschrieben, sondern nacheinander erscheint ein ungewöhnlicher Wert auf verschiedenen benachbarten Anzeigen und wird an den vorherigen Positionen gelöscht. Der Ort der ersten Anzeige beim Beginn der Aufmerksamkeitsverlagerung wird mit dem der zweiten Anzeige nach der Zuwendung verglichen. Es werden demnach Anzeigenpositionen miteinander verglichen, an denen die beiden Parameter zu unterschiedlichen Zeitpunkten angezeigt wurden.

Eine Reihe von Befunden zum Tandem-Effekt steht ebenfalls in Einklang mit dem Wetterwart-Modell (Müsseler, 1987; Neumann & Müsseler, 1990). Die Abstandsverkürzung sollte umso größer ausfallen, je länger die Strecke wird, die der zweite Stab während der Fokussieränderung zurücklegen kann. Diese Strecke wiederum sollte mit der Stabgeschwindigkeit ansteigen. Diese Vorhersage konnte bestätigt werden. Zusätzlich hat sich gezeigt, daß das Ausmaß des Effektes vom Abstand der beiden Stäbe abhängt: Je größer der Stababstand, desto stärker wird der Abstand unterschätzt. Dieses Ergebnis scheint zunächst für eine Aufmerksamkeitsbewegung mit gleichbleibender Geschwindigkeit zu sprechen, da in diesem Fall die Dauer der Aufmerksamkeitsverlagerung mit der Streckenlänge linear ansteigen sollte und damit die Strecke, die der zweite Reiz während der Aufmerksamkeitsverlagerung zurücklegen kann. Explizit ist die Annahme einer "wandernden Aufmerksamkeit" im Modell zwar nicht enthalten, sie wird aber durch die Analogie zumindest nahelegt. In jedem Fall läßt sich eine solche Abhängigkeit der Verlagerungsdauer von der zurückzulegenden Strecke auch alternativ erklären. So könnte die Dauer für die Berechnung des Zielpunktes der Aufmerksamkeitsverlagerung mit zunehmendem Abstand ansteigen. Als weitere Vorhersage läßt sich aus dem Wetterwart-Modell ableiten, daß man statt einer

Abstandsverkürzung eine Abstandsverlängerung finden sollte, wenn sich die Richtung der Fokussieränderung und die Bewegungsrichtung nicht wider- sondern entsprechen. Bewegt sich der zweite Reiz zum Zeitpunkt der Loslösung der Aufmerksamkeit vom ersten Reiz in die gleiche Richtung wie die Aufmerksamkeit (entfernt sich also vom ersten Reiz), sollte der Abstand um die Strecke, die der Reiz während dieser "Verfolgung" zurücklegt, überschätzt werden. Auch dies ließ sich experimentell nachweisen. Desweiteren konnte nachgewiesen werden, daß – je nach Richtung der Fokussieränderung, die durch die Instruktion nahegelegt wird – selektiv eine Über- oder Unterschätzung erzeugt werden kann.

2.2.4 Fröhlich-Effekt

Kommen wir nun zu dem Phänomen, das in Kapitel 1 eingeführt wurde und dessen Beziehung zum Wetterwart-Modell uns im folgenden näher beschäftigen wird – zum **Fröhlich-Effekt**. Die Fehllokalisierung des äußeren Reizrandes in Bewegungsrichtung wird über das Wetterwart-Modell folgendermaßen erklärt: Ein bewegter Reiz taucht plötzlich auf, was zeitgleich die Aktualisierung der Raumkarte und das Aufmerksamkeitssignal auslöst. Durch das Aufmerksamkeitssignal wird eine Aufmerksamkeitsverlagerung in Richtung des Reizes in Gang gesetzt. Erst nach Abschluß der Fokussieränderung kann der Reiz bewußt wahrgenommen werden. Da er sich zu diesem Zeitpunkt bereits ein Stück weit bewegt hat – und sich damit auch der Ort in der Raumkarte verlagert hat – wird diese verschobene Position als Startposition wahrgenommen. Wie und wann genau die Korrektur der einmal gestarteten Aufmerksamkeitszuwendung von der Reizposition, die die Aufmerksamkeitszuwendung gestartet hat, hin zu den aktuelleren stattfindet, ist innerhalb des Modells nicht klar festgelegt. So könnte man sich eine nachträgliche Korrektur vorstellen, d.h. zunächst würde die Aufmerksamkeit an den Ort verlagert werden, an dem der Reiz aufgetaucht ist und das Aufmerksamkeitssignal ausgelöst hat, und diese Position würde im Anschluß korrigiert werden. Für die Plausibilität dieser Möglichkeit spricht, daß man bei Blickbewegungen eine solche nachträgliche Korrektur von unpräzisen Sakkaden (Korrektursakkaden) findet (Viviani & Swensson, 1982; Kapoula & Robinson, 1986). Es wäre aber auch möglich, daß die Bewegungsparameter des Reizes (wie die

Geschwindigkeit) benutzt werden können, um den neuen Zielpunkt während der Aufmerksamkeitsverlagerung zu korrigieren.

Innerhalb der Analogie entsteht der Fröhlich-Effekt – wie der Tandem-Effekt – dadurch, daß sich der Ort verändert, an dem ein Parameter angezeigt wird. Bei Abschluß der Zuwendung liest der Wetterwart den Wert von einer späteren Anzeige ab und hält ihn fälschlicherweise für die Anzeige, auf der der Wert zum ersten Mal angezeigt wurde.

3 Bisherige Befunde zum Fröhlich-Effekt

Nach der Beschreibung des Fröhlich-Effektes und des Wetterwart-Modells soll in diesem Kapitel die Befundlage zum Fröhlich-Effekt detailliert dargestellt und ihre Vereinbarkeit mit dem Wetterwart-Modell diskutiert werden. Dabei sollen Widersprüche bzw. Unklarheiten in und zwischen den Ergebnissen deutlich gemacht werden, aus denen sich die in Kapitel 4 dargestellten Experimente ergeben haben.

Der größte Teil der Arbeiten zur Beziehung zwischen Fröhlich-Effekt und Wetterwart-Modell stammt von Jochen Müsseler und Kollegen (Müsseler, 1987; Müsseler & Aschersleben, 1998; Müsseler, Stork, Kerzel & Jordan, eingereicht). Einige wenige wurden von mir – im Rahmen meiner Diplomarbeit (Carbone, 1995) – durchgeführt. Darüber hinaus existiert auch eine Arbeit von Kirschfeld und Kammer (1999), die sich allerdings nicht explizit mit dem Wetterwart-Modell befaßt. Die einzelnen Untersuchungen sollen im folgenden vorgestellt werden.

3.1 Müsseler (1987)

Das erste Experiment, das sich mit der Möglichkeit einer Aufmerksamkeitserklärung für den Fröhlich-Effekt beschäftigt, führte Müsseler (1987) im Rahmen seiner Dissertation durch. Da es sich um ein Experiment aus einer Versuchsreihe zum Tandem-Effekt handelte, fand es unter entsprechenden Bedingungen statt, d.h. es wurde mit zwei Reizen gearbeitet. Müsseler verwendete eine mechanische Versuchsanordnung, ein Gegenlichtprojektionsverfahren. Zur Erzeugung der beiden bewegten Reize waren zwei Metallstifte auf einer Rotationsscheibe angebracht, die über einen Elektromotor angetrieben wurde. Mit Hilfe eines umgebauten Diaprojektors wurde die Scheibe von hinten beleuchtet, so daß die Schatten der Stifte auf das Papier eines Beobachtungsfensters fielen. Dieses Beobachtungsfenster hatte eine Höhe von 40 mm sowie eine variable Breite und war in eine schwarze Projektionswand aus Sperrholz eingelassen, die gleichzeitig der Vp die Sicht auf die Versuchsanordnung versperrte. Die Schattenreize waren jeweils 40 mm hoch (begrenzt durch die Höhe des Beobachtungsfensters), 8 mm breit und bewegten sich stets von rechts nach links durch das Beobachtungsfenster. Die Reizgeschwindigkeit war in einem Bereich zwischen 200 und 800 mm/s einstellbar (in Schritten von 150 mm/s). Der Abstand der Vpn zum

Beobachtungsfenster wurde durch eine Kinnstütze auf 200 mm normiert, so daß Winkelgeschwindigkeiten zwischen 56.6 und $226.2^\circ/\text{s}$ möglich waren.

Zur Markierung der wahrgenommenen Startposition – also des äußeren Randes – befand sich 40 mm unterhalb des Reizfensters ein Markierungsfenster, in dem ein Metallstift über einen Drehknopf an die entsprechende Position verschoben werden konnte. Abbildung 3.1 zeigt die mechanische Apparatur und Abbildung 3.2 die verkleinerte Versuchsanordnung aus Sicht der V_{pn} bei größtmöglicher Fensterbreite.

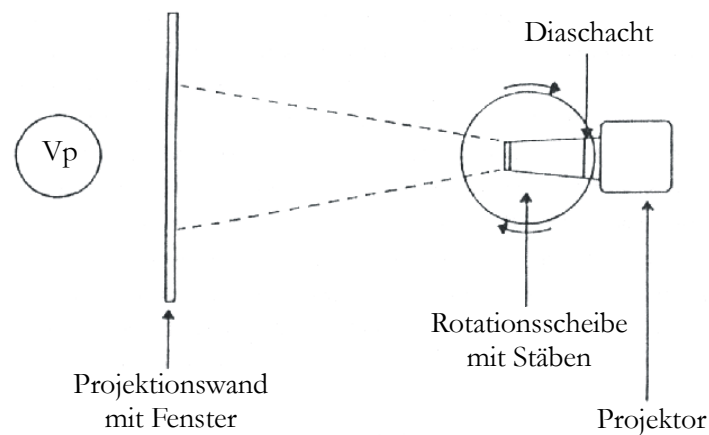


Abbildung 3.1 Mechanische Apparatur zur Untersuchung des Fröhlich-Effektes (Draufsicht; nach Müsseler, 1987).

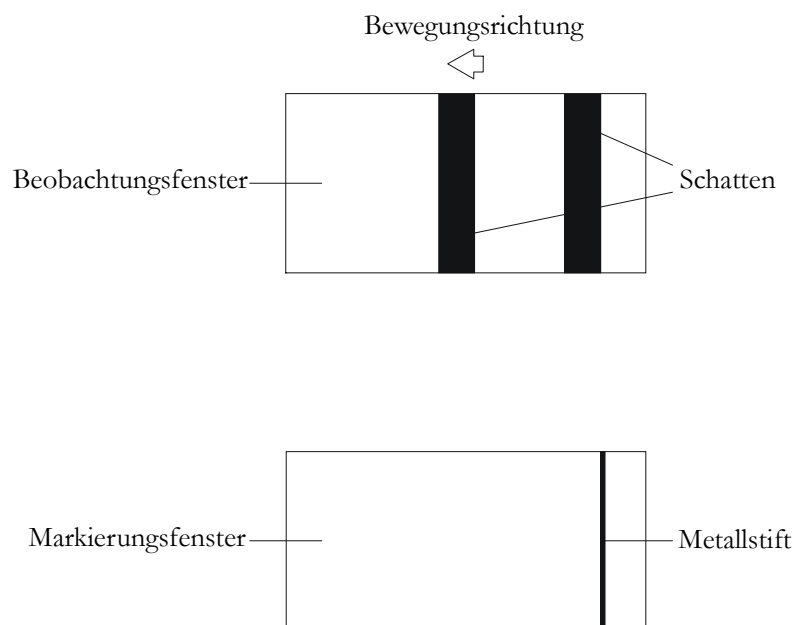


Abbildung 3.2 Von Müsseler (1987) eingesetzte Versuchsanordnung zur Erfassung des Fröhlich-Effektes aus Sicht der V_{pn} .

Die Ermittlung des Fröhlich-Effektes mit Hilfe dieser Anordnung sah folgendermaßen aus: Zu Beginn jedes Durchgangs richteten die Vpn auf ein akustisches Signal hin ihre Aufmerksamkeit auf einen selbstgewählten Punkt in der Mitte des Fensterausschnittes und fixierten diesen während der gesamten Reizdarbietung. Nachdem der erste Schatten aufgetaucht war, sollten sie diesem ihre Aufmerksamkeit zuwenden und ihn im Anschluß konstant fokussieren. Anschließend tauchte der zweite Balken auf und die Vpn sollten sich den Ort einprägen, an dem sie die äußere (also die rechte) Kante des zweiten Schattens zum ersten Mal bewußt wahrnahmen. Nach Verschwinden des zweiten Reizes verschoben sie den Metallstift an die entsprechende Stelle. Da den Vpn die tatsächliche Startposition – genau am Fensterrand – bekannt war, mußten sie vor Beginn des Experimentes über den Fröhlich-Effekt aufgeklärt werden, um die Erfassung der wahrgenommenen Startposition zu ermöglichen. Es wurde ihnen mitgeteilt, "daß bei schnell bewegten Reizen die Tendenz besteht, die erstmalige bewußte Lokalisation der Reize ins Sichtfenster hinein zu verschieben" (Müsseler, 1987, S. 162). Über die konkreten Hypothesen in bezug auf die Variablen erhielten die Vpn jedoch keinerlei Informationen.

Es wurden drei spezifische Hypothesen geprüft:

Erstens wurde – analog zum Tandem-Effekt – ein Anstieg der Fehllokalisierung mit zunehmender Reizgeschwindigkeit vorhergesagt, da laut Wetterwart-Modell die Strecke, die der Reiz während der Aufmerksamkeitsverlagerung zurücklegt, das Ausmaß des Fröhlich-Effektes festlegt. Um diese Hypothese zu prüfen, wurde die Reizgeschwindigkeit über den gesamten möglichen Bereich variiert, d.h. es wurden fünf Geschwindigkeiten eingesetzt (200, 350, 500, 650 und 800 mm/s bzw. 56.6, 99.0, 141.4, 183.8 und 226.2°/s). Die beiden anderen Hypothesen lassen sich unter das Stichwort "Streckenabhängigkeit" subsumieren. Die Überlegung war, daß die Dauer der Fokussieränderung von der zurückzulegenden Strecke abhängig sein sollte: Je länger die Dauer, desto weiter sollte der Reiz ins Fenster wandern können, bevor er bewußt wahrgenommen wird. Dies verdeutlicht nochmals (siehe auch Kapitel 2), daß das Wetterwart-Modell ursprünglich tatsächlich die Wanderung der Aufmerksamkeit mit gleichbleibender Geschwindigkeit (**Lichtkegel-Metapher**, z.B. Posner, 1980; Tsal, 1983) nahegelegt hat, ohne daß dies explizit formuliert war. Die beiden Hypothesen lauteten im Detail:

Zweitens: Der Fröhlich-Effekt sollte mit der Balkendistanz ansteigen. Wenn die Aufmerksamkeit zunächst auf den ersten Reiz gerichtet wird, legt die Distanz zwischen beiden Reizen die Strecke für die Aufmerksamkeitsverlagerung fest. Zum Test dieser Hypothese wurde die äußere Distanz zwischen den Reizen in drei Stufen variiert (36, 66 bzw. 96 mm).

Drittens: Die Vergrößerung der Fensterbreite sollte zu einer Vergrößerung des Fröhlich-Effektes führen. Je größer die Fensterbreite, desto weiter kann die Aufmerksamkeit dem ersten Balken folgen, bevor der zweite auftaucht, und desto länger wird die Strecke für die Fokussieränderung. Um diese Hypothese zu überprüfen wurde die Fensterbreite auf drei Stufen variiert (20, 50 und 80 mm).

Insgesamt handelte es sich also um ein 5 x 3 x 3 Design, wobei alle Faktoren innerhalb von V_{pn} variiert wurden und der Faktor Stababstand zusätzlich aus technischen Gründen geblockt werden mußte.

Abbildung 3.3 zeigt die Ergebnisse.

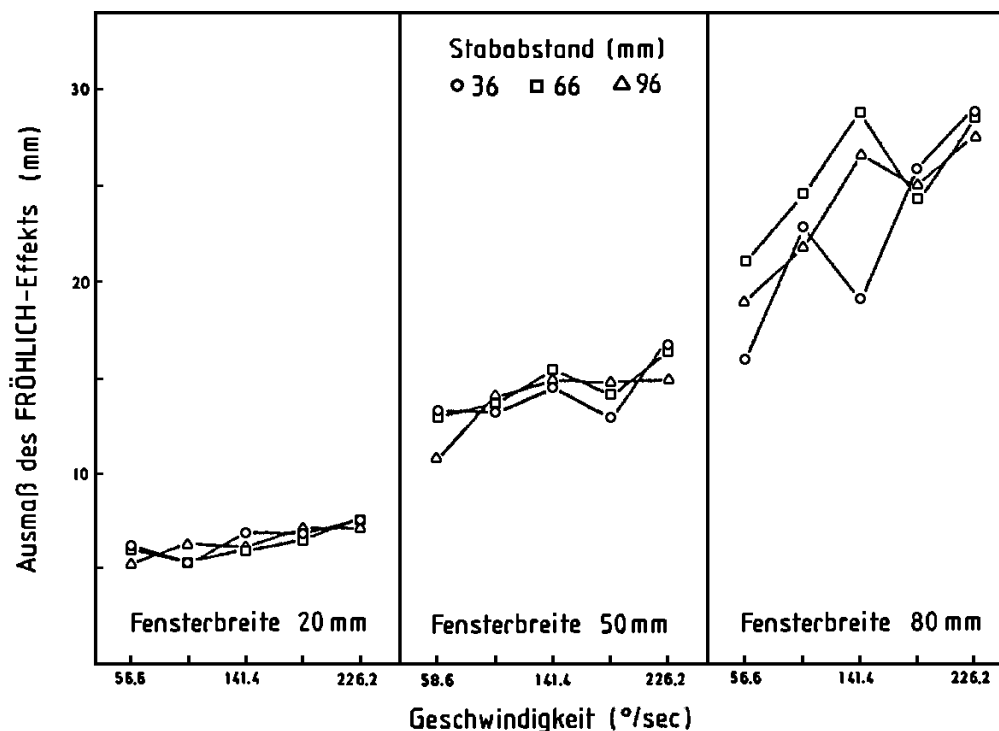


Abbildung 3.3 Ergebnisse des Fröhlich-Experimentes (Experiment 7, aus Müsseler, 1987).

Wie aus der Abbildung ersichtlich, wurden die Hypothesen nur zum Teil bestätigt. So ließ sich die Geschwindigkeitsabhängigkeit (Hypothese 1) nachweisen: Der Fröhlich-Effekt nahm über die Geschwindigkeiten zu (unter allen Fensterbreiten und Stababständen steigen die Kurven an). Auch der vorhergesagte Einfluß der Fensterbreite (Hypothese 3)

zeigte sich in den Daten: Der Fröhlich-Effekt nahm mit zunehmender Fensterbreite zu (die Höhe der Kurven steigt vom linken über den mittleren bis zur rechten Abbildung an). Hypothese 2 wurde hingegen nicht bestätigt. Der Fröhlich-Effekt hing nicht vom Stababstand ab (die durch Kreise, Quadrate und Dreiecke markierten Kurven liegen dicht beieinander). Müsseler (1987) und Müsseler und Neumann (1992) vermuteten, daß die nicht vorhandene Abhängigkeit der Fehllokalisation vom Stababstand dadurch zustande kam, daß Aufmerksamkeitsverlagerungen nicht am zuletzt fokussierten Ort gestartet werden, sondern stets vom Fixationspunkt aus (**Positions-Invarianz-Hypothese**). Da der Abstand zwischen Fixationspunkt und Fensterrand vom Stababstand unabhängig war, hatte der Abstand keinen Einfluß auf den Fröhlich-Effekt. Auch der vorhandene Einfluß der Fensterbreite läßt sich über die Positions-Invarianz-Hypothese erklären. Der Fixationspunkt befindet sich in der Mitte des Fensterausschnittes, und damit ist der Fensterrand, an dem der zweite Reiz auftaucht, umso weiter entfernt, je größer der Fensterausschnitt wird. Aus diesem Grund sollte der Fröhlich-Effekt mit der Fensterbreite ansteigen. Der Einfluß des Fensterausschnittes wäre demnach im Grunde ein Effekt der Exzentrizität des auftauchenden Reizes.

3.2 Carbone (1995)

Da das Experiment von Jochen Müsseler (1987) nicht als Replikation des Fröhlich-Effektes unter möglichst originalen Bedingungen gedacht war, unterschieden sich eine Reihe von Merkmalen der Versuchsanordnung. Ein Hauptunterschied zwischen Fröhlichs (1921) und Müsselers (1987) Anordnung bestand sicher in der Verwendung von zwei Reizen statt einem und der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den ersten Reiz. Zusätzlich war die Reizgröße unterschiedlich, und alle von Müsseler eingesetzten Geschwindigkeiten ($56.6\text{--}226.2^\circ/\text{s}$) lagen oberhalb der von Fröhlich verwendeten ($0.48\text{--}47.75^\circ/\text{s}$). Darüber hinaus war durch die Verwendung der mechanischen Apparatur den Vpn die objektive Startposition bekannt, und daher konnte der Fröhlich-Effekt nur mit Hilfe einer suggestiven Instruktion ermittelt werden (für eine genauere Diskussion der Unterschiede zwischen den Versuchsanordnungen siehe Carbone, 1995). Aufgrund dieser Unterschiede versuchte ich (Carbone, 1995) den Fröhlich-Effekt unter möglichst originalen, aber dennoch methodisch verbesserten Versuchsbedingungen zu replizieren. Einerseits erschien mir der Einsatz eines Computers zur Reizdarbietung sinnvoll, da sich

mit seiner Hilfe nicht-vorhersehbare Startpositionen realisieren lassen. Der Nachteil dieses Vorgehens besteht aber natürlich darin, daß sich auf dem Computermonitor keine echte kontinuierliche Bewegung realisieren läßt, sondern ein Reiz lediglich zunächst an einer und später an veränderten Positionen gezeigt wird. Die Vorteile der Computerpräsentation überwiegen meiner Meinung nach aber deutlich die Nachteile. Außerdem sollte mit dunklen Reizen auf relativ hellem Grund gearbeitet werden, um das Problem der Nachbilder zu umgehen. Zusätzlich zum Replikationsversuch wurden – wie bei Müsseler (1987) – spezifische Hypothesen in bezug auf das Wetterwart-Modell geprüft.

Als Reiz diente ein schwarzes Rechteck von 1.26 mm Breite und 15.6 mm Höhe (das entspricht bei einem Beobachtungsabstand von 300 mm einer Breite von 0.24° und einer Höhe von 2.98°). Die Reizgröße entspricht somit annähernd derjenigen, die von Fröhlich eingesetzt wurde. Um die Intensität, summiert über die Zeit, an jeder Position konstant zu halten, erschien der Reiz jeweils in seiner gesamten Breite, wurde während der Bewegung mit jedem Bildschirmaufbau um seine gesamte Breite versetzt und verschwand schließlich auch in seiner ganzen Breite vom Bildschirm. Die Geschwindigkeit betrug $25.78^\circ/\text{s}$ (135 mm/s) und befand sich damit etwa im mittleren Bereich der von Fröhlich verwendeten Geschwindigkeiten. Die Strecke war 67.2 mm (12.83°) lang, und der Reiz benötigte für das Zurücklegen dieser Strecke eine Zeitspanne von 495 ms. Fixiert wurde ein roter Punkt, der sich mittig 15.6 mm (2.98°) unterhalb der Reizbahn befand. Untersucht wurde der Einfluß der Reizexzentrizität zum Zeitpunkt des Auftauchens. Dieser Faktor wurde auf 15 Stufen in einem Bereich von 44.1 mm nach links und rechts um den Fixationspunkt variiert. Die Abstände zwischen den Reizexzentrizitäten betrugen somit 6.3 mm; die mittlere Reizposition befand sich genau oberhalb des Fixationspunktes. Gemäß der Diskussion Müsselers wurde für diesen Faktor ein positiver Effekt vorhergesagt. Die Fehllokalisierung sollte also mit zunehmender Entfernung vom Fixationspunkt ansteigen, da die Dauer der Aufmerksamkeitsverlagerung von der Strecke abhängig sein sollte. Unabhängig davon, wo der Reiz auftauchte, bewegte er sich stets nach links, so daß es sich bei Reizen auf der linken Seite um foveofugale Bewegung (Entfernung vom Fixationspunkt) handelte und auf der rechten Seite um foveopetale (Annäherung an den Fixationspunkt). So ließ sich zusätzlich untersuchen, ob es einen Effekt der Bewegungsrichtung gab, d.h. ob sich das Ausmaß der Fehllokalisierung für

Bewegung in Richtung der Fovea von dem bei Entfernung von der Fovea unterschied. Die Hypothese war, daß der Effekt bei foveofugaler Bewegung (also auf der linken Seite) größer sein sollte als bei foveopetaler Bewegung, weil die Aufmerksamkeit hinter dem Reiz "herwandern" muß, wenn er sich vom Fixationspunkt entfernt, während der Reiz ihr bei foveopetaler Bewegung "ein Stück des Weges spart", weil er auf sie zuwandert. Im Grunde könnte es sich hier aber natürlich auch um einen Effekt der Reizseite handeln, da Bewegungsrichtung und Startseite miteinander konfundiert waren. Dies nahm ich an dieser Stelle aber bewußt in Kauf, da ich mich möglichst weitgehend an Fröhlichs Versuchsanordnung orientieren wollte. Abbildung 3.4 verdeutlicht die verwendeten Startexzentrizitäten (rechter Balkenrand) relativ zum Fixationspunkt.

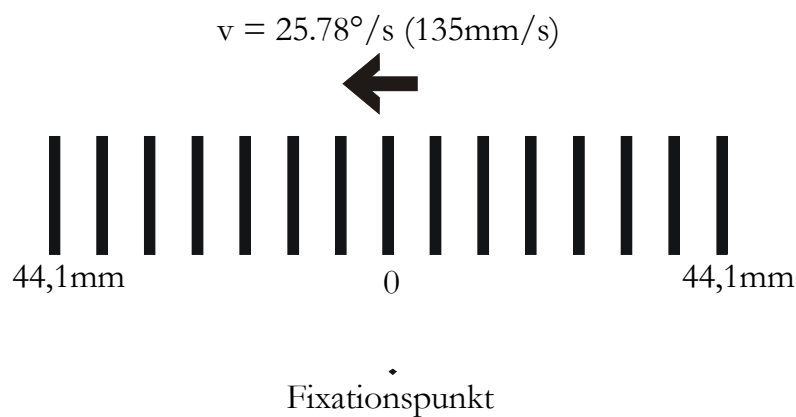


Abbildung 3.4 Verwendete Startexzentrizitäten relativ zum Fixationspunkt (Experiment 1, nach Carbone, 1995).

Die V_{pn} lösten die Durchgänge durch Drücken einer Maustaste aus. 500 ms später tauchte der Reiz auf, bewegte sich über den Bildschirm und verschwand wieder. Unmittelbar danach erschien – in der Mitte der Reizbahn, direkt oberhalb des Fixationspunktes – die Markierungslinie, die von der V_p an die Stelle verschoben werden sollte, an der sie den äußersten Rand des Reizes wahrgenommen hatte.

Unter diesen Bedingungen zeigte sich keinerlei Fehllokalisierung der wahrgenommenen gegenüber der tatsächlichen Startposition. Abbildung 3.5 gibt die Ergebnisse grafisch wieder.

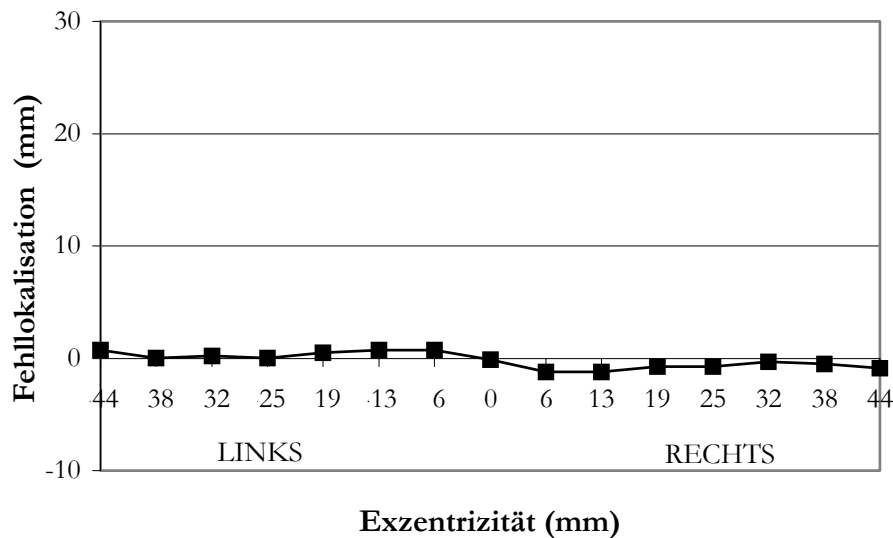


Abbildung 3.5 Gemittelter Fröhlich-Effekt für die verschiedenen Seiten und Startexzentrizitäten (Experiment 1, nach Carbone, 1995).

Erstaunlicherweise konnte also unter Bedingungen, die Fröhlichs Versuchsmethodik relativ ähnlich waren, kein Effekt nachgewiesen werden. In einem zweiten Experiment nahm ich vier Änderungen vor, die zwar die Ähnlichkeit zu Fröhlichs Versuchsanordnung verringerten, aber möglicherweise den Effekt wieder zum Vorschein bringen würden: **Erstens** hielt ich es für möglich, daß die gewählte Geschwindigkeit zu langsam war, um einen Fröhlich-Effekt hervorzurufen. Wenn nämlich der Balken während der Aufmerksamkeitsverlagerung eine zu geringe Strecke zurücklegt, sollte sich entsprechend keine Fehllokalisation nachweisen lassen. Aufgrund dieser Überlegung wurde die Reizgeschwindigkeit im Folgeexperiment auf 450 mm/s ($85.94^\circ/s$) erhöht. **Zweitens** mußte in Verbindung mit der Geschwindigkeitserhöhung die Balkenbreite erhöht werden. Im ersten Experiment war der Reiz mit jedem Bildschirmaufbau um genau eine Reizbreite versetzt worden. Daher handelte es sich – sofern man keine Lücken zwischen einzelnen Reizpositionen zuläßt – bereits um die Maximalgeschwindigkeit. Eine Erhöhung der Geschwindigkeit war nur durch eine Verbreiterung möglich, da in diesem Fall der Reiz pro Bildschirmaufbau um eine größere Strecke versetzt wird (eben um diese vergrößerte Breite). Um eine Geschwindigkeit von 450 mm/s zu erzeugen, mußte die Reizbreite auf 4.2 mm vergrößert werden. **Drittens** ist nicht auszuschließen, daß sich die V_{pn} nicht an die Instruktion gehalten und während der Darbietung Blickbewegungen ausgeführt haben, die die Verschiebung reduzierten. Um diesem Kritikpunkt zu begegnen, führte ich eine Zusatzaufgabe ein, die die V_{pn} dazu zwingen sollte, ihre Aufmerksamkeit zum

Zeitpunkt des Reiz-Onsets auf den Fixationspunkt zu richten. In 10% aller Durchgänge tauchte nicht der Reiz auf, sondern stattdessen wechselte die Farbe des Fixationspunkts von Rot zu Grün. Diese Farbänderung sollten die Vpn durch einen Tastendruck beantworten. **Viertens** schließlich wäre auch denkbar, daß die Vpn ohne jedwede Referenz für die Einschätzung der Startposition unbewußte Strategien einsetzen, die für die Täuschung nicht anfällig sind. Um eine bewußte Strategie nahezu legen, führte ich eine farbige, numerische Skala zur Einschätzung der wahrgenommenen Position ein. Die Vpn gaben hier ihr Urteil über die Eingabe des entsprechenden numerischen Wertes ab. Ich vermutete, daß dieses Vorgehen den Einsatz einer bewußten Strategie unterstützt, weil hier Farben und Zahlenwerte der Skala mit der Reizposition verknüpft und erinnert werden müssen. Abgesehen von diesen Änderungen waren die beiden Experimente vollständig identisch. Abbildung 3.1 zeigt den Reiz an allen möglichen Startpositionen (rechter Rand) relativ zur farbigen Skala.

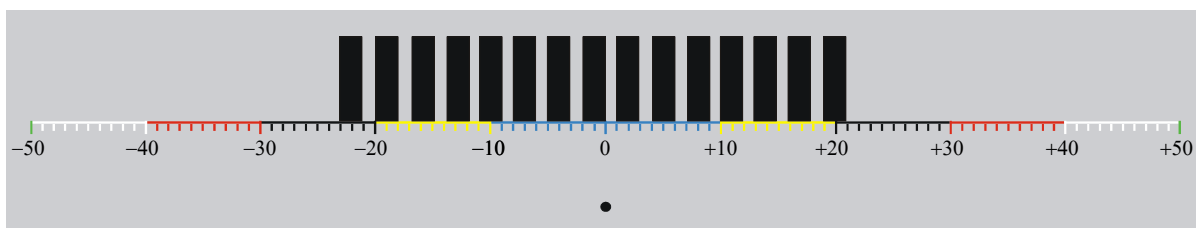


Abbildung 3.6 Startexzentrizitäten relativ zur Skala und zum Fixationspunkt (Experiment 2, nach Carbone, 1995).

Wie Abbildung 3.7 zeigt, hatten diese Abänderungen Erfolg:

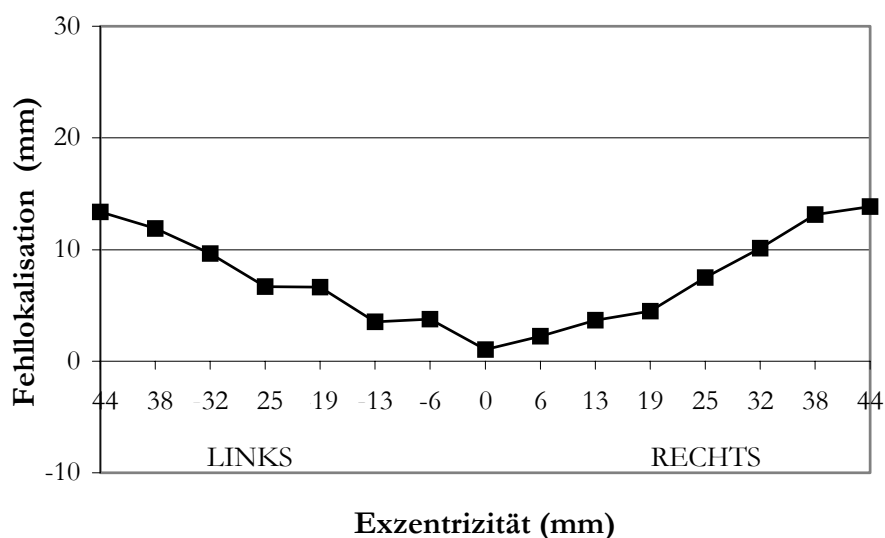


Abbildung 3.7 Gemittelter Fröhlich-Effekt für die verschiedenen Seiten und Startexzentrizitäten (Experiment 2, nach Carbone, 1995).

Insgesamt ließ sich ein Fröhlich-Effekt nachweisen, und dieser stieg mit zunehmender Exzentrizität an (es zeigte sich ein quadratischer Trend). Die Bewegungsrichtung (bzw. die Reizseite) hatte hier keinen Effekt auf das Ausmaß der Fehllokalisierung, und die Interaktion zwischen Bewegungsrichtung und Exzentrizität war ebenfalls nicht signifikant. Der Großteil der Hypothesen konnte also bestätigt werden, bis auf den Effekt der Bewegungsrichtung. Innerhalb meiner Arbeit habe ich das Fehlen dieses Effektes post hoc über eine Korrektur von Aufmerksamkeitsverlagerungen nach der ersten Ausrichtung zu erklären versucht. Wenn man annimmt, daß die Aufmerksamkeit – sowohl in der foveofugalen als auch in der foveopetalen Bedingung – stets zunächst auf die Startposition des Reizes ausgerichtet wird und diese Aufmerksamkeitsverlagerung anschließend korrigiert werden muß (Verfolgung des Reizes), sollte sich für beide Bewegungsrichtungen eine identische Fehllokalisierung ergeben.

3.3 Müsseler und Aschersleben (1998)

In einer neueren Arbeit führten Müsseler und Aschersleben (1998) eine ganze Versuchsreihe zur Beziehung zwischen Fröhlich-Effekt und Wetterwart-Modell durch. In all diesen Untersuchungen bestand die Aufgabe der Vpn darin, die wahrgenommene Startposition anzugeben. Als Reiz diente stets ein computergeneriertes Rechteck, das aus insgesamt 16 horizontalen schwarzen bzw. weißen Linien zusammengesetzt war. Bei einem durch eine Kinnstütze fixierten Abstand von 500 mm ergab sich eine Breite von 0.5° und eine Höhe von 1.0° . Die Reize wurden in einem Abstand von etwa 6° links bzw. rechts von einem dauerhaft sichtbaren Fixationskreuz dargeboten. Die genaue Startposition war in einem Bereich von $\pm 0.5^\circ$ variabel, um zu verhindern, daß die Vpn immer die gleiche Position einstellten. Die Bewegung des Rechtecks wurde durch das Versetzen um je 0.275° mit jedem Bildschirmaufbau erreicht (also um 55% seiner Reizbreite). Das bedeutet aber – wie die Schraffuren in Abbildung 3.8 grafisch veranschaulichen – daß sich Reizpositionen zu je 45% mit der vorherigen und der nachfolgenden überschneiden haben. Dies hatte zur Folge, daß diese Überschneidungsbereiche jeweils für zwei Bildschirmaufbauten hintereinander gezeigt wurden, während die Darbietungszeit für die überschneidungsfreien mittleren 10% (nicht schraffiert) insgesamt nur einen Bildschirmaufbau betrug. Die Reizintensität war demnach über die Zeit nicht an allen Positionen der Laufstrecke gleich groß. Die Mitte und das

Ende der Bewegung sind für den Fröhlich-Effekt nicht relevant, wohl aber der Anfang der Bewegung. Hier war die Reizintensität am äußeren Rand der Bewegung niedriger (da hier keine Überschneidung mit einer vorherigen Position existierte, sondern ausschließlich mit der nachfolgenden). Dies könnte das Auftreten des Fröhlich-Effektes begünstigt haben.

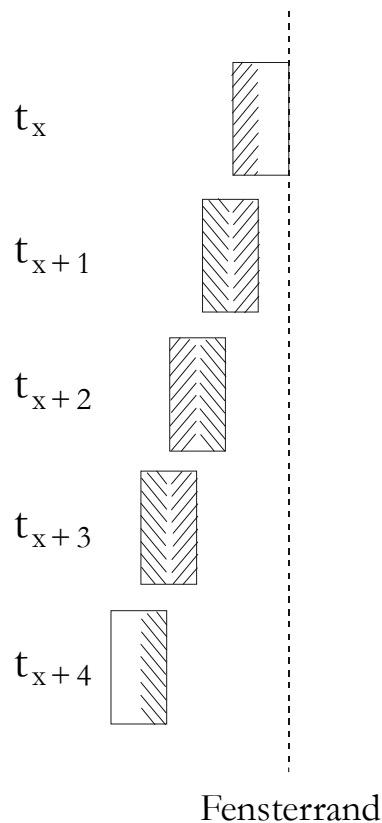


Abbildung 3.8 Darstellung der Schnittbereiche zwischen Reizpositionen in den Experimenten von Müsseler und Aschersleben (1998) für eine verkürzte Laufstrecke von fünf Positionen.

Der Reiz legte stets eine Strecke von 5.5° (20 Versetzungen) zurück. Zur Bestimmung der wahrgenommenen Startposition diente ein Rechteck, das mit dem Reiz identisch war. Es befand sich zu Beginn jedes Versuchsdurchgangs am Ort des Fixationskreuzes und konnte nach Verschwinden des Reizes mit Hilfe der Maus vom Fixationskreuz aus zur wahrgenommenen Startposition verschoben werden. Abbildung 3.9 zeigt die verwendete Reizanordnung für die gesamte Experimentalreihe.

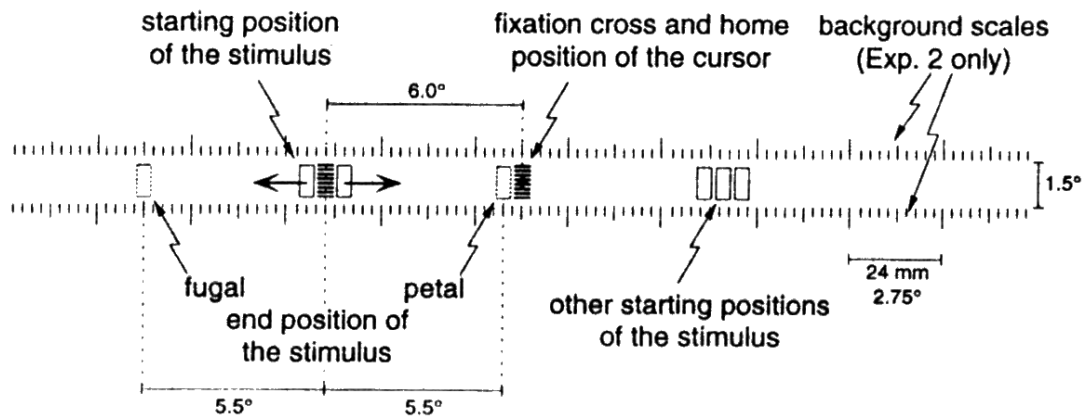


Abbildung 3.9 Reizanordnung in den Experimenten von Müsseler und Aschersleben (1998).

Im ersten Experiment dieser Versuchsreihe sollten drei Aspekte untersucht werden: **Erstens** bestand ein Ziel darin, den Einfluß der Bewegungsgeschwindigkeit aus dem früheren Experiment von Müsseler (1987) mit computergenerierten Reizen zu replizieren. Zur Erzeugung von unterschiedlichen Geschwindigkeiten wurden zwei Bildwiederholfrequenzen eingesetzt (52 bzw. 160 Hz). Hierdurch konnten Geschwindigkeiten von 14.4 bzw. 55°/s erzeugt werden. Für die Strecke von 5.5° benötigte der Reiz 383 ms bei der niedrigen Bildwiederholfrequenz und 125 ms bei der hohen. Aus technischen Gründen mußte der Faktor Geschwindigkeit geblockt werden. **Zweitens** wurde – ähnlich wie in meinen Experimenten (Carbone, 1995) – der Einfluß der Bewegungsrichtung (foveofugal versus foveopetal) untersucht. **Drittens** gab es eine Kontrollbedingung, in der die Frage behandelt wurde, ob stationäre Reize, die an den jeweiligen Startpositionen für einen Bildschirmaufbau aufblinken, ebenfalls fehllokalisiert werden. Diese Vermutung lag nahe, da beispielsweise Mateeff und Gourevich (1983) und Mitrani und Dimitrov (1982) nachgewiesen haben, daß kurze Lichtblitze in Richtung Fovea fehllokalisiert werden und diese Verschiebung mit zunehmender Reizexzentrizität zunimmt. Dieses Phänomen wird in der Literatur als **Flash-Effekt** bezeichnet und könnte in dieser Versuchsbedingung den Fröhlich-Effekt modifizieren. Genaugenommenen sollte der Fröhlich-Effekt bei foveofugaler Bewegung durch eine zusätzliche Verzerrung in Richtung des Fixationspunktes verringert, bei foveopetaler Bewegung hingegen erhöht werden. Alle drei Variablen wurden innerhalb von V_{pn} variiert.

Jeder Durchgang begann mit einem auditiven Warnsignal, und eine Sekunde später tauchte der Reiz links bzw. rechts vom Fixationskreuz auf. Er bewegte sich über den Bildschirm und nach seinem Verschwinden verschoben die Vpn den Marker an die wahrgenommene Startposition.

Abbildung 3.10 zeigt die Ergebnisse dieses Experimentes.

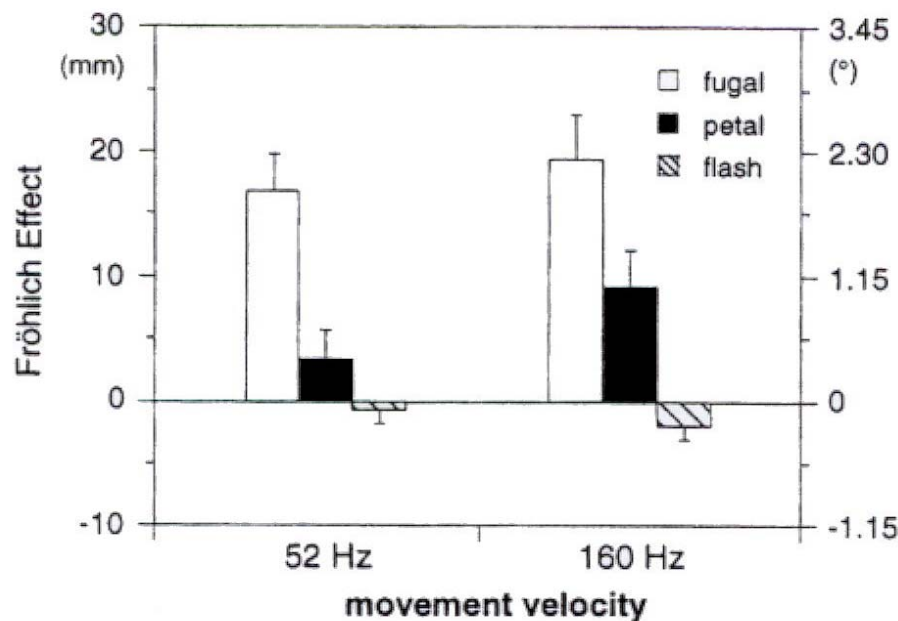


Abbildung 3.10 Ergebnisse aus Experiment 1 von Müsseler und Aschersleben (1998) getrennt für die beiden Geschwindigkeiten und Bewegungsrichtungen bzw. die stationäre Bedingung (in der stationären Bedingung stehen negative Werte für eine Fehllokalisierung in Richtung der Fovea).

In bezug auf die Kontrollbedingung zeigten sich für die stationär aufblinkenden Reize geringfügige Fehllokalisationen in Richtung der Fovea, die mit zunehmender Bildwiederholfrequenz anstiegen. Außerdem konnte die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Fröhlich-Effektes für die computergenerierten Reize repliziert werden. Die Fehllokalisation war bei hoher Geschwindigkeit größer als bei niedriger. Darüber hinaus fand sich – anders als in meinem Experiment (Carbone, 1995) – auch ein signifikanter Effekt der Bewegungsrichtung: Bei foveopetaler Bewegung fiel die Fehllokalisation geringer aus als bei foveofugaler. Dies scheint für eine Verlagerung der Aufmerksamkeit mit gleichbleibender Geschwindigkeit zu sprechen (siehe oben), allerdings läßt sich der Befund auch anders erklären. So wurde von den Autoren die Möglichkeit eines Lokalisationsfehlers durch Exzentrizitätsunterschiede während der Positionierung des Markers diskutiert. Sie schrieben:

"Furthermore, an additional location error may originate from differences in the eccentricity: The adjustment of the cursor was not as much in the retinal eccentricity with foveopetal movements as with foveofugal movements. This may increase an error tendency and, again, point to a low-level explanation." (Müsseler & Aschersleben, 1998, S. 686-687).

Diese Überlegung halte ich für unplausibel, da die Vpn während der Einstellung des Markers das Kreuz nicht länger fixieren mußten und daher die Einstellung des Cursors nicht wirklich peripher stattfand. Weiterhin hielten Müsseler und Aschersleben es für möglich, daß das visuelle System sensitiver auf foveopetale Bewegungen als auf foveofugale reagiert, was Daten von Mateeff und Hohnsbein (1988) und Mateeff et al. (1991) zu belegen scheinen.

Betrachtet man diese Ergebnisse im Gesamtbild, so könnte man darüber möglicherweise erklären, warum sich in meinem zweiten Diplomarbeitsexperiment (Carbone, 1995) keine Richtungsabhängigkeit nachweisen ließ. Wenn dort ein Flash-Effekt vorhanden war – die Reize also zusätzlich in Richtung Fovea fehllokalisiert wurden (obwohl sich der Fixationspunkt nicht direkt auf der Höhe der Reizbahn befand) – dann hätte dies die Fehllokalisierung in der foveofugalen Bedingung verringert und in der foveopetalen Bedingung erhöht. Im foveofugalen Fall hätte die Tendenz, den Reiz nach außen zu verlagern (Fröhlich-Effekt) gegen die Verlagerungstendenz nach innen durch den Flash-Effekt wirken müssen, während im foveopetalen Fall beide Tendenzen in die gleiche Richtung gewirkt hätten. Ein tatsächlich existierender Unterschied zwischen dem eigentlich stärkeren Effekt bei foveofugaler im Vergleich zu foveopetaler Bewegung wäre so nivelliert worden.

In einem zweiten Experiment untersuchten Müsseler und Aschersleben (1998) den Einfluß von Blickbewegungen sowie eines strukturierten Hintergrundes auf das Ausmaß der Fehllokalisierung. Obwohl die Stimulusdauer von 125 ms bei der hohen Geschwindigkeit sicher zu kurz war, um Blickbewegungen auszulösen, hielten es die Autoren für möglich, daß nachfolgende Blickbewegungen den Fröhlich-Effekt beeinflussen haben könnten. Sie schrieben:

"If subjects executed saccades in the adjustment phase, then the internal spatial map was updated with respect to the new fixation. It is possible that this updating is susceptible to errors that might grow, as it were, into the Fröhlich-Effect." (Müsseler & Aschersleben, 1998, S. 687).

Um diese "response-bias"-Annahme zu testen, wurden zwei Blickinstruktionen eingeführt: Unter der **Fixationsbedingung** sollten die Vpn sowohl während der Reizdarbietung als auch in der Einstellungsphase das Fixationskreuz fixieren. Im Gegensatz dazu wurden sie in der **Blickbewegungsbedingung** aufgefordert, eine Sakkade in Richtung des Stimulus auszuführen, sobald dieser aufgetaucht war.

Die Idee, den Einfluß des Hintergrundes zu untersuchen, ging auf den Befund zurück, daß Sakkaden genauer sind, wenn der Hintergrund strukturiert und nicht homogen ist. So fanden Collewijn, Erkelens und Steinman (1988), daß das Unterschießen von Sakkaden von 10° auf etwa 0.5° reduziert werden kann, wenn die Sakkaden zwischen zwei kontinuierlich sichtbaren Reizen ausgeführt werden. Wenn diese präziseren Sakkaden auf eine bessere Lokalisation des Zielreizes zurückgehen, sollte bei strukturiertem Hintergrund auch ein bewegtes Objekt besser lokalisiert werden. Der strukturierte Hintergrund bestand aus zwei Zentimeter-Skalen, von denen sich eine oberhalb und die andere unterhalb der Reizbahn befand, so daß die Reize die Skalen nicht berührten (siehe erneut Abbildung 3.9).

In diesem Experiment wurden ausschließlich foveofugale Bewegung und die höhere Bildwiederholffrequenz und damit eine Geschwindigkeit von $55^\circ/s$ eingesetzt. Variiert wurden die Faktoren Hintergrund (kein vs. strukturierter Hintergrund) und Blickinstruktion (Fixations- vs. Blickbewegungsbedingung). Die Fälle, in denen unter der Fixationsbedingung Blickbewegungen auftraten bzw. unter der Blickbewegungsbedingung keine, wurden mittels eines Eyetrackers ermittelt und von der Auswertung ausgeschlossen. Beide Faktoren wurden innerhalb von Vpn variiert und die Bedingungskombinationen geblockt vorgegeben.

Abbildung 3.11 zeigt die Ergebnisse.

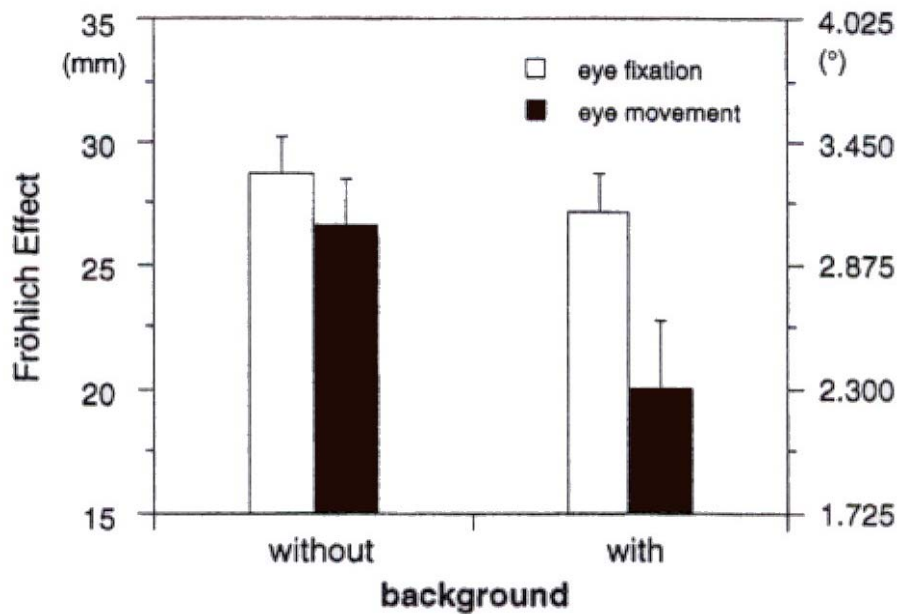


Abbildung 3.11 Ergebnisse aus Experiment 2 von Müsseler und Aschersleben (1998) getrennt für die Variablen Hintergrund und Blickbewegungsinstruktion.

Es zeigte sich, daß unter der Bedingung "ohne Hintergrund" der Fröhlich-Effekt nicht durch den Faktor Blickbewegungen beeinflusst wurde. "Mit Hintergrund" jedoch fiel der Fröhlich-Effekt unter der Blickbewegungsbedingung stark ab. Statistisch spiegelte sich dies in einer signifikanten Interaktion wider. Außerdem wiesen nachfolgende Scheffé-Tests nach, daß sich ausschließlich die Bedingungskombination strukturierter Hintergrund/Blickbewegungsinstruktion von allen anderen unterschied. Die Autoren schlossen aus diesem Befund, daß weder Blickbewegungen die Ursache für den Fröhlich-Effekt sind, noch daß er durch einen strukturierten Hintergrund verschwindet. Die drastische Reduktion des Effektes unter der Blickbewegungsinstruktion und dem strukturierten Hintergrund erklärten sie über die Verringerung des Unterschießens von Sakkaden durch den strukturierten Hintergrund.

Im dritten Experiment ihrer Versuchsreihe untersuchten Müsseler und Aschersleben (1998) den Einfluß der Exzentrizität (1.0, 2.7, 4.4, 6.1, 7.8, 9.5°) auf den Fröhlich-Effekt. Wie in Experiment 2 wurden nur foveofugale Bewegung und die höhere Bildwiederholffrequenz (und damit die höhere Geschwindigkeit) eingesetzt. Die Überlegung war, daß sich hiermit die Gültigkeit der Lichtkegelmetapher – d.h. die Idee, daß Aufmerksamkeit mit gleichbleibender Geschwindigkeit durch das visuelle Feld "wandert" – genauer untersuchen läßt. Wie bei den Hypothesen zu meinen Experimenten

(Carbone, 1995) sollte bei einer Aufmerksamkeitsverlagerung mit gleichbleibender Geschwindigkeit der Fröhlich-Effekt mit der Exzentrizität zunehmen, da mit zunehmender Distanz die Dauer der Aufmerksamkeit ansteigt und damit auch die Strecke, die der Reiz währenddessen zurücklegen kann.

Wie Abbildung 3.12 zeigt, ließ sich kein Effekt der Exzentrizität auf die Fehllokalisierung nachweisen.

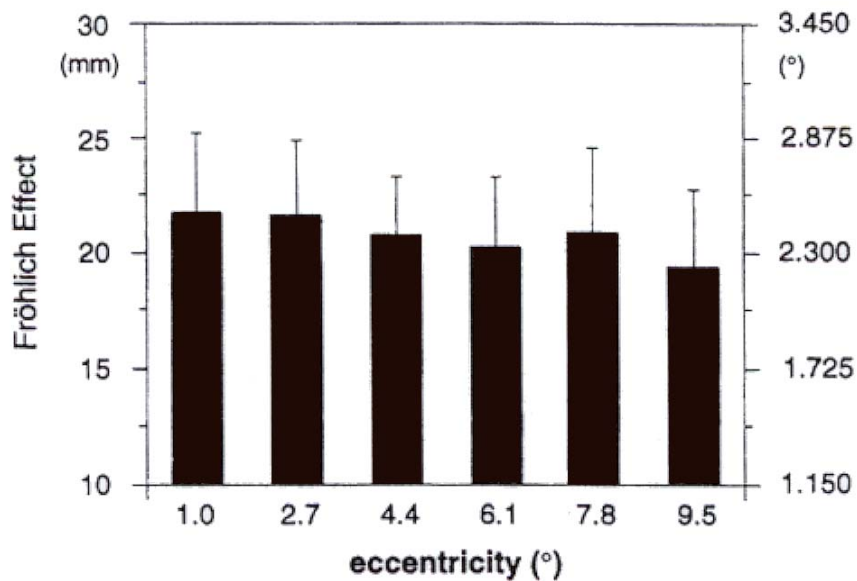


Abbildung 3.12 Ergebnisse aus Experiment 3 von Müsseler und Aschersleben (1998) getrennt für die verschiedenen Exzentrizitäten.

Diese Befunde widersprechen den Ergebnissen aus meinem zweiten Experiment (Carbone, 1995), in dem ein zunehmender Fröhlich-Effekt mit ansteigender Exzentrizität gefunden wurde.

Im vierten Experiment untersuchten Müsseler und Aschersleben (1998), ob sich Cuing – also ein Hinweisreiz, der kurz vor dem bewegten Reiz dargeboten wird – auf den Fröhlich-Effekt auswirkt. Die zugrundeliegende Idee war folgende: Wenn der Fröhlich-Effekt durch die Strecke festgelegt wird, die der Reiz während der Aufmerksamkeitsverlagerung zurücklegt, sollte die Fehllokalisierung verringert werden, wenn die Aufmerksamkeitsverlagerung statt durch den bewegten Reiz bereits durch einen kurz zuvor dargebotenen Reiz (einen validen Cue) ausgelöst wird. Für das valide Cuing wurde also – im Vergleich zu einer Bedingung ohne Cue – ein reduzierter Effekt vorhergesagt. Interessanterweise sagten die Autoren für den nicht-validen Fall, in dem der

Hinweisreiz auf der entgegengesetzten Seite auftaucht, keinen veränderten Effekt vorher. Sie schrieben:

"If the cue is invalid ... and if we assume that the time needed for the attentional focus shift is somewhat independent of physical distances, then the size of the Fröhlich effect should be the same as when there is no cue." (Müsseler & Aschersleben, 1998, S. 689)

Mit dieser Vorhersage wandten sich die Autoren explizit von der Idee einer mit gleichbleibender Geschwindigkeit "wandernden" Aufmerksamkeit ab. Dennoch sollte diese Vorhersage aber nur gültig sein, wenn die Aufmerksamkeitsverlagerung in Richtung des nicht-validen Cues bereits abgeschlossen ist, wenn der bewegte Reiz auftaucht oder die Verlagerung ohne Zeitverzögerung abgebrochen und durch eine neue ersetzt werden kann. Wenn sie hingegen erst zu Ende ausgeführt werden muß, bevor eine neue Verlagerung in Gang gesetzt werden kann oder ein Abbruch Zeit erfordert, sollte man für die nicht-validen Fälle eine Vergrößerung des Fröhlich-Effektes gegenüber einer Bedingung ohne Cue erwarten.

Der Cue bestand aus zwei horizontalen, 0.62° langen Balken, mit einem vertikalen Abstand von 1.99° . Der obere Balken befand sich oberhalb der Reizbahn und der untere unter ihr. Der Cue erschien für 25 ms, und das Cue-Reiz-SOA betrug 125 ms.

Der Faktor Cue wurde auf fünf Stufen variiert: In der validen Cuing-Bedingung erschien der Cue auf der gleichen Seite wie der Reiz. Die genaue Position des Cues variierte leicht. Entweder er war gegenüber dem Reiz um 0.55° in Richtung Peripherie verschoben, er erschien genau an der Reizposition, oder er war 0.55° in Richtung Fovea/Fixationskreuz verschoben. Diese Variation der Cueposition sollte laut Angaben der Autoren verhindern, daß die Vpn die Maus einfach auf den Ort des Cues einstellten. In der nicht-validen Cue-Bedingung tauchte der Hinweisreiz auf der entgegengesetzten Seite mit der gleichen Exzentrizität wie der Reiz auf. Schließlich wurde noch eine Bedingung ohne Cue eingeführt, gegen die die übrigen Bedingungen getestet wurden. Jede dieser fünf Bedingungen wurde mit der gleichen Wahrscheinlichkeit realisiert.

Es zeigte sich tatsächlich die vorgeseigte Reduktion des Fröhlich-Effektes in der validen Cue-Bedingung (siehe Abbildung 3.13). Zwischen den einzelnen validen Bedingungen fand sich kein Unterschied. Auch zwischen der nicht-validen und der Bedingung ohne Cue ließ sich kein Unterschied nachweisen.

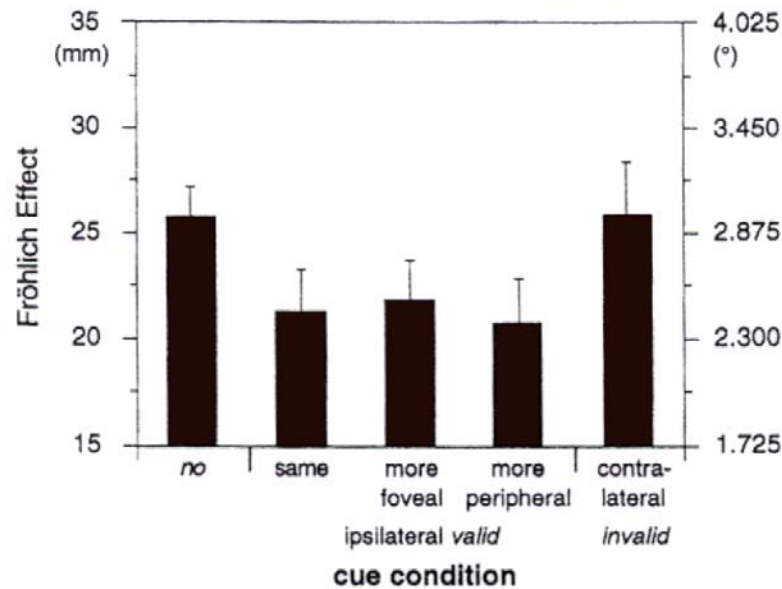


Abbildung 3.13 Ergebnisse aus Experiment 4 von Müsseler und Aschersleben (1998) getrennt für die verschiedenen Cuing-Bedingungen.

Meiner Meinung nach könnte der fehlende Unterschied zwischen der nicht-validen und der neutralen Bedingung darauf zurückgehen, daß der Cue zwar auf der falschen Seite auftaucht, aber stets die gleiche Exzentrizität aufweist wie der nachfolgende bewegte Reiz. In diesem Fall könnte also der Cue räumliche Unsicherheit reduziert und dadurch den Unterschied zur neutralen Bedingung verringert haben. Außerdem wäre es möglich, daß ein nicht-valider Cue nicht nur räumliche, sondern auch zeitliche Unsicherheit reduziert hat. Zu Beginn jedes Durchganges ist unklar, ob es sich um einen Durchgang mit oder ohne Cue handelt, und daher ist auch der Zeitpunkt des Reizes unsicher. Wenn aber bereits ein Cue gezeigt worden ist, steht der Zeitpunkt, zu dem der Reiz erscheinen wird, fest. Mit Hilfe dieser Idee könnte man möglicherweise die fehlende Differenz zwischen der nicht-validen und der neutralen Bedingung erklären. In der neutralen Bedingung setzt die Aufmerksamkeitsverlagerung aufgrund der zeitlichen Unsicherheit geringfügig später ein als in der Bedingung mit Cue. In der nicht-validen Bedingung besteht zwar geringere zeitliche Unsicherheit, dafür wird aber die Aufmerksamkeitsverlagerung zunächst zur falschen Richtung in Gang gesetzt. Jede der beiden Bedingungen weist demnach gegenüber der anderen einen Vor- und einen Nachteil auf, die sich gegenseitig ausgleichen würden. Wenn diese Interpretation richtig ist, wäre demnach die neutrale Bedingung nicht wirklich neutral.

Müsseler und Aschersleben betrachteten nur die Ergebnisse zum validen Fall und interpretierten ihn so, daß die Aufmerksamkeitsverlagerung bereits durch den Cue in

Richtung Startposition in Gang gesetzt und dadurch der Fröhlich-Effekt reduziert wurde. Der Grund für die numerisch relativ geringe Reduktion bestand ihrer Meinung nach darin, daß das SOA nicht optimal gewählt und daher die Aufmerksamkeitsverlagerung noch nicht abgeschlossen war, als der Reiz auftauchte. Sie diskutierten auch die Möglichkeit, daß die Aufmerksamkeitsverlagerung nicht vollständig von der Merkmalsanalyse abgetrennt werden kann und daher Cue und Reiz zumindest leicht unterschiedliche Aufmerksamkeitszuwendungen erfordert haben. Zusätzlich sprechen die Daten nach ihrer Meinung – vor allem in Kombination mit dem fehlenden Exzentrizitätseffekt – gegen die Gültigkeit der Lichtkegelmetapher, da sich sonst die Fehllokalisierung gegenüber der Bedingung ohne Cue hätte vergrößern müssen. Dieses Ergebnis widerspricht allerdings deutlich den Befunden zum Einfluß der Fensterbreite (Müsseler, 1987) und meinem Exzentrizitätseffekt (Carbone, 1995).

Ziel des fünften und letzten Experiments war es, zu untersuchen, ob sich der Zeitpunkt einer Reizänderung auf die Entdeckungsleistung auswirkt. Laut Modell sollten Änderungen zu Beginn der Bewegung – also in dem Zeitbereich, in dem die Aufmerksamkeitsverlagerung noch nicht abgeschlossen ist – schlechter entdeckt werden als solche, die in der Mitte oder am Ende der Bewegung auftreten.

Als Reiz wurde ein schwarzes Rechteck eingesetzt, das in einem Abstand von 6° vom Fixationsort auftauchte. Reizgröße, Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung stimmten mit den vorherigen Experimenten überein. Der Reiz wurde nach wie vor 20 mal versetzt. Der Faktor Veränderung wurde auf vier Stufen variiert: Entweder es fand keine Veränderung statt, oder der Reiz verwandelte sich zu Beginn (zweiter und dritter Bildschirmaufbau), in der Mitte (siebter und achter Bildschirmaufbau) oder am Ende der Bewegung (achtzehnter und neunzehnter Bildschirmaufbau) für zwei Bildschirmaufbauten (13 ms) in ein gestreiftes Quadrat. Die Aufgabe der Vpn bestand darin, anzugeben, ob eine Reizänderung stattgefunden hatte oder nicht. Als abhängige Variable diente entsprechend die Entdeckungsleistung.

Da sich der Reiz in foveofugaler Richtung bewegte, veränderte sich mit dem Zeitpunkt der Reizänderung auch die Exzentrizität. Würde man die Aufmerksamkeitshypothese außer acht lassen, sollte die zunehmende Exzentrizität durch die abnehmende Sehschärfe

eher das entgegengesetzte Befundmuster hervorrufen – eine abnehmende Entdeckungsleistung über die Exzentrizitäten.

Abbildung 3.14 zeigt die Ergebnisse.

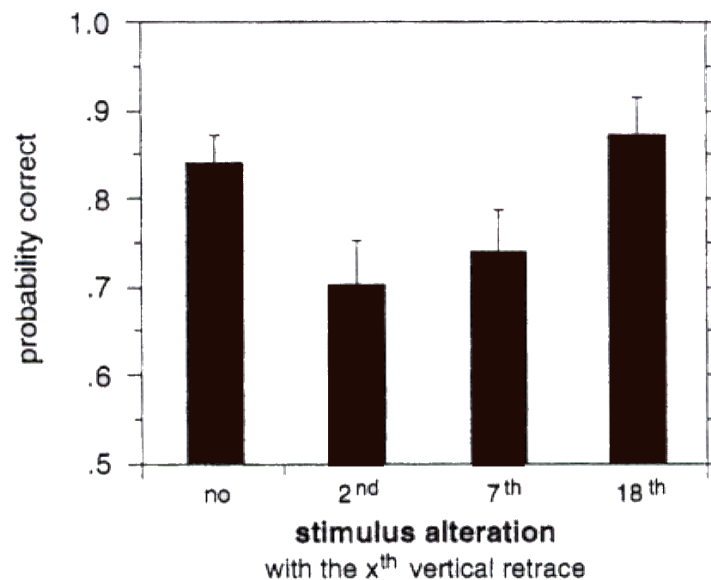


Abbildung 3.14 Ergebnisse aus Experiment 5 von Müsseler und Aschersleben (1998) getrennt für die verschiedenen Reizveränderungs-Bedingungen.

Hypothesengemäß wurde die Veränderung am Anfang und in der Mitte der Bewegung seltener entdeckt als am Ende. Numerisch lag der mittlere Veränderungszeitpunkt zwischen der Anfangs- und Endbedingung, unterschied sich aber statistisch nur vom Endzeitpunkt und von der Bedingung ohne Änderung. Dies stützt die Überlegung, daß während der Aufmerksamkeitsverlagerung keine Merkmalsinformation über den bewegten Reiz aufgenommen werden kann, sondern erst nach deren Abschluß. Zu erklären bleibt aber die Tatsache, daß die Entdeckungsrate für die Änderung am Bewegungsbeginn mit etwa 70% deutlich oberhalb der Zufallswahrscheinlichkeit lag. Dies kann durch den Aufmerksamkeitsansatz nicht direkt erklärt werden. Nach Meinung der Autoren ist für die Entdeckung einer Reizänderung am Anfang der Bewegung entscheidend, inwieweit zwei Reize als einer wahrgenommen werden können. Werden der Original- und der veränderte Reiz vom System als zwei getrennte Ereignisse behandelt, kann die Reizveränderung entdeckt werden, da beide Reizausprägungen parallel verarbeitet werden. Möglicherweise fand im Experiment zeitweise eine solche parallele Verarbeitung statt. Die Autoren vermuteten, daß ein noch größerer Unterschied zwischen Original- und verändertem Reiz möglicherweise zu einer durchgängigen Entdeckung geführt hätte.

Müsseler und Aschersleben (1998) versuchten am Ende ihres Artikels, verschiedene Alternativerklärungen für den Fröhlich-Effekt auszuschließen.

Als **erste** Alternative führten sie Fröhlichs ursprüngliche Erklärung für "seine Verschiebung" – die **Empfindungszeit** – an. Allerdings gingen auch sie nicht auf die Idee der verkürzten Empfindungszeit ein und verwarfen diese Hypothese entsprechend. Die Tatsache, daß Fröhlich zwar "seine Verschiebung" über Empfindungszeiten erklärte, nicht aber das "dunkle Intervall", wurde ebenfalls nicht berücksichtigt.

Zweitens wurden verschiedene frühe visuelle Verarbeitungsprozesse diskutiert. Einerseits könnten bestimmte Mechanismen, die ein Verschmieren des bewegten Reizes verhindern (**'motion-deblurring mechanisms'**), für die Fehllokalisierung verantwortlich sein (Burr, 1980). Wenn zu Beginn der Bewegung spätere Signale die früheren hemmen, sollte sich eine Fehllokalisierung in Richtung der Bewegung ergeben. Wenn man zusätzlich annimmt, daß dieser Mechanismus Reizpositionen, die über eine konstante Zeitdauer aufgetreten sind, hemmt, könnte diese Hypothese auch die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Fröhlich-Effektes erklären (da bei der hohen Geschwindigkeit der Reiz in dieser Zeitspanne bereits eine größere Strecke zurückgelegt hat, die gehemmt werden kann). Der Unterschied zwischen foveopetaler und foveofugaler Bewegung könnte zusätzlich durch kortikale Vergrößerung (**'cortical magnification'**) erklärt werden. Die Sehschärfe ist im Zentrum der Fovea am größten und nimmt mit zunehmender Exzentrizität ab. Dieser Abfall ist direkt proportional zum kortikalen Vergrößerungsfaktor, d.h. der Bereich des primären visuellen Cortex, auf den jedes einzelne Grad der Retina projiziert, nimmt von der Fovea Richtung Peripherie ebenso stark ab wie die Sehschärfe (Cowey & Rolls, 1974). Wenn die Auflösung Richtung Peripherie immer geringer wird, könnte dies – nach Meinung der Autoren – zu einer Verstärkung von Fehllokalisierungen bei foveofugaler gegenüber foveopetaler Bewegung führen. Darauf, wie genau sie sich diesen Mechanismus vorstellen (z.B. durch räumliche Mittelung), gingen sie nicht näher ein. Diese 'low level'-Alternativerklärungen werden aber durch die Daten ausgeschlossen; vor allem der Cuing-Effekt aus Experiment 4 ist darüber nicht erklärbar.

Die **dritte** und letzte Alternativerklärung, die von Müsseler und Aschersleben diskutiert wurde, sind Antworttendenzen (**'response bias'**). So könnten die Vpn zu kurze Bewegungen mit dem Maus-Cursor ausgeführt haben. Dies würde zumindest die Fehllokalisierungen bei foveopetalen Bewegungen erklären. Allerdings hätten sich dann bei

foveofugaler Bewegung Fehllokalisationen entgegen der Bewegungsrichtung zeigen müssen, was jedoch nicht der Fall war. Möglich wäre auch, daß das Ende der Bewegung Aufmerksamkeit auf sich zieht und so das Urteil für die Startposition in Richtung des Offsets verlagert wird. Über diese Antworttendenz läßt sich aber die geringere Entdeckungswahrscheinlichkeit für Veränderungen am Anfang der Bewegung nicht erklären. Außerdem widerspricht diese Annahme auch deutlich den Befunden aus meinem zweiten Experiment (Carbone, 1995), in dem auch bei numerischer Eingabe der wahrgenommenen Startposition ein Fröhlich-Effekt nachgewiesen wurde.

3.4 Müsseler, Stork, Kerzel und Jordan (eingereicht)

Eine noch aktuellere Versuchsreihe zum Fröhlich-Effekt stammt von Müsseler, Stork, Kerzel und Jordan (eingereicht). Das ursprüngliche Ziel dieser Arbeit war es, das Ausmaß des Fröhlich-Effektes mit dem des 'representational momentums' zu vergleichen. Beim representational momentum handelt es sich um eine Verzerrung der Offset-Position eines bewegten Reizes in Richtung der implizierten Bewegung. Das Verschwinden eines Reizes wird also nicht an der tatsächlichen Position wahrgenommen, sondern so, als hätte die Bewegung über diesen Ort hinaus angedauert (siehe Kapitel 5 für eine ausführliche Beschreibung des Effektes). Um die Exzentrizität der Start- und der Endposition konstant zu halten, verwendeten die Autoren Kreisbewegung. Sie bewegten einen Punkt mit einem Durchmesser von 2.6 mm (0.3°) im Uhrzeigersinn auf einer Kreisbahn um ein Fixationskreuz. Der Radius des Kreises betrug 48 mm (5.5°), und für die Reizbewegung wurde der Punkt mit jedem Bildschirmaufbau (bei 160 Hz also alle 6.25 ms) um 2° auf der Kreisbahn versetzt⁵ (es gab hier wiederum Überschneidungen zwischen den Reizpositionen und damit verbundene Intensitätsunterschiede zwischen den einzelnen Reizpositionen über die Zeit). Der Reiz tauchte an einer Zufallsposition auf dem Kreisbogen auf und legte eine Strecke von 74 , 86 oder 98° (62 , 72 bzw. 82 mm) auf dem Kreisbogen zurück (also etwa ein Viertel des Kreisbogens). Die Dauer für das Zurücklegen der Laufstrecke lag zwischen 232 und 307 ms. Rechnet man die

⁵ Grad-Angaben sind im Zusammenhang von Kreisbewegungen mehrdeutig, da sie sich sowohl auf Grade des Kreisbogens als auch auf retinale Winkel beziehen können. Innerhalb des Textes sind sie folgendermaßen unterscheidbar: Immer dann, wenn ausschließlich Grad-Einheiten angegeben sind, handelt es sich um Grad auf dem Kreisbogen. Sind hingegen neben den Grad- auch Millimeter-Einheiten angegeben, beziehen sich die Werte auf retinale Winkel.

Kreisbewegung in retinale Geschwindigkeit um, damit die Geschwindigkeiten zwischen Experimenten besser verglichen werden können, ergibt sich ein Wert von $30.58^\circ/\text{s}$. Abbildung 3.15 verdeutlicht die eingesetzte Reizanordnung.

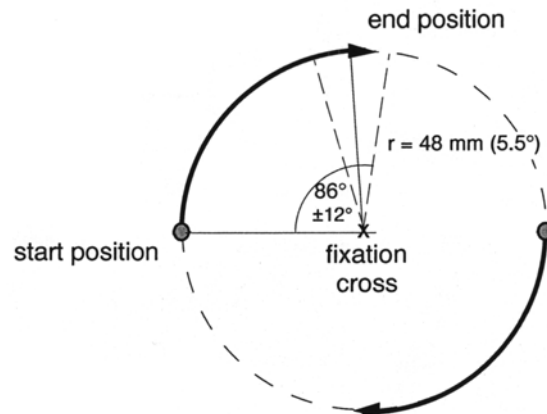


Abbildung 3.15 Von Müsseler et al. (eingereicht) eingesetzte Versuchsanordnung in Experiment 1.

Eine Sekunde nach Verschwinden des Reizes tauchte ein Markierungspunkt auf, der mit dem Reiz identisch war und über das Drücken einer linken bzw. rechten Taste mit oder gegen den Uhrzeigersinn verschoben werden konnte. Die Vpn sollten in einem Block die Start- und in einem anderen die Endposition angeben. Blickbewegungen wurden mit Hilfe eines Eyetrackers erfasst und alle Durchgänge, in denen Sakkaden auftraten – die Vpn also nicht konstant das Fixationskreuz betrachteten –, wurden von der Auswertung ausgeschlossen.

Abbildung 3.16 zeigt die Ergebnisse dieses Experimentes.

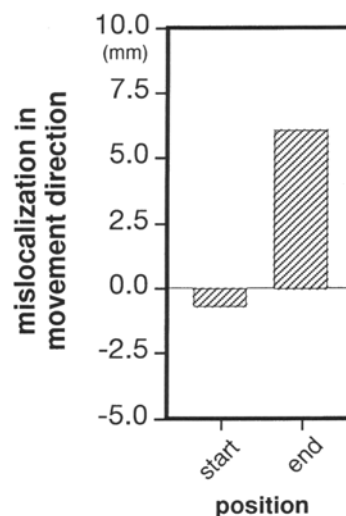


Abbildung 3.16 Mittlere Fehllokalisationen für Experiment 1 von Müsseler et al. (eingereicht), getrennt für die Start- und Endposition.

Überraschenderweise zeigte sich unter diesen Bedingungen zwar ein signifikantes representational momentum, der Fröhlich-Effekt hingegen verschwand vollständig, d.h. es fand sich eine Fehllokalisierung der End-, nicht aber der Startposition.

Die Autoren zogen in Betracht, daß der fehlende Effekt nicht auf die Kreisbewegung an sich zurückging, sondern darauf, daß bei Kreisbewegung – im Gegensatz zu linearer Bewegung – keine Veränderungen der Exzentrizität auftreten. Um diese Möglichkeiten zu prüfen, wurden in Experiment 2 zwei Arten von Kreisbewegungen eingesetzt, die in Abbildung 3.17 dargestellt sind: Einerseits konnte die Bewegung – wie im vorherigen Experiment – um das Fixationskreuz zentriert sein. Andererseits verwendeten die Autoren aber auch dezentrierte Bewegung. Die Startpositionen befanden sich in beiden Bedingungen 5.5° links und rechts vom Fixationspunkt. Bei zentrierter Bewegung entsprachen diese Startpositionen 3 und 9 Uhr auf dem Kreisbogen, während das Kreiszentrum bei dezentrierter Bewegung so verschoben war, daß sich die Startpositionen oben bzw. unten auf je einer Kreisbahn befanden (6 und 12 Uhr). Durch diese Verschiebung entsprach die Reizstrecke in der dezentrierten Bedingung zu Beginn etwa der bei horizontaler Bewegung, der Reiz durchlief also unterschiedliche Exzentrizitäten. Die Startpositionen für die zentrierte und die dezentrierte Bedingung waren demnach gleich, die daraufhin stattfindende Bewegung aber eine andere (die exakte Startposition variierte allerdings auch in diesem Experiment geringfügig, um zu verhindern, daß die Vpn stets die gleichen Positionen einstellten). Die zentrierte und die dezentrierte Bedingung wurden randomisiert vorgegeben.

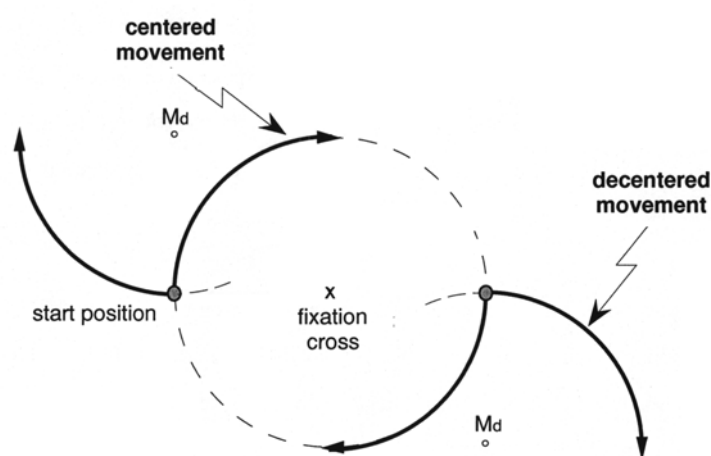


Abbildung 3.17 Von Müsseler et al. (eingereicht) eingesetzte Versuchsanordnung in Experiment 2. *Md* steht für die Mittelpunkte der dezentrierten Kreisbahnen.

Abbildung 3.18 zeigt die Ergebnisse.

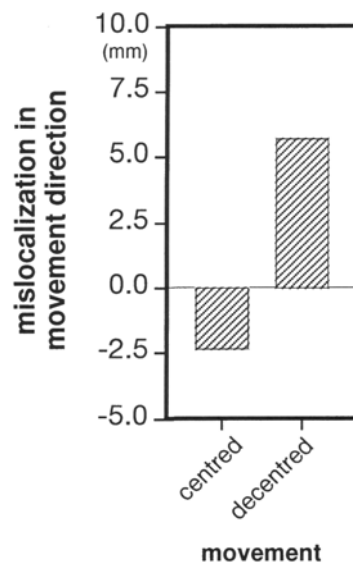


Abbildung 3.18 Mittlerer Fröhlich-Effekt für Experiment 2 von Müsseler et al. (eingereicht), getrennt für die zentrierte und die dezentrierte Bewegung.

Wie die Abbildung zeigt, führte die dezentrierte Bedingung tatsächlich zu einem Wiederauftreten des Fröhlich-Effektes, während er in der zentrierten Bedingung verschwunden blieb. Dies zeigt, daß der Fröhlich-Effekt nicht generell verschwindet, wenn sich der Reiz auf einer Kreisbahn bewegt, sondern nur dann, wenn keine Exzentrizitätsveränderungen vorhanden sind.

Die Autoren vermuteten, daß die Exzentrizitätsveränderungen eine hinreichende, aber keine notwendige Bedingung für die Aktivierung des Aufmerksamkeitskontrollsystems und damit für den Fröhlich-Effekt darstellen. Ihr Beleg erfolgte in zwei Schritten: Zunächst führten sie Befunde an, die für eine enge Kopplung zwischen okulomotorischen Prozessen und Aufmerksamkeitsmechanismen sprechen. So hat etwa Henderson (1993) nachgewiesen, daß vor der Ausführung einer Sakkade Aufmerksamkeit auf das zukünftige Sakkadenziel gerichtet wird, und die Daten der Arbeitsgruppe um Rizzolatti (z.B. Rizzolatti, Riggio, Dascola & Umiltà, 1987; Rizzolatti, Riggio & Sheliga, 1994; Umiltà, Riggio, Dascola & Rizzolatti, 1991) sprechen dafür, daß im Falle einer verdeckten Aufmerksamkeitsverlagerung lediglich die Ausführung der Sakkade gehemmt wird, das motorische Programm – also die Planung der Richtung und der Amplitude – aber dennoch vorbereitet wird. Anschließend versuchten Müsseler et al. zu belegen, daß Reizbedingungen, die ausschließlich Richtungs- und keine Amplitudenveränderungen beinhalten (wie die zentrierte Reizbewegung), nicht geeignet sind, einen Plan für die

Ausführung von Sakkaden zu generieren und daher auch Aufmerksamkeitsverlagerungen unmöglich werden. Genaugenommen vermuteten die Autoren, daß unter zentrierter Kreisbewegung kein Lösen der Aufmerksamkeit von der aktuellen Position ('**disengagement**') und kein anschließendes Ausrichten der Aufmerksamkeit auf den bewegten Reiz ('**engagement**') möglich ist. Sie schrieben:

"Given that both parameters [amplitude and direction] are programmed separately ... reliance on direction transformations may have either inhibited or dampened the planning of an eye movement to the stimulus, thus preventing a comparable disengagement and engagement of attention. ... Thus, the lack of a Fröhlich effect with circular movements may, to some extent, be due to an absent saccadic eye-movement plan that prevented observers from having to disengage attention prior to attempting to engage the moving stimulus." (Müsseler et al., eingereicht).

Die dezentrierte Bedingung hingegen soll eine adäquate Planung von Sakkaden ermöglichen. Exzentrizitätsveränderungen wären demnach hinreichend für die Aktivierung des Aufmerksamkeitskontrollsystems, weil sie Sakkadenprogrammierung ermöglichen. Sie sind aber nicht notwendig, da dies auch durch andere Aufgabenmerkmale erreicht werden kann.

Um diese Überlegung zu prüfen, wurde im dritten Experiment wieder eine zentrierte Kreisbewegung eingesetzt und eine Zusatzaufgabe eingeführt. Die Vpn hatten die Aufgabe, ihre Aufmerksamkeit direkt vor dem Auftauchen des Reizes auf die entgegengesetzte Seite zu richten. Hierzu wurde ein stationärer Reiz (Raute bzw. Quadrat) gezeigt, der über einen Tastendruck identifiziert werden sollte. Die Überlegung war folgende: Wenn 'disengagement' und 'engagement' notwendige Bedingungen für den Fröhlich-Effekt sind und nicht eine Veränderung der Reizexzentrizität, dann sollte sich unter dieser Zusatzaufgabe ein Fröhlich-Effekt nachweisen lassen, da diese eine Aufmerksamkeitsverlagerung erfordert. Ohne diese Zusatzaufgabe sollte sich hingegen kein Effekt zeigen. In 50% aller Durchgänge wurde der Zusatzreiz für 75 ms gezeigt, und mit einem SOA von 100 ms folgte der bewegte Reiz. In den übrigen 50 % der Fälle wurde kein Zusatzreiz gezeigt.

Abbildung 3.19 zeigt die Ergebnisse.

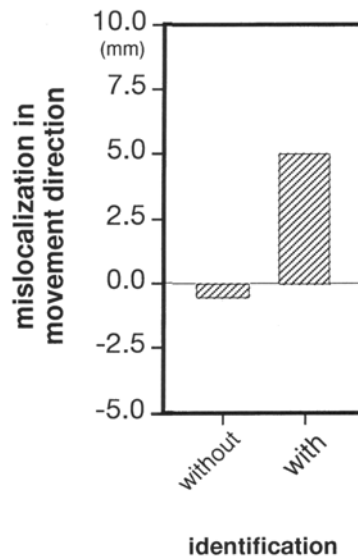


Abbildung 3.19 Mittlerer Fröhlich-Effekt für Experiment 3 von Müsseler et al. (eingereicht), getrennt für die Bedingungen ohne bzw. mit Zusatzreizidentifikation.

Das Verschwinden des Fröhlich-Effektes in der Bedingung ohne zusätzlichen Reiz wurde repliziert, während in der Bedingung mit Zusatzreiz der Effekt nachgewiesen werden konnte. Dies scheint zu belegen, daß das 'disengagement' vor dem 'engagement' notwendig ist, um einen Fröhlich-Effekt zu erzielen, und daß dies nicht notwendigerweise über Exzentrizitätsveränderungen erreicht werden muß.

Meiner Ansicht nach ist der Grund für das Verschwinden des Fröhlich-Effektes bei zentrierter Kreisbewegung nicht, daß diese keine adäquate Aufmerksamkeitsverlagerung ermöglicht hat, sondern daß die Geschwindigkeit zu langsam war. Gegen diese Überlegung spricht zwar, daß Müsseler und Aschersleben (1998) einen Fröhlich-Effekt unter der Geschwindigkeit von 14.4° nachweisen konnten, dies ist aber nach meinem Kenntnisstand das einzige Experiment, in dem unter einer so niedrigen Geschwindigkeit eine Fehllokalisierung der Startposition gefunden wurde. Es könnte sich also um ein nicht replizierbares Ergebnis handeln. Wenn diese Geschwindigkeitsüberlegungen richtig sind – wofür auch der fehlende Fröhlich-Effekt bei einer Geschwindigkeit von 25.78° in meinem ersten Diplomarbeitsexperiment spricht – wären die Aufmerksamkeitsverlagerungen zu schnell gewesen, als daß sich ein Effekt hätte zeigen können. In der dezentrierten Bedingung trat der Effekt wieder auf, weil die räumliche Unsicherheit – aufgrund der Exzentrizitätsveränderungen während der Bewegung – größer war. Dadurch erhöht sich die Dauer für die Aufmerksamkeitsverlagerung, und der Effekt tritt auch bei

niedrigen Geschwindigkeiten wieder auf. Vermutlich verlängert auch die Zusatzaufgabe die Dauer der Aufmerksamkeitszuwendung. Die Autoren würden diese Alternativerklärung zwar vermutlich ablehnen, da der nicht-valide Cue im vierten Experiment von Müsseler und Aschersleben (1998) keine Differenz zur neutralen Bedingung bewirkt hatte. Ich halte daran aber – aufgrund meiner Kritik an der nicht-validen Cuing-Bedingung (vergleiche Abschnitt 3.3) – fest.

3.5 Kirschfeld und Kammer (1999)

Die letzte Studie zum Fröhlich-Effekt, die beschrieben werden soll, stammt von Kirschfeld und Kammer (1999). Als bewegten Reiz verwendeten die Autoren eine Linie auf einer Scheibe, die mit einer konstanten Geschwindigkeit von 1.5 Umdrehungen/s rotierte. Der Beobachtungsabstand betrug 350 mm. Die Scheibe hatte einen Durchmesser von 117 mm, und die Linie war ebenso lang. Fixiert wurde ein Punkt in der Mitte der Scheibe. Rechnet man die Kreisbewegung für die äußersten Linienenden in retinale Geschwindigkeit um, ergibt sich ein Wert von $90.26^\circ/s$. Die Scheibe wurde entweder kontinuierlich oder durch Lichtblitze beleuchtet, und durch das Öffnen und Schließen eines Shutters konnten zusätzlich die Beobachtungszeiten kontrolliert werden. Shutter und Lichtblitze waren an bestimmte Positionen der Linie auf der Scheibe gekoppelt. Das Shutter war in der Mitte unterbrochen, so daß der Fixationspunkt auch bei geschlossenem Shutter sichtbar war. Das Ausmaß des Fröhlich-Effektes wurde mit Hilfe eines polaren Koordinatensystems und eines Cursors ermittelt.

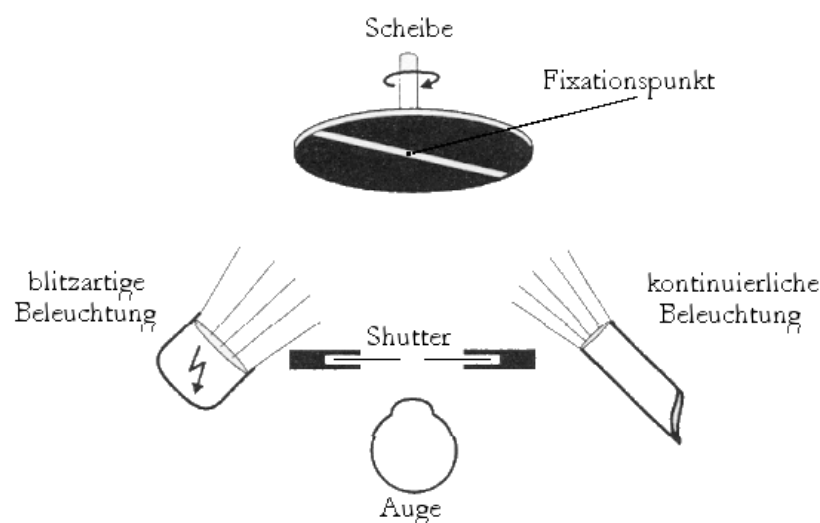


Abbildung 3.20 Versuchsanordnung von Kirschfeld und Kammer (1999) zur Untersuchung des Fröhlich-Effektes (nach Kirschfeld & Kammer, 1999).

In der Untersuchung zum Fröhlich-Effekt wurde die Scheibe kontinuierlich beleuchtet und das Shutter genau in dem Moment für 500 ms geöffnet, an dem sich die Linie in der Vertikalen befand. Wenn man davon ausgeht, daß unter diesen Umständen Aufmerksamkeit verlagert werden muß, um die Lage der Linienenden festzustellen, sollte sich laut Wetterwart-Modell auch hier eine Fehllokalisierung in Bewegungsrichtung ergeben. Tatsächlich nahm der Beobachter eine verschmierte Linie wahr, die in einem Abstand von etwa 60° zur Vertikalen auftauchte. Rechnet man diesen Wert in Millimeter – also in das gewöhnliche Maß für den Fröhlich-Effekt – um, ergibt sich für den äußersten Punkt der rotierenden Linie ein Wert von 58.77 mm. Dieser Wert war deutlich höher als der Fröhlich-Effekt in den sonstigen Experimenten, was vermutlich auf die höhere Geschwindigkeit zurückging.

Dieser Befund weist – im Gegensatz zu Müsseler et al. (eingereicht) – einen Fröhlich-Effekt bei Kreisbewegung nach, auch wenn die verwendeten Reize hier im Detail deutlich anders aussahen. Da die retinale Geschwindigkeit in diesem Experiment deutlich höher war als die bei Müsseler et al. (eingereicht), könnte dies ein Beleg für meine Vermutung sein, daß die zu geringe Geschwindigkeit den Effekt bei zentrierter Kreisbewegung zum Verschwinden gebracht hat.

3.6 Zusammenfassung

Insgesamt stimmt eine Reihe von Befunden mit den Vorhersagen des Wetterwart-Modells überein. Die wichtigsten dieser Befunde sind: Die Geschwindigkeitsabhängigkeit des Fröhlich-Effektes, die Reduktion der Fehllokalisierung durch valides Cuing und die schlechtere Entdeckungsleistung von Veränderungen zu Beginn der Bewegung gegenüber späteren. Einige der Befunde sind allerdings auch widersprüchlich. So ist unklar, ob der Fröhlich-Effekt mit zunehmender Exzentrizität zunimmt (wie Müsselers [1987] Befund zum Effekt der Fenstergröße und meine Ergebnisse [Carbone, 1995] nahelegen) oder ob dies nicht der Fall ist (Müsseler & Aschersleben, 1998). Uneindeutig ist auch die Befundlage zum Richtungseffekt, ob also der Effekt bei foveofugaler Bewegung tatsächlich größer ausfällt als bei foveopetaler Bewegung (Müsseler & Aschersleben, 1998) oder ob dies nicht der Fall ist (Carbone, 1995). Hier wäre auch die Frage zu klären, ob der fehlende Richtungseffekt in meinem Experiment möglicherweise durch den Flash-Effekt

bedingt sein könnte (Erhöhung des Effektes bei foveopetaler Bewegung, Verringerung bei foveofugaler). Kritisch erscheint mir ebenfalls die Befundlage zur Kreisbewegung. Wenn der Effekt tatsächlich bei konzentrischer Kreisbewegung fehlt – wie dies in der Studie von Müsseler et al. (eingereicht), im Gegensatz zur Untersuchung von Kirschfeld und Kammer (1999), gefunden wurde – würde dies den Gültigkeitsbereich des Wetterwart-Modells doch erheblich einschränken. Die Zusatzannahmen über den Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeitssteuerung und Sakkadenprogrammierung, die notwendig sind, um das Ausbleiben des Effektes zu erklären, sind recht komplex und würden eine starke Modifikation des Modells erforderlich machen.

4 Aufklärung von Widersprüchen und neue Befunde zum Fröhlich-Effekt

Die Experimente, die in diesem Kapitel dargestellt werden, sollten Widersprüche zwischen den im letzten Kapitel beschriebenen Experimenten näher aufklären. Im einzelnen wollte ich untersuchen, ob der Fröhlich-Effekt bei foveofugaler Bewegung tatsächlich höher ist als bei foveopetaler, ob die Fehllokalisierung mit der Exzentrizität ansteigt, welche Rolle der Flash-Effekt in meiner Versuchsanordnung spielt und ob sich bei konzentrischer Kreisbewegung ein Fröhlich-Effekt nachweisen läßt. Zusätzlich sollten die bisherigen Befunde zum Fröhlich-Effekt erweitert werden und die Vereinbarkeit der jeweiligen Befunde mit dem Wetterwart-Modell untersucht werden.

4.1 Experiment 1

Mit Hilfe des ersten Experimentes habe ich verschiedene Ziele verfolgt:

Erstens sollte der Fröhlich-Effekt aus den früheren Experimenten repliziert werden.

Zweitens sollte untersucht werden, ob die Fehllokalisierung bei foveofugaler Bewegung tatsächlich größer ist als bei foveopetaler, um den Widerspruch zwischen dem Ergebnis von Müsseler und Aschersleben (1998) und meinen Daten (Carbone, 1995) auszuklären.

Drittens wurde geprüft, ob innerhalb meiner Versuchsanordnung auch bei stationär aufblinkenden Reizen eine Fehllokalisierung – also ein Flash-Effekt – auftritt. Dies könnte Aufschluß darüber geben, ob der Flash-Effekt zu dem fehlenden Richtungseffekt in meinem zweiten Diplomarbeitsexperiment (Carbone, 1995) geführt haben könnte (Erhöhung des Effektes bei foveopetaler Bewegung und Verringerung bei foveofugaler).

Viertens sollte untersucht werden, ob die Darbietungsachse einen Einfluß auf das Ausmaß der Fehllokalisierung ausübt, ob es also einen Unterschied macht, ob der Reiz oben, unten, links oder rechts auftaucht. Da die Faktoren Darbietungsseite und Bewegungsrichtung in Carbone (1995, Experiment 2) konfundiert waren, hätte ein Unterschied zwischen der linken und der rechten Achse ebenfalls einen möglichen Richtungseffekt verdecken können (ein stärkerer Effekt auf der rechten Seite hätte den schwächeren Effekt bei foveopetaler Bewegung ausgleichen können). Diese Überlegung mag zunächst abwegig erscheinen; für andere Positionstauschungen ist aber eine solche Abhängigkeit von der Darbietungsachse gefunden worden. So konnten Hubbard und Bharucha (1988) zeigen, daß der Ort des Verschwindens eines Reizes bei horizontaler Bewegung stärker fehllokalisiert wird als bei vertikaler (ausführlicher werden diese

Befunde in Kapitel 5 beschrieben). Unterschiede zwischen linker und rechter Darbietungsseite könnten möglicherweise auch auf der Grundlage von Kinsbournes Aufmerksamkeitsmodell (Kinsbourne, 1977; 1987) vermutet werden. Kinsbourne geht davon aus, daß die Orientierung der Aufmerksamkeit durch Gegenmechanismen in der linken und rechten Hemisphäre kontrolliert wird. Stimulation oder Inhibition einer Hemisphäre führen zu einer offenen oder auch verdeckten Aufmerksamkeitsverlagerung zu der Seite, die sich kontralateral zur stärker aktivierten Hemisphäre befindet. Dabei ist es irrelevant, wodurch Aktivierung oder Hemmung ausgelöst werden, etwa durch eine spezielle Aufgabe, die eine Hemisphäre stärker aktiviert (Kinsbourne & Byrd, 1985), durch einen lateralisierten Reiz (Reuter-Lorenz, Kinsbourne & Moscovitch, 1990) oder durch Bewegungen in eine Richtung (Lempert & Kinsbourne, 1982). In bezug auf die Reizanordnung zum Fröhlich-Effekt könnte man vermuten, daß die Bestimmung einer räumlichen Position zu einer stärkeren Aktivierung der rechten gegenüber der linken Hirnhälfte führt, da die rechte Hemisphäre eher auf die Verarbeitung nicht-sprachlicher Reize spezialisiert ist (Hartje, 1989). Dies würde eine Aufmerksamkeitszuwendung zur linken Reizseite erleichtern bzw. zur rechten Seite erschweren. Dadurch könnte der Fröhlich-Effekt auf der linken Seite verringert und/oder auf der rechten Seite erhöht werden. Das Wetterwart-Modell macht zum Einfluß von Achsen keinerlei Aussagen, daher wurde kein unterschiedlicher Fröhlich-Effekt für die Achsen vorhergesagt.

Fünftens wurde überprüft, ob die Exzentrizität einen Einfluß auf den Fröhlich-Effekt ausübt. Hierdurch sollte der Widerspruch zwischen der Untersuchung von Müsseler und Aschersleben (1998) und meinem Experiment (Carbone, 1995) näher untersucht werden.

Methode

Apparatur und Stimuli

Das Experiment wurde mit Hilfe eines Laborcomputers, eines 17" Farbmonitors mit einer Bildwiederholfrequenz von 60Hz und einer Computermaus durchgeführt. Zur Versuchssteuerung wurden 'C'-Programme eingesetzt. Die Untersuchung fand in einem fensterlosen, schwach beleuchteten Raum statt.

Der Abstand der Vpn zum Bildschirm wurde durch eine Kopfstütze auf 400 mm fixiert. Auf Augenhöhe und im Zentrum des Bildschirms befand sich ein schwarzer

Fixationspunkt mit einem Durchmesser von 0.15° (2.1 mm), der kontinuierlich sichtbar war. Der Bildschirmhintergrund war grau und wies eine durchschnittliche Intensität von 23 cd/m^2 auf. Als bewegter Stimulus diente ein schwarzes Quadrat mit einer Kantenlänge von 0.67° (4.7 mm). Bezogen auf den Fixationspunkt konnte der Reiz entweder oben, unten, links oder rechts auftauchen und sich auf diesen zu bewegen (foveopetale Bewegung) oder sich von ihm entfernen (foveofugale Bewegung). Das Quadrat tauchte in seiner gesamten Breite auf, wurde während der Bewegung pro Bildschirmaufbau jeweils um seine gesamte Breite versetzt und verschwand nach Abschluß der Bewegung vollständig vom Bildschirm. Dies diente – wie in meinen Diplomarbeitsexperimenten (Carbone, 1995) – dazu, die Reizintensität über die Zeit an allen Orten gleich zu halten und damit das Auftreten des Fröhlich-Effektes nicht durch geringere Intensität zu Beginn der Bewegung zu begünstigen. Die Geschwindigkeit betrug $40.39^\circ/\text{s}$ (282 mm/s). Zur Erzeugung der Bewegung wurde der Reiz 8-11 mal versetzt. Damit variierte die Bewegungsstrecke zufällig zwischen 5.38 und 7.40° (37.6 und 51.7 mm). In Abhängigkeit von der eingesetzten Strecke betrug die Bewegungsdauer 133.3 bis 183.3 ms. Diese Zeitspanne lag absichtlich deutlich unterhalb der Schwelle von etwa 200 ms zur Auslösung von Blickbewegungen (Rayner, 1984; Goldberg, Eggers & Gouras, 1991). Die Zufallsvariation der Strecke wurde eingeführt, um die Möglichkeit auszuschließen, die Startposition aufgrund der Laufstrecke zu schätzen. Abbildung 4.1 verdeutlicht die verwendete Reizanordnung.

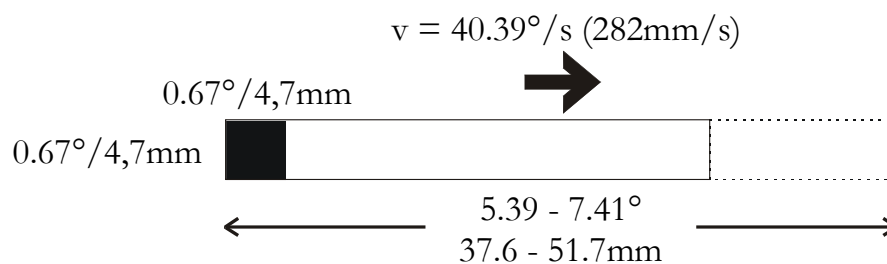


Abbildung 4.1 Reizanordnung in Experiment 1. Die durchgezogene Linie verdeutlicht die minimale, die gestrichelte die maximale Strecke.

Als stationärer Reiz wurde ein identisches Quadrat eingesetzt und für genau 16.7 ms (also einen Bildschirmaufbau lang) dargeboten. Dieser Zeitraum entspricht der Dauer, die sich der bewegte Reiz an jeder einzelnen Position befand.

Zur Bestimmung der wahrgenommenen Startposition durch die Vpn wurde eine 0.15° (2.1 mm) lange und 0.05° (0.34 mm) breite Markierungslinie eingesetzt. Sie tauchte unmittelbar nach Verschwinden des Balkens im Fixationspunkt auf und konnte – je nachdem, ob sich der Reiz in der Horizontalen oder in der Vertikalen bewegt hatte – waagrecht oder senkrecht verschoben werden. Um Scheinbewegung zu verhindern, entsprach die Linienlänge genau dem Durchmesser des Fixationspunktes und war daher erst beim Verschieben der Linie mit Hilfe der Maus sichtbar.

Durch die Verwendung einer Zusatzaufgabe zur Fixationskontrolle veränderte der Fixationspunkt in einigen Durchgängen seine Farbe von Schwarz zu Grün (29 cd/m^2), und die Vpn sollten darauf durch Drücken einer Maustaste reagieren.

Design

Die Vpn wurden in eine Experimental- und eine Kontrollgruppe aufgeteilt. In der Experimentalbedingung variierte der Faktor Bewegungsrichtung zwischen Vpn auf zwei Stufen (foveofugal bzw. foveopetal). In der Kontrollbedingung wurden statt der bewegten stationäre Reize eingesetzt. Sie blinkten für die Dauer eines Bildschirmaufbaus auf. Innerhalb von Vpn wurden sowohl in der Experimental- als auch in der Kontrollbedingung der Faktor Reizachse auf vier Stufen (oben, rechts, unten, links) und der Faktor Exzentrizität auf drei Stufen variiert (1.68 , 5.04 und 8.36° bzw. 11.75 , 35.25 und 58.75 mm). Alle verwendeten Exzentrizitäten befanden sich im fovealen oder parafovealen Bereich (Rayner, 1984).

Um zu vermeiden, daß sich die von Fröhlich gefundene Reizverbreiterung auf den Fröhlich-Effekt auswirkt, sollten die Vpn als Startposition bei den bewegten Reizen immer den relativ zur Bewegungsrichtung äußeren Rand einstellen, d.h. die äußerste Begrenzung der Reizbahn. Die Beibehaltung einer objektiv identischen Randposition unter foveofugaler und foveopetaler Bewegung war dabei nur durch die Versetzung der Reize um genau eine Reizbreite möglich (siehe Abbildung 4.2). Bei stationären Reizen wurde die Reizposition bzw. der Rand als weiterer Faktor zwischen Vpn variiert. Eine Vpn-Gruppe sollte den inneren Rand an der einen Reizposition (schwarzer Reiz in Abbildung 4.2) und eine andere den äußeren Rand an der anderen Reizposition (schraffierter Reiz in Abbildung 4.2) relativ zum Fixationspunkt einstellen.

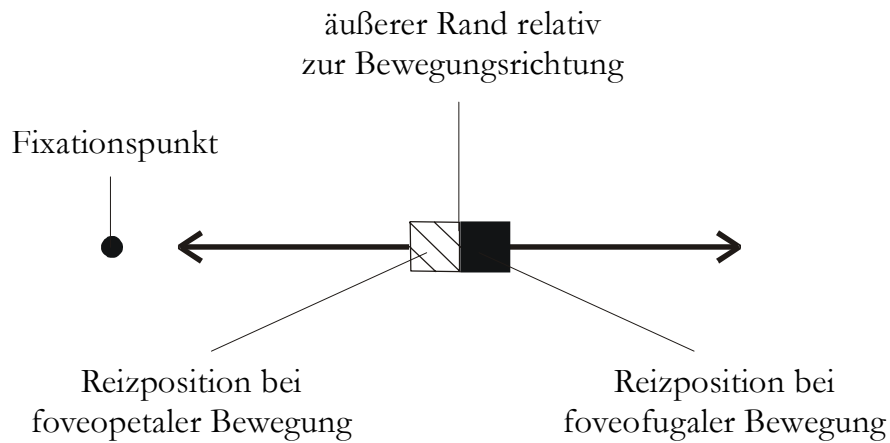


Abbildung 4.2 Versetzung der Reizpositionen bei foveofugaler und foveopetaler Bewegung zur Konstanthaltung des äußeren Randes.

Abbildung 4.3 verdeutlicht die verschiedenen Achsen und Exzentrizitäten bei foveofugaler und foveopetaler Bewegung bzw. bei stationären Reizen und der Angabe des äußeren und inneren Randes relativ zum Fixationspunkt.

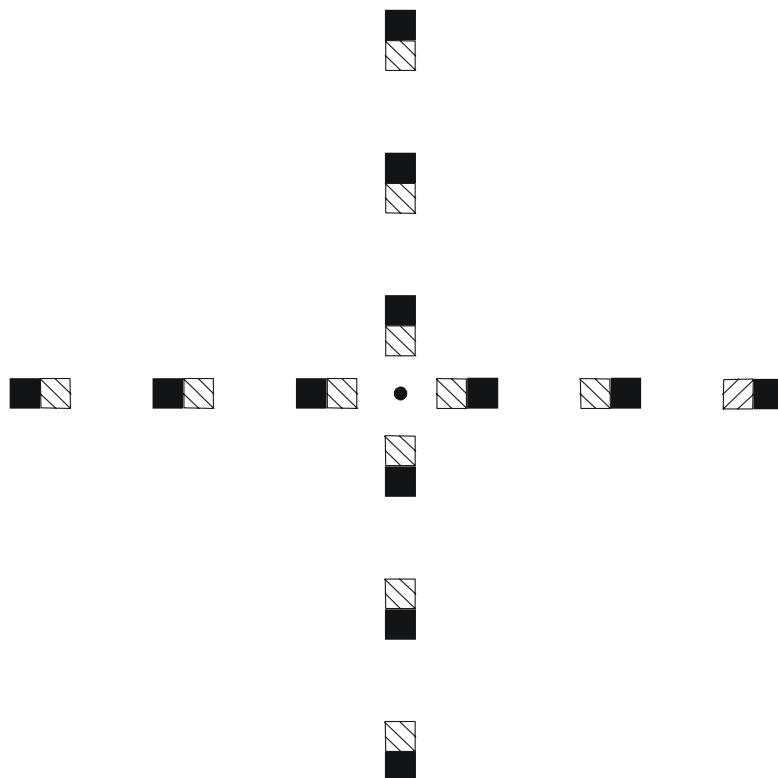


Abbildung 4.3 Darstellung der in Experiment 1 verwendeten Achsen und Exzentrizitäten. Die schwarzen Quadrate zeigen die Reizpositionen bei foveofugaler Bewegung bzw. stationären Reizen und der Angabe des inneren Randes relativ zum Fixationspunkt. Die schraffierten Quadrate entsprechen den Reizpositionen bei foveopetaler Bewegung bzw. stationären Reizen und der Angabe des äußeren Randes relativ zum Fixationspunkt.

Als abhängige Variable diente die Fehllokalisierung, also die Abweichung zwischen der tatsächlichen und der wahrgenommenen Startposition. In der Experimentalbedingung entsprachen positive Werte einer Verschiebung in Bewegungsrichtung, kennzeichneten also eine Verlagerung im Sinne des Fröhlich-Effektes. In der Kontrollbedingung standen positive Werte für eine Fehllokalisierung des stationären Reizes in Richtung des Fixationspunktes, also im Sinne des Flash-Effektes.

Versuchsablauf

Sowohl in der Experimental- als auch in der Kontrollgruppe wurde den Vpn zu Beginn des Experimentes eine schriftliche Instruktion vorgelegt. Hierin wurden sie zunächst allgemein über ihre Aufgabe informiert. In der Experimentalgruppe wurde ihnen mitgeteilt, daß sie die Position, an der sie das bewegte Quadrat zum ersten Mal gesehen hatten, angeben sollten und in der Kontrollgruppe entsprechend die Position, an der das Quadrat aufblinkt hatte. Der jeweils relevante Rand, auf den sich die Positionsangabe bezog (äußerer Rand relativ zur Bewegungsrichtung in der Experimentalgruppe und innerer bzw. äußerer Rand relativ zum Fixationspunkt in der Kontrollgruppe), wurde durch eine Abbildung verdeutlicht. Im Anschluß an die Beschreibung der allgemeinen Aufgabe wurde der Ablauf der einzelnen Durchgänge näher beschrieben (Fixation des Punktes, Auslösen des Durchgangs durch Drücken der linken Maustaste, Aufblinken bzw. Bewegung des Quadrates, Verschieben der Markierungslinie durch Mausbewegungen und Bestätigung der eingestellten Position durch erneutes Drücken der linken Maustaste). Zusätzlich wurde erläutert, daß die Vpn – durch Drücken der rechten Maustaste – die Möglichkeit hatten, das Übersehen des Quadrates anzugeben. Die Veränderung der Punktfarbe wurde ebenfalls eingeführt und erklärt, daß diese durch möglichst schnelles Drücken einer Maustaste beantwortet werden sollte. Auch der Zweck dieser Zusatzaufgabe – also die Kontrolle der Fixation – wurde erläutert.

Im Anschluß an die Instruktion folgten einige Übungsdurchgänge, bei denen der Versuchsleiter anwesend war, um eventuelle Fragen zu beantworten.

Jeder Versuchsdurchgang begann mit der Fixation des schwarzen Punktes und dem anschließenden Auslösen des Durchgangs durch Drücken der linken Maustaste. Nach einem zufälligen Zeitintervall zwischen 1200 und 1350 ms trat in der Experimental- und der Kontrollgruppe eines von zwei Ereignissen ein:

In etwa 91% aller Fälle (240 Durchgänge) tauchte in der Experimentalbedingung das bewegte Quadrat auf, bewegte sich über den Bildschirm und verschwand wieder. Während dieser Zeit sollte der Punkt weiter fixiert werden. Unmittelbar nach Verschwinden des Reizes erschien die oben beschriebene Markierungslinie und sollte mit Hilfe der Maus an die Stelle bewegt werden, an der der äußere Rand zuerst wahrgenommen worden war. Während der Einstellung brauchte der Punkt nicht länger fixiert zu werden. Die eingestellte Position wurde anschließend durch Drücken der linken Maustaste bestätigt.

In der Kontrollgruppe blinkte ebenso häufig das Quadrat auf. Auch hier erschien im direkten Anschluß die Markierungslinie und sollte - je nach "Randbedingung" – entweder an den äußeren oder den inneren Rand des Quadrates verschoben werden. Nach Verschieben der Linie erfolgte die Positionsbestätigung durch Drücken der linken Maustaste.

Für den Fall, daß die Vpn das Auftauchen des Reizes "verpaßt" hatten und dies durch Drücken der rechten Maustaste angezeigt hatten, wurde dieser Durchgang als "fehlendes Datum" in der Ergebnisdatei gespeichert.

In den übrigen 9% aller Fälle (24 Durchgänge) veränderte der Fixationspunkt – sowohl in der Experimental- als auch in der Kontrollbedingung – für 100 ms seine Farbe von schwarz zu grün. Drückten die Vpn im Anschluß an diese Farbveränderung innerhalb eines Zeitfensters von 1500 ms nach Beginn des Farbwechsels eine Maustaste, wurde die Reaktion als "richtig" gewertet, ansonsten wurde ein Fehler registriert.

Abbildung 4.4 verdeutlicht die beiden möglichen zeitlichen Abfolgen der Ereignisse in der Experimental- und Kontrollbedingung von Experiment 1.

Insgesamt wurde allen Vpn jede Kombination der Faktoren Achse und Exzentrizität 20 mal dargeboten und die Zusatzaufgabe 24 mal. Hieraus ergaben sich insgesamt 264 Durchgänge, die von jeder Vp in zufälliger und jeweils anderer Reihenfolge durchlaufen wurden. Nach der Hälfte der Versuchsdurchgänge fand eine Pause statt, die die Vpn jederzeit durch Drücken einer Maustaste beenden konnten.

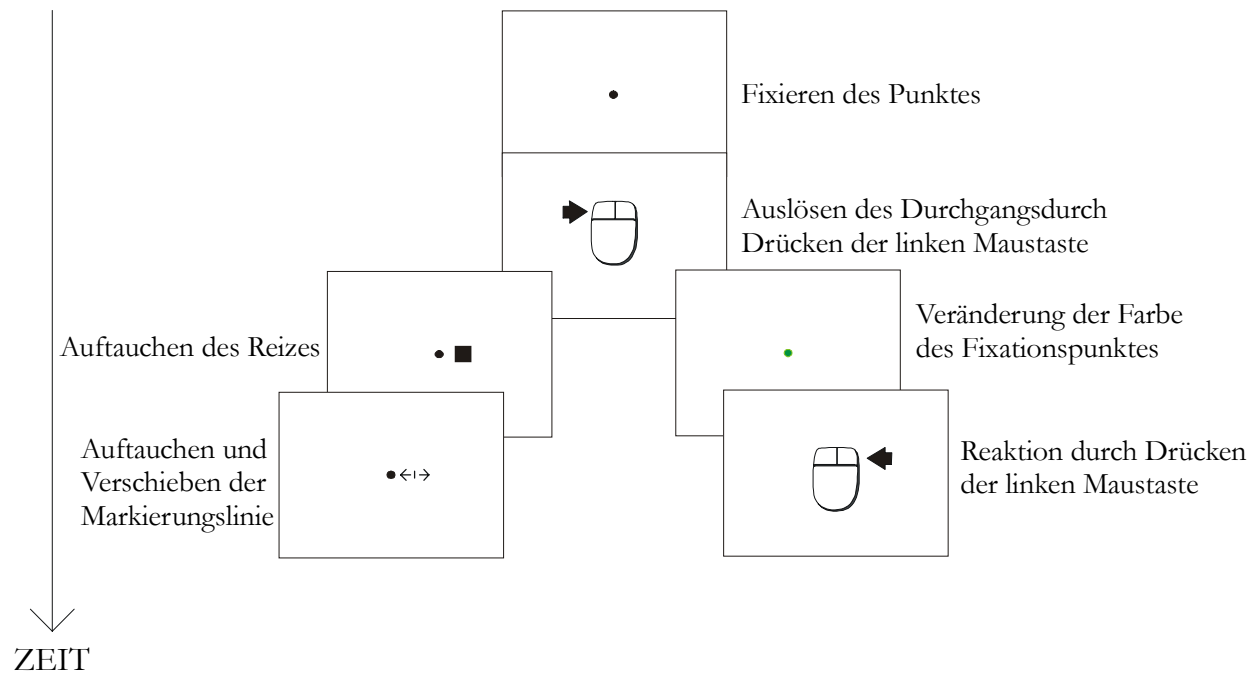


Abbildung 4.4 Mögliche zeitliche Abfolgen von Ereignissen innerhalb eines Durchganges in Experiment 1.

Versuchspersonen

30 Studenten der Universität Bielefeld (11 männliche und 19 weibliche), nahmen an der Untersuchung teil. Je zehn von ihnen wurden den Experimentalbedingungen "foveofugale Bewegung" bzw. "foveopetale Bewegung" zugeordnet und je fünf den beiden Kontrollbedingungen "innerer" bzw. "äußerer" Rand des aufblinkenden Reizes. Das Durchschnittsalter der Vpn betrug 24.9 Jahre, und ihre Teilnahme wurde mit 12 DM pro Stunde vergütet. Alle Vpn verfügten über normale oder vollkorrigierte Sehschärfe und waren nicht über die Fragestellung informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Zwei Vpn wurden von der Auswertung ausgeschlossen und durch neue ersetzt, da sie das Kriterium von weniger als 5% Fehler in der Zusatzaufgabe nicht erfüllten (d.h., es wurde maximal eine fehlerhafte Reaktion akzeptiert).

Für die statistische Auswertung wurden zunächst Mediane für einzelne Vpn und Bedingungskombinationen ermittelt. Auf diesen Medianen basierten alle weiteren Auswertungen. Dieses Vorgehen erschien sinnvoll, um einzelne "Ausreißer" weniger stark ins Gewicht fallen zu lassen. In diesen und allen weiteren statistischen Analysen wurden bei Nicht-Additivität der Fehlerkomponenten die Freiheitsgrade mit Hilfe des

Greenhouse-Geisser-Koeffizienten ε korrigiert und der Kriteriumswert entsprechend für diese angepaßten Freiheitsgrade bestimmt (Hays, 1988). Zur Kennzeichnung dieser Fälle wird ε angegeben.

Abbildung 4.5 zeigt die Ergebnisse der Kontrollbedingung von Experiment 1.

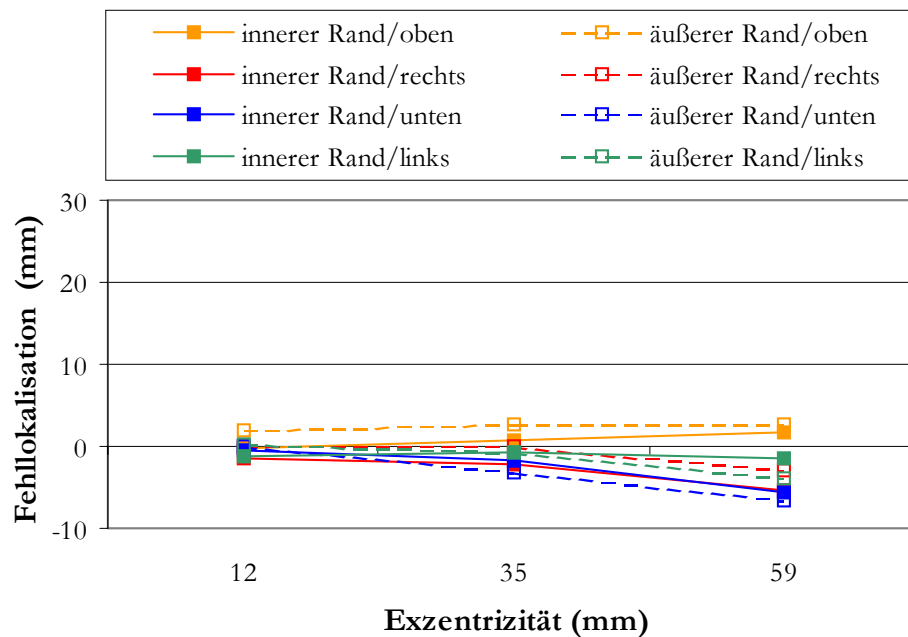


Abbildung 4.5 Gemittelte Fehllokalisation bei stationären Reizen für Randbedingungen, Achsen und Exzentrizitäten in Experiment 1, $N = 10$. Die scheinbar ungleichen Abstände zwischen den Exzentrizitäten kommen durch Rundungen auf ganze Millimeter-Einheiten zustande.

Für die Kontrollbedingung (stationäre Reize) betrug die Fehllokalisation gemittelt über die Mediane 1.17 mm bei einer Standardabweichung von 3.89 mm. Dieser Wert war nicht signifikant von 0 verschieden, die Positionsbeurteilungen für die aufblinkenden Reize waren also insgesamt sehr genau. Über die Daten wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse für den unabhängigen Faktor eingestellter Rand (innen, außen) und die beiden Meßwiederholungsfaktoren Achse (oben, rechts, unten, links) und Exzentrizität (1.68° , 5.05° , 8.47°) berechnet. Wie ein Blick auf Abbildung 4.5 nahelegt, zeigte sich keinerlei Effekt des eingestellten Randes, weder als Haupteffekt noch in Interaktionen (die gleichfarbigen Kurven liegen jeweils dicht beieinander). Es spielte also keine Rolle für das Ausmaß der Abweichung vom tatsächlichen Onset-Ort, ob die V_{pn} die Markierungslinie auf den inneren oder äußeren Reizrand eingestellt hatten. Trotz der numerisch geringen Werte wurden sowohl die Haupteffekte für Achse [$F(3, 24) = 10.55$;

$MS_e = 10.73$; $p < 0.001$] und Exzentrizität [$F(2, 16) = 5.06$; $MS_e = 14.02$; $p = 0.02$], als auch die Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren signifikant [$F(6, 48) = 9.09$; $MS_e = 2.51$, $p < 0.001$].

Laut Scheffé-Test war für den Faktor Achse die Bedingung oben positiver als alle übrigen Bedingungen (1.58 für die obere, -1.99 für die rechte, -2.92 für die untere und -1.33 mm für die linke Achse) [$\text{Diff}_{\text{crit}} = 2.54$; $MS_e = 10.73$; $p < 0.05$]. Die übrigen Bedingungen unterschieden sich hingegen nicht signifikant voneinander. Für den Haupteffekt Exzentrizität konnte durch den Scheffé-Test lediglich eine signifikante Differenz zwischen der geringsten und der höchsten Exzentrizität nachgewiesen werden (von der niedrigsten zur höchsten Exzentrizität betragen die gemittelten Mediane -0.17, -0.66 und -2.68 mm) [$\text{Diff}_{\text{crit}} = 2.26$; $MS_e = 14.02$; $p < 0.05$]. Auch die Interaktion wurde durch einen Scheffé-Test näher aufgeklärt (bedingte Einzelvergleiche, siehe Bortz, 1999, S. 296ff). Sie ging darauf zurück, daß die Fehllokalisationen für die einzelnen Achsen mit zunehmender Exzentrizität "auseinander liefen". Bei niedriger Exzentrizität wich keiner der Achsen-Mittelwerte von den übrigen ab (0.92 für oben, -0.77 für rechts, -0.25 für unten und -0.57 mm für links). Bei mittlerer Exzentrizität war bereits der Mittelwert für die obere von dem für die untere und die rechte Achse verschieden (1.63 für oben, -1.13 für rechts, -2.40 für unten und -0.73 mm für links). Bei hoher Exzentrizität schließlich waren alle Differenzen signifikant verschieden, außer der zwischen rechts und unten bzw. zwischen rechts und links (2.18 für oben, -4.08 für rechts, -6.13 für unten und -2.70 mm für links) [$\text{Diff}_{\text{crit}} = 2.63$; $MS_e = 2.51$; $p < 0.05$]. Betrachtet man das Auseinanderdriften der Kurven genauer, zeigt sich, daß die Fehllokalisation sich nicht für alle Achsen über die Exzentrizität verändert. Die Abweichungen für die Bedingungen oben und links blieben über die Exzentrizitäten relativ konstant, hier waren die Differenzen nicht signifikant (für die obere Achse betragen die gemittelten Mediane von den niedrigen zu den hohen Exzentrizitäten 0.92, 1.63 und 2.18; für die linke Achse -0.57, -0.73 und -2.70 mm). Anders in den Bedingungen rechts und unten: Hier war jeweils der Mittelwert unter der hohen Exzentrizität (-4.08 für rechts und -6.13 mm für unten) niedriger als der unter niedriger (-0.77 für rechts und -0.25 mm für unten) und mittlerer Exzentrizität (-1.13 für rechts und -2.40 mm für unten). Die Werte für die niedrige und mittlere Exzentrizität unterschieden sich nicht. Insgesamt bestand die Interaktion also darin, daß sich die Exzentrizitäten auf die einzelnen Achsen unterschiedlich auswirkten: Bei der

niedrigsten Exzentrizität "starteten" die Achsen-Kurven bei etwa den gleichen Werten. Anschließend blieben die Werte für oben und links über die Exzentrizitäten relativ konstant, während die für unten und rechts abnahmen.

Insgesamt fanden sich also recht geringe Fehllokalisationen, die – anders als bei Müsseler und Aschersleben (1998) – numerisch überwiegend negativ waren. D.h. hier traten statt Fehllokalisationen in Richtung des Fixationspunktes eher Verlagerungen in die Gegenrichtung auf. Wenn ein Einfluß des Flash-Effektes auf den Fröhlich-Effekt unter meinen Reizbedingungen existiert, sollte er den Fröhlich-Effekt in den Bedingungen linke, rechte und untere Achse bei foveofugaler Bewegung eher geringfügig verstärken und bei foveopetaler Bewegung verringern. Dieser Einfluß sollte außerdem mit der Exzentrizität zunehmen. In der Bedingung obere Achse sollte der Einfluß auf die Bewegungsrichtungen umgekehrt sein und kein Einfluß der Exzentrizität vorliegen.

Abbildung 4.6 zeigt die Ergebnisse für die Experimentalbedingung.

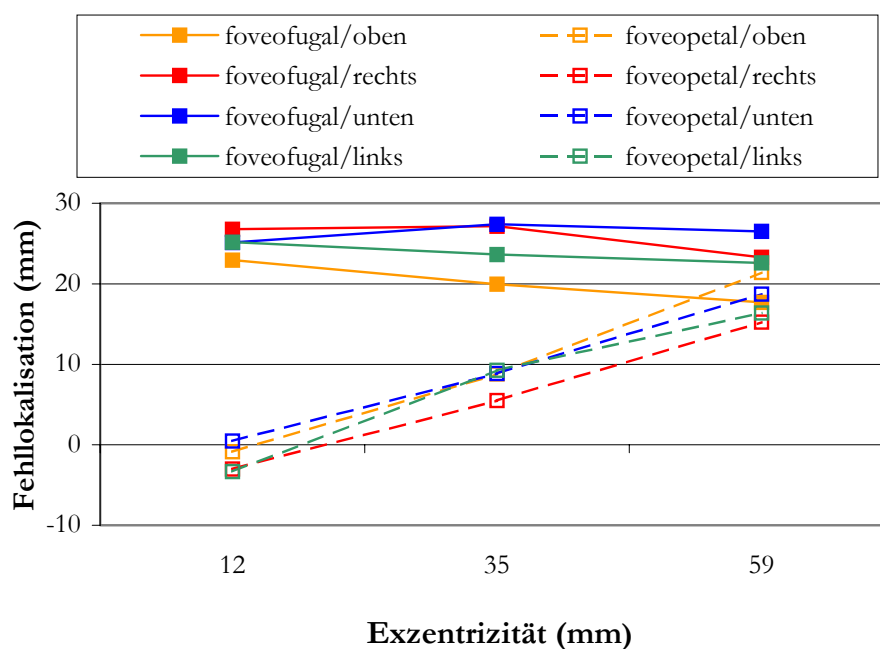


Abbildung 4.6 Gemittelte Fehllokalisation bei bewegten Reizen für Bewegungsrichtungen, Achsen und Exzentrizitäten in Experiment 1, N = 20.

Für die Experimentalbedingung (bewegte Reize) betrug die Fehllokalisation gemittelt über die Mediane 16.07 mm bei einer Standardabweichung von 14.62 mm. Dieser Wert war signifikant höher als 0 [$t(19) = 6.29$; $p < 0.001$]. Es wurde eine dreifaktorielle

Varianzanalyse für den unabhängigen Faktor Bewegungsrichtung (foveofugal, foveopetal) und die Meßwiederholungsfaktoren Achse (oben, rechts, unten, links) und Exzentrizität (1.68°, 5.05°, 8.47°) berechnet. Signifikant waren die Haupteffekte für die Faktoren Bewegungsrichtung [$F(1, 18) = 20.78$; $MSe = 730.32$; $p < 0.001$] und Exzentrizität [$F(2, 36) = 7.98$; $MSe = 184.65$; $p = 0.009$; $\varepsilon = 0.56$], die Interaktion zwischen diesen Faktoren [$F(2, 36) = 13.25$; $MSe = 184.65$; $p = 0.001$; $\varepsilon = 0.56$] und die Dreifachinteraktion [$F(6, 108) = 2.70$; $MSe = 13.08$; $p = 0.018$].

Die Interaktion ging – wie ein Blick auf Abbildung 4.5 sofort verdeutlicht und wie durch Scheffé-Tests zusätzlich untermauert wurde – darauf zurück, daß der Faktor Exzentrizität bei foveopetaler Bewegung einen Einfluß auf den Fröhlich-Effekt ausübt, nicht aber bei foveofugaler. Unter foveofugaler Bewegung waren keine der Mittelwertsdifferenzen zwischen den Exzentrizitäten signifikant (25.00 für die niedrige, 24.53 für die mittlere und 22.53 mm für die hohe Exzentrizität), während dies für alle Unterschiede bei der Bewegungsrichtung nach innen der Fall war (-1.69 für die niedrige, 8.10 für die mittlere und 17.94 mm für die hohe Exzentrizität) [$Diff_{crit} = 7.76$; $MSe = 184.65$; $p < 0.05$]. Andererseits zeigte sich unter der niedrigen und mittleren Exzentrizität eine signifikante Differenz zwischen den Bewegungsrichtungen, während dies bei hoher Exzentrizität nicht der Fall war. Zusammengefaßt stieg also der Fröhlich-Effekt in der foveopetalen Bedingung an, bis er bei hoher Exzentrizität das Niveau der foveofugalen Bedingung erreicht hatte.

Die kompliziert zu interpretierende Dreifachinteraktion vernachlässige ich an dieser Stelle, da diese lediglich 0.41% der Gesamtvarianz aufklärt (gegenüber 29.69% für den Faktor Bewegungsrichtung, 5.77 für die Exzentrizität und 9.57% für die Interaktion zwischen Richtung und Exzentrizität).

Bestimmte Antworten, die Experiment 1 auf die zuvor gestellten Fragen liefert, sind eindeutig, andere nicht. Zunächst einmal wurde der Fröhlich-Effekt klar repliziert. Desweiteren wurde kein Effekt der Achsen gefunden. Außerdem war der Flash-Effekt im Verhältnis zum Fröhlich-Effekt numerisch sehr gering und im Mittel nicht einmal signifikant von 0 verschieden. Es erscheint somit unwahrscheinlich, daß diese geringfügigen Tendenzen den Fröhlich-Effekt stark modifiziert haben. Ebenfalls unwahrscheinlich wird damit auch die Idee, daß der nicht vorhandene Richtungseffekt in

meinem zweiten Diplomarbeitsexperiment (Carbone, 1995) über den Flash-Effekt erklärt werden kann. Überraschende Ergebnisse fanden sich zur Exzentrizitätsvariation: Hier wurde eine zunehmende Fehllokalisierung über die Exzentrizitäten für die foveopetale, nicht aber für die foveofugale Bewegungsrichtung nachgewiesen (hierdurch war auch der Haupteffekt der Bewegungsrichtung bedingt). Dieser Befund läßt sich mit dem nicht vorhandenen Exzentrizitätseffekt im Experiment von Müsseler und Aschersleben (1998) problemlos vereinbaren, da in diesem Experiment ausschließlich foveofugale Bewegung eingesetzt wurde. Er widerspricht jedoch meinem zweiten Diplomarbeitsexperiment (Carbone, 1995), in dem für beide Bewegungsrichtungen ein Exzentrizitätseffekt nachgewiesen wurde.

Eine erste mögliche Erklärung für diesen Befund könnte eine Urteilstendenz aufgrund der Variation der Bewegungsrichtung zwischen Vpn sein: Angenommen, die Fehllokalisierung sei in der foveopetalen Bewegungsbedingung eigentlich immer maximal gewesen (also so hoch wie in der foveofugalen Bedingung), dann hätten die Vpn bei den niedrigen Exzentrizitäten den Marker über den Fixationspunkt bewegen und damit eine Position jenseits des Fixationspunktes einstellen müssen. Nehmen wir aber an, daß die Vpn wahrnehmen, daß die meisten der Reize nach innen – also in Richtung des Fixationspunktes – wandern. Daher vermuten sie, daß dies auch für diejenigen gilt, die sie eigentlich auf der Seite jenseits des Fixationspunktes und damit nach außen wandern sehen. Aus diesem Grund stellen sie mit Hilfe der Markierungslinie eine wahrgenommene Startposition diesseits des Fixationspunktes – also vor der Überquerung des Fixationspunktes – ein. Die Plausibilität dieser Überlegung sollte im folgenden Experiment geprüft werden.

4.2 Experiment 2

Wenn die nachträgliche Erklärung für den Exzentrizitätseffekt richtig ist, sollte dieser in der foveopetalen Bedingung verschwinden, wenn man den Faktor Bewegungsrichtung nicht zwischen, sondern innerhalb von Vpn variiert. Wenn diese Erklärung hingegen falsch ist, müßten sich die gleichen Ergebnisse zeigen wie in Experiment 1. Zusätzlich sollten die Exzentrizitäten feiner abgestuft werden, um zu prüfen, ob die Fehllokalisierung kontinuierlich über die Exzentrizitäten ansteigt (sofern der Anstieg in der foveopetalen

Bedingung auftritt) bzw. konstant hoch ist. Desweiteren habe ich versucht, das Fehlen des Achseneffekts aus Experiment 1 zu replizieren. Um die Zahl der Bedingungskombinationen und damit die zeitliche Belastung für die Vpn in Grenzen zu halten, wurde hier auf die Faktorstufen oben und unten verzichtet, so daß lediglich links und rechts eingesetzt wurden.

Method

Apparatur und Stimuli

Versuchsapparatur und Stimuli waren mit denen aus Experiment 1 identisch, mit der Ausnahme, daß ausschließlich bewegte Reize verwendet wurden.

Design

Variiert wurde wiederum der Faktor Bewegungsrichtung auf zwei Stufen (foveofugal, foveopetal). Im Unterschied zu Experiment 1 handelte es sich hier um einen Meßwiederholungsfaktor. Ebenfalls innerhalb von Vpn variierten die Faktoren Achse (links, rechts) und Exzentrizität der Startposition (1.68, 3.37, 5.05, 6.73 und 8.42° bzw. 11.75, 23.50, 35.25, 47.00, und 58.75 mm). Als abhängige Variable wurde wiederum die Fehllokalisation ermittelt.

Versuchsablauf

Die Vpn erhielten eine schriftliche Instruktion und absolvierten einige Übungsdurchgänge. Die Abfolge der Ereignisse in den Durchgängen – einschließlich der Zusatzaufgabe – entsprach vollständig der aus Experiment 1.

Insgesamt wurde den Vpn jede Kombination der Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität 20 mal vorgegeben, und die Zusatzaufgabe wurde 40 mal realisiert. Hieraus ergaben sich insgesamt 440 Durchgänge, die jeder Vp in zufälliger und jeweils anderer Reihenfolge vorgegeben wurden.

Versuchspersonen

Es nahmen insgesamt 15 Vpn – 9 männliche und 6 weibliche – am Experiment teil. Durchschnittlich betrug ihr Alter 24.8 Jahre. Die Vpn erhielten 12 DM pro Stunde für ihre Teilnahme und verfügten über vollständige oder vollkorrigierte Sehfähigkeit.

Ergebnisse und Diskussion

Alle Vpn erfüllten das Kriterium von unter 5% Fehlern in der Zusatzaufgabe, so daß niemand von der Auswertung ausgeschlossen werden mußte.

Für die statistische Auswertung wurden abermals zunächst Mediane der Vpn in den einzelnen Faktorkombinationen berechnet. Abbildung 4.7 zeigt die Ergebnisse.

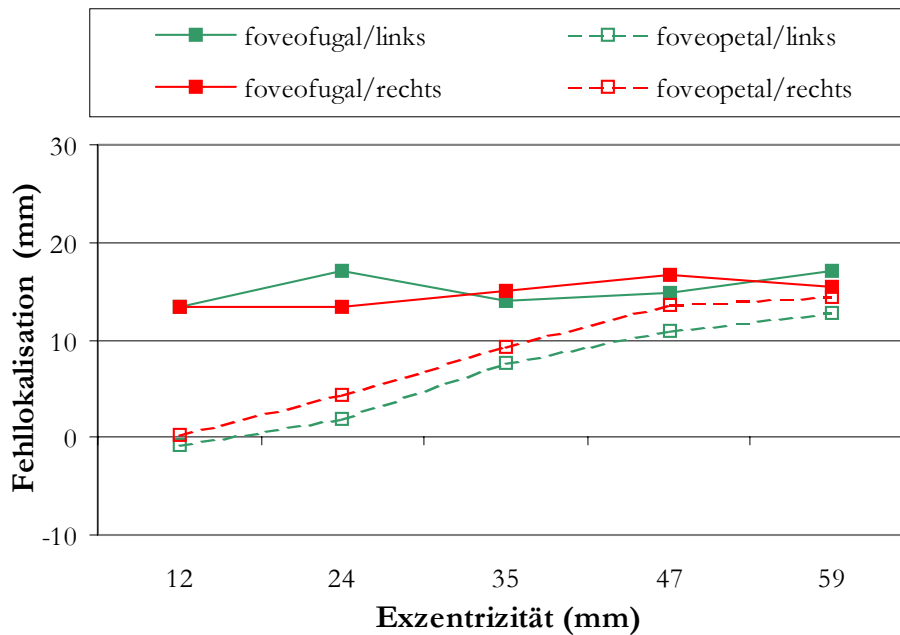


Abbildung 4.7 Gemittelte Fehllokalisierung für Bewegungsrichtungen, Achsen und Exzentrizitäten in Experiment 2, N = 15.

Der Fröhlich-Effekt betrug gemittelt über die Mediane 11.22 mm bei einer Standardabweichung von 8.30 mm. Dieser Wert war deutlich höher als 0 [$F(1, 14) = 163.03$; $MSe = 231.57$; $p < 0.001$]. Über die Daten wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung für die Faktoren Bewegungsrichtung, Achsen und Exzentrizität berechnet. Es zeigte sich keinerlei Effekt der Achse auf den Fröhlich-Effekt, weder als Haupteffekt noch in Interaktionen. Signifikant waren – wie in Experiment 1 – die Haupteffekte für die Faktoren Bewegungsrichtung [$F(1, 14) = 29.88$; $MSe = 143.36$; $p < 0.001$] und Exzentrizität [$F(4, 56) = 26.98$; $MSe = 26.46$; $p < 0.001$; $\epsilon = 0.60$] sowie die Interaktion zwischen diesen beiden Faktoren [$F(4, 56) = 11.64$; $Mse = 32.33$; $p = 0.001$; $\epsilon = 0.41$].

Die Interaktion wurde durch Scheffé-Tests im Anschluß an die Varianzanalyse näher aufgeklärt. Wie in Experiment 1 ging sie darauf zurück, daß die Exzentrizität bei foveofugaler Bewegung keinen Einfluß auf das Ausmaß des Fröhlich-Effektes ausübte,

während die Mittelwerte bei foveopetaler Bewegung mit zunehmender Exzentrizität linear anstiegen, bis sie das konstant hohe Niveau der Werte bei foveofugaler Bewegungsrichtung erreichten. So war bei foveofugaler Bewegung keine Differenz zwischen Exzentrizitäten höher als der kritische Scheffé-Wert von 4.68 mm (mit zunehmender Exzentrizität betragen die gemittelten Mediane 13.33, 15.20, 14.52, 15.74 und 16.19 mm). Im Gegensatz dazu waren bei foveopetaler Bedingung fast alle Differenzen höher als dieser kritische Grenzwert (die gemittelten Mediane betragen -0.31, 3.19, 8.46, 12.20, 13.65 mm) [$MSe = 32.33$; $p < 0.05$]. Signifikant wurden alle Differenzen, abgesehen von denen zwischen direkt benachbarten Exzentrizitätsstufen. Zusätzlich wies der Fröhlich-Effekt bei foveopetaler Bewegung einen deutlichen linearen Trend auf [$F(8, 56) = 126.55$; $MSe = 32.33$; $p < 0.001$]. Umgekehrt zeigten sich unter der niedrigsten, der zweiten und der dritten Exzentrizitätsstufe signifikante Unterschiede zwischen den Bewegungsrichtungen, nicht aber unter der vierten und fünften Stufe. Auch hier stieg also der Fröhlich-Effekt in der foveopetalen Bedingung an, bis er schließlich bei hoher Exzentrizität das Niveau der foveofugalen Bedingung erreicht hatte.

Die Ergebnisse von Experiment 2 sprechen dagegen, daß der Exzentrizitätseffekt in der foveopetalen Bedingung von Experiment 1 auf eine Urteilstendenz aufgrund der Variation der Bewegungsrichtung zwischen V_{pn} zurückging. Zusätzlich wurde gezeigt, daß das Ausmaß des Fröhlich-Effektes in der foveopetalen Bedingung – auch über die fünf verwendeten Exzentrizitäten – linear anstieg bzw. in der foveofugalen Bedingung konstant blieb. Auch der fehlende Effekt der Achsen aus Experiment 1 konnte repliziert werden. Aufgrund dieses replizierten Ergebnisses wurde in den folgenden Experimenten der Faktor Achse nicht mehr in die Auswertung einbezogen, aber dennoch zufallsvariiert. Dies sollte eine gewisse räumliche Unsicherheit aufrecht erhalten und dafür sorgen, daß die effektivste Strategie stets darin bestand, kontinuierlich auf den Fixationspunkt zu blicken.

Es ist demnach sichergestellt, daß bei foveopetaler Bewegungsrichtung ein "echter" Exzentrizitätseffekt existiert und daß dieser bei foveofugaler Bewegung fehlt. Nach wie vor stellt sich aber die Frage nach den Ursachen. Eine mögliche Erklärung könnte in der Verwendung von Referenzen für das Positionsurteil begründet sein. Die wichtigste Referenz für das Urteil ist wohl der Fixationspunkt. Wenn man annimmt, daß das

Überqueren des Fixationspunktes vom visuellen System auf jeden Fall registriert wird, da es sich um die Veränderung eines Reizes durch Verdeckung handelt, könnten die Vpn daraus schließen, daß nur der Reiz diese Veränderung herbeigeführt haben kann und würden als Startposition eine Position vor dem Fixationspunkt einstellen. Der Reiz überquert den Fixationspunkt aber nur bei foveopetaler Bewegung und bei bestimmten Startexzentrizitäten: Je höher die Exzentrizität, desto später während der Bewegung passiert der Reiz den Fixationspunkt. Bei den höchsten Exzentrizitäten verschwindet er, bevor er den Fixationspunkt überquert, und bei foveofugaler Bewegung berührt der Reiz den Punkt ebenfalls nie. Mit Hilfe dieser Annahmen ließe sich der Exzentrizitätseffekt bei foveopetaler Bewegung und das letztendliche Annähern an die Fehllokalisierung bei foveofugaler Bewegung erklären. Da die Überquerung des Fixationspunktes auf jeden Fall registriert wird, kann sich nur die Strecke vor dem Überqueren des Punktes auf den Fröhlich-Effekt auswirken. Je geringer die Startexzentrizität, desto kürzer wird diese Strecke und desto geringer sollte daher der Fröhlich-Effekt ausfallen. Für die Fälle, in denen der Reiz den Fixationspunkt nicht überquert – bei den höchsten Exzentrizitäten und bei foveofugaler Bewegungsrichtung – wäre der Effekt maximal, da sich die gesamte Strecke auswirken kann. Die Plausibilität dieser Überlegungen sollte mit Hilfe von Experiment 3 untersucht werden.

4.3 Experiment 3

Wenn der Exzentrizitätseffekt durch das Überqueren des Fixationspunktes verursacht wurde, dann sollte er verschwinden, wenn jegliche Referenz fehlt. Unter diesen Umständen sollte sich die foveopetale Bedingung an die foveofugale annähern. Zur Untersuchung dieser Frage habe ich auf einen festen Fixationspunkt verzichtet. Stattdessen sollte die Aufmerksamkeit mit Hilfe einer dynamischen Fixationshilfe auf die Mitte des Bildschirms ausgerichtet werden. Zum Zeitpunkt der Reizdarbietung war der Bildschirm also leer. Zusätzlich zu den bisherigen Exzentrizitäten wurde auch der Bildschirnmittelpunkt als Startposition verwendet (Exzentrizität 0). An diesem Ort sollte laut Wetterwart-Modell der Effekt vollständig verschwinden, da keine Verlagerung der Aufmerksamkeit stattfinden muß, wenn die Aufmerksamkeit bereits durch die dynamische Fixationshilfe auf diesen Ort gelenkt wurde.

Method

Apparatur und Stimuli

Versuchsapparatur und Stimuli entsprachen nahezu exakt denen aus Experiment 2. Die Veränderung betraf den Verzicht auf den Fixationspunkt und damit auch die Punktänderung. Stattdessen wurde eine dynamische Fixationshilfe eingesetzt, die aus vier roten Punkten (8 cd²) mit einem Durchmesser von je 0.39° (2.7 mm) bestand. Die Punkte tauchten in den Ecken eines fiktiven Quadrates auf, dessen Zentrum der Bildschirmmittelpunkt bildete. Der Abstand der Punkte vom Mittelpunkt betrug beim ersten Auftauchen 16.17° (116 mm). Die Punkte wanderten in 30 Schritten mit jedem Bildschirmaufbau – also alle 16.7 ms – weiter auf den Mittelpunkt des Bildschirms zu. Die letzten Positionen befanden sich 0.27° (1.9 mm) von der Bildschirmmitte entfernt. Dies geschah, um Referenzen durch mögliche Nachbilder auszuschließen. Um zusätzlich eine nachträgliche Orientierung zu verhindern, erschien die Markierungsline nicht mehr – wie zuvor – genau in der Mitte des Bildschirms, sondern sie tauchte zufällig in einem Bereich von 1.69° (11.8 mm) um den Bildschirmmittelpunkt herum auf.

Design

Variiert wurden wiederum der Faktor Bewegungsrichtung auf zwei Stufen (foveofugal, foveopetal) und der Faktor Exzentrizität der Startposition auf sechs Stufen (0, 1.68, 3.37, 5.05, 6.73 und 8.42° bzw. 0, 11.75, 23.50, 35.25, 47.00 und 58.75 mm). Die Darbietungsachse wurde – aus den im vorherigen Abschnitt besprochenen Gründen – als randomisierte Variable beibehalten, aber nicht ausgewertet. Als abhängige Variable diente abermals die Größe der Fehllokalisierung.

Versuchsablauf

Auch dieses Experiment begann mit der schriftlichen Instruktion und den Übungsdurchgängen. Durch die Einführung der dynamischen Fixationshilfe veränderte sich – neben dem Wegfall des festen Fixationspunktes und der Zusatzaufgabe – vor allem der zeitliche Ablauf der einzelnen Durchgänge. 1200 – 1350 ms nach der Auslösung des Durchgangs durch Drücken der Maustaste begann die Darbietung der dynamischen Fixationshilfe, die insgesamt 500 ms dauerte. 300-450 ms nach dem Verschwinden der

Punkte tauchte der Reiz auf, wanderte über den Bildschirm und verschwand wieder. 500 ms später erschien die Markierungslinie, die von der Vp an die wahrgenommene Startposition verschoben werden sollte. Wie in den übrigen Experimenten wurde durch die Bestätigung der eingestellten Position gleichzeitig der nächste Durchgang ausgelöst. Insgesamt wurde den Vpn jede Kombination der Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität 40 mal vorgegeben. Die resultierenden 480 Durchgänge wurden jeder Vp in zufälliger und jeweils anderer Reihenfolge vorgegeben.

Versuchspersonen

Es nahmen insgesamt 15 Vpn - 8 männliche und 7 weibliche - am Experiment teil. Ihr Durchschnittsalter betrug 24.9 Jahre. Die Vpn erhielten 12 DM pro Stunde für die Teilnahme, verfügten über eine normale oder vollkorrigierte Sehschärfe und wurden nicht über die Fragestellung informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Ausgewertet wurde auch hier über die Mediane der Vpn für die einzelnen Faktorkombinationen. Da für die Exzentrizität 0 die objektiven Reizgegebenheiten unter den beiden Bewegungsrichtungen identisch sind (die foveopetale Bewegung dauert immer nur bis zur Überquerung des Fixationspunktes, und mit abnehmender Exzentrizität wird diese Strecke immer kürzer, bis bei 0 im Grunde keine foveopetale Bewegung mehr möglich ist), wurden die hier ermittelten Verschiebungen zufällig auf die beiden Richtungsbedingungen aufgeteilt. Abbildung 4.8 zeigt die über die Vpn gemittelten Ergebnisse für die Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität.

Der über die Mediane gemittelte Fröhlich-Effekt betrug 13.39 mm bei einer Standardabweichung von 13.16 mm. Auch in diesem Experiment war die Fehllokalisierung insgesamt deutlich höher als 0 [$F(1, 14) = 20.41$; $MSe = 1581.19$; $p < 0.001$]. Eine zweifache Varianzanalyse über die Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität ergab einen signifikanten Haupteffekt für Exzentrizität [$F(5, 70) = 19.25$; $MSe = 15.10$; $p < 0.001$; $\epsilon = 0.29$]. Für den Faktor Bewegungsrichtung zeigte sich kein signifikanter Effekt [$p = 0.20$], allerdings waren die Werte in der foveofugalen Bedingung numerisch stets höher als in der foveopetalen. Die Interaktion zwischen Bewegungsrichtung und Exzentrizität wurde ebenfalls nicht signifikant.

Über die Exzentrizitätsstufen zeigte sich ein deutlicher linearer Trend (die Mittelwerte von der niedrigsten bis zur höchsten Exzentrizität betragen 10.28, 10.43, 11.86, 13.79, 16.07 und 17.70 mm) [$F(4, 70) = 177.70$; $MSe = 15.10$; $p < 0.001$]. Zusätzlich unterschied sich der Wert für die Exzentrizität 0 deutlich von 0 [$t(14) = 5.89$; $p < 0.001$].

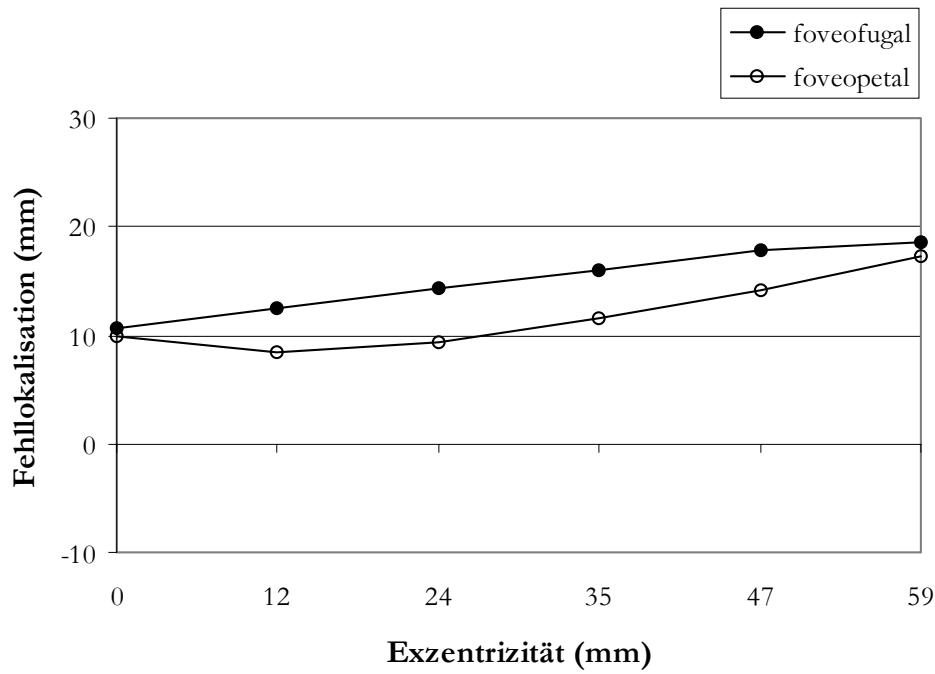


Abbildung 4.8 Gemittelte Fehllokalisation für Bewegungsrichtungen und Exzentrizitäten in Experiment 3, $N = 15$.

Wie vorhergesagt näherten sich die beiden Funktionsverläufe einander an – der Verlauf der Kurven wurde flacher. Allerdings zeigte sich – entgegen den Vorhersagen – ein Exzentrizitätseffekt in beiden Bewegungsrichtungen. Zusätzlich war der Fröhlich-Effekt unter der Exzentrizität 0 deutlich positiv. Dieser Exzentrizitätseffekt in beiden Bedingungen, ohne daß eine Referenzmöglichkeit bestand, sprach gegen die Annahme, daß die Abhängigkeit der Fehllokalisation von den Exzentrizitäten durch das Überqueren des Fixationspunktes bedingt war. Es blieb aber zu klären, warum sich in Experiment 1 und 2 in der foveofugalen Bedingung kein Exzentrizitätseffekt gezeigt hat. Meine Idee war, daß sowohl in der foveopetalen als auch in der foveofugalen Bedingung stets ein maximaler Fröhlich-Effekt existiert, dem sich die Werte über die Exzentrizitäten annähern, daß dieser aber bei foveofugaler Bewegung bereits früher erreicht wird. In Experiment 1 und 2 waren selbst die niedrigsten Exzentrizitäten bereits so hoch, daß dieser Maximalwert erreicht wurde. Wenn diese Überlegung richtig ist, sollte sich – auch

bei foveofugaler Bewegung – ein Anstieg über die Exzentrizitäten nachweisen lassen, wenn Experiment 2 mit niedrigeren Exzentrizitäten wiederholt wird. Für einen solchen Verlauf sind verschiedene Ursachen vorstellbar. Im Rahmen der Aufmerksamkeitserklärung könnte man annehmen, daß die eigentliche Dauer für eine Aufmerksamkeitsverlagerung konstant hoch ist, der Beginn aber durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden kann. Einer dieser Faktoren könnte die Sehschärfe sein, die – ausgehend von der Fovea – negativ beschleunigt abnimmt (Wertheim, 1984; Kerr, 1971). Diese Abhängigkeit der Sehschärfe von der Reizexzentrizität verdeutlicht Abbildung 4.9 schematisch.

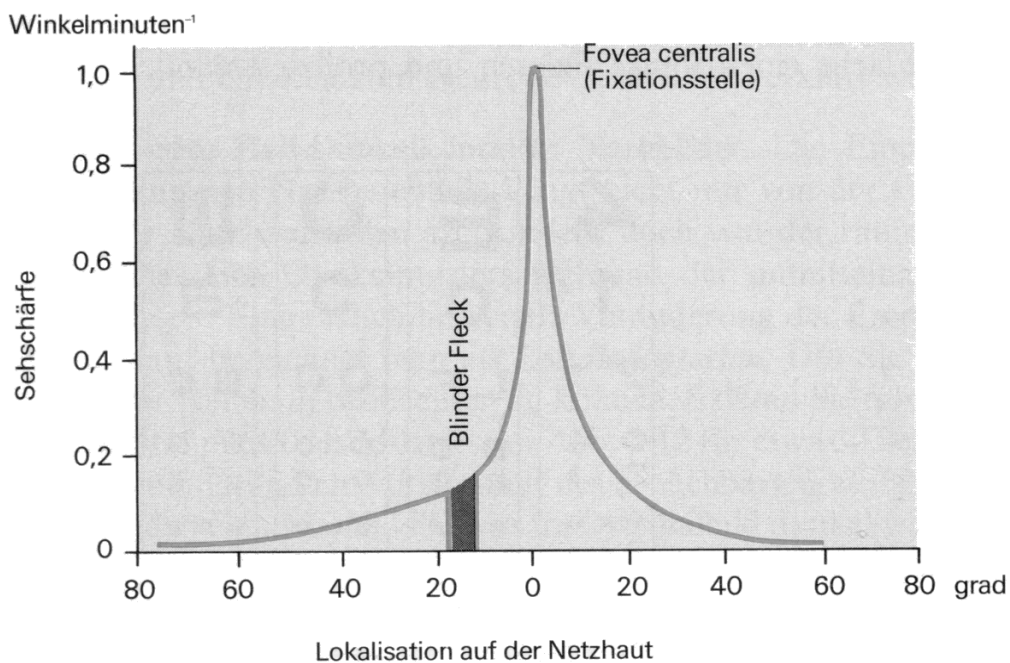


Abbildung 4.9 Abhängigkeit der Sehschärfe von der Reizexzentrizität (aus Grüsser & Grüsser-Cornehls, 1985).

Wenn durch die zunehmende Unschärfe die räumliche Unsicherheit über das Ziel der Aufmerksamkeitsverlagerung immer größer wird, könnte dies den Beginn der Aufmerksamkeitsverlagerung mit zunehmender Exzentrizität beeinflussen: Zunächst sollte sich der Beginn immer mehr verzögern, bis er schließlich relativ konstant bleibt. Wenn zudem die Sensitivität des visuellen Systems für foveopetale Bewegung höher ist als für foveofugale (Mateeff & Hohnsbein, 1988; Mateeff et al., 1991; siehe aber auch Ball & Sekuler, 1980), würde dies zusätzlich zu einer Verschiebung der foveofugalen Kurve in Richtung niedriger Exzentrizitäten gegenüber der foveopetalen Kurve führen.

Der signifikante Fröhlich-Effekt unter der Exzentrizität 0 könnte darauf hindeuten, daß die Aufmerksamkeit durch die dynamische Fixationshilfe nicht exakt auf den Mittelpunkt ausgerichtet wurde oder sich zum Zeitpunkt des Reizes bereits nicht mehr dort befand. In diesen Fällen müßte daher doch Aufmerksamkeit verlagert werden. Andererseits wäre es auch möglich, daß die räumliche Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen Ort tatsächlich nicht ausreichend ist, um den Reiz an dieser Position wahrzunehmen. Ob der Fröhlich-Effekt tatsächlich bei foveofugaler Bewegung und niedrigeren Exzentrizitäten in Experiment 1 und 2 angestiegen wäre und ob sich auch eine signifikante Fehllokalisation bei der Exzentrizität 0 zeigt, wenn dieser Ort fixiert wird, sollte in Experiment 4 näher untersucht werden.

4.4 Experiment 4

Um die Überlegungen zum Exzentrizitätseffekt bei niedrigen Exzentrizitäten und zum signifikanten Effekt unter der Exzentrizität 0 zu überprüfen, wurde Experiment 2 mit insgesamt 13 Exzentrizitätsstufen wiederholt, so daß auch für die unteren Bereiche genügend Werte vorhanden waren, um einen früh auftretenden Anstieg des Fröhlich-Effektes über die Exzentrizitäten nachweisen zu können. Auch die Startexzentrizität 0 wurde abermals realisiert. Da hier der feste Fixationspunkt im Bildschirmmittelpunkt und die Zusatzaufgabe zur Fixationskontrolle wieder eingesetzt wurde, erschien es plausibel anzunehmen, daß sich in diesem Fall der Ort der Fixation bzw. der Aufmerksamkeit exakt beim Mittelpunkt befand. Ein signifikanter Fröhlich-Effekt unter diesen Umständen würde eher dafür sprechen, daß die Zuwendung der Aufmerksamkeit allein nicht ausreicht, um einen Reiz bewußt wahrzunehmen.

Methode

Apparatur und Stimuli

Versuchsapparatur und Stimuli entsprachen vollständig den in Experiment 2 verwendeten.

Design

Variiert wurde der Faktor Bewegungsrichtung auf zwei Stufen (foveofugal, foveopetal) und der Faktor Exzentrizität auf insgesamt 13 äquidistanten Stufen im Bereich von 0 bis 56.4 mm bzw. (0 – 8.03°). Der Abstand zwischen zwei Exzentrizitäten entsprach somit genau einer Reizbreite. Beide experimentellen Faktoren wurden innerhalb von Vpn variiert. Die Achse wurde – wie in Experiment 3 – als randomisierte Variable beibehalten aber nicht ausgewertet. Als abhängige Variable diente wiederum die Fehllokalisation.

Versuchsablauf

Nach der schriftlichen Instruktion und den Übungsdurchgängen wurde den Vpn jede Kombination der experimentellen Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität in zufälliger Reihenfolge 20 mal vorgegeben. Die Punktveränderung wurde 52 mal realisiert, so daß sich eine Gesamtzahl von 572 Durchgängen ergab. Die Abfolge der Ereignisse in den Durchgängen entsprach vollständig der aus Experiment 1 und 2.

Versuchspersonen

Insgesamt nahmen 15 Vpn – 4 männliche und 11 weibliche – am Experiment teil. Ihr Alter betrug im Mittel 26.6 Jahre. Für ihre Teilnahme wurden sie bezahlt. Alle Vpn verfügten über normale oder vollkorrigierte Sehschärfe und waren vorab nicht über die Fragestellung informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Auch hier wurden wiederum Mediane der Vpn für die einzelnen Faktorkombinationen berechnet. Abbildung 4.10 verdeutlicht die Ergebnisse aus Experiment 4 getrennt für die Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität. Da – wie in Experiment 3 – die objektiven Reizgegebenheiten für die Exzentrizität 0 unter foveofugaler und foveopetaler Bewegung identisch waren, wurden die ermittelten Verschiebungen zufällig auf die beiden Richtungsbedingungen verteilt.

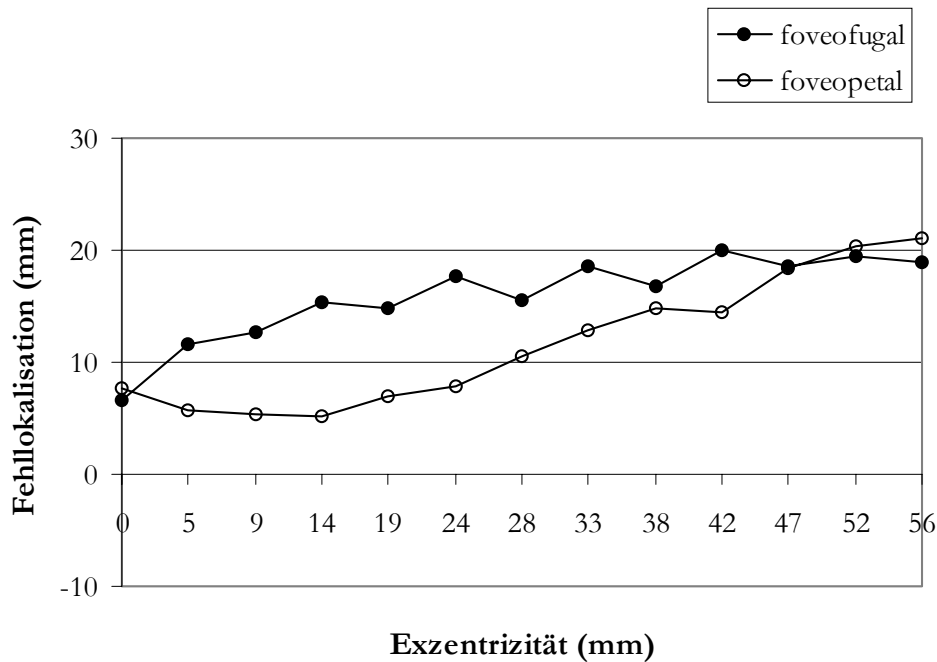


Abbildung 4.10 Gemittelte Fehllokalisation für Bewegungsrichtungen und Exzentrizitäten in Experiment 4, N = 15.

Insgesamt betrug der Fröhlich-Effekt, gemittelt über die Mediane, 13.76 mm bei einer Standardabweichung von 13.71 mm und war damit signifikant höher als 0 [$F(1, 14) = 19.87$; $MSe = 3714.73$; $p = 0.001$]. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung über die Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität ergab folgende Ergebnisse: Signifikant wurden die Haupteffekte für Bewegungsrichtung [$F(1, 14) = 5.37$; $MSe = 328.66$; $p = 0.036$] und Exzentrizität [$F(12, 168) = 33.76$; $MSe = 17.19$; $p < 0.001$; $\epsilon = 0.19$] und die Interaktion zwischen den beiden Faktoren [$F(12, 168) = 6.70$; $MSe = 19.73$; $p = 0.001$; $\epsilon = 0.25$].

Für den Faktor Exzentrizität ließ sich ein linearer Trend nachweisen (die Mittelwerte von der niedrigsten bis zur höchsten Exzentrizität betragen 8.18, 8.94, 9.08, 10.62, 11.02, 12.85, 12.83, 15.36, 15.63, 16.57, 18.29, 19.16 und 19.71 mm) [$F(12, 168) = 334.24$; $MSe = 17.19$; $p < 0.001$]. Die Interaktion wurde durch Scheffé-Tests näher aufgeklärt. Sie kam dadurch zustande, daß die Funktionsverläufe für die Bewegungsrichtungen über die Exzentrizitäten zunächst auseinander und dann wieder zusammenliefen. Die foveofugale Kurve stieg früh auf ein konstant hohes Niveau, während die foveopetale Kurve erst später auf das gleiche hohe Niveau anstieg (vergleiche Abbildung 4.8). In den Scheffé-Tests bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Bewegungsrichtungen nur unter

der vierten, fünften und sechsten Exzentrizitätsstufe. Der direkte Anstieg der foveofugalen Kurve zeigte sich darin, daß der Wert für die niedrigste Exzentrizitätsstufe signifikant kleiner war als alle anderen außer der unter der zweiten und dritten Stufe. Außerdem war der Wert unter der zweiten Stufe niedriger als unter der zehnten und zwölften Stufe. Der langsamere Anstieg bei foveopetaler Bewegung spiegelte sich in der Tatsache wider, daß die Werte unter der neunten bis dreizehnten Exzentrizitätsstufe – also unter den hohen Stufen – signifikant höher waren als die, die von ihnen mindestens fünf Stufen abwichen. So war die Fehllokalisierung unter der dreizehnten Stufe höher als alle Exzentrizitätsstufen zwischen der ersten und der achten. Ausnahmen bildeten folgende Unterschiede: Nicht signifikant wurde die Differenz zwischen der zehnten und fünften Stufe, zwischen der zehnten und ersten, sowie der neunten und ersten Stufe. Zusätzlich wurde die Differenz zwischen der achten und vierten Stufe, der neunten und fünften, sowie der elften und siebten signifikant [$Diff_{crit} = 7.56$; $MSe = 19.73$; $p < 0.05$] (die Fehllokalisierungen für die foveofugale Bewegungsrichtung beginnend mit der niedrigsten Exzentrizität betragen 8.16, 11.74, 13.09, 15.83, 15.16, 17.70, 15.55, 18.28, 17.17, 18.95, 18.46, 19.07 und 19.33 mm; die Werte für die foveopetale Bewegungsrichtung 8.20, 6.13, 5.11, 5.39, 6.91, 7.99, 10.14, 12.45, 14.08, 14.18, 18.13, 19.25 und 20.10 mm). Sowohl in der foveofugalen als auch in der foveopetalen Bedingung konnte ein linearer Trend über die Exzentrizitäten nachgewiesen werden (für foveofugale Bewegung [$F(12, 168) = 80.84$; $MSe = 19.73$; $p < 0.001$]; für foveopetale Bewegung [$F(12, 168) = 231.18$; $MSe = 19.73$; $p < 0.001$]). Es schien also tatsächlich so zu sein, daß die Werte unter beiden Bewegungsrichtungen einen Exzentrizitätseffekt aufwiesen, daß aber bei foveofugaler Bewegung das Maximum bereits früher erreicht wurde.

Wie im letzten Experiment zeigte sich auch unter der Exzentrizität 0 ein signifikanter Fröhlich-Effekt [$t(14) = 2.33$; $p = 0.035$]. Dies scheint zu belegen, daß die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den entsprechenden Ort nicht ausreicht, um ihn zu lokalisieren. Die weitere Diskussion darüber wird an dieser Stelle zurückgestellt und in Kapitel 6 wieder aufgegriffen.

4.5 Experiment 5

Nach der ausführlichen Beschäftigung mit dem Verlauf des Fröhlich-Effektes über die Exzentrizitäten, dem Einfluß der Bewegungsrichtungen und der Rolle des Flash-Effektes soll mit Hilfe der beiden folgenden Experimente eine weitere der in Kapitel 3 diskutierten Unklarheiten beseitigt werden: Es wurde untersucht, ob – wie bei Müsseler et al. (eingereicht) – der Einsatz von konzentrischer Kreisbewegung den Fröhlich-Effekt zum Verschwinden bringt. Dieser Replikationsversuch erschien mir notwendig, da der nicht gefundene Effekt und die nachträgliche Erklärung der Autoren über Blickbewegungen die Generalität des Wetterwart-Modells meiner Ansicht nach stark einschränken. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob die Bewegungsrichtung oder die Winkelposition, an der der Reiz auftaucht, möglicherweise einen Einfluß auf das Ausmaß der Fehllokalisierung ausübt. Da sich der Fixationspunkt stets in der Kreismitte befand – die Strecke für die Aufmerksamkeitsverlagerung also immer gleich lang war – sollte weder die Richtung noch die Startposition einen Einfluß auf die Fehllokalisierung ausüben.

Methoden

Apparatur und Stimuli

Wie in Experiment 1, 2 und 4 wurde wieder mit festem Fixationspunkt und der Zusatzaufgabe gearbeitet. Die Änderungen gegenüber diesen Experimenten waren folgende: Der quadratische Reiz bewegte sich auf einer Kreisbahn mit einem Durchmesser von 130 mm (10.3°) konzentrisch um den Fixationspunkt. Zur Erzeugung der Bewegung wurde der Reiz mit jedem Bildschirmaufbau um annähernd eine Reizbreite versetzt und entsprechend gedreht. Eine vollständige Versetzung ohne minimale Lücke war – wie Abbildung 4.11 verdeutlicht – nicht möglich, da weiterhin mit Quadraten gearbeitet wurde, die Reizbahn aber gekrümmt war. Nach wie vor wurde der Reiz in jedem Durchgang 8-11 mal (37.6 – 51.7 mm) versetzt. Dies entsprach $33.1-45.6^\circ$ des Kreisbogens (etwa $\frac{1}{8}$). Die retinale Geschwindigkeit betrug – wie in den früheren Experimenten $40.39^\circ/\text{s}$. Abbildung 4.11 zeigt die durchlaufenen Reizpositionen für eine beispielhafte Startposition und Richtung. Die schwarzen Kästchen verdeutlichen die Positionen 1-8, die stets gezeigt wurden, die nicht ausgefüllten die Positionen 9-11, die nicht notwendigerweise vorhanden waren.

Die Markierungslinie wurde in diesem Experiment auf 4.7 mm verlängert, um ihre Sichtbarkeit während des Verschiebens auf dem Kreisbogen zu erhöhen.

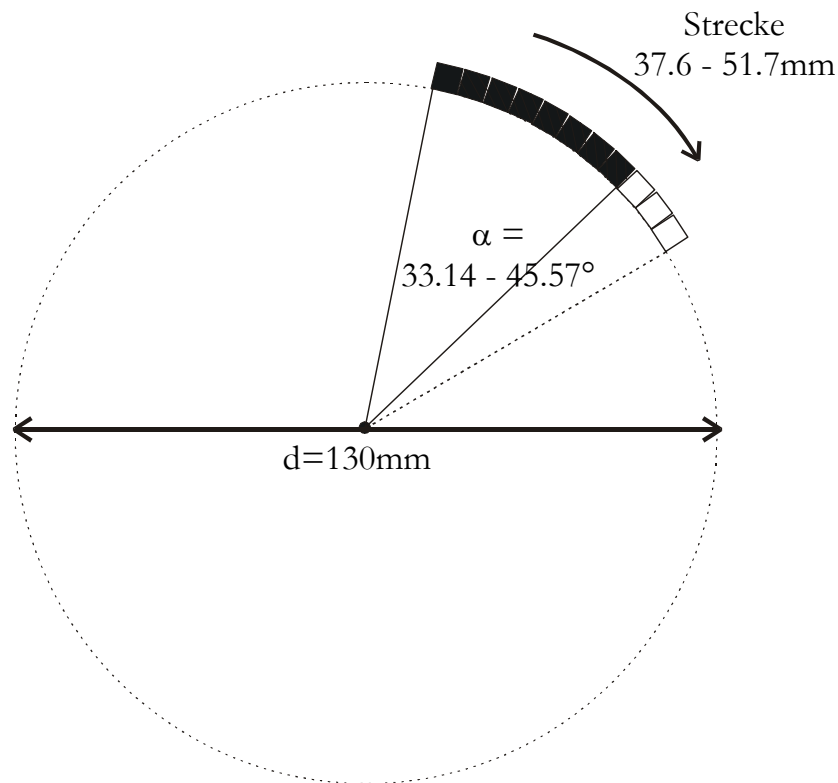


Abbildung 4.11 Reizanordnung aus Experiment 5. Die gestrichelte Kreislinie verdeutlicht die Kreisbahn, die unsichtbar war, aber die Reizbahn festlegte (weitere Erläuterungen, siehe Text).

Design

Variiert wurde die Bewegungsrichtung (mit bzw. gegen den Uhrzeigersinn) und die Startposition des Reizes auf dem Kreisbogen auf 12 Stufen (gleichmäßig verteilt zwischen 15 und 345° in 30° Schritten). Der Begriff "Startposition" bezieht sich – wie zuvor die Exzentrizität – auf den relativ zur Bewegungsrichtung äußeren Rand, so daß auch bei Kreisbewegung die Reizpositionen für die beiden Richtungen um je eine Reizbreite gegeneinander versetzt waren. Die Startpositionen waren – wie Abbildung 4.12 verdeutlicht – auf der rechten und linken Seite spiegelsymmetrisch angeordnet. Als abhängige Variable diente wiederum der Fröhlich-Effekt.

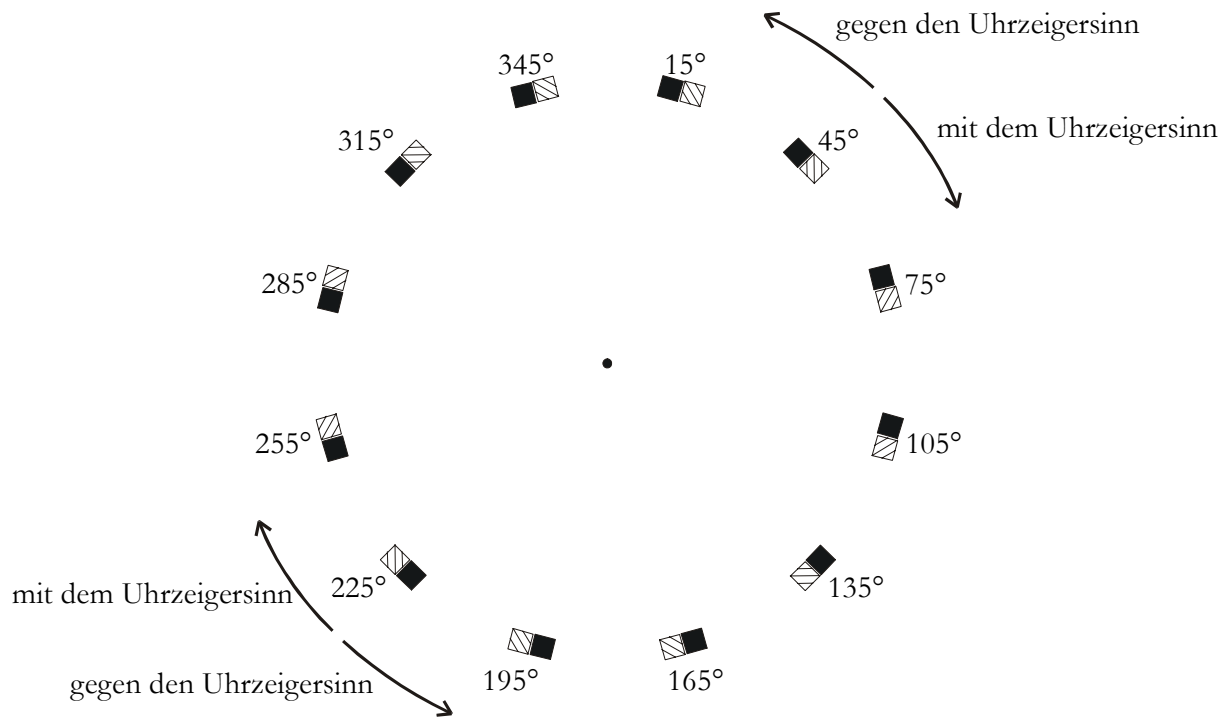


Abbildung 4.12 Maßstabsgetreue Darstellung der in Experiment 5 verwendeten Startpositionen relativ zum Fixationspunkt bei Bewegung im Uhrzeigersinn (schraffierte Quadrate) bzw. entgegengesetzt (schwarze Quadrate).

Versuchsablauf

Nach der schriftlichen Instruktion folgten einige Übungsdurchgänge. Der Ablauf der Durchgänge und die Lage der Pause entsprachen denen in Experiment 1, 2 und 4. Die Markierungslinie tauchte – wie zuvor – 500 ms nach Verschwinden des Reizes bei 0° (also oberhalb des Fixationspunktes) auf und konnte durch rechtsseitige Bewegungen mit der Maus im und durch linksseitige gegen den Uhrzeigersinn auf der Kreisbahn verschoben werden.

Die Kombinationen der Faktoren Bewegungsrichtung und Startposition wurden den Vpn insgesamt 18 mal in zufälliger Reihenfolge und die Zusatzaufgabe 43 mal vorgegeben. Die 475 Durchgänge wurden in zufälliger und jeweils anderer Reihenfolge durchlaufen.

Versuchspersonen

Es nahmen 14 Vpn (7 männliche und 7 weibliche) mit einem Durchschnittsalter von 27.9 Jahren am Experiment teil. Die Vpn wurden für die Teilnahme bezahlt und verfügten über eine normale oder vollkorrigierte Sehschärfe. Keine der Vpn war mit den Hypothesen vertraut.

Ergebnisse und Diskussion

Für die Auswertung ergab sich zunächst folgendes Problem: Im Prinzip ließ sich jede durch die Vpn eingestellte Startposition gleichermaßen als positive wie als negative Fehllokalisation interpretieren. Befand sich beispielsweise bei Bewegung im Uhrzeigersinn die Startposition bei 15° und der eingestellte Ort bei 180° , so ließ sich dies grundsätzlich als Verlagerung in Bewegungsrichtung um 165° interpretieren oder als Verlagerung entgegen der Bewegungsrichtung um 195° . Um die möglichen positiven und negativen Verlagerungen gleich häufig zu halten, wurde entschieden, alle Positionen von der Startposition bis zur gegenüberliegenden Kreisposition in Bewegungsrichtung als positive Verschiebungen zu betrachten und alle übrigen als negative.

Zwei Vpn mußten von der Auswertung ausgeschlossen werden. Eine davon wies eine Fehlerzahl von mehr als 5% in der Zusatzaufgabe auf, und die andere hatte stets die rechte Maustaste gedrückt, um anzugeben, daß sie den Reiz übersehen hatte, so daß ausschließlich fehlende Daten registriert wurden. Abbildung 4.13 zeigt die über die restlichen 12 Vpn gemittelten Mediane der Fehllokalisationen für Bewegungsrichtungen und Startpositionen.

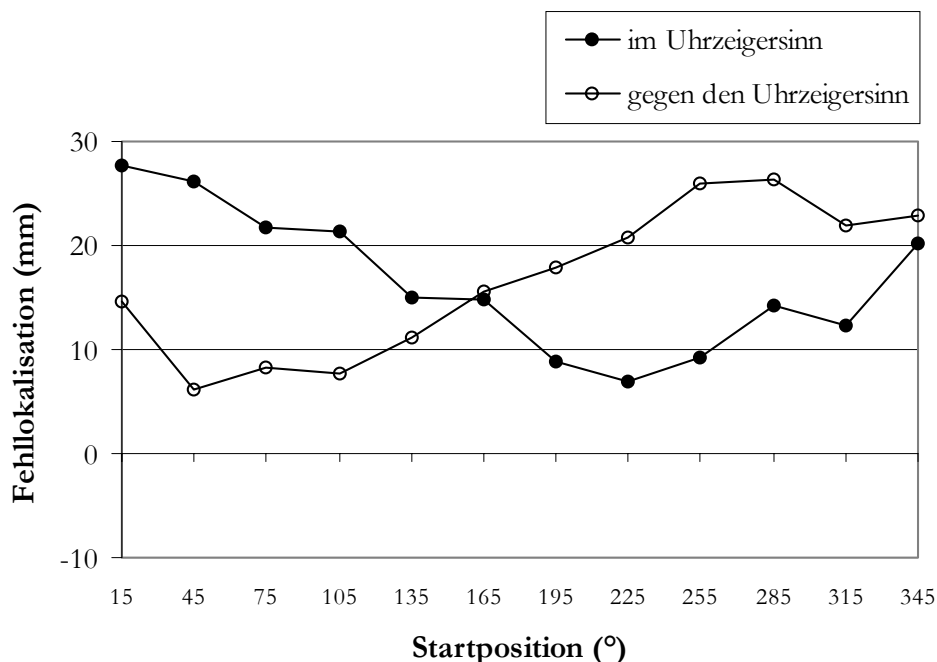


Abbildung 4.13 Gemittelte Fehllokalisation für Bewegungsrichtung und Startpositionen in Experiment 5, N = 12.

Gemittelt über die Mediane betrug die Verschiebung der wahrgenommenen Startposition 16.58 mm bei einer Standardabweichung von 18.13 mm und dieser Wert war signifikant höher als 0 [$F(1, 11) = 12.94$; $MS_e = 6121.45$; $p = 0.004$]. Für die Mediane der einzelnen Vpn wurde eine Varianzanalyse über die Meßwiederholungsfaktoren Richtung und Startposition berechnet. Der Haupteffekt für Startpositionen wurde signifikant [$F(11, 121) = 5.86$; $MS_e = 37.44$; $p < 0.001$; $\epsilon = 0.44$], nicht aber der für Richtung. Wie bereits ein Blick auf Abbildung 4.13 erwarten läßt, erreichte auch die Interaktion zwischen Bewegungsrichtung und Startposition Signifikanz [$F(11, 121) = 13.19$; $MS_e = 72.43$; $p < 0.001$; $\epsilon = 0.30$].

Im Anschluß an die Varianzanalyse wurden Scheffé- und Trendtests für den Haupteffekt und die Interaktion durchgeführt. Für den Haupteffekt der Startposition ergab sich eine kritische Differenz von 8.01 mm. Die einzigen gemittelten Mediane, deren Differenz oberhalb dieses Wertes lag waren Startposition 15° versus 135°, Startposition 135° versus 345° und Startposition 195° versus 345° [$MS_e = 37.44$; $p = 0.05$]. Es unterschieden sich also extrem hohe oder niedrige von mittleren Winkelpositionen (von der niedrigsten bis zur höchsten Startposition betragen die gemittelten Mediane 21.20, 16.14, 15.03, 14.49, 13.05, 15.17, 13.43, 13.85, 17.58, 20.30, 17.14 und 21.60 mm). Für die Interaktion zwischen Richtung und Startposition betrug die kritische Scheffé-Differenz 15.75 mm. Für die Bewegung im Uhrzeigersinn zeigten sich jeweils signifikante Differenzen zwischen den Startpositionen 15° und 45° im Vergleich zu 195, 225 und 255°, also zu etwa gegenüberliegenden Startpositionen (die gemittelten Mediane für die Bewegung im Uhrzeigersinn betragen 27.70, 26.09, 21.79, 21.32, 15.03, 14.84, 8.93, 6.85, 9.27, 14.18, 12.38 und 20.23 mm). Im Gegensatz dazu unterschieden sich bei Bewegung gegen den Uhrzeigersinn 45, 75 und 105° jeweils von 255 und 285°. Die 45°-Bedingung unterschied sich zusätzlich von 345°. Auch hier bestanden die signifikanten Unterschiede also zwischen etwa gegenüberliegenden Winkeln (die gemittelten Mediane für Bewegung gegen den Uhrzeigersinn betragen 14.70, 6.19, 8.27, 7.66, 11.06, 15.50, 17.92, 20.85, 25.90, 26.42, 21.89 und 22.97 mm). Unter den verschiedenen Startpositionen unterschieden sich die Richtungen lediglich bei 45 und bei 255° voneinander. Die geringe Anzahl signifikanter Vergleiche geht vermutlich darauf zurück, daß die Höhe der kritischen Scheffé-Differenz mit der Anzahl der Vergleiche wächst (Alpha-Adjustierung).

Daher wurde zusätzlich ein linearer Trendtest über die Startpositionen unter den einzelnen Richtungen berechnet. Es zeigte sich, daß bei Bewegung im Uhrzeigersinn der Verlauf der Verschiebungen über die Exzentrizitäten knapp die Signifikanz verfehlte [$p < 0.10$], bei Bewegung gegen den Uhrzeigersinn aber erreichte [$F(11, 121) = 72.43$; $p < 0.05$]. Grob gesagt nimmt also bei Bewegung mit dem Uhrzeigersinn die Fehllokalisierung über die Startpositionen ab, während sie bei Bewegung gegen den Uhrzeigersinn zunimmt.

Anders als bei Müsseler et al. (eingereicht) konnte in Experiment 5 ein deutlicher Fröhlich-Effekt bei konzentrischer Kreisbewegung nachgewiesen werden. Allerdings ist der Effekt – anders als vorhergesagt – nicht unabhängig von der Bewegungsrichtung und der Winkelposition. Die Daten fallen bei Bewegung mit dem Uhrzeigersinn über die Winkelpositionen ab, während sie bei Bewegung gegen den Uhrzeigersinn über die Winkelpositionen ansteigen. Dies scheint zunächst keinen Sinn zu ergeben. Warum sollte es einen Unterschied für das Ausmaß der Fehllokalisierung machen, ob der Reiz sich an der gleichen Startposition mit oder gegen den Uhrzeigersinn bewegt, wenn das Zentrum der Kreisbahn fixiert wird? Das Datenmuster läßt sich relativ plausibel ordnen, wenn man annimmt, daß die Vpn zwar den Punkt in der Mitte fixierten, ihre Aufmerksamkeit zu Beginn jedes Durchganges jedoch auf den obersten Punkt der Kreisbahn ($0^\circ/12$ Uhr) gerichtet haben. Jede Aufmerksamkeitsverlagerung wäre entsprechend von dort gestartet worden. Folgt man diesen Überlegungen würde sich eine andere Unterteilung der Faktoren ergeben, da Startpositionen und Richtungen in bezug auf diesen Referenzpunkt andere sind als relativ zum Fixationspunkt. In bezug auf 12 Uhr sind die rechte Hälfte der Startpositionen (aufsteigend von $15 - 165^\circ$) und die linke Hälfte (absteigend von $345 - 195^\circ$) spiegelsymmetrisch. Der Abstand der Startpositionen nimmt links und rechts ausgehend von 12 Uhr von 15 bis 165° zu. Auf der linken Seite wandern die Reize, die sich im Uhrzeigersinn bewegen, auf 12 Uhr zu, während die, die sich gegen den Uhrzeigersinn bewegen, sich von 12 Uhr entfernen. Auf der rechten Seite ist es genau umgekehrt: Bewegung gegen den Uhrzeigersinn wird zu Entfernung von 12 Uhr und Bewegung mit dem Uhrzeigersinn zu Annäherung an 12 Uhr. Diese veränderte Zuordnung der Bedingungen verdeutlicht Abbildung 4.14.

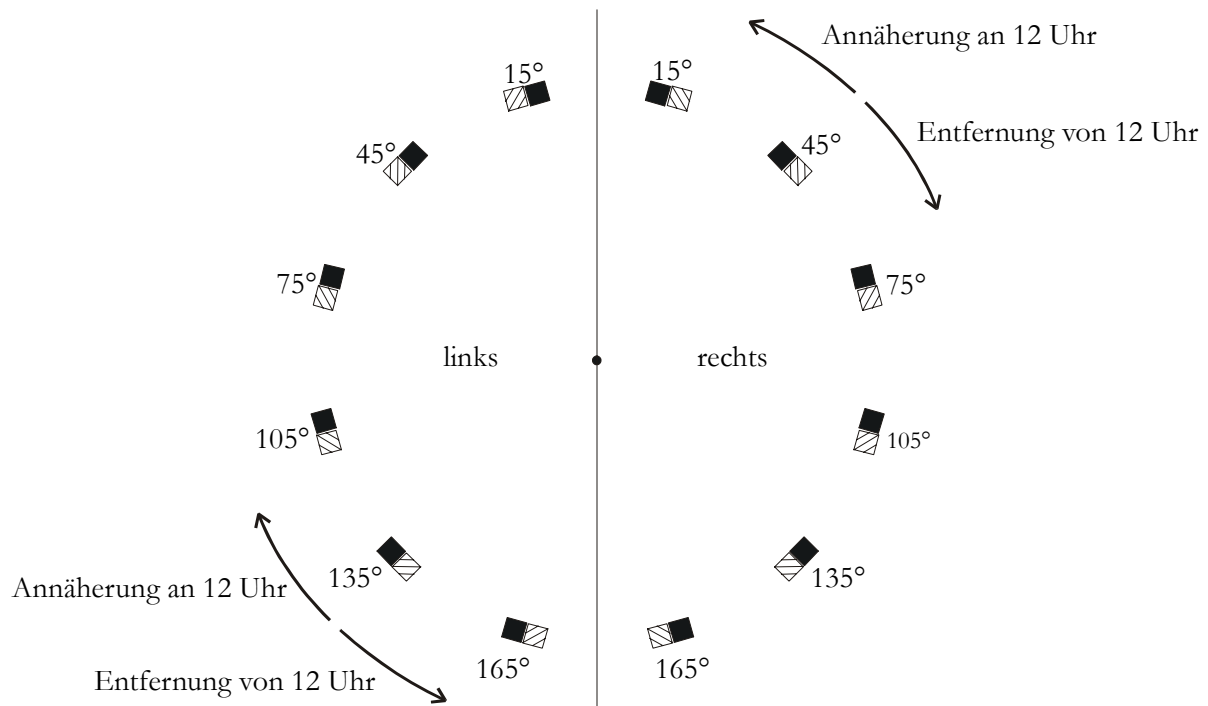


Abbildung 4.14 Veränderte Zuordnung der in Experiment 5 realisierten Bedingungen. Relativ zum angenommenen Referenzpunkt 12 Uhr ergeben sich die drei Faktoren Seite (links und rechts), Abstand von 12 Uhr in Grad (15 bis 165° in 6 Stufen) und Bewegungsrichtung in bezug auf 12 Uhr (Annäherung bzw. Entfernung).

Stellt man – wie in Abbildung 4.15 - die Daten gemäß dieser Faktoreneinteilung dar, ergibt sich ein einheitlicheres Bild:

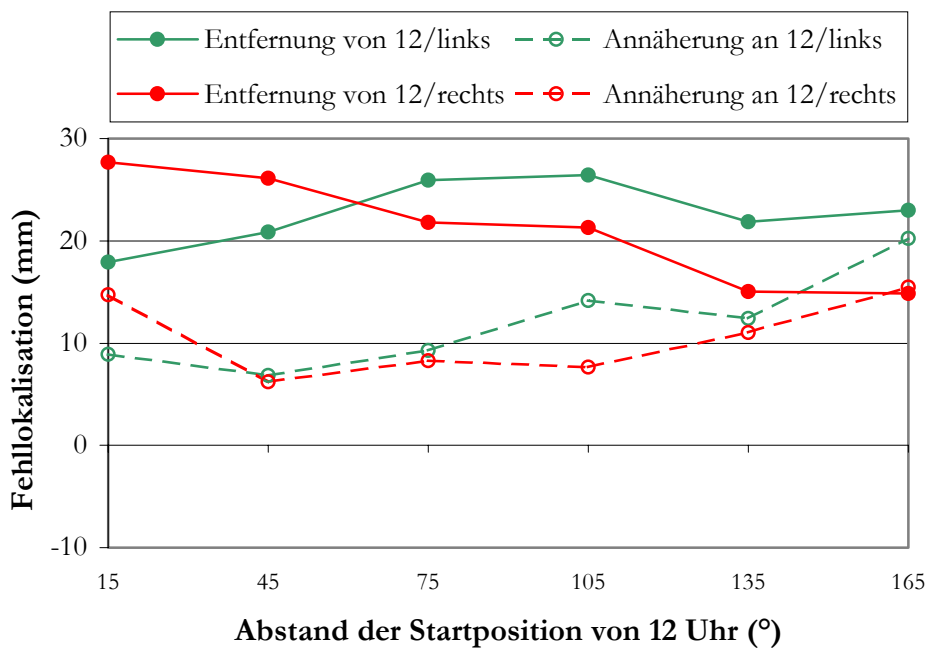


Abbildung 4.15 Neugruppierung der gemittelten Fehllokalisierung aus Experiment 5 nach Seite, Richtung und Abstand der Startposition von 12 Uhr, N = 12.

Auch die Neuberechnete dreifaktorielle Varianzanalyse über die Faktoren Richtung (Annäherung bzw. Entfernung von 12 Uhr), Seite (links bzw. rechts) und Startposition (15 bis 165°) ergab plausible Ergebnisse. So zeigte sich eine signifikant höhere Fehllokalisierung bei Entfernung von 12 Uhr (21.28 mm) im Vergleich zur Annäherung an 12 Uhr (11.10 mm) [$F(1, 11) = 26.88$; $MSe = 294.85$; $p < 0.001$]. Die Seite hatte keinen Effekt, wohl aber die Startposition relativ zu 12 Uhr [$F(1, 11) = 7.49$; $MSe = 45.81$; $p < 0.001$]. Signifikant wurde auch die Interaktion zwischen Richtung und Startposition [$F(5, 55) = 7.77$; $MSe = 30.86$; $p < 0.001$; $\epsilon = 0.62$] und die Dreifachinteraktion zwischen Richtung, Seite und Startposition [$F(5, 55) = 4.12$; $MSe = 55.53$; $p = 0.042$; $\epsilon = 0.32$]. Zusätzlich zeigte sich eine Tendenz für die Zweifachinteraktion zwischen Seite und Startposition [$F(5, 55) = 2.28$; $MSe = 614.34$; $p = 0.059$].

Scheffé-Tests für den Faktor Startposition zeigten, daß der Fröhlich-Effekt über die Startpositionen leicht abfiel. So war die Fehllokalisierung für die Startposition 15° signifikant höher als die von 105, 135 und 165° (die gemittelten Mediane geordnet nach der Höhe der Winkelpositionen betragen 20.77, 16.18, 17.69, 16.03, 13.33 und 14.08 mm). Für die Interaktion zwischen Richtung und Startposition ergab sich ein kritischer Differenzwert von 5.53. Es zeigte sich, daß die Interaktion darauf zurückging, daß die Fehllokalisierung bei Entfernung von 12 Uhr abfiel, während sie bei Bewegung auf 12 Uhr zu eher konstant blieb, so daß sich die Kurven bei hohen Winkelpositionen annäherten. So ergaben sich für die Entfernung von 12 Uhr signifikante Differenzen zwischen den höchsten Winkelpositionen (135 und 165°) zu allen übrigen Positionen. Untereinander unterschieden sie sich nicht (die Fehllokalisierungen bei Entfernung von 12 Uhr betragen 24.92, 23.33, 23.95, 23.92, 17.39 und 16.00 mm). Bei Annäherung an 12 Uhr unterschied sich lediglich die 15°-Bedingung von der 45, der 105 und der 135°-Bedingung (die gemittelten Mediane betragen 16.62, 9.06, 11.62, 8.10, 9.26 und 12.16 mm) [$Diff_{crit} = 4.77$; $MSe = 45.81$; $p < 0.05$]. Auf die Aufklärung der Dreifachinteraktion wird an dieser Stelle wiederum verzichtet.

Falls die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf die 12-Uhr-Position tatsächlich die Ursache für das Datenmuster in Experiment 5 gewesen ist, stellt sich die Frage, wodurch diese verursacht wurde. Eine mögliche Erklärung könnte die verwendete Markerposition sein. Der Marker tauchte stets bei 12 Uhr auf und wurde anschließend von den Vpn an

die wahrgenommene Startposition verschoben. Zu erklären bleibt auch der Abfall der Fehllokalisation über die Startpositionen.

4.6 Experiment 6

Um zu klären, ob die Markerposition die hypothetische Fokussierung auf die 12-Uhr-Position ausgelöst oder zumindest verstärkt haben könnte, wurde Experiment 5 repliziert, ohne daß der Marker stets bei 0° auftauchte, sondern statt dessen an einer zufälligen Position auf der Kreisbahn. Wenn die vorherige Markerposition die alleinige Ursache für die angenommene Konzentration auf die 12-Uhr-Position war, sollte die Richtung (ob sich der Reiz mit oder gegen den Uhrzeigersinn bewegt) und ebenso die Startposition keinen Einfluß mehr auf den Fröhlich-Effekt ausüben. Die Daten sollten also parallel zur X-Achse verlaufen, statt sich zu kreuzen. Falls die Markerposition im vorherigen Experiment nicht der Grund war, sollten die Daten den gleichen Verlauf aufweisen wie in Experiment 5. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob sich der Abfall des Fröhlich-Effektes über die Startpositionen replizieren läßt.

Methoden

Apparatur, Stimuli, Design und Versuchsablauf

Experiment 6 stellte eine Replikation von Experiment 5 dar, mit der einzigen Veränderung, daß der Marker im Anschluß an das Verschwinden des Reizes nicht bei $0^\circ/12$ Uhr, sondern an einer zufälligen Position auf dem Kreisbogen auftauchte.

Versuchspersonen

Es nahmen 12 Vpn – 3 Männer und 9 Frauen – gegen Bezahlung am Experiment teil. Ihr Alter betrug im Durchschnitt 29.1 Jahre. Auch sie verfügten über vollständige oder vollkorrigierte Sehschärfe und wurden nicht über die Fragestellung informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Keine der Vpn mußte aufgrund einer zu hohen Fehlerrate ($>5\%$) von der Auswertung ausgeschlossen werden. Abbildung 4.16 zeigt die ermittelten Werte getrennt für die Bewegungsrichtungen (im bzw. entgegen dem Uhrzeigersinn) und die 12 Startpositionen.

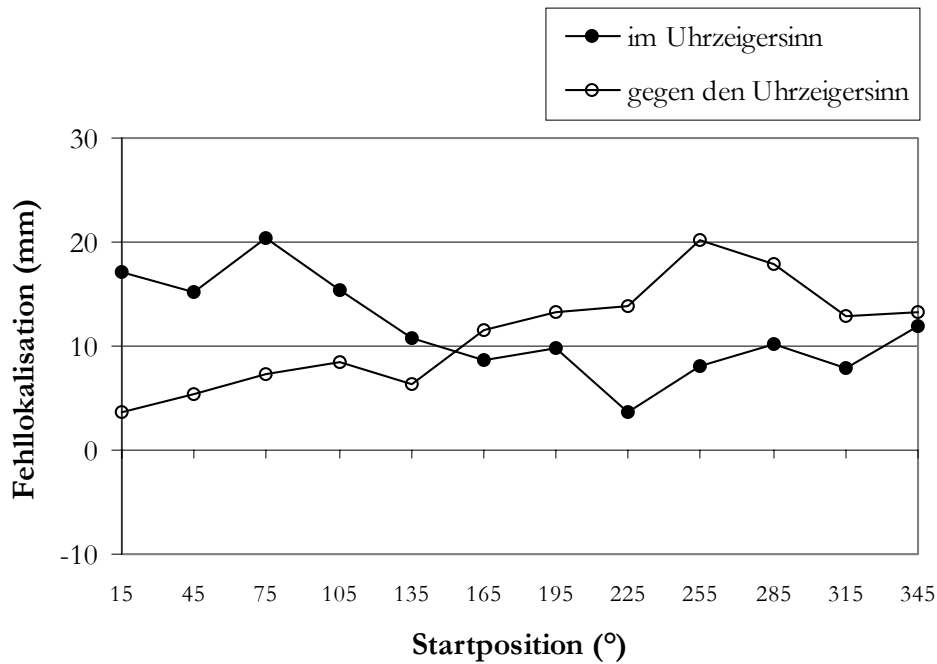


Abbildung 4.16 Fehlokalisierung für Bewegungsrichtung und Startpositionen in Experiment 6, $N = 12$. Positive Werte stehen für eine Fehlokalisierung in Bewegungsrichtung.

Gemittelt über die Mediane ergab sich ein Fröhlich-Effekt von 11.40 mm bei einer Standardabweichung von 13.97 mm und war damit signifikant höher als 0 [$F(1, 11) = 11.59$; $MSe = 3228.33$; $p = 0.006$]. Ein Blick auf Abbildung 4.16 zeigt Kurvenverläufe, die denen aus Experiment 5 relativ ähnlich sehen. Eine zweifaktorielle Varianzanalyse über die Faktoren Richtung und Startposition bestätigte dies. Der Haupteffekt für die Startposition wurde hier nicht signifikant, allerdings ergab sich eine Tendenz [$F(11, 121) = 2.50$; $MSe = 37.00$; $p = 0.073$; $\varepsilon = 0.29$]. Auch die Interaktion zwischen Bewegungsrichtung und Startposition wies einen signifikanten Effekt auf [$F(11, 121) = 6.51$; $MSe = 72.64$; $p = 0.002$; $\varepsilon = 0.26$]. Auf nachfolgende Scheffé-Tests wurde verzichtet und stattdessen die Daten relativ zu 12 Uhr neu geordnet, d.h. getrennt für Richtung (auf 12 Uhr zu, von 12 Uhr weg), Seite (links, rechts) und Startposition (15-165°). Diese neu gruppierten Daten zeigt Abbildung 4.17.

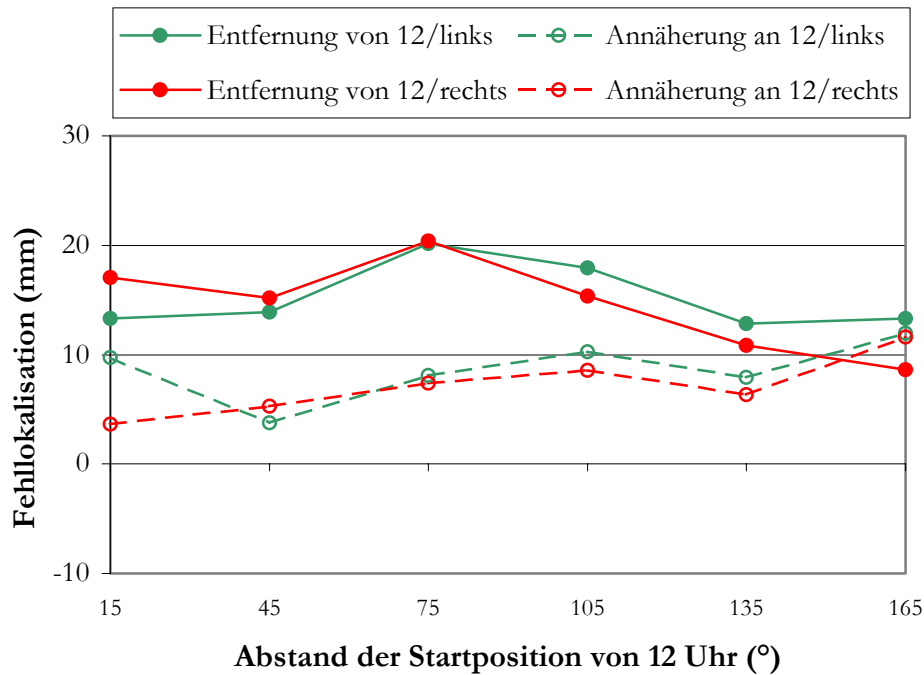


Abbildung 4.17 Neugruppierung der gemittelten Fehlokalisierung in Experiment 6 nach Seite, Richtung und Abstand der Startposition von 12 Uhr in Experiment 6, $N = 12$.

Die dreifache Varianzanalyse ergab wiederum signifikante Haupteffekte für Richtung [$F(1, 11) = 26.47$; $MSe = 155.32$; $p < 0.001$] und Startposition [$F(5, 55) = 4.93$; $MSe = 35.99$; $p = 0.001$]. In diesem Fall wies der Faktor Seite eine Tendenz auf [$F(1, 11) = 4.24$; $MSe = 43.13$; $p = 0.064$]. Die Interaktion zwischen Richtung und Startposition war – wie in Experiment 5 – signifikant [$F(5, 55) = 4.75$; $MSe = 46.85$; $p = 0.001$]. Zusätzlich ergab sich eine Tendenz für die Dreifachinteraktion zwischen Richtung, Seite und Startposition [$F(5, 55) = 3.57$; $MSe = 65.02$; $p = 0.057$; $\epsilon = 0.33$].

Die Scheffé-Tests für den Faktor Startposition wurden lediglich zwischen 75 und 105° im Vergleich zu 135° signifikant [$Diff_{crit} = 4.22$; $MSe = 35.99$; $p < 0.05$]. Hier zeigte sich demnach kein linearer Verlauf über die Exzentrizitäten wie in Experiment 5. Die Interaktion zwischen Richtung und Startposition ging darauf zurück, daß die Werte für die beiden Richtungen zunächst stark voneinander abwichen und schließlich zusammenliefen. So war der Fröhlich-Effekt unter allen Startpositionen bei Entfernung von 12 Uhr höher als bei Annäherung, außer bei der höchsten Winkelstartposition (165°). Bei Entfernung vom Fixationspunkt war der einzig signifikante Unterschied zwischen Startpositionen der zwischen der 75 und der 165° Bedingung. Bei Entfernung von 12 Uhr

wurde keine Differenz signifikant. Auch hier dürfte die geringe Anzahl signifikanter Vergleiche auf die hohe kritische Differenz durch die Alpha-Adjustierung zurückgehen.

Insgesamt zeigte sich hier das gleiche Befundmuster wie in Experiment 5. Der lineare Verlauf über die Exzentrizitäten wurde hier jedoch nicht repliziert, so daß es sich eher um einen Zufallsbefund zu handeln schien. Die Ähnlichkeit zwischen den Ergebnissen wird durch den direkten Vergleich zwischen den Experimenten 5 und 6 mit Hilfe einer Varianzanalyse bestätigt: Hier zeigte sich keinerlei Effekt des Faktors Experiment, weder als Haupteffekt [$p = 0.36$] noch in Interaktionen. Die Ergebnisse sprechen dafür, daß wenn die Orientierung an 12 Uhr tatsächlich die Ursache für das Befundmuster in Experiment 5 sein sollte, diese auf jeden Fall nicht durch das anschließende Auftauchen des Markers an dieser Stelle ausgelöst wurde.

Ich werde mich an dieser Stelle mit diesem Befundbild zufriedengeben, da das eigentliche Ziel der Kreisexperimente – der Nachweis des Fröhlich-Effektes – gelungen ist und sich das Befundmuster relativ plausibel aufklären läßt. Allerdings soll an dieser Stelle nicht verschwiegen werden, daß diese nachträgliche Erklärung den Überlegungen von Müsseler (1987) widersprechen. Er hatte – wie in Abschnitt 3.1 beschrieben – den nicht vorhandenen Einfluß des Stababstandes auf den Tandem-Effekt darüber erklärt, daß Aufmerksamkeitsverlagerungen stets vom Fixationspunkt aus gestartet werden.

4.7 Zusammenfassung

Insgesamt konnte mit Hilfe der in diesem Kapitel dargestellten Befunde eine Reihe von offenen Fragen und widersprüchlichen Ergebnissen, die im letzten Kapitel diskutiert wurden, aufgeklärt werden. Die Ergebnisse lassen sich mit dem Wetterwart-Modell vereinbaren.

Zunächst einmal wurde der Fröhlich-Effekt klar repliziert (Experimente 1 – 6). Ein Effekt der Darbietungsachse scheint hingegen – wie vom Modell vorhergesagt – nicht zu existieren (Experimente 1 und 2). Die bei foveofugaler und foveopetaler Bewegung zunehmende Fehllokalisierung bei ansteigender Exzentrizität in meinem zweiten Diplomarbeitsexperiment (Carbone, 1995) und der nicht vorhandene Exzentrizitätseffekt im Experiment von Müsseler und Aschersleben (1998) bei foveofugaler Bewegung lassen

sich durch den Bereich, in dem die Exzentrizitäten variiert worden sind, aufklären. Ein Anstieg des Fröhlich-Effektes zeigt sich, wenn die Exzentrizitäten auch in einem Bereich nahe des Fixationspunktes variiert werden, weil die Fehllokalisation bei foveofugaler Bewegung bereits bei relativ niedrigen Exzentrizitäten maximal wird (Experimente 1, 2 und 4). Diese Annäherung an einen Maximalwert wird durch das Wetterwart-Modell nicht direkt vorhergesagt, läßt sich aber integrieren. So nimmt die Sehschärfe Richtung Peripherie zunächst stark ab und bleibt dann relativ konstant. Dies könnte den Beginn einer Aufmerksamkeitsverlagerung bei unterschiedlichen Exzentrizitäten und dadurch das Ausmaß des Fröhlich-Effektes beeinflussen. Möglicherweise entscheidet der Bereich, über den Exzentrizitäten variieren, auch darüber, ob der Effekt der Bewegungsrichtung signifikant wird. Werden nur relativ hohe Exzentrizitäten eingesetzt, ist der Effekt bei foveofugaler Bewegung maximal, während er bei foveopetaler Bewegung über die Exzentrizitäten ansteigt, so daß im Mittel der Unterschied zwischen den Bewegungsrichtungen sehr groß ist. Der Unterschied zwischen den Richtungen wird hingegen geringer, wenn auch die Werte für die foveofugale Bewegungsrichtung über die Exzentrizitäten ansteigen (möglicherweise läßt sich hierüber erklären, daß in Carbone [1995, Experiment 2] die Bewegungsrichtung keinen Effekt hatte, in dem von Müsseler und Aschersleben [1998] und den meisten meiner aktuellen Experimente aber sehr wohl). Auch die Unterschiede zwischen der foveofugalen und foveopetalen Bewegungsrichtung lassen sich in das Modell integrieren, ohne das man die veraltete "Wanderungshypothese" wieder aufgreifen muß. Wenn die Sensitivität des visuellen Systems für foveopetale Bewegung höher ist als für foveofugale, sollte sich die gefundene Verschiebung der foveofugalen Kurve in Richtung niedriger Exzentrizitäten gegenüber der foveopetalen Kurve ergeben. Desweiteren konnte ein Fröhlich-Effekt bei konzentrischer Kreisbewegung nachgewiesen werden. Der fehlende Effekt bei Müsseler et al. (eingereicht) scheint also tatsächlich auf die geringe Geschwindigkeit zurückzugehen.

5 Ähnliche Phänomene und alternative Erklärungsansätze

In diesem Kapitel werde ich mich – in je einem Abschnitt – mit zwei weiteren Fehllokalisationsphänomenen und ihren Erklärungsansätzen beschäftigen. Es soll geklärt werden, inwieweit diese Ansätze – alternativ zum Wetterwart-Modell – den Fröhlich-Effekt erklären können bzw. ob das Wetterwart-Modell auf diese Phänomene angewendet werden kann. Hierzu werden zu jedem Phänomen das experimentelle Vorgehen und die einzelnen Erklärungsansätze ausführlich beschrieben und in bezug auf den Fröhlich-Effekt und das Wetterwart-Modell diskutiert. Es folgt die Darstellung von Experimenten, in denen die Beziehung zwischen Phänomenen und Modellen näher untersucht werden sollte.

5.1 Der flash-lag Effekt

Anfang der neunziger Jahre hat Nijhawan (1992, 1994) ein Wahrnehmungsphänomen wiederentdeckt, das ursprünglich von MacKay (1958) beobachtet wurde. Der sogenannte **'flash-lag' Effekt** ist für die vorliegende Arbeit interessant, weil es sich um eine (zumindest oberflächlich) ähnliche Positionstäuschung wie beim Fröhlich-Effekt handelt. Es wäre daher einerseits möglich, daß seine Interpretation eine Alternativerklärung für den Fröhlich-Effekt darstellt. Andererseits erscheint es auch nicht unplausibel, daß der flash-lag Effekt über das Wetterwart-Modell erklärt und dadurch der Geltungsbereich des Modells erweitert werden könnte. Schließlich ist es natürlich auch möglich, daß es sich – trotz der oberflächlichen Ähnlichkeit – um völlig verschiedene Phänomene handelt.

5.1.1 Nachweis des flash-lag Effektes und die Extrapolationserklärung

In diesem Abschnitt soll zunächst Nijhawans Methode und der von ihm gefundene Effekt beschrieben werden. Anschließend werde ich seinen Erklärungsansatz vorstellen und auf die mögliche Bedeutung für die Interpretation des Fröhlich-Effektes eingehen. Es folgen Experimente, die diese Erklärung stützen, bzw. nachweisen, daß es sich beim flash-lag Effekt um ein robustes Phänomen handelt. Den Abschluß bildet eine aktuelle Variante des Extrapolationsansatzes von Berry und Kollegen.

Nijhawan (1994)⁶ ließ einen aus drei Segmenten bestehenden, 3.9° langen, schmalen Schlitz gegen den Uhrzeigersinn um seinen Mittelpunkt rotieren. Die Rotationsgeschwindigkeit war konstant und betrug eine halbe Umdrehung pro Sekunde. Das mittlere 1.3° lange Segment wurde kontinuierlich beleuchtet. Um die Geschwindigkeit des kontinuierlich sichtbaren Segmentes besser mit den Reizgeschwindigkeiten aus anderen Untersuchungen vergleichen zu können, habe ich die Geschwindigkeit der äußersten Segmentpunkte in Winkelgrad umgerechnet: Sie betrug $2.04^\circ/\text{s}$. Die äußeren, ebenfalls je 1.3° langen Segmente leuchteten zu genau den Zeitpunkten für 5 ms auf, an denen sie das mittlere Liniensegment ergänzten. Objektiv erschien also für einen kurzen Moment eine durchgezogene Linie. Wahrgenommen wurde aber eine Lücke zwischen dem rotierenden und den aufblinkenden Liniensegmenten. Der bewegte Teil erschien gegenüber den aufblinkenden Teilsegmenten um einen bis zu 25° großen Winkel in Bewegungsrichtung verschoben. Die objektiven Reizgegebenheiten und ihre Wahrnehmung verdeutlicht Abbildung 5.1. Der Einfachheit halber ist der Fall dargestellt, in dem die stationären Segmente in dem Augenblick aufblinken, in dem sich die rotierende Linie in der Waagerechten befindet.

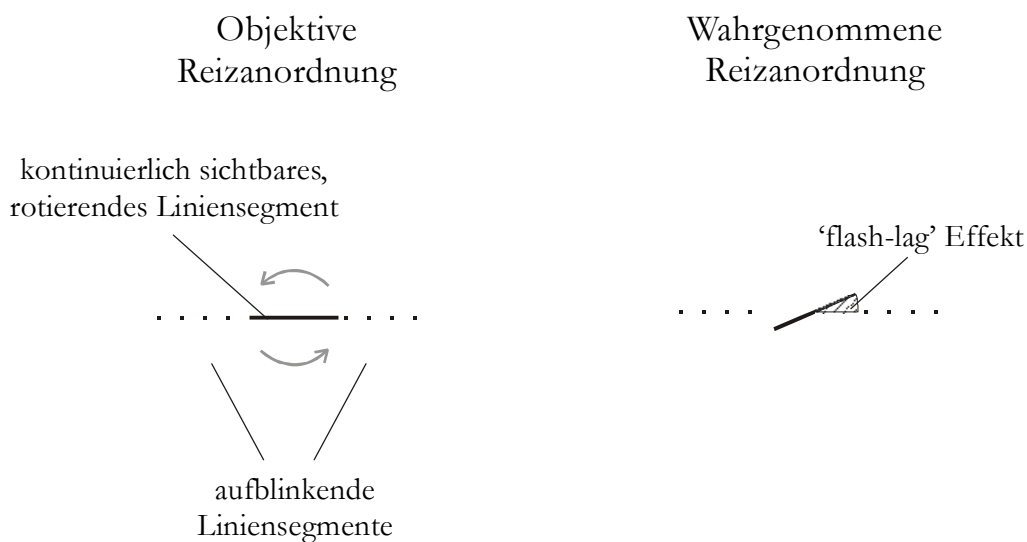


Abbildung 5.1 Gegenüberstellung der von Nijhawan (1994) verwendeten Reizanordnung und ihrer Wahrnehmung.

Nijhawans Angaben zum methodischen Vorgehen bei der Bestimmung der exakten Größe dieser Wahrnehmungstäuschung waren äußerst dürftig. Er schrieb:

⁶ Die Angaben zur Versuchsmethodik in der ersten Arbeit zum flash-lag Effekt (Nijhawan, 1992) waren zu kurz, um sie exakt nachvollziehen zu können.

"This lag was measured by having two observers ... turn a disk to rotate the strobed segments relative to the continuous segment until they appeared to neither lag nor lead." (Nijhawan, 1994, S. 256)

Die Vpn sollten also die Position des aufblinkenden Segments so einstellen, daß es zum Zeitpunkt des Aufblinkens auf gleicher Höhe mit dem bewegten erschien. Die Winkeldifferenz zwischen aufblinkendem und bewegtem Segment zum Zeitpunkt des Aufblinkens entsprach dem flash-lag Effekt. Abbildung 5.2 verdeutlicht das methodische Vorgehen.

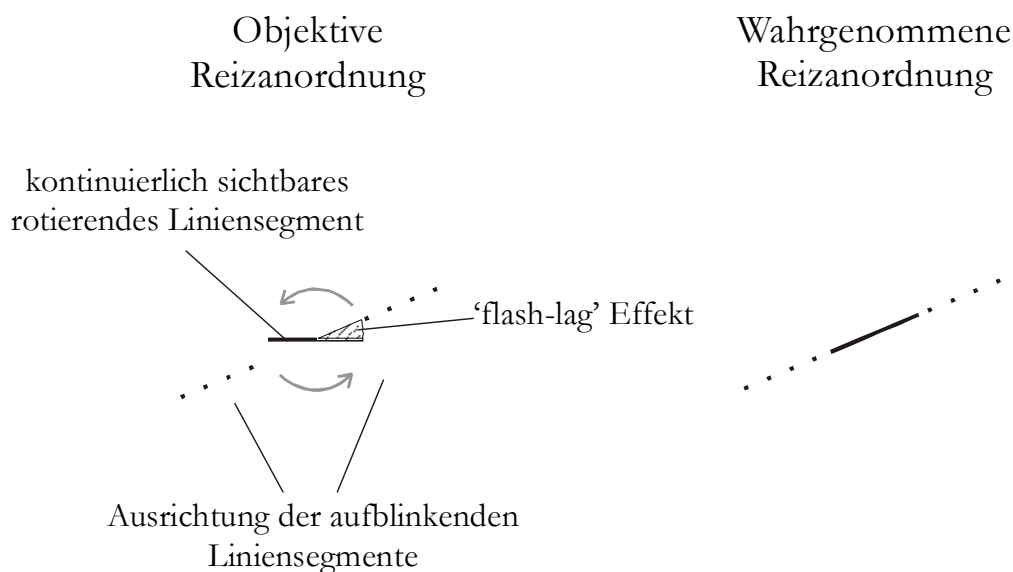


Abbildung 5.2 Methodisches Vorgehen bei der Erfassung des flash-lag Effektes. Der Rotationswinkel der aufblinkenden Segmente wird so ausgerichtet, daß sie zum Zeitpunkt des Aufblinkens auf gleicher Höhe erscheinen, wie das rotierende Segment.

Details der Versuchsmethodik bleiben jedoch unklar. So wurde beispielsweise nicht angegeben, ob das bewegte Segment auch während der Einstellung permanent rotiert wurde und das stationäre mit jeder Umdrehung einmal aufblinkte, oder ob zwischen Aufblinken und der Einstellung durch die Vpn Pausen bis zur nächsten Rotation bestanden.

Nijhwans Erklärungsansatz geht von der Überlegung aus, daß zwischen der Retina und höheren visuellen Hirnarealen eine Fortleitungsverzögerung von etwa 100 ms besteht. Dieses Delay wäre für bewegte Objekte relevant, weil sich während dieser Zeitspanne ihre Position kontinuierlich verändert. Zu dem Zeitpunkt an dem die Information über eine bestimmte Position die höheren visuellen Areale erreicht, wäre diese also nicht mehr

aktuell. Dies verdeutlicht Abbildung 5.3 für ein konstantes Wahrnehmungsdelay von einer Zeiteinheit.

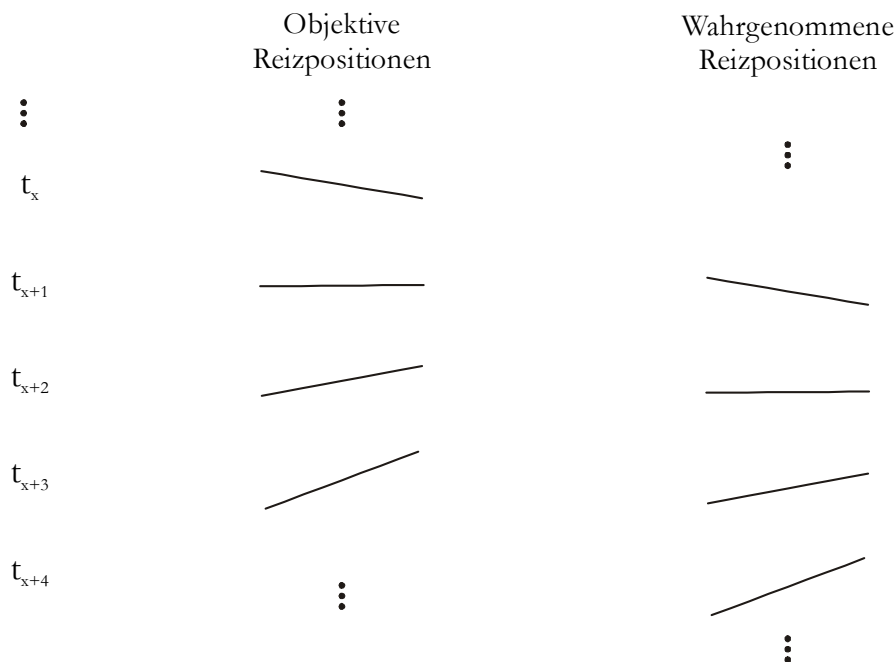


Abbildung 5.3 Gegenüberstellung der objektiven Reizpositionen einer mit konstanter Geschwindigkeit gegen den Uhrzeigersinn rotierenden Linie und der Wahrnehmungsinhalte zu bestimmten Zeitpunkten bei einem konstanten Delay von einer Zeiteinheit zwischen aktueller und wahrgenommener Reizposition.

Nijhawan glaubt, daß dieses Delay durch kortikale Mechanismen ausgeglichen wird, die die objektive aktuelle Reizposition aus Merkmalen der Bewegung extrapolieren (**kortikale Extrapolationshypothese**). Demnach nehmen wir eine Position nicht einfach zeitlich verzögert wahr, sondern diese verzögerte Wahrnehmung wurde zusätzlich in die Zukunft extrapoliert. Im optimalen Fall würde die extrapolierte genau der tatsächlich aktuellen Reizposition entsprechen. In der verwendeten Versuchsanordnung ist diese Extrapolation nur bei dem kontinuierlich sichtbaren bewegten und damit vorhersagbaren, nicht aber bei dem aufblinkenden Segment möglich. Dieses wird lediglich zeitlich verzögert wahrgenommen. Man nimmt also gleichzeitig die extrapolierte aktuelle Position des bewegten Reizes und eine verzögerte Position des aufblinkenden Reizes wahr. Der bewegte Reiz erscheint somit weiter rotiert, als er es zum Zeitpunkt des aufblinkenden Reizes gewesen ist. Abbildung 5.4 verdeutlicht die zu bestimmten Zeitpunkten jeweils aktuellen Reizpositionen und ihre Wahrnehmung. Dargestellt ist der oben beschriebene Idealfall, in dem die extrapolierte aktuelle Position des bewegten Reizes der tatsächlich

aktuellen Position entspricht. Die Wahrnehmungslatenz wurde auch hier willkürlich auf eine Zeiteinheit festgelegt.

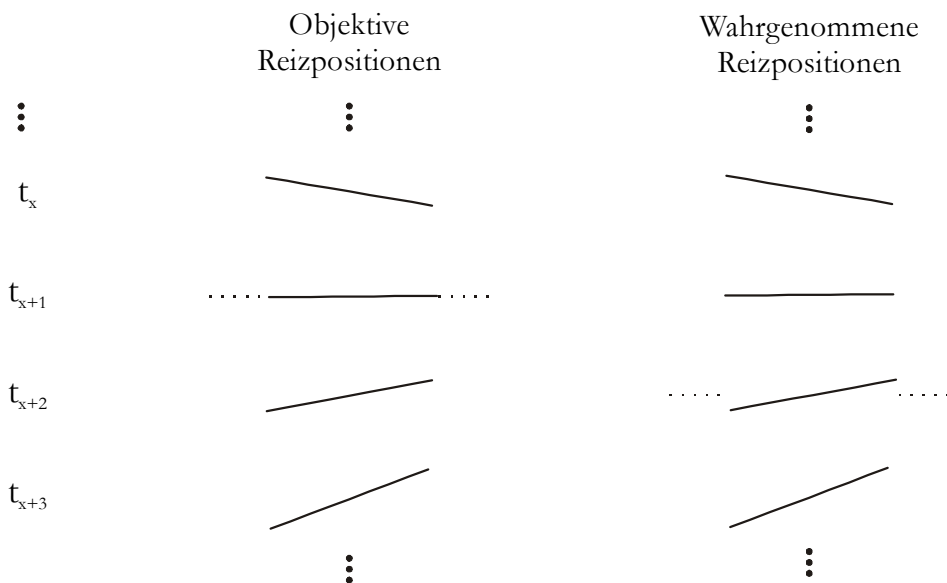


Abbildung 5.4 Gegenüberstellung der objektiven Reizpositionen und der Wahrnehmungsinhalte zu bestimmten Zeitpunkten nach Nijhawans Extrapolationshypothese bei konstanter Wahrnehmungslatenz von einer Zeiteinheit.

Um die kortikale Extrapolationshypothese zu belegen, variierte Nijhawan (1994) die Rotationsgeschwindigkeit zwischen 15 und 45 Umdrehungen pro Minute, was für den äußersten Punkt des mittleren Liniensegments einer Winkelgeschwindigkeit von 1.02 und 3.06° entspricht. Der flash-lag Effekt nahm (ähnlich wie der Fröhlich-Effekt) mit zunehmender Geschwindigkeit zu. Dies sagt die Extrapolationshypothese vorher, da während des Verarbeitungsdelays ein Reiz mit höherer Geschwindigkeit eine längere Strecke zurücklegt und damit der Abschnitt, den der Extrapolationsmechanismus bei der Schätzung der aktuellen Position ausgleichen müßte.

In einer späteren Arbeit setzte Nijhawan (1997a) den flash-lag Effekt mit Farbwahrnehmung in Beziehung. Insbesondere diese Arbeit hat in verschiedensten Forscherkreisen sehr viel Aufmerksamkeit erregt und soll daher ausführlich beschrieben werden. Der bewegte Reiz war hier ein 1.59° breiter und 0.20° hoher, grüner Balken, der sich mit einer Geschwindigkeit von 0.5 Umdrehungen pro Sekunde auf einer Kreislinie mit einem Durchmesser von 7.63° bewegte (dies entspricht für den äußersten Punkt etwa $12^\circ/s$). Fixiert wurde ein kleines Licht, daß sich nicht im Zentrum der Kreisbahn befand.

Als stationärer Reiz wurde zu bestimmten Zeitpunkten eine 1.27° breite, rote Linie für 2 ms genau in das Zentrum des grünen Balkens projiziert. Da hier überlagerte Rot- und Grünkomponenten gemeinsam auf die Retina treffen, sollte durch additive Farbmischung die Linie als gelblich wahrgenommen werden. Nijhawan stellte aber fest, daß die Linie nicht nur fehllokalisiert wurde (der bekannte flash-lag Effekt), sondern daß sie außerdem rot erschien. Die wahrgenommene Farbe wurde durch die Versuchspersonen hier über die entsprechende Farbeinstellung eines Vergleichsreizes angegeben. Abbildung 5.5 zeigt die verwendete objektive, sowie die wahrgenommene Reizanordnung.

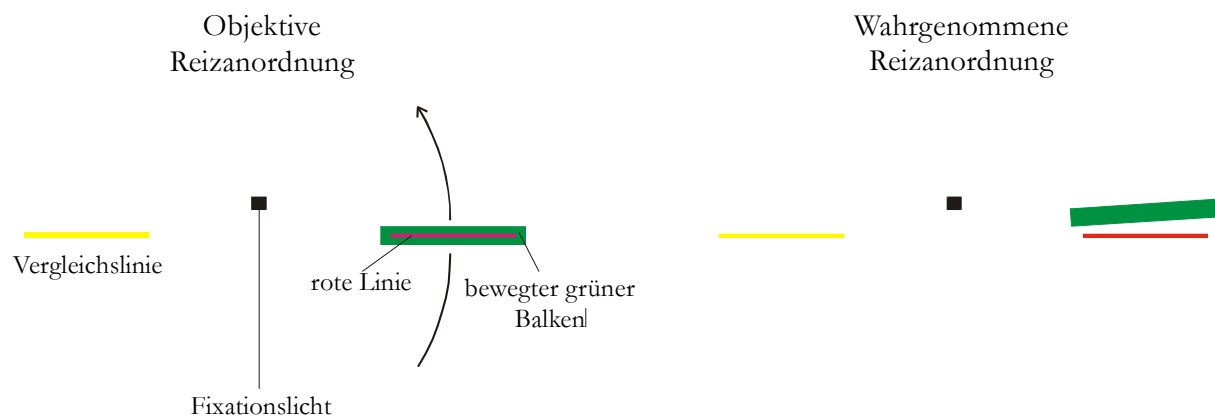


Abbildung 5.5 Gegenüberstellung der von Nijhawan (1997a) verwendeten Reizanordnung und ihrer Wahrnehmung. Man beachte, daß die rote Linie aufgrund additiver Farbmischung gelb wahrgenommen werden sollte.

Um zu zeigen, daß für das wahrgenommene Rot der Linie nicht die Bewegung des Balkens an sich, sondern die räumlich getrennte Wahrnehmung von Linie und Balken verantwortlich war, führte Nijhawan zwei weitere Experimente durch. Zunächst verbreiterte er den grünen Balken auf 2° . Dies führte dazu, daß der Balken gegenüber der Linie zwar nach wie vor in Bewegungsrichtung fehllokalisiert wurde, diesmal jedoch noch auf dem verbreiterten, grünen Balken erschien. Unter diesen Umständen wurde die Linie gelb wahrgenommen. In einem weiteren Experiment ließ er die Vpn den bewegten Balken mit dem Blick verfolgen. Hier wurde die Linie als gelb und genau im Zentrum des grünen Balkens wahrgenommen.

Nijhawan versuchte beide Phänomene über seinen hypothetischen kortikalen Extrapolationsmechanismus zu erklären. Demnach entsteht die räumliche Verschiebung des bewegten gegenüber dem stationären Reiz dadurch, daß die aktuelle Reizposition des bewegten Reizes extrapoliert wird, während der stationäre, aufblinkende Reiz lediglich

zeitlich verzögert an seiner tatsächlichen Position wahrgenommen wird. Das Farbphänomen erklärt Nijhawan als Nebenprodukt der Bewegungsextrapolation. Retinal liegen die Signale für rot und grün übereinander. Dies gilt aber durch die Extrapolation des bewegten grünen Segments nicht für die kortikale Ebene. Hier erregen die beiden Reize unterschiedliche retinotopie Orte. Daraus schließt Nijhawan, daß die Wahrnehmung von Gelb nur entsteht, wenn die Rot- und Grünsignale an gleichen retinotopen Cortexorten abgebildet werden.

Neben diesen Hauptbefunden veröffentlichten Nijhawan und seine Kollegen eine Reihe weiterer Ergebnisse, die zeigten, daß es sich beim flash-lag Effekt um ein robustes Phänomen handelt, das unter verschiedensten Bedingungen auftritt. So wies Nijhawan (1997b) den Effekt auch im dreidimensionalen Raum nach: Hier bewegte sich eine Zufallspunktfläche auf den Betrachter zu oder von ihm weg, und eine zweite Fläche blinkte zusätzlich in identischer Tiefe kurz auf. Analog zur Täuschung im zweidimensionalen Raum wurde hier die bewegte Fläche gegenüber der stationären in Bewegungsrichtung – also bezüglich der Dimension Tiefe – fehllokalisiert. Sheth, Shimojo und Nijhawan (1999) haben den Effekt noch stärker erweitert, indem sie zeigten, daß er nicht nur bei Bewegung, sondern auch bei anderen, sich kontinuierlich verändernden Merkmalen auftritt. Sie wiesen ihn für Farb-, Helligkeits- und Ortsfrequenzänderungen nach. Hierzu wurde ein stationärer Reiz dargeboten, der kontinuierlich seine Farbe, Helligkeit bzw. Ortsfrequenz veränderte. Zu einem bestimmten Zeitpunkt blinkte zusätzlich ein weiterer Reiz auf, der die gerade aktuelle Merkmalsausprägung des sich ändernden Reizes aufwies. Auch hier wurde der sich kontinuierlich verändernde Reiz zum Zeitpunkt des aufblinkenden Reizes in Richtung der Veränderung verzerrt wahrgenommen.

Möglicherweise läßt sich mit Hilfe der Extrapolationshypothese der Fröhlich-Effekt erklären. Wenn im Falle des bewegten Reizes bereits die ersten wahrgenommenen Reizpositionen extrapoliert werden können, sollte dies zu der gefundenen Verlagerung am Anfang der Bewegung führen. Allerdings müßten die Extrapolationsprozesse in diesem Fall schneller sein, als die Prozesse für die Wahrnehmung der einzelnen – hier der ersten – Reizpositionen. Sie müßten diese sozusagen "überholen" und deren Wahrnehmung

unterdrücken, da das System für die erste Position noch nicht wissen kann, daß es sich um Bewegung handelt.

Kürzlich haben Berry et al. (1999) Befunde berichtet, die dafür zu sprechen scheinen, daß die Extrapolation von bewegten Objekten bereits auf Retinaebene stattfindet oder dort zumindest beginnt (**retinale Extrapolationshypothese**). In ihren Untersuchungen leiteten sie den Output verschiedener Ganglienzellen der isolierten Retina von Salamandern und Kaninchen ab. Als Reiz wurde ein schwarzer Balken mit einer retinalen Breite von $133\mu\text{m}$ eingesetzt (über die Balkenhöhe machen die Autoren keine Angaben). Dieser blinkte entweder für 15 ms auf oder bewegte sich mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0.44 mm/s (dies entspricht $1.48^\circ/\text{s}$) über die Retina. Zunächst registrierten die Autoren die Reaktion einzelner Ganglienzellen auf den im Zentrum des rezeptiven Feld (RF) aufblinkenden Balken. Die Ganglienzellen reagierten mit einer Latenz von etwa 50 ms, und die Entladungen hielten ungefähr ebenso lange an (siehe Abbildung 5.6a). Als Reaktion auf einen Balken, der sich über das RF hinweg bewegte feuerten sie für eine längere Zeitspanne. Genauer gesagt begannen sie zu feuern, bevor der Reiz das Zentrum des RFs – also die Position des stationären Reizes – erreicht hatte, und im Anschluß dauerten die Entladungen noch einige Zeit an. Allerdings war die Zeitspanne nach Überqueren des RF-Zentrums deutlich kürzer, als die vor Erreichen des Zentrums (siehe Abbildung 5.6b). Die Reaktion der Zellen auf Bewegung in die umgekehrte Richtung fiel sehr ähnlich aus (siehe Abbildung 5.6c). Die Zellen reagierten also nicht richtungsselektiv.

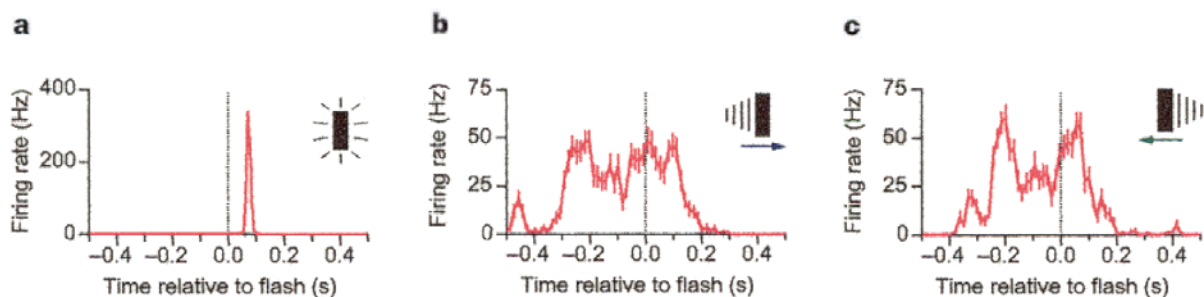


Abbildung 5.6 Reaktion einzelner Ganglienzellen in der Salamanderretina relativ zum Zeitpunkt des aufblinkenden Reizes auf aufblinkende (a), von links nach rechts (b) und von rechts nach links bewegte Reize (c) (nach Berry et al., 1999).

Aus diesen Einzelzelleitungen ermittelten die Autoren anschließend die kombinierte Aktivität der Ganglienzellpopulation für die verwendeten Reize. Hierzu wurde für jede der Ganglienzellen die Feuerrate in Abhängigkeit von der jeweiligen Distanz zum Reiz bestimmt. Die einzelnen Zellaktivitäten bei bestimmten Distanzen wurden gemittelt und als Funktion geplottet. So erhielten die Autoren neurale Abbilder für den aufblinkenden bzw. den bewegten Reiz über die Zeit. Für den aufblinkenden Balken zeigte sich mit einer Latenz von etwa 40 ms ein Aktivationshügel, der schnell größer wurde. Er erreichte sein Maximum nach etwa 60 ms, fiel dann ab und war nach 100 ms verschwunden. Die Funktionskurve war um den Balkenmittelpunkt zentriert. Beim bewegten Balken zeigte sich ein Aktivationshügel, der mit dem Reiz über die Retina wanderte. Wenn hier die gleiche Verzögerung wie beim stationären Balken aufgetreten wäre, hätte das neurale Bild hinter dem Balken "herhinken" müssen, d.h. das Aktivitätsmaximum hätte sich hinter der jeweiligen Reizposition befinden müssen. Stattdessen befand sich das Maximum vor dem Balkenmittelpunkt, nahe der vorderen Reizkante. Als die Autoren diese beiden Aktivitätsmuster zum Zeitpunkt der maximalen Reaktion auf den stationären Reiz verglichen (62ms nach Reizbeginn), zeigten sich – wie Abbildung 5.7 verdeutlicht – zwei klar getrennte neurale Bilder. Die Antwort auf den bewegten Balken war gegenüber der auf den aufblinkenden um etwa $100\mu\text{m}$ in Bewegungsrichtung verschoben. Wenn auf späteren visuellen Verarbeitungsstufen die Position der aufblinkenden und bewegten Balken aufgrund der Aktivitätsmaxima bestimmt wird, sollte der bewegte Balken vor dem aufblinkenden lokalisiert werden. Unter diesen Umständen sollte sich also der flash-lag Effekt zeigen.

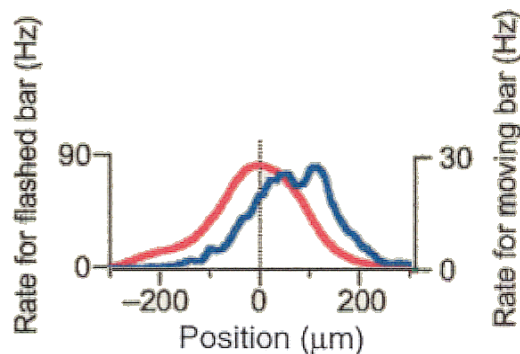


Abbildung 5.7 Maximale Aktivitätsmuster einer Salamander-Ganglienzellpopulation auf aufblinkende Reize (rote Kurve) und nach rechts bewegte Reize (blaue Kurve) in Abhängigkeit vom Reizabstand (nach Berry et al., 1999).

In weiteren Untersuchungen zeigten die Autoren zusätzlich, daß die Reaktion der Ganglienzellpopulation stark vom Kontrast zwischen Balken und Hintergrund abhängig war: Das Aktivitätsmaximum für den bewegten Reiz befand sich nur bei starkem Kontrast auf Höhe der vorderen Kante. Bei niedrigem Kontrast hingegen war es weiter in Richtung Balkenmitte verschoben.

Im Anschluß an die Darstellung der Befunde beschäftigten sich Berry et al. (1999) mit den Mechanismen, die diese scheinbare Antizipation bei hohem Kontrast bewirken könnten. Hierzu nahmen sie folgende Mechanismen an:

Als ersten Faktor führen sie das **Pooling retinaler Ganglienzellen** über relativ große Bereiche (die RFs) an. Durch diesen Mechanismus beginnt im Falle des bewegten Balkens ein Neuron zu feuern, sobald der Reiz das RF betritt (siehe hierzu erneut Abbildung 5.7). Dies allein reicht aber nicht aus, um die maximale Feuerrate auf die Höhe der vorderen Reizkante zu verlagern. Hierzu schrieb Gegenfurtner (1999):

"This leads to activity before the bar reaches the centre of the field, yet, because of the transduction processes in the photoreceptors and retinal network, the peak firing rate would still occur some time after the bar has passed the centre." (Gegenfurtner, 1999, S. 291)

Für die Verlagerung der Feuerrate sind zwei weitere Mechanismen notwendig: Erstens die **biphasische Reaktion** von Ganglienzellen. Betritt der Balken das RF, nimmt die Reizung zu und die Zellen feuern. Wenn aber der Balken das RF verläßt und dadurch die Reizung abnimmt, werden die Zellen gehemmt. Dies führt dazu, daß das Aktivierungsmuster an der vorderen Balkenkante wesentlich breiter ausfällt, als an der hinteren. Diese verbreiterte Aktivierung als Ergebnis der räumlichen und zeitlichen Filterung – also des Poolings und der biphasischen Reaktion – entspricht der grauen, gestrichelten Kurve in Abbildung 5.8.

Zweitens '**contrast gain control**'. Dieser Mechanismus spielt nach Meinung der Autoren die wichtigere Rolle für die Vorverlagerung des Peaks. Nach Gegenfurtner (1999) handelt es sich hierbei um einen Mechanismus, der – ähnlich wie Helligkeitsadaptation – die Sensitivität herabsetzt, nur daß er auf Intensitätsunterschiede – also auf Kontrast – reagiert. Bei den kontrastreichen Reizen führt dieser Mechanismus dazu, daß die Sensitivität der Zelle sehr schnell und sehr stark reduziert wird. Wenn der bewegte Balken das RF betritt, ist die Aktivierung hoch; sie wird aber extrem abgeschwächt, noch bevor

die Reizkante das RF halb überquert hat. Diese abgeschwächte Aktivierung ist als schwarze Kurve in Abbildung 5.8 dargestellt.

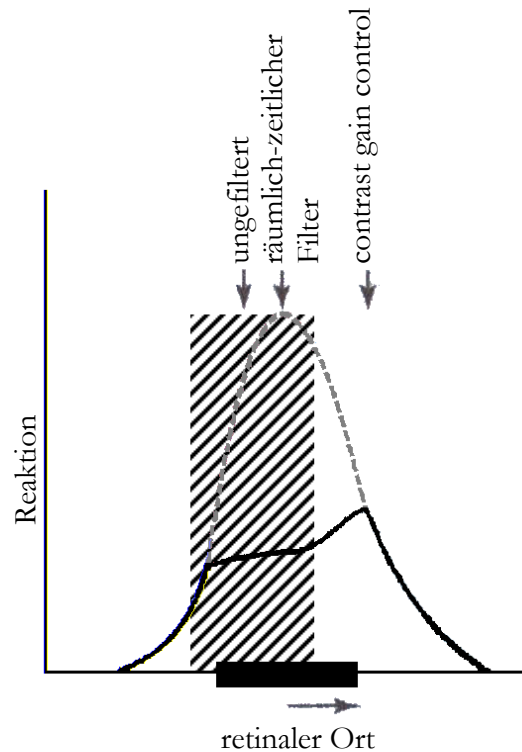


Abbildung 5.8 Von Berry et al. (1999) angenommene Komponenten der Bewegungsantizipation in der Retina. Dargestellt ist das neurale Bild des bewegten Balkens in der Ganglienzellpopulation zu einem bestimmten Zeitpunkt. Der bewegte Balken ist schwarz dargestellt, sein hypothetisches verzögertes Abbild schraffiert. Das Ergebnis der räumlich-zeitlichen Filterung durch das Pooling und die biphasische Reaktion entspricht der grauen gestrichelten Kurve und der Effekt der 'contrast gain control' findet sich in der schwarzen Kurve wieder (nach Gegenfurtner, 1999).

Die angenommenen Komponenten wurden im Anschluß in ein Kaskaden-Modell integriert und erfolgreich simuliert. Nach Aussage der Autoren liefert das Modell mit nur vier freien Parametern zufriedenstellende Ergebnisse.

Die Autoren selbst machten sich bereits Gedanken darüber, worin der Vorteil einer solchen retinalen Extrapolation bestehen könnte. Sie vermuteten, daß ein Nutzen darin besteht, die unterschiedlichen Verarbeitungsdelays verschiedener Modalitäten anzugleichen, um eine frühe kombinierte Repräsentation zu ermöglichen. Sie schrieben:

"However, it is advantageous to perform the correction early, before different sensory pathways merge. For example, in many animals the retina projects directly to the tectum or the superior colliculus where a visual map of space is overlaid with an auditory map. Auditory transduction in hair cells incurs a much shorter delay than phototransduction. If the visual and auditory images of a moving object should align on the target map, the compensation for the delay in the visual pathway must occur within the retina." (Berry et al, 1999, S. 337)

Nach Gegenfurtners (1999) Ansicht hat der retinale Extrapolationsansatz zusätzlich den Vorteil, daß er die Befunde aus Nijhawans Farbwahrnehmungsexperiment einfacher erklären kann. Nijhawan hatte vor dem Hintergrund seiner kortikalen Extrapolationshypothese aus der Tatsache, daß der aufblinkende rote Reiz nicht gelb sondern rot wahrgenommen wurde, obwohl er objektiv über den grünen Balken projiziert worden war, geschlossen, daß die Synthese von Rot und Grün zu Gelb erst im Cortex stattfindet. Wenn jedoch die Extrapolation bereits auf der niedrigsten Ebene – also auf Ebene der Retina – stattfindet, wird diese Annahme überflüssig.

Wenn die Ergebnisse dieser Untersuchung problemlos auf die menschliche Retina übertragen werden können – was von den Autoren nicht problematisiert wird – und der flash-lag Effekt tatsächlich auf diese retinalen Mechanismen zurückgeht, sollte es klare Grenzen für die Reize geben, die antizipiert werden können. Wenn etwa der Reiz das RF so schnell überquert, daß die Abschwächung noch nicht eingesetzt hat, sollte sich der Peak hinter der Vorderkante befinden. In Übereinstimmung mit dieser Annahme fanden die Autoren, daß sich der Peak bei Geschwindigkeiten bis zu 1 mm/s auf der Retina nahe oder vor der Vorderkante befand, bei höheren Geschwindigkeiten jedoch deutlich dahinter. Hier brach also die Antizipation auf retinaler Ebene zusammen. Die Geschwindigkeiten, die von Nijhawan (1994) zum Nachweis des Geschwindigkeitseffektes verwendet wurden, lagen unter dieser Grenze von 1 mm/s. Rechnet man die Winkelgrade in Millimeter um, ergibt sich eine retinale Geschwindigkeit zwischen 0.3 und 0.9 mm/s für die äußersten Punkte der rotierenden Linie. In anderen Experimenten lag die verwendete Geschwindigkeit allerdings recht deutlich oberhalb dieser Grenze. So verwendeten Whitney und Murakami (1998) eine Geschwindigkeit von etwa 3.7 mm/s⁷ und die von Nijhawan (1997a) eingesetzte Geschwindigkeit betrug 3.6 mm/s. Da sich auch unter diesen Umständen ein deutlicher flash-lag Effekt gezeigt hat, können retinale Prozesse zumindest nicht die alleinige Ursache für den Effekt sein. Allerdings fehlt ein Nachweis der Geschwindigkeitsabhängigkeit des flash-lag Effektes bei Geschwindigkeiten oberhalb der Grenze von 1 mm/s.

⁷ Die Geschwindigkeit wurde von den Autoren nicht angegeben und mußte daher aus dem Raum-Zeit-Diagramm geschätzt werden.

Anders als die kortikale Extrapolationshypothese bietet die retinale Extrapolationshypothese für den Fröhlich-Effekt keine Erklärungsmöglichkeit, da die verwendeten Reize stets eine wesentlich höhere Geschwindigkeit aufwiesen. Sie variierten in einem Bereich zwischen 4.3 mm (in einem Experiment von Müsseler und Aschersleben, 1998) und 67.1 mm/s (Müsseler, 1987).

5.1.2 Alternativerklärungen für den flash-lag Effekt

Wie bereits angedeutet sind die Arbeiten zum flash-lag Effekt auf breites wissenschaftliches Interesse gestoßen. Daher ist es nicht verwunderlich, daß eine Reihe von Alternativerklärungen für den flash-lag Effekt formuliert und gegen die Extrapolationshypothese getestet wurden. Im Folgenden sollen die wichtigsten Ansätze dargestellt werden. Zusätzlich wird diskutiert, inwieweit sich der jeweilige Ansatz – alternativ zum Wetterwart-Modell – zur Erklärung des Fröhlich-Effektes eignet.

Als erste mögliche Erklärung wurden **Persistenzunterschiede** zwischen der aufblinkenden Linie und dem bewegten Balken angeführt. Persistenz eines Reizes bezieht sich auf die kurzfristige weitere Sichtbarkeit eines Reizes nach seinem physikalischen Offset. Gemäß dieser Hypothese wäre diese Zeitspanne für den bewegten Reiz aufgrund von Suppressionsmechanismen, die sein Verschmieren verhindern ('motion deblurring'), verkürzt (Burr, 1980). Wenn der aufblinkende im Vergleich zum bewegten Reiz länger sichtbar bliebe, sollte der stationäre noch an seiner ursprünglichen Position "nachwirken", während der bewegte schon weiter gewandert ist. Dies verdeutlicht Abbildung 5.9. Beispielfhaft wird hier für den bewegten Reiz eine Persistenz von einer und für den aufblinkenden Reiz von zwei Zeiteinheiten angenommen. Für beide beträgt die Wahrnehmungslatenz eine Zeiteinheit.

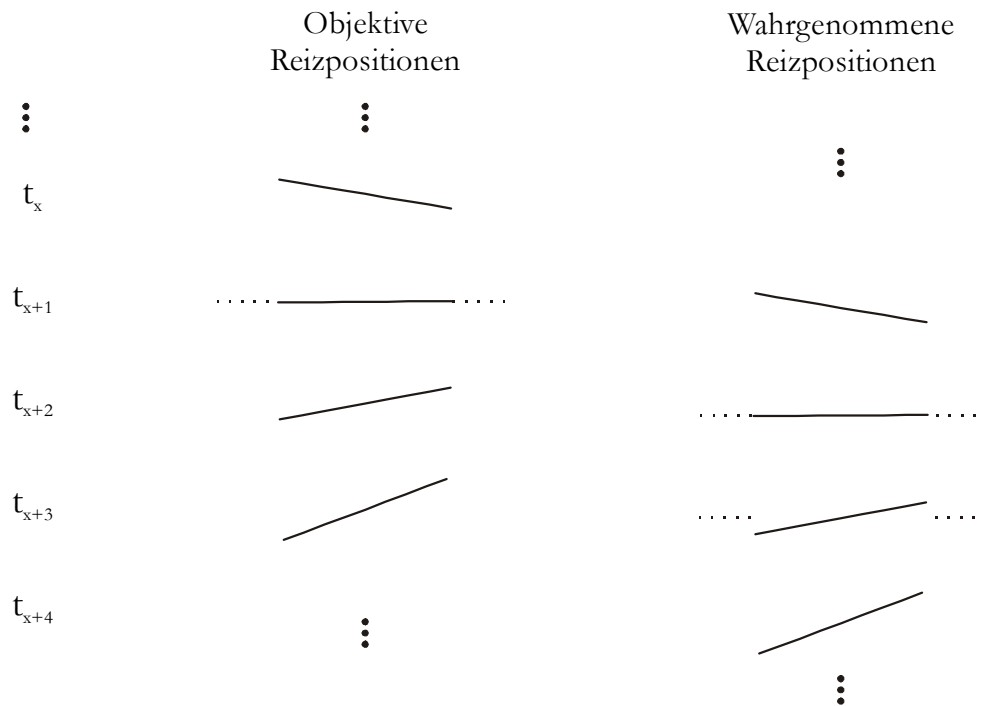


Abbildung 5.9 Gegenüberstellung der objektiven Reizpositionen und der Wahrnehmungsinhalte zu bestimmten Zeitpunkten nach der Persistenzunterschiedshypothese. Die Persistenz für den bewegten Reiz wurde auf eine, die für den stationären auf zwei Zeiteinheiten festgelegt, und die Wahrnehmungslatenz beträgt jeweils eine Zeiteinheit.

In seinem ersten Artikel zum flash-lag Effekt gehörte Nijhawan (1992) selbst noch zu den Vertretern dieser Hypothese. Im Anschluß wurde sie aber aus verschiedenen Gründen verworfen. So führte Nijhawan (1994) später selbst an, daß bei Gültigkeit dieser Hypothese die Reize beim Onset noch auf gleicher Höhe wahrgenommen werden und erst später auseinanderlaufen sollten (siehe hierzu erneut Abbildung 5.9).

In einem späteren Experiment hat Nijhawan (1997a) zusätzlich geprüft, ob die Persistenzhypothese nicht nur für den flash-lag Effekt, sondern auch für die Rot- statt Gelb-Wahrnehmung der Linie in dem oben beschriebenen Experiment (Nijhawan, 1997a) verantwortlich sein könnte. Wenn nämlich die rote aufblinkende Linie für eine längere Zeit "nachwirkt", als der bewegte grüne Balken, könnte dies den wahrgenommenen Rot-relativ zum Grünanteil verstärken. Überprüft wurde diese Möglichkeit, indem die Sichtbarkeit des grünen Balkens diesmal durch Maskierung statt durch Bewegung reduziert wurde. Wenn tatsächlich die bessere Sichtbarkeit der roten Linie zur verstärkten Rot-Empfindung geführt haben sollte, müßte die Maskierung einen ähnlichen Effekt haben, da auch sie die Sichtbarkeit des grünen Balkens reduziert. Es wurde für 17.45 ms

ein stationärer grüner Balken gezeigt⁸ und darüber eine rote Linie projiziert. Die Maskierung wurde durch zwei grüne Balken realisiert, die oben bzw. unten genau am Balken ansetzten. Ihre Größe war entweder mit der des Balkens ($1.59 \times 0.20^\circ$) identisch oder aber doppelt so hoch (0.40°), und diese Maske konnte dem Balken nach variablen Zeitintervallen folgen. Diese Manipulation wurde vorgenommen, um sicherzustellen, daß zumindest für eines dieser Delays gute Maskierung gegeben war. Tatsächlich war die Maskierung – nach Aussage des Autors – erfolgreich, dennoch nahmen die Vpn die Linie als Gelb wahr. Abbildung 5.10 stellt wiederum objektive Reizgegebenheiten und ihre Wahrnehmung gegenüber.

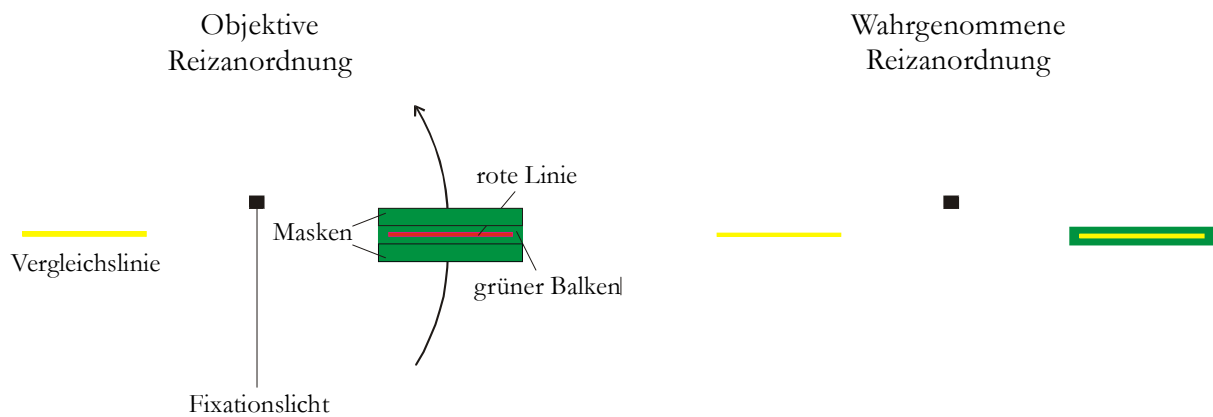


Abbildung 5.10 Gegenüberstellung der von Nijhawan (1997a) verwendeten Reizanordnung und ihrer Wahrnehmung zur Überprüfung der Persistenzunterschiedshypothese.

Cavanagh (1997) hielt die Persistenzerklärung zusätzlich für unwahrscheinlich, weil die Suppressionsmechanismen in diesem Falle farbsensitiv reagieren müßten, was physiologisch unplausibel wäre. Er schrieb:

"... the motion-specific suppression would also have to be colour specific; it must extinguish only the green bar, and not the red line which falls at the same location. But colour-specific motion mechanisms seem to act sluggishly, and it is unlikely that they would be fast enough to support deblurring." (Cavanagh, 1997, S. 21)

Der Fröhlich-Effekt kann über Persistenz nicht erklärt werden kann, da die Startposition hier absolut und nicht relativ zu einem stationären Reiz (mit einer möglicherweise verlängerten Persistenz) angegeben wird.

⁸ Tatsächlich war der Balken nicht stationär, sondern wurde lediglich durch die kurze Darbietungszeit von 17.45ms so wahrgenommen.

Als weiterer Erklärungsansatz für den flash-lag Effekt wurden **Latenzunterschiede** für die Wahrnehmung des bewegten im Vergleich zu der des aufblinkenden Reizes vorgeschlagen (Purushothaman et al., 1998; Whitney & Murakami, 1998; Whitney, Murakami & Cavanagh, 2000). Demnach werden sowohl der bewegte als auch der stationäre Reiz zeitlich verzögert wahrgenommen, allerdings ist die Latenz für den bewegten Reiz kürzer, als die für den stationären. Das Ausmaß des flash-lag Effektes würde dann – bei konstanter Reizgeschwindigkeit – der Strecke entsprechen, die der bewegte Reiz während der Latenzdifferenz zurückgelegt hat. Abbildung 5.11 zeigt die objektive und die wahrgenommene Reizeanordnung bei Gültigkeit der Latenzunterschiedshypothese, wobei beispielhaft eine Latenz von einer Zeiteinheit für den bewegten Reiz und von zwei Einheiten für den stationären Reiz angenommen wird.

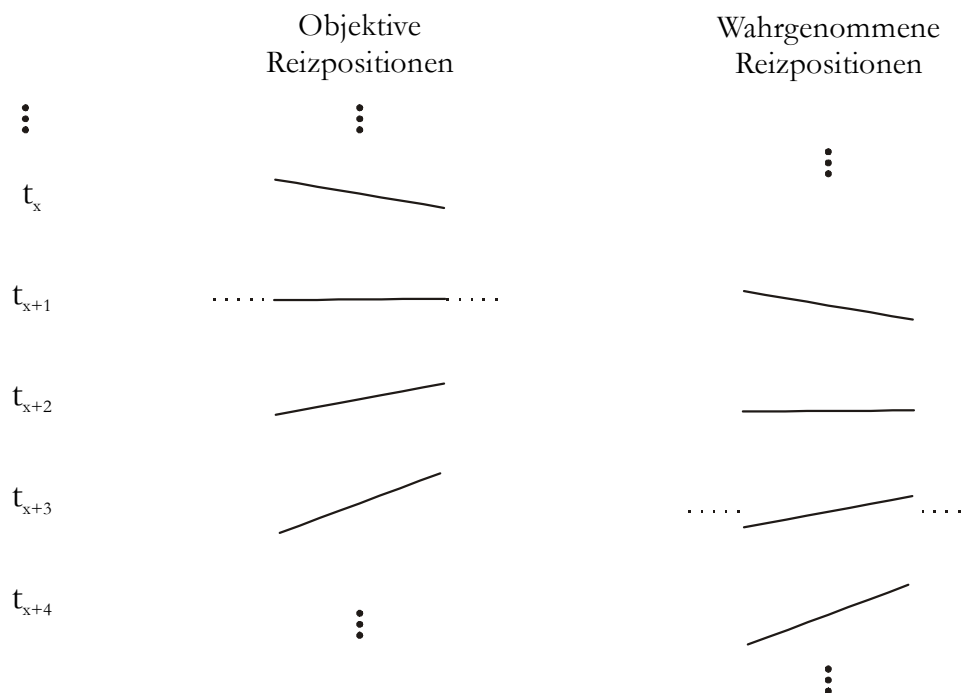


Abbildung 5.11 Gegenüberstellung der objektiven Reizpositionen und der Wahrnehmungsinhalte zu bestimmten Zeitpunkten nach der Latenzunterschiedshypothese. Die Latenz für den bewegten Reiz beträgt hier eine Zeiteinheit, die für den stationären zwei.

Whitney, Murakami und Cavanagh (2000) vermuteten als Ursache für diese Latenzunterschiede Bahnungsprozesse. Sie schrieben:

"Why should the latencies for moving stimuli be shorter than for flashed stimuli? Both have very similar temporal frequency components, especially within small regions. The underlying mechanism for the rapid response could take the form of

facilitatory connections to receptive fields that lie along the trajectory of motion, i.e. paths that are defined by highly correlated patterns of firing." (Whitney, Murakami & Cavanagh, 2000, S. 147)

Auch mit Hilfe dieser Latenzunterschiedshypothese läßt sich die von Nijhawan (1994) gefundene Geschwindigkeitsabhängigkeit erklären, denn ein Reiz legt bei hoher Geschwindigkeit in einer konstanten Zeitspanne natürlich eine größere Strecke zurück, als bei niedriger. Neuere Befunde von Purushothaman et al. (1998) scheinen ebenfalls für die Latenzunterschiedshypothese und gegen die Extrapolationshypothese zu sprechen. Untersucht wurde hier der Effekt der Reizintensität auf den flash-lag Effekt. Das Ausmaß des flash-lag Effektes wurde von den Autoren in Abhängigkeit von der Entdeckbarkeit des rotierenden Segments (Experiment 1) bzw. der aufblinkenden Segmente (Experiment 2) gemessen. Die Intensität der jeweils anderen Segmente wurde konstant gehalten. In den berichteten Experimenten wurden die Intensitäten also schwellennah variiert. Die Latenzunterschiedshypothese sagt vorher, daß eine Erhöhung der jeweiligen Intensität zu einer verkürzten Latenz führen sollte. Im ersten Experiment sollte die Latenz für das bewegte Segment durch die zunehmende Intensität verkürzt werden, während die für das aufblinkende Segment konstant bleiben sollte. Hierdurch sollte der Latenzunterschied weiter vergrößert werden und der flash-lag Effekt zunehmen. Umgekehrt sollte sich im zweiten Experiment durch die Intensitätsvariation die Latenz für die aufblinkenden Segmente verkürzen. Der Latenzunterschied müßte hierdurch zunächst verkleinert und seine Richtung schließlich zugunsten der aufblinkenden Segmente umgekehrt werden. Da der flash-lag Effekt direkt von der Latenzdifferenz abhängt, sollte er ebenfalls zunächst kleiner werden und schließlich müßten die aufblinkenden vor dem rotierenden Segment lokalisiert werden. Im Gegensatz dazu würde die Extrapolationshypothese vorhersagen, daß das rotierende Segment stets um den gleichen Betrag in Bewegungsrichtung gegenüber den aufblinkenden Segmenten fehllokalisiert werden sollte, da der Extrapolationsmechanismus die Latenzen berücksichtigen und den Reiz stets korrekt in die Zukunft extrapolieren sollte. Die Befunde aus beiden Experimenten sind in Abbildung 5.11 dargestellt.

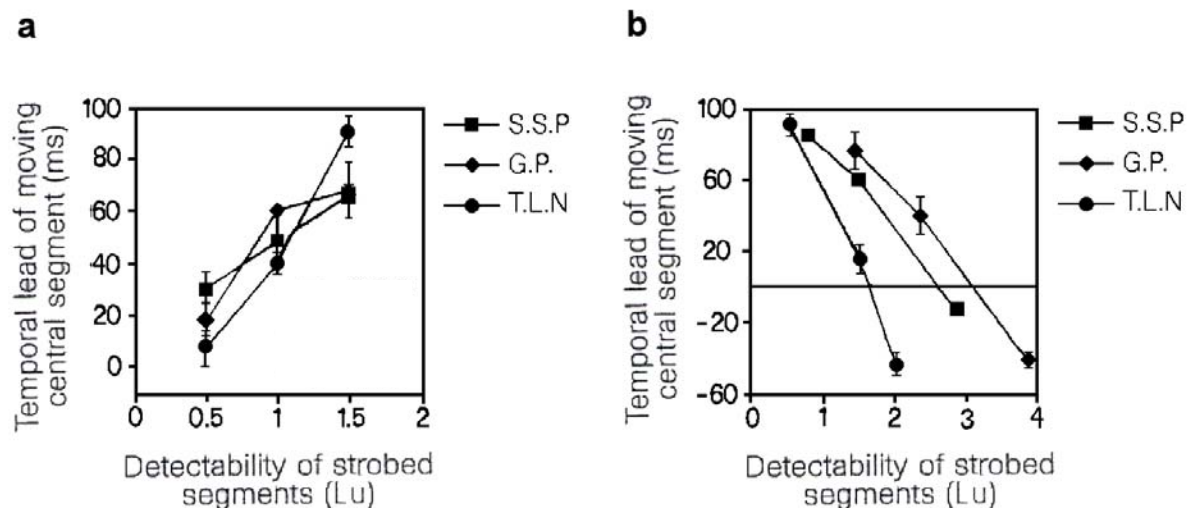


Abbildung 5.12 Abhängigkeit des flash-lag Effektes von der Reizintensität, wobei die räumliche Verschiebung in eine zeitliche umgerechnet wurde. 5.12a zeigt das Ausmaß der zeitlichen Verschiebung für die Variation des bewegten Liniensegmentes, 5.12b die Verschiebung für die Variation der aufblinkenden Segmente (nach Purushothaman et al., 1998).

Die Daten sprachen für die Latenzunterschiedshypothese: Mit zunehmender Entdeckbarkeit des bewegten Segments vergrößerte sich der flash-lag Effekt, und mit wachsender Intensität der aufblinkenden Segmente wurde die Verschiebung kleiner und kehrte sich schließlich um. Purushothaman et al. (1998) schrieben hierzu:

"These results support predictions of the latency-difference hypothesis and show that the motion-extrapolation mechanism does not compensate for stimulus-dependent variations in latency. ... But a motion extrapolation mechanism that does not adequately compensate for variations in visual latency would not appreciably improve the accuracy of real-time visually guided behavior." (Purushothaman et al., 1998, S. 424)

Kritisch an diesen Befunden scheint mir aber die schwelennahe Manipulation der Intensitäten zu sein, denn diese Daten sind nicht auf höhere Intensitäten generalisierbar. So nahmen Lappe und Krekelberg (1998) ebenfalls eine Intensitätsmanipulation des bewegten Reizes vor und fanden keine Vergrößerung, sondern eine Verringerung des flash-lag Effektes.

Eindeutiger für die Latenzunterschieds- und gegen die Extrapolationshypothese sprechen aktuelle Befunde von Whitney, Murakami und Cavanagh (2000), in dem – ähnlich wie in den Experimenten zum Fröhlich-Effekt – mit linearer Bewegung statt mit Kreisbewegung gearbeitet wurde. Als Reize verwendeten sie ein vertikal angeordnetes, weißes Quadratpaar mit einer Kantenlänge von je 0.9° und einem Abstand der Mittelpunkte von 1.8° . Das Quadratpaar bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von $11.84^\circ/s$ horizontal

über den Bildschirm. Fixiert wurde ein Punkt, der sich 5.04° unterhalb der Reizmitte befand. Zu bestimmten Zeitpunkten erschien für 15 ms genau zwischen den Quadraten oder leicht nach links bzw. rechts verschoben eine weiße Scheibe. Die Aufgabe der Vpn bestand darin, anzugeben, ob die Scheibe links oder rechts relativ zu den bewegten Quadraten aufgetaucht war, und ermittelt wurde der räumliche Abstand zwischen dem bewegten Quadratpaar und der aufblinkenden Scheibe, bei dem sie auf gleicher Höhe wahrgenommen wurden. Abbildung 5.13 veranschaulicht die allgemeine Versuchsanordnung.

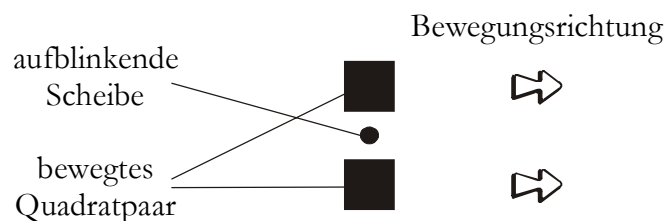


Abbildung 5.13 Darstellung der von Whitney, Murakami und Cavanagh (2000) verwendeten Versuchsanordnung⁹. In dem gezeigten Beispiel taucht die Scheibe genau zwischen den Quadraten auf.

Das Besondere an diesen Experimenten war nun, daß der Reiz zu genau den Zeitpunkten, an denen die Scheibe auftauchte, die Richtung wechselte, vom Bildschirm verschwand oder seine Geschwindigkeit abrupt auf $26,05^\circ/s$ erhöhte bzw. auf $2,37^\circ/s$ verringerte. Diese Bedingungsmanipulationen ermöglichten spezifische Vorhersagen aufgrund der Extrapolations- und der Latenzunterschiedshypothese:

Laut der Extrapolationshypothese sollte der Reiz bis einschließlich zu dem Moment, in dem sich objektiv der jeweilige Bewegungsparameter ändert, noch nach den bis zu diesem Zeitpunkt gültigen Parametern extrapoliert werden, da dem extrapolierenden System der Zeitpunkt der Parameteränderung unbekannt ist. Da diese Bewegungsparameter bis zum Zeitpunkt der Änderung für alle Bedingungsmanipulationen gleich sind, sollte das Quadratpaar zu diesem Zeitpunkt für alle Änderungsbedingungen an die gleiche Stelle extrapoliert werden und daher auch die Verlagerung gegenüber der aufblinkenden Scheibe gleich groß ausfallen. Die Art der Änderung dürfte gemäß der Extrapolationshypothese keinen Einfluß auf den flash-lag Effekt zum Zeitpunkt der Änderung haben. Erst kurze Zeit später können die neuen Bewegungsparameter für die Extrapolation genutzt werden.

⁹ Reize und Hintergrund sind hier invers dargestellt.

Für den Richtungswechsel zum Zeitpunkt t_x würde also für diese äußerste Position der Reiz noch in die ursprüngliche Richtung extrapoliert werden. Diese Position wird dann zum Zeitpunkt t_{x+1} wahrgenommen, obwohl sich der Reiz bereits in die entgegengesetzte Richtung bewegt. Das Quadratpaar müsste also an einer Position wahrgenommen werden, an der der Reiz nie ankommt, weil er zuvor seine Richtung gewechselt hat. Relativ zur Scheibe, die am Ort des Richtungswechsels auftaucht, müsste das Quadratpaar in die ursprüngliche Bewegungsrichtung fehllokalisiert werden. Anders ausgedrückt müsste die Scheibe gegenüber dem Quadratpaar relativ weit in die erste Bewegungsrichtung verschoben sein, um auf gleicher Höhe mit dem bewegten Reiz wahrgenommen zu werden. Die hypothetischen wahrgenommenen Reizpositionen nach der Extrapolationshypothese sind in der mittleren Spalte von Abbildung 5.14 den objektiven Reizpositionen gegenübergestellt.

Wenn hingegen die Latenzunterschiedshypothese richtig ist, sollte es für die Größe des flash-lag Effektes sehr wohl einen Unterschied machen, wie sich die Bewegungsparameter verändern. Jede Position des bewegten Quadratpaars wird - lediglich zeitlich verzögert - wahrgenommen, und außerdem ist die Latenz für den aufblinkenden Reiz gegenüber dem bewegten zusätzlich verlängert. Daher sollte im Falle des Richtungswechsels das Quadratpaar subjektiv bereits ein Stück weit in die zweite Bewegungsrichtung gewandert sein, wenn die Scheibe wahrgenommen wird. Es sollte sich also, wenn die Scheibe zum Zeitpunkt des Wechsels auftaucht, eine Verschiebung des Quadratpaars relativ zur Scheibe in die zweite Bewegungsrichtung ergeben. Für das Verschwinden des Reizes sagt das Modell keinerlei Fehllokalisierung vorher, da sich das Quadratpaar bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die Scheibe wahrgenommen wird, nicht weiterbewegt hat. Bei der Geschwindigkeitserhöhung sollte der Abstand zwischen aufblinkendem und bewegtem Reiz größer werden, da das Quadratpaar sich in der Zeit bis zur Wahrnehmung der Scheibe ein Stück mit der schnelleren Geschwindigkeit weiter bewegt hat. Für die Geschwindigkeitsverringering sollte sich entsprechend eine verringerte Fehllokalisierung zeigen, da der Reiz eine Strecke mit der geringeren Geschwindigkeit zurückgelegt hat. Die einzelnen Hypothesen für die Latenzunterschiedshypothese sind in der rechten Spalte von Abbildung 5.14 dargestellt.

	objektive Reizposition	wahrgenommene Reizposition laut Extrapolations-hypothese	wahrgenommene Reizposition laut Latenzunterschieds-hypothese
Richtungswechsel			
Offset			
Beschleunigung			
Verlangsamung			

Abbildung 5.14 Gegenüberstellung der objektiven Reizpositionen und der hypothetischen Wahrnehmungsinhalte zu bestimmten Zeitpunkten nach der Extrapolations- bzw. nach der Latenzunterschiedshypothese für die Veränderungsbedingungen zum Zeitpunkt t_x von Purushothaman et al. (1998).

Die Befunde stützten die Latenzunterschieds- und widersprachen der Extrapolationserklärung. Zum Zeitpunkt der Änderung wirkten sich die neuen Bewegungsparameter deutlich auf den flash-lag Effekt aus. So gab es keinen 'overshoot' beim Richtungswechsel. Zum Zeitpunkt des Verschwindens trat keine Fehllokalisierung auf, und bei Beschleunigung oder Verlangsamung des Quadratpaars wirkte sich die neue Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Veränderung deutlich auf den flash-lag Effekt aus.

Ebenso wie ein Persistenzunterschied, kann auch ein Latenzunterschied zwischen Reizen nicht die Ursache für den Fröhlich-Effekt sein, da hier ausschließlich ein bewegter Reiz gezeigt wird, dessen Position absolut angegeben wird. Es fehlt der stationäre Reiz mit einer möglicherweise kürzeren Latenz. Allerdings ließe sich umgekehrt über das Wetterwart-Modell möglicherweise die angenommene kürzere Latenz des bewegten gegenüber dem stationären Segment erklären. Das konstante Fokussieren eines Reizes (hier der bewegten Linie) könnte die Latenz für die Wahrnehmung dieses Reizes verkürzen, weil für ihn – im Gegensatz zum stationär aufblinkenden Reiz – keine Aufmerksamkeitsverlagerung mehr notwendig ist. Man könnte auch sagen, daß frühere Reizpositionen als Cue für spätere Positionen gewirkt haben. In der Analogiesprache hätte sich der Wetterwart der Anzeige bereits zugewendet und würde entsprechend eine kürzere Zeitspanne für das Ablesen des jeweils aktuellen Wertes benötigen. Um den stationär aufblinkenden Reiz wahrzunehmen, muß hingegen Aufmerksamkeit vom bewegten Reiz gelöst ('disengagement') und auf den stationären verlagert werden ('engagement'). Die wahrgenommene Verlagerung des bewegten gegenüber dem stationären Segment könnte auf zwei Arten zustande kommen: Einerseits könnte es eine gewisse Zeit dauern, bis die Aufmerksamkeit vom bewegten Reiz gelöst und verlagert werden kann, und diese verlagerte Position zum Zeitpunkt des Lösens wird mit dem Ort der stationären Segmente verglichen. Andererseits könnte die Aufmerksamkeit aber auch durch das Auftauchen des stationären Segments auf den Ort der stationären Segmente verlagert werden. Diese Position wird gespeichert, und anschließend wird die Aufmerksamkeit für den Positionsvergleich wieder zurück auf das bewegte Element verlagert, das aber in der Zwischenzeit bereits weiter gewandert ist.

Eine recht ähnliche Erklärung des flash-lag Effektes wurde von Baldo und Klein (1995) vorgeschlagen (**Aufmerksamkeitshypothese**). Die Autoren betonten allerdings nicht die verkürzte Latenz für den bewegten Reiz, sondern ausschließlich die verlängerte Verarbeitungszeit für die aufblinkenden Reize aufgrund von Aufmerksamkeitsprozessen. Sie schrieben:

"We hypothesize that some amount of time ... is required to bring the flashing dots to a sufficiently high level of sensory awareness for a 'snapshot' of the moving dots to be taken. Such a time delay would be related to the abrupt onset of the flashing dots and might involve attentional mechanisms, either in capturing attention or in shifting the focus of attention from one place to another across the visual field."
(Baldo & Klein, 1995, S.566)

Baldo und Klein untermauerten ihre Aufmerksamkeitsüberlegungen durch Experimente, in denen sie mit Liniensegmenten arbeiteten, die aus einzelnen Punkten zusammengesetzt waren. Der mittlere Punkt wurde fixiert, und die beiden äußeren Punkte rotierten mit einer konstanten Geschwindigkeit von 0.75 Umdrehungen pro Sekunde um den mittleren. Die Distanz der beiden äußeren Punkte betrug 1.3° , so daß sich eine Winkelgeschwindigkeit von $3.06^\circ/s$ ergab. Ähnlich wie in den Originalexperimenten von Nijhawan blinkten genau zu dem Zeitpunkt, an dem sie die gedachte Linie zwischen den Punkten an den äußeren Enden ergänzten, auf beiden Seiten jeweils zwei Punkte auf. Auch bei Verwendung dieser Versuchsanordnung zeigte sich der gewohnte flash-lag Effekt: Die rotierenden Punkte wurden in Bewegungsrichtung fehllokalisiert. Die Methode und die wahrgenommene Anordnung werden in Abbildung 5.15 verdeutlicht.

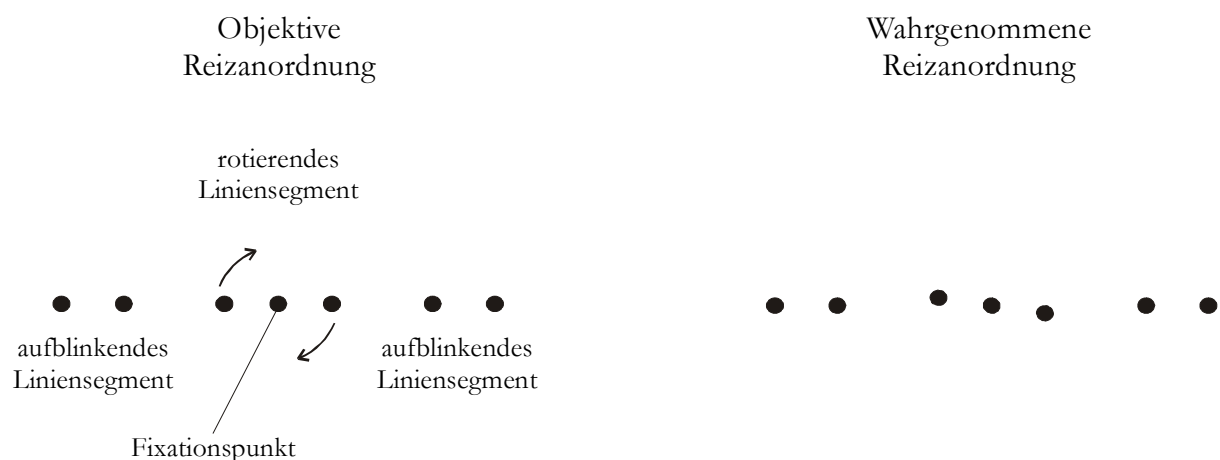


Abbildung 5.15 Gegenüberstellung der von Baldo und Klein (1995) verwendeten Reizanordnung und ihrer Wahrnehmung.

Wie die Extrapolations- und die Latenzunterschiedshypothese kann auch die Aufmerksamkeitshypothese den mit der Geschwindigkeit ansteigenden flash-lag Effekt erklären: Wenn man annimmt, daß die Aufmerksamkeitsprozesse eine (relativ) konstante Dauer aufweisen, könnte der Reiz bei hoher Geschwindigkeit eine größere Strecke zurücklegen als bei niedriger. Baldo und Klein (1995) selbst führten als Beleg für diesen Erklärungsansatz an, daß die Exzentrizität der stationären Punkte – also ihr Abstand von den rotierenden Punkten – die Größe des flash-lag Effektes beeinflusst. Je größer die Exzentrizität, desto größer fiel die wahrgenommene Verschiebung aus.

Im gleichen Zeitschriftenband reagierten Khurana und Nijhawan (1995) auf Baldo und Kleins Kritik bzw. ihre Alternativerklärung. Sie berichteten zwei Experimente, von denen das eine die Aufmerksamkeitsverlagerungshypothese ('attention shift') und das andere die Hypothese der absichtsfreien Selektion ('attentional capture') testen sollte. Zur Überprüfung der Verlagerungshypothese verwendeten sie räumlich überlappende bewegte und stationäre, aufblinkende Liniensegmente. Das bewegte Liniensegment bestand aus sechs Rechtecken und wies eine Länge von 6.9° auf, während das aufblinkende Segment aus sechs Kreisen zusammengesetzt war und eine Gesamtlänge von 7.8° aufwies. Ein mittlerer nicht ausgefüllter Kreis diente als Fixationspunkt. Um diesen Punkt rotierte die "Rechteck-Linie" mit einer Geschwindigkeit von einer halben Umdrehung pro Sekunde, was für die äußersten Rechtecke 10.85° entspricht: Die Kreise blinkten wiederum genau zu dem Zeitpunkt auf, an dem sie die rotierenden Kreise zu einer Linie ergänzten. Auch hier zeigte sich der gewohnte flash-lag Effekt. Abbildung 5.16 verdeutlicht die Versuchsanordnung und ihre Wahrnehmung.

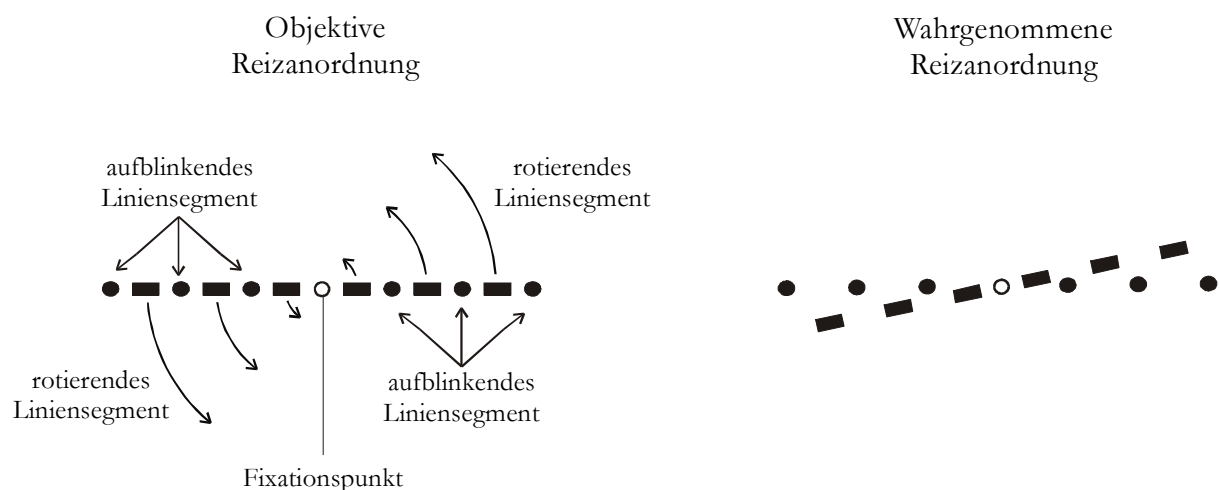


Abbildung 5.16 Gegenüberstellung der von Khurana und Nijhawan (1995) verwendeten Reizanordnung und ihrer Wahrnehmung.

Die Autoren argumentierten, daß durch das direkte Nebeneinanderliegen der beachteten rotierten und der nicht-beachteten aufblinkenden Elemente keine nennenswerten Aufmerksamkeitsverlagerungen notwendig sein sollten und man daher diese Hypothese ausschließen könnte.

Um die Hypothese der absichtsfreien Selektion zu prüfen, ließen die Autoren die rotierenden und die stationären, aufblinkenden Elemente gleichzeitig auftauchen ('flash-initiated cycle'). Beide wiesen also einen gleichermaßen abrupten Onset auf. Die rotierenden Segmente wurden für 1100 ms und die stationären für 5 ms dargeboten. Auch hier trat die gewohnte Fehllokalisierung der bewegten gegenüber den stationären Elementen auf. Nach Ansicht der Autoren läßt sich durch diesen Befund die Hypothese der absichtsfreien Selektion ausschließen, da hier beide Reize gleichermaßen die Aufmerksamkeit auf sich ziehen sollten. Wäre die Hypothese richtig gewesen, hätte der Effekt nach ihrer Ansicht verschwinden sollen.

Nach meiner Ansicht sind jedoch beide Versuchsanordnungen nicht geeignet, um Hypothesen in bezug auf Aufmerksamkeitseffekte auszuschließen. Auch wenn die Linienelemente direkt benachbart sind, könnten Aufmerksamkeitsprozesse notwendig sein, die Zeit erfordern. So sind neben den raumbasierten vermutlich auch objektbasierte Aufmerksamkeitsprozesse erforderlich (Tipper, Brehaut & Driver, 1990; Tipper, Weaver, Jerreat & Burak, 1994). Noch extremere Kritik läßt sich am zweiten Experiment üben: Mit dieser Versuchsanordnung haben die Autoren Bedingungen geschaffen, unter denen sich ein Fröhlich-Effekt zeigen sollte, und hierdurch könnte scheinbar der gewohnte flash-lag Effekt aufgetreten sein. Tauchen gleichzeitig ein bewegter und ein stationärer Reiz auf, konkurrierten sie um die Aufmerksamkeitszuwendung. Gewinnt der bewegte Reiz, löst er eine Aufmerksamkeitsverlagerung in seine Richtung aus, und die verlagerte Position nach Abschluß der Aufmerksamkeitszuwendung wird mit der Position des stationären Segments verglichen. In den Fällen, in denen das stationäre Segment "gewinnt", wird Aufmerksamkeit auf seine Position gerichtet, muß aber anschließend wieder auf das bewegte Segment verlagert werden und mit dessen Position verglichen werden. In beiden Fällen sollte also ein flash-lag Effekt auftreten.

Kritischere Befunde für die Aufmerksamkeitshypothese zur Erklärung des flash-lag Effektes stammen von Khurana, Cavanagh und Nijhawan (1996). Sie untersuchten, ob

sich die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den flash-lag Effekt auswirkt. Hierzu rotierten sie fünf Ringe, die konzentrisch um den Fixationspunkt angeordnet waren (über die Größenverhältnisse und die Rotationsgeschwindigkeit machten die Autoren leider keine Angaben). In einem der Ringe blinkte zu bestimmten Zeitpunkten eine Scheibe auf. Die Vpn sollten Angaben über ihre Wahrnehmung der räumlichen Lage von Ring und Scheibe machen, indem sie aus verschiedenen Bildern dasjenige auswählten, das ihrer Wahrnehmung am ehesten entsprach. Abbildung 5.17 verdeutlicht die Versuchsanordnung.

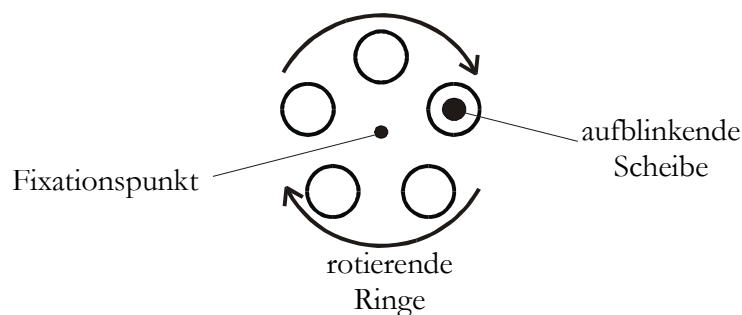


Abbildung 5.17 Darstellung der von Khurana, Cavanagh und Nijhawan (1996) verwendeten Versuchsanordnung.

Es wurden vier verschiedene Bedingungen realisiert: Der Ring, in dem die Scheibe auftauchte, konnte erstens bekannt ('focused attention to ring') oder zweitens unbekannt sein ('distributed attention to all rings'). Außerdem konnte drittens die Position der auftauchenden Scheibe bekannt ('focused attention to location of disk') oder viertens unbekannt sein ('distributed attention to all potential disk locations along circular trajectory'). Nach Aussage der Autoren veränderte sich der flash-lag Effekt nicht in Abhängigkeit von der Zuweisung von Aufmerksamkeitsressourcen (allerdings machten sie auch keine Aussage über das Ausmaß des Effektes).

In einem weiteren Experiment wurde untersucht, ob sich Cuing auf die Größe des flash-lag Effektes auswirkt. Hierzu wurde die Anzahl der rotierenden Ringe im Display auf zwei gegenüberliegende reduziert. Die Scheibe konnte entweder rechts (3 Uhr) oder links (9 Uhr) auftauchen. In 50% aller Fälle wurde vor der Scheibe ein Positionscue gezeigt (über das SOA wurden leider keine Angaben gemacht). In 35% der Durchgänge war der Cue valide (kündigte also den richtigen Ort an) und in 15% nicht-valide (tauchte entsprechend auf der falschen Seite auf). Es zeigten sich keine signifikanten Veränderungen des Effektes durch valides oder nicht-valides Cuing.

Diese Experimente lassen eine Aufmerksamkeitserklärung für den flash-lag Effekt relativ unwahrscheinlich erscheinen, da sich die vorherige Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf die relevante Position (durch die Instruktion oder durch einen Cue) in jedem Fall auf das Ausmaß der Fehllokalisierung auswirken sollte. Da aber die Autoren keine Angaben zur genauen Versuchsmethodik machten, wäre es möglich, daß die Versuchsbedingungen unvorteilhaft für Auswirkungen von Aufmerksamkeitsverlagerungen gewesen sind, z.B. durch zu geringe Geschwindigkeiten, zu kleine Abstände zwischen Fixationspunkten und Reizen oder zu kurze SOAs.

Zusammengefaßt scheint die Persistenzhypothese weder zur Erklärung des flash-lag Effektes noch des Fröhlich-Effekt geeignet zu sein. Die Latenzunterschiedshypothese hingegen kann eine Reihe von Befunden zum flash-lag Effekt erklären. Die angenommene kürzere Latenz von bewegten gegenüber stationär aufblinkenden Reizen ist außerdem mit dem Wetterwart-Modell vereinbar, obwohl ein solcher Unterschied nicht den Fröhlich-Effekt erklären könnte. Kombiniert man die Latenzunterschiedshypothese mit dem Wetterwart-Modell (die konstante Fokussierung des bewegten Reizes führt zu einer kürzeren Latenz des bewegten gegenüber dem stationären Reiz und damit zur wahrgenommenen Fehllokalisierung zwischen den beiden Reizen), entspricht dies den Annahmen des Wetterwart-Modells. Es scheint also nicht unplausibel zu sein, daß über das Wetterwart-Modell sowohl der Fröhlich- als auch der flash-lag Effekt erklärt werden können.

5.1.3 Experimente zum flash-lag Effekt

Aus den bisherigen Überlegungen sollte deutlich geworden sein, daß beide Phänomene sowohl über das Wetterart-Modell als auch über die Extrapolationshypothese erklärt werden können. Daher dienten die folgenden Experimente einerseits dazu, die Plausibilität der Extrapolationshypothese zu überprüfen. Andererseits sollte untersucht werden, ob es sich beim Fröhlich- und beim flash-lag Effekt tatsächlich um verwandte Phänomene handelt, die unter den gleichen Bedingungen auftreten und durch bestimmte Variablen in jeweils gleicher Weise beeinflusbar sind.

5.1.3.1 Experiment 7

Um die Gültigkeit der kortikalen Extrapolationshypothese für meine Versuchsanordnung zu untersuchen, wurde die Bedingung Richtungswechsel aus dem Experiment von Whitney, Murakami und Cavanagh (2000) unter der bisher verwendeten Methode zur Erfassung des Fröhlich-Effektes repliziert. Neben Änderungen in vielen Details bestand der wichtigste Unterschied meiner Methode zu der von Whitney et al. darin, daß hier Urteile über absolute Reizpositionen zum Zeitpunkt des Richtungswechsels abgegeben werden sollten, während bei Whitney et al. relative Reizpositionen im Verhältnis zu einem stationär aufblinkenden Reiz beurteilt wurden. Neben der direkten Vergleichbarkeit mit meinen bisherigen Experimenten hat die Verwendung absoluter Positionen den zusätzlichen Vorteil, daß das Ausmaß einer eventuellen Fehllokalisierung zum Zeitpunkt des Richtungswechsels direkt erfaßt werden kann. Zusätzlich sollte der Einfluß der Exzentrizität des Richtungswechsels untersucht werden.

Wenn die Extrapolationshypothese zutrifft, sollte – wie bereits beim Experiment von Whitney et al. (2000) dargestellt – zum Zeitpunkt des Richtungswechsels noch nach den bisher gültigen Parametern extrapoliert werden (also in die ursprüngliche Richtung). Dadurch müßte der wahrgenommene Ort des Richtungswechsels weiter in die ursprüngliche Bewegungsrichtung verschoben sein, sich also an einer Stelle befinden, an der der Reiz nie angekommen ist, weil er zuvor seine Richtung gewechselt hat. Zusätzlich sollte der Lokalisationsfehler unabhängig von der Reizexzentrizität sein, da die Parameter für die Extrapolation lediglich von der Geschwindigkeit abhängig sein sollten. Die Vorhersagen des Wetterwart-Modells für diese Versuchsanordnung sind nicht eindeutig. In jedem Fall widersprechen die erwarteten Ergebnisse aber denen der Extrapolationshypothese. Entweder sollte sich keinerlei Verschiebung ergeben, da die Aufmerksamkeit bereits auf den Reiz gerichtet wurde und diesen – auch während des Richtungswechsels – konstant fokussiert. Andererseits ist es auch möglich, daß durch den abrupten Richtungswechsel die Aufmerksamkeit neu ausgerichtet werden muß und daraus eine erneute Fehllokalisierung in Richtung der zweiten Bewegungsrichtung resultiert. In diesem Fall sollte man dieselbe Abhängigkeit der Fehllokalisierung von der Exzentrizität erwarten wie beim Fröhlich-Effekt: Der Lokalisationsfehler sollte mit zunehmender Exzentrizität ansteigen und schließlich ein Maximum erreichen.

Methoden

Apparatur und Stimuli

Die Versuchsapparatur und die eingesetzten Stimuli waren fast vollständig mit denen in Experiment 3 identisch, d.h. es wurde ohne festen Fixationspunkt und Zusatzaufgabe gearbeitet und stattdessen die dynamische Fixationshilfe eingesetzt. Der einzige Unterschied bestand darin, daß der Reiz an den Exzentrizitäten, an denen er in Experiment 4 normalerweise auftauchte, nun seine Richtung wechselte. Diese Position wurde mit Hilfe der Markierungslinien aus den früheren Experimenten eingestellt. Der Reiz "durchwanderte" eine Zufallsstrecke von $5.38 - 7.40^\circ$ (37.6 und 51.7 mm), änderte dann an bestimmten festgelegten Exzentrizitäten seine Richtung und wanderte wiederum eine neue Zufallsstrecke von $5.38 - 7.40^\circ$ in die Gegenrichtung, bevor er vom Bildschirm verwich. Für das Zurücklegen der Gesamtstrecke benötigte der Reiz 266.7 bis 366.7 ms.

Design

Der Faktor Bewegungsrichtung nach dem Richtungswechsel variierte auf zwei Stufen (foveofugal, foveopetal), vor dem Richtungswechsel bewegte sich der Reiz entsprechend immer in die Gegenrichtung. Die Exzentrizität des Richtungswechsels wurde auf sechs Stufen (0° , 1.68° , 3.37° , 5.05° , 6.73° , 8.42° bzw. 0, 11.75, 23.50, 35.25, 47.00, 58.75 mm) variiert. Randomisiert, aber nicht ausgewertet, wurde wiederum der Faktor Achse (links, rechts). Die Urteile der Vpn bezogen sich auf den äußeren Rand beim Richtungswechsel, also auf die äußerste Reizposition, die wahrnehmbar war.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entsprach vollständig dem aus Experiment 4. Auch hier wurden den Vpn die Kombinationen der Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität insgesamt 40 mal in zufälliger Reihenfolge und die Zusatzaufgabe 48 mal vorgegeben. Die 528 Durchgänge wurden in zufälliger und jeweils anderer Reihenfolge dargeboten.

Versuchspersonen

Es nahmen 7 weibliche und 8 männliche am Experiment teil. Ihr Alter betrug im Durchschnitt 24.9 Jahre, und sie erhielten 12 DM pro Stunde für ihre Teilnahme. Alle Vpn verfügten über eine normale oder vollkorrigierte Sehschärfe, und niemand wurde vor dem Experiment über die Hypothesen informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurden abermals die gemittelten Mediane – getrennt für die Faktoren Bewegungsrichtung nach dem Richtungswechsel und Exzentrizität – bestimmt. Die objektiven Reizgegebenheiten für die Exzentrizität 0 unter foveofugaler und foveopetaler Bewegung waren wiederum identisch, und die ermittelten Verschiebungen wurden zufällig auf die beiden Richtungsbedingungen verteilt. Abbildung 5.18 zeigt die Fehllokalisationen für die Bedingungskombinationen.

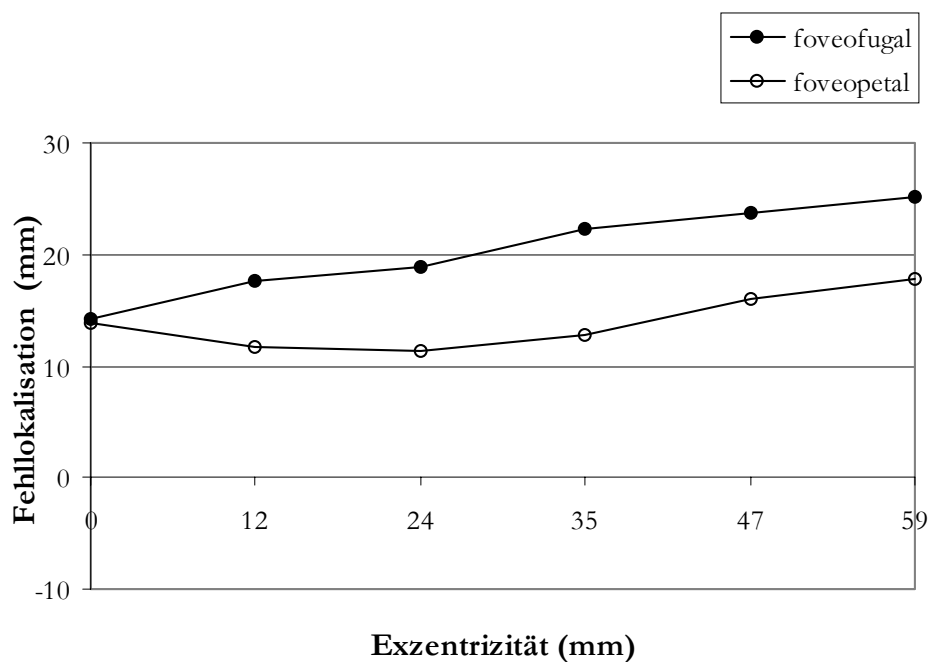


Abbildung 5.18 Gemittelte Fehllokalisation für Bewegungsrichtung und Exzentrizitäten in Experiment 7, $N = 15$. Positive Werte stehen für eine Fehllokalisation in die Bewegungsrichtung nach dem Richtungswechsel.

Die Verschiebung der wahrgenommenen äußersten Reizposition betrug im Mittel 17.11 mm bei einer Standardabweichung von 8.66 mm. Dieser Wert war signifikant höher als 0 [$F(1, 14) = 137.72$; $MSe = 382.66$; $p < 0.001$]. Eine zweifache Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf den Faktoren Bewegungsrichtung nach dem Richtungswechsel und

Exzentrizität des Richtungswechsels ergab einen signifikanten Haupteffekt für Bewegungsrichtung [$F(1, 40) = 10.32$; $MSe = 180.29$; $p = 0.006$]; die Werte für die foveofugale Bewegungsrichtung waren höher als die für die foveopetale. Signifikant war auch der Haupteffekt für Exzentrizität [$F(5, 70) = 29.47$; $MSe = 9.44$; $p < 0.001$; $\varepsilon = 0.50$]. Signifikanz erreichte auch die Interaktion zwischen Bewegungsrichtung und Exzentrizität [$F(5, 70) = 4.48$; $MSe = 17.76$; $p = 0.025$; $\varepsilon = 0.36$].

Für den Faktor Exzentrizität lies sich ein linearer Trend für die Fehllokalisierung nachweisen [$F(5, 70) = 18.87$; $MSe = 34.68$; $p < 0.001$] (Die gemittelten Mediane betragen von den niedrigen zu den hohen Exzentrizitäten 14.05, 14.64, 15.11, 17.53, 19.84 und 21.50 mm). Die Interaktion zwischen Bewegungsrichtung und Exzentrizität ging – wie bereits ein Blick auf Abbildung 5.18 nahelegt und durch Scheffé-Tests bestätigt wurde – nahezu ausschließlich auf die Exzentrizität 0 in der foveopetalen Bedingung zurück. Die Fehllokalisierung für die beiden Bewegungsrichtungen "startete" bei der Exzentrizität 0° – aufgrund der zufälligen Verteilung der Werte auf die Richtungen – beim gleichen Wert, und anschließend stiegen die Werte in der foveofugalen Bedingung schneller als in der foveopetalen. So unterschieden sich in der foveofugalen Bedingung alle Exzentrizitäten, die um mindestens drei Stufen voneinander abwichen, während in der foveopetalen Bedingung lediglich die sechste Stufe von Stufe 2 und 3 verschieden war. Anders als in den Experimenten zum Fröhlich-Effekt erreichte die Fehllokalisierung hier keinen Maximalwert, sondern stieg bis zur letzten Exzentrizitätsstufe an. Ab der zweiten Exzentrizitätsstufe waren entsprechend alle Unterschiede zwischen den Bewegungsrichtungen signifikant. [$Diff_{crit} = 5.28$; $MSe = 17.76$; $p < 0.05$] (Die gemittelten Mediane für die foveofugale Bedingung betragen mit zunehmender Exzentrizität 14.17, 17.62, 18.95, 22.36, 23.72 und 25.14 mm, die für die foveopetale Bedingung 13.93, 11.66, 11.27, 12.69, 15.97 und 17.85 mm).

Diese Ergebnisse zur Richtungsänderung sprechen gegen die Gültigkeit der Extrapolationshypothese in meiner Versuchsanordnung. Sie sind hingegen mit der Aufmerksamkeitsverlagerungshypothese vereinbar, wenn man annimmt, daß bei einem Richtungswechsel die Aufmerksamkeit neu ausgerichtet werden muß. Die absolute Höhe und der Anstieg der Fehllokalisierung über die Exzentrizitäten entspricht relativ genau der Größe des Fröhlich-Effektes in den übrigen Experimenten, bis auf die Tatsache, daß die

Fehllokalisationen für die beiden Bewegungsrichtungen keinem gemeinsamen Maximalwert zustreben, also nicht wieder zusammenlaufen. Ich vermute, daß ein solcher Maximalwert dennoch existiert, sich aber in diesem Experiment außerhalb der realisierten Exzentrizitäten befindet. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, daß ein Onset ein stärkeres Aufmerksamkeitssignal auslöst und damit eine schnellere Aufmerksamkeitsverlagerung ermöglicht als die Richtungsänderung. Während dieser längeren Zeitspanne könnte der Reiz entsprechend eine größere Strecke zurücklegen, und die maximale Höhe der Fehllokalisation würde entsprechend größer ausfallen. Da die hier eingesetzte Versuchsanordnung denen aus den früheren Fröhlich-Experimenten sehr ähnlich war, erscheint es unplausibel, daß der Fröhlich-Effekt über Extrapolationsprozesse erklärt werden kann.

Allerdings läßt sich durch dieses Experiment nicht ausschließen, daß Extrapolationsprozesse die Ursache für den flash-lag Effekt in früheren Experimenten sind, da die Versuchsmethodik zwischen diesen und meinen Experimenten zu stark variiert. Wenn etwa die retinale Extrapolationshypothese von Berry et al. (1999) als Erklärung für den flash-lag Effekt richtig ist, wäre die Geschwindigkeit in meinen Experimenten zu hoch, die Extrapolationsprozesse wären zusammengebrochen. Es wäre aber auch nach wie vor möglich, daß es sich beim Fröhlich- und beim flash-lag Effekt um ähnliche Phänomene handelt, die über vergleichbare Mechanismen erklärt werden können (durch mein Experiment wird lediglich die Extrapolationserklärung als gemeinsamer Erklärungsansatz unwahrscheinlich). Mit dieser Ähnlichkeit zwischen den Phänomenen sollten sich die beiden folgenden Experimente beschäftigen. Bis zu diesem Zeitpunkt war der Fröhlich-Effekt ausschließlich durch die Angabe der **absoluten** Reizposition zum Zeitpunkt seines Auftauchens erfaßt worden. Das Ausmaß des flash-lag Effektes wurde hingegen stets **relativ** zur Position eines aufblinkenden stationären Reizes bestimmt. In den folgenden Experimenten sollten beide Methoden auf beide Phänomene angewendet werden. Einerseits konnte so die Größe der Effekte innerhalb und über die Experimente hinweg verglichen und die Ähnlichkeit der Phänomene bestimmt werden. Andererseits ließ sich hierdurch ermitteln, ob beide Methoden gleichermaßen für die Erfassung beider Effekte geeignet sind, bzw. ob die Effekte gar an die Verwendung einer speziellen Methode gebunden sind.

5.1.3.2 Experiment 8

Das Ziel von Experiment 8 war die Bestimmung und der Vergleich des Fröhlich- und des flash-lag-Effektes unter Verwendung der flash-lag-Versuchsmethodik, d.h. die Vpn sollten relative Urteile in bezug auf einen stationär aufblinkenden Reiz (im folgenden Marker genannt) im Verhältnis zur Reizposition abgeben. Zur Ermittlung des Fröhlich-Effektes tauchte der Marker gleichzeitig mit dem Reiz – also zu Beginn der Bewegung – auf, für die Untersuchung des flash-lag Effektes hingegen erst, nachdem der Reiz bereits die Hälfte der Strecke zurückgelegt hatte. Die Abweichung des Markers vom Reiz war variabel, so daß anschließend die Markerposition bestimmt werden konnte, für die Marker und Reiz auf gleicher Höhe wahrgenommen wurden, die Urteile "Marker in Bewegungsrichtung gegenüber dem Reiz verschoben" bzw. "Marker entgegen der Bewegungsrichtung gegenüber dem Reiz verschoben" also gleich wahrscheinlich waren. Wenn der Reiz im Verhältnis zum Marker tatsächlich in Bewegungsrichtung fehllokalisiert wird – also ein positiver Fröhlich- bzw. flash-lag Effekt vorliegt – sollte die Markerposition, die auf gleicher Höhe mit dem Reiz wahrgenommen wird, gegenüber dem Reiz in Bewegungsrichtung verschoben sein. Die so ermittelten relativen Fehllokalisationen für den Fröhlich- und den flash-lag Effekt wurden anschließend verglichen, um die Ähnlichkeit der Effekte zu untersuchen.

Methoden

Apparatur und Stimuli

In diesem Experiment wurde mit der dynamischen Fixationshilfe gearbeitet und dadurch bedingt auf den festen Fixationspunkt und die Zusatzaufgabe verzichtet. Als Reiz diente nach wie vor das schwarze Quadrat, es durchwanderte hier allerdings eine feste Strecke von 56.4 mm (8.07°). Mit dieser Strecke und der damit verbundenen Bewegungsdauer von 200 ms wurde versucht, einen Kompromiß zwischen zwei Anforderungen zu finden: Einerseits sollte die Strecke – wie in den üblichen flash-lag Experimenten – möglichst lang sein, andererseits sollte die kritische Grenze von 200 ms für die Auslösung von Blickbewegungen nicht überschritten werden. Als Marker diente ein vertikales Pfeilpaar, dessen Pfeilspitzen genau ober- bzw. unterhalb an die Reizbahn des Quadrates anschlossen, ohne sie zu berühren. Jeder Pfeil war 7.1 mm (1.02°) hoch und 3.7 mm

(0.53°) breit. Der Marker tauchte für genau einen Bildschirmaufbau auf (16.67 ms), also ebenso lange, wie sich das bewegte Kästchen an jeder einzelnen Position befand. Zur Angabe der relativen Reizposition dienten zwei nebeneinander angeordnete Fenster mit einer Kantenlänge von 60.5 mm (8.65°). Die Kästchen enthielten den Text "Marker LINKS" bzw. "Marker RECHTS", und die Vpn konnten – durch Verschieben der Maus – eine Alternative auswählen. Die Auswahl wurde durch Verdickung des jeweiligen Kästchenrahmens kenntlich gemacht und von den Vpn durch Drücken der linken Maustaste bestätigt.

Design

Um das Design möglichst einfach zu halten, wurde ausschließlich foveofugale Bewegung eingesetzt. Variiert wurde der Faktor Effekt (Fröhlich-Effekt versus flash-lag-Effekt), der Marker konnte also entweder zum gleichen Zeitpunkt wie der Reiz auftauchen, oder aber wenn er die erste Position nach der Mitte erreicht hatte. Die absolute Bildschirmposition des Reizes zum Zeitpunkt des Markers war für die Effekte die gleiche. Fröhlich- und flash-lag Effekt unterschieden sich also nur durch die Strecke, die der Reiz bis zum Zeitpunkt des Markers bereits zurückgelegt hatte bzw. anschließend noch zurücklegte. Um zu ermitteln, welche Markerposition auf gleicher Höhe mit dem Reiz wahrgenommen wurde, variierte die Position auf 22 Stufen in einem Bereich von +/- 49.35 mm (also links und rechts) um den relativ zur Bewegungsrichtung äußeren Rand der Reizposition. Die Position, die sich objektiv auf einer Höhe mit dem äußeren Reizrand befand, wurde dabei nicht realisiert. Der Abstand der einzelnen Markerpositionen voneinander betrug 4.7 mm, also genau eine Reizbreite. Abbildung 5.19 verdeutlicht die verwendeten Markerpositionen relativ zum äußeren Rand des Reizes.

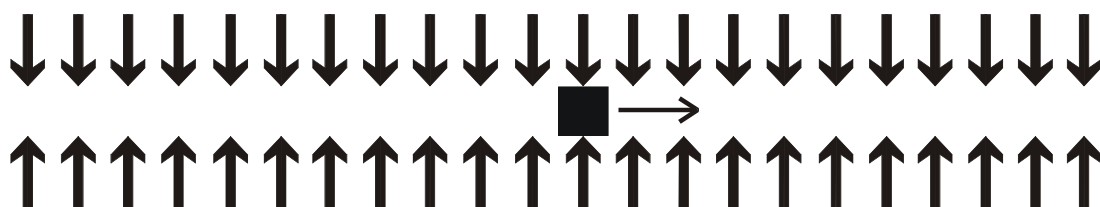


Abbildung 5.19 Darstellung der in Experiment 8 verwendeten Markerpositionen relativ zum äußeren Reizrand (hier linker Rand).

Der Variationsbereich des Reiz-Marker-Abstandes war so groß gewählt worden, da einzelne Vpn in den vorherigen Experimenten sehr hohe Fröhlich-Effekte aufwiesen und sichergestellt werden sollte, daß für jede Vp Bereiche existierten, in denen sie den Marker klar vor bzw. hinter dem Reiz wahrnahm. Es handelte sich insgesamt um ein 2 x 22 Design. Zwei weitere Faktoren wurden zufallsvariiert, um eine gewisse räumliche Unsicherheit zu gewährleisten, aber nicht ausgewertet: Einerseits die Reizexzentrizität (4.36 und 8.36° bzw. 30.55 und 58.75 mm) und andererseits die Reizseite (links und rechts).

Als abhängige Variable diente das Urteil der Vp darüber, ob sie den Marker links oder rechts vom Reiz wahrgenommen hatte. Da die Seitenangabe für die beiden Achsen in bezug auf die Bewegungsrichtung mehrdeutig war (links bedeutete für die linke Achse in Bewegungsrichtung gegen den Reiz verschoben und für die rechte entgegen der Bewegungsrichtung), wurden die Seitenangaben so umkodiert, daß sich die Urteile anschließend auf die Bewegungsrichtung bezogen (in Bewegungsrichtung bzw. entgegen der Bewegungsrichtung verschoben). Der besseren Lesbarkeit wegen wird im folgenden statt der umständlichen Formulierung "Marker in bzw. entgegen der Bewegungsrichtung gegenüber dem Reiz verschoben" die Kurzbeschreibung "Marker vor" bzw. "Marker hinter dem Reiz" verwendet. "Vor" bezieht sich hier auf Markerpositionen, die der Reiz noch nicht erreicht hat, also auf die, die in Bewegungsrichtung verschoben sind. "Hinter" beschreibt entsprechend die Positionen, die der Reiz nicht (mehr) durchlaufen wird, also Positionen, die entgegen der Bewegungsrichtung verschoben sind.

Versuchsablauf

Wie üblich begannen die eigentlichen Versuchsdurchgänge nach Vorgabe der schriftlichen Instruktion und einigen Übungsdurchgängen. Der Versuchsablauf entsprach nahezu vollständig dem in Experiment 3, mit folgenden Ausnahmen: In jedem Durchgang erschien der Marker während der Reizbewegung an einer bestimmten Position. Der Effekt – also der Bewegungsabschnitt, in dem der Marker auftauchte – wurde geblockt vorgegeben. Der Marker erschien also innerhalb eines Blocks immer gleichzeitig mit dem Reiz bzw. wenn der Reiz die Mitte passierte (Fröhlich-Effekt versus flash-lag Effekt). Die Blockung des Faktors Effekt wurde vorgenommen, um die Ergebnisse besser mit denen des nachfolgenden Experiment vergleichen zu können, in

dem in jedem Fall geblockt werden mußte (siehe Abschnitt 5.1.3.3). Statt der Markierungslinie erschienen in jedem Durchgang 500 ms nach Verschwinden des Quadrats die beiden oben beschriebenen, horizontal angeordneten Fenster mit dem Text "Marker links" bzw. "Marker rechts". Durch Verschieben der Maus konnten die Vpn die jeweilige Alternative auswählen und diese durch anschließendes Drücken der linken Maustaste bestätigen. Die Vpn hatten zusätzlich die Möglichkeit, die rechte Maustaste zu drücken, um anzugeben, daß sie einen Durchgang vollständig übersehen hatten. Dieser wurde dann als fehlender Wert in die Datendatei eingetragen und später von der Auswertung ausgeschlossen. Jeder der Blöcke bestand aus insgesamt 352 Durchgängen (22 Markerpositionen x 16 Wiederholungen). Die Reihenfolge der Blöcke wurde ausbalanciert, und die Abfolge der einzelnen Durchgänge war zufällig. Jeder Block enthielt nach der Hälfte der Durchgänge eine Pause.

Versuchspersonen

Es nahmen 15 Vpn am Experiment teil (6 männliche und 9 weibliche). Ihr Alter betrug im Durchschnitt 25.9 Jahre und sie erhielten 12 DM pro Stunde für die Teilnahme. Alle Teilnehmer verfügten über vollständige oder voll korrigierte Sehschärfe und wurden vorab nicht über die Hypothesen informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Für jede Vp wurde getrennt für beide Effekte eine psychophysische Häufigkeitsverteilung bestimmt, d.h. es wurde die jeweilige Häufigkeit ermittelt, mit der eine Vp für eine bestimmte Marker-Reiz-Distanz angab, den Marker vor bzw. hinter dem Reiz gesehen zu haben. Negative Marker-Reiz-Distanzen kennzeichnen die Fälle, in denen sich der Marker objektiv hinter dem Reiz befand, positive Distanzen beziehen sich entsprechend auf Fälle in denen der Marker vor dem Reiz gezeigt wurde. Abbildung 5.20 zeigt zur Veranschaulichung die über Vpn gemittelten Häufigkeitsverteilungen für die beiden Effekte. Die gestrichelte Linie entspricht der idealen Referenzlinie, in der alle Urteile korrekt wären, die Vp also immer genau dann "Marker vor dem Reiz" geurteilt hätte, wenn dieser sich tatsächlich vor dem Reiz befunden hat.

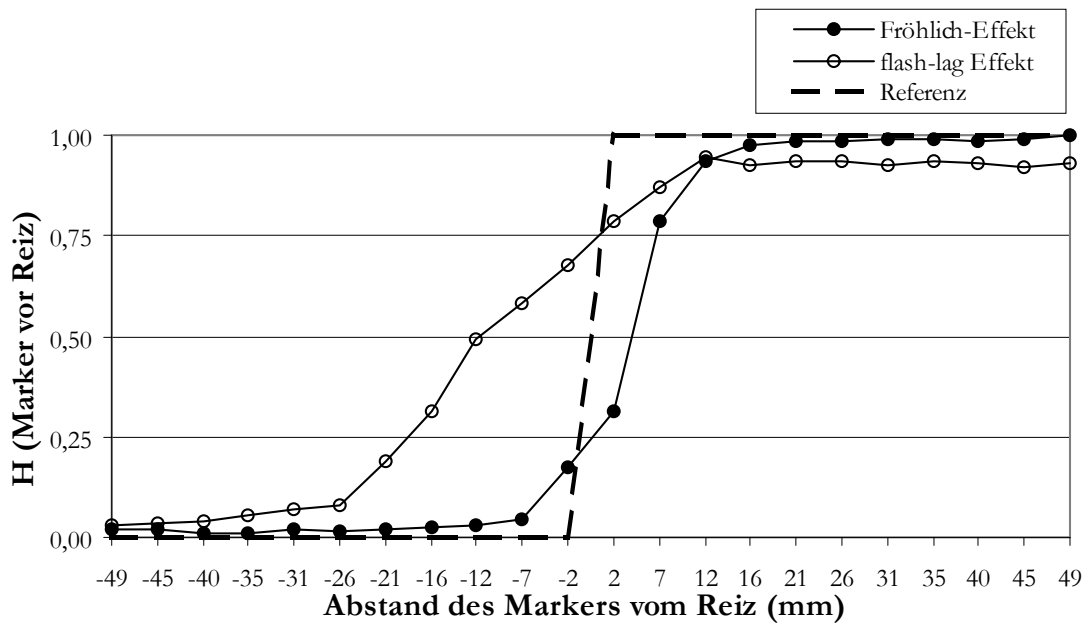


Abbildung 5.20 Gemittelte relative Wahrscheinlichkeiten in Experiment 8 für das Urteil "Marker weiter außen als Reiz" für den Fröhlich- und den flash-lag Effekt im Vergleich zu vollständig korrekten Antworten (gestrichelte Referenzlinie), N = 15.

Mit Hilfe solcher Häufigkeitsverteilungen wurde im Anschluß für die einzelnen Vpn – getrennt für beide Effekte – die Marker-Reiz-Distanz geschätzt, bei der Marker und Reiz auf gleicher Höhe wahrgenommen wurden, die Urteile "Marker vor" bzw. "Marker hinter dem Reiz" also gleich wahrscheinlich waren. Ein positiver Wert würde bedeuten, daß der Marker hinter dem Reiz gezeigt werden muß, um auf gleicher Höhe wahrgenommen zu werden. Wenn man davon ausgeht, daß der Marker an seiner tatsächlichen Position wahrgenommen wird, würde dies für eine Fehllokalisierung des bewegten Reizes in Bewegungsrichtung sprechen. Ein negativer Wert würde entsprechend bedeuten, daß der Marker vor dem Reiz gezeigt werden muß, um an einer identischen Position wahrgenommen zu werden. Hier hätte man den bewegten Reiz demnach entgegen der Bewegungsrichtung fehllokalisiert.

Zur Bestimmung dieser Punkte subjektiver Gleichheit (**point of subjective equality; PSE**) in bezug auf die räumliche Position von Reiz und Marker wurde die logit-Analyse von Finney (1971) eingesetzt. Hierbei handelt es sich um ein parametrisches Verfahren, das mit Hilfe der 'Maximum-Likelihood-Iteration' arbeitet. Das mathematische Modell geht davon aus, daß für jeden Marker-Reiz-Abstand eine bestimmte Wahrscheinlichkeit dafür existiert, daß die Vp "Marker vor dem Reiz" antwortet. Die absoluten Häufigkeiten sind demnach binomialverteilt. Außerdem wird angenommen, daß die Wahrscheinlichkeit

für das Urteil "Marker vor dem Reiz" über die Marker-Reiz-Abstände streng monoton ansteigt. Diese Wahrscheinlichkeitsfunktion $p(x) = F(a - bx)$ läßt sich durch die Parameter a und b beschreiben. Das Maximum-Likelihood-Verfahren dient zur Bestimmung dieser Parameter. Ist die Funktion ermittelt, läßt sich im Anschluß der PSE als der Wert errechnen, an dem die Funktion den Wert $1/2$ annimmt.

Dieses Verfahren läßt sich auf verschiedene Verteilungsfunktionen anwenden. Auf den ersten Blick scheint die Annahme einer Standardnormalverteilung plausibel zu sein. Eine Betrachtung der einzelnen Verteilungen zeigte aber, daß der Funktionsverlauf meist steiler war, als die Normalverteilung hätte erwarten lassen. Da sich mit logistischen Funktionsannahmen auch steilere Kurven modellieren lassen und zusätzlich ein Chi-Quadrat-Test zeigte, daß sich die Daten besser mit einem logistischen als mit einem normalverteilten Verlauf vereinbaren ließen, wurde eine logistische Verteilung angenommen und aufgrund dessen die logit-Analyse eingesetzt.

Eine V_p mußte von der Auswertung ausgeschlossen werden, da ihre Urteilshäufigkeit im Falle des flash-lag Effektes über die Marker-Reiz-Abstände nicht variierte, sondern konstant bei etwa 25% lag, d.h. der tatsächliche Abstand zwischen Marker und Reiz hatte hier keinerlei Einfluß auf das Urteil. Gemittelt über die übrigen V_{pn} ergaben sich die in Abbildung 5.21 dargestellten PSEs, also die relativen Fehllokalisationen zwischen Marker und Reiz.

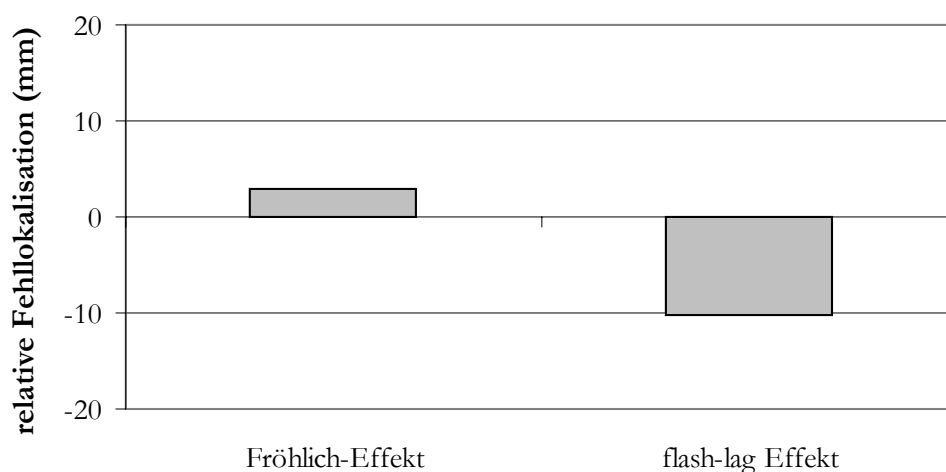


Abbildung 5.21 Gemittelte relative Fehllokalisation des Reizes im Verhältnis zum Marker in Experiment 8 für Fröhlich- und flash-lag Effekt und die beiden Exzentrizitäten, $N = 15$. Positive Werte kennzeichnen die Fälle, in denen der Marker vor dem Reiz gezeigt werden mußte, um auf gleicher Höhe lokalisiert zu werden, wie der Reiz.

Numerisch betrug die Fehllokalisierung des Reizes relativ zum Marker am Anfang der Bewegung (Fröhlich-Effekt) 2.83 mm, d.h. der Marker mußte etwa 3 mm vor dem Reiz dargeboten werden, um auf gleicher Höhe mit dem Reiz wahrgenommen zu werden. Für den flash-lag Effekt betrug die mittlere relative Fehllokalisierung hingegen -10.18 mm. Hier mußte also der Marker hinter dem Reiz – also an Positionen, an denen er in der Vergangenheit gewesen war – dargeboten werden, um am gleichen Ort mit dem Reiz wahrgenommen zu werden.

Der flash-lag Effekt war signifikant negativer als der Fröhlich-Effekt [$t(13) = 6.92$; $p < 0.001$]. Trotz der numerisch geringen Werte war der Fröhlich-Effekt signifikant höher als 0 [$t(13) = 2.82$; $p = 0.015$], während der flash-lag Effekt signifikant kleiner war als 0 [$t(13) = -4.05$; $p < 0.001$].

Dieses Experiment führte zu höchst unerwarteten Ergebnissen: Der Fröhlich-Effekt wurde sehr stark reduziert und der flash-lag Effekt wies einen negativen Wert auf. Der Marker muß also weiter innen (entgegen der Bewegungsrichtung) als der Reiz dargeboten werden, um auf gleicher Höhe wahrgenommen zu werden. Der Reiz zum Zeitpunkt des Markers wird demnach also nicht an einer zukünftigen, sondern an eine frühere Reizposition fehllokalisiert.

Zunächst einmal zeigt dieser Befund, daß es von der Methode abhängt, ob bzw. wie stark sich Wahrnehmungsphänomene experimentell nachweisen lassen. Der Fröhlich-Effekt verschwindet nahezu vollständig, obwohl sich die Reizanordnung lediglich durch die Markerdarbietung und durch die veränderte Aufgabe (Angabe relativer Positionen zu dieser stationären Referenz statt absoluter) von meinen früheren Experimenten unterscheidet. Der flash-lag Effekt tritt nicht auf bzw. wird sogar in sein Gegenteil verkehrt, obwohl die verwendete Aufgabe der aus den sonstigen Experimenten entspricht, allerdings eine veränderte Reizanordnung verwendet wird.

Es stellt sich die Frage, durch welche Aspekte der Reizanordnung und/oder Aufgabe die Reduzierung des Fröhlich-Effektes und die Umkehrung des flash-lag Effektes bedingt war. Möglich wäre etwa, daß der Marker überhaupt nicht an seiner tatsächlichen Position wahrgenommen wird und daher die relativen Positionsangaben nicht aussagekräftig in bezug auf Reizfehllokalisationen sind. Dies wäre – zusätzlich zu den Befunden aus Experiment 7 – kritisch für Nijhawans Extrapolationsansatz, da er behauptet, daß die

Fehllokalisierung des bewegten relativ zum stationären Reiz dadurch zustande kommt, daß der bewegte Reiz an eine zukünftige Position extrapoliert wird, während der stationäre Reiz zeitlich verzögert an seiner objektiven Position wahrgenommen wird. Wenn der Marker fehllokalisiert wird, wäre damit zwar nicht widerlegt, daß Extrapolationsprozesse stattfinden, zumindest wäre aber die Erfassung des Effektes über die relative Positionsangabe zu einem stationär aufblinkenden Reiz sehr fragwürdig.

5.1.3.3 Experiment 9

Mit Hilfe von Experiment 9 wurden zwei Ziele verfolgt: Erstens sollte weiter untersucht werden, inwieweit sich Fröhlich- und flash-lag Effekt ähneln. Hierzu wurden diesmal beide Effekte durch absolute Positionsangaben ermittelt. Zweitens sollte geklärt werden, ob die unerwarteten Ergebnisse im vorherigen Experiment auf die Fehllokalisierung des Markers zurückgingen. Zu diesem Zweck wurden nicht nur die absoluten Positionen des Reizes ermittelt, sondern auch die des Markers. So konnte aus der Differenz zwischen Reiz- und Markerlokalisierung ein weiteres relatives Maß für die Fehllokalisierung bestimmt und mit der relativen Fehllokalisierung in Experiment 8 verglichen werden.

Methode

Apparatur und Stimuli

Die Apparatur und die Stimuli entsprachen nahezu vollständig den in Experiment 8 verwendeten, d.h. es wurde mit der dynamischen Fixationshilfe sowie Reiz und Marker gearbeitet. Die einzige Ausnahme betraf die Positionsbeurteilung: Zur Angabe der absoluten Reiz- und Markerpositionen wurde die Markierungslinie aus Experiment 3 verwendet.

Design

Auch in diesem Experiment wurde ausschließlich foveofugale Bewegung eingesetzt. Variiert wurde der Faktor Effekt (Fröhlich-Effekt versus flash-lag Effekt), wobei sich hier "Effekt" auf den Zeitpunkt bezieht, an dem der Marker auftaucht, also zum Anfang oder in der Mitte der Bewegung. Der zweite Faktor war der zu lokalisierende Stimulus (bewegter Reiz versus Marker). Es handelte sich also um ein 2 x 2 Design.

Randomisiert wurden hier drei Faktoren: Erstens wurde der Ort des Markers relativ zum Reiz auf drei Stufen zufallsvariiert (-1.61° , 0 und $+1.61^\circ$ bzw. -11.25 , 0 und 11.25 mm), um zu verhindern, daß die Vpn für Marker und Reizposition stets die gleichen Werte einstellten. Außerdem wurden – wie in Experiment 8 – wiederum die Reizposition zum Zeitpunkt des Markers (4.36 und 8.36° bzw. 30.55 und 58.75 mm) und die Reizseite (links versus rechts) randomisiert, um ein gewisses Maß an räumlicher Unsicherheit aufrecht zu erhalten. Als abhängige Variable diente die jeweilige Fehllokalisierung des Reizes bzw. des Markers in Richtung der Reizbewegung.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entsprach vollständig dem von Experiment 8, mit der Ausnahme, daß absolute Positionen eingestellt wurden. Da für jede Kombination aus Effekt und eingestelltem Reiz ein eigener Block vorgegeben wurde, ergaben sich insgesamt vier Blöcke. Insgesamt wurden pro Block 120 Durchgänge vorgegeben. Die Abfolge der vier Blöcke wurde ausbalanciert, mit der Einschränkung, daß die beiden Blöcke, in denen jeweils die Marker- bzw. die Reizposition eingestellt werden sollte direkt nacheinander durchgeführt wurden. Die Abfolge der einzelnen Durchgänge in den Blöcken war ebenfalls zufällig, und jeder Block enthielt nach der Hälfte der Durchgänge eine Pause.

Versuchspersonen

Es nahmen 15 Vpn an Experiment 9 teil (9 Frauen und 6 Männer). Ihr Alter betrug im Durchschnitt 25.9 Jahre. Die Vpn erhielten 12 DM pro Stunde für ihre Teilnahme und verfügten über normale oder voll korrigierte Sehschärfe. Keiner der Teilnehmer wurde vorab über die Fragestellung informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Eine Vp mußte von der statistischen Auswertung ausgeschlossen werden, da sie in mehr als 50% aller Fälle durch Drücken der rechten Maustaste angegeben hatte, den Reiz bzw. den Marker nicht gesehen zu haben. Für jede Vp und jede Faktorkombination wurden Mediane für die Fehllokalisierung bestimmt. Abbildung 5.22 zeigt die gemittelten Mediane getrennt für die Effekte und den zu lokalisierenden Stimulus.

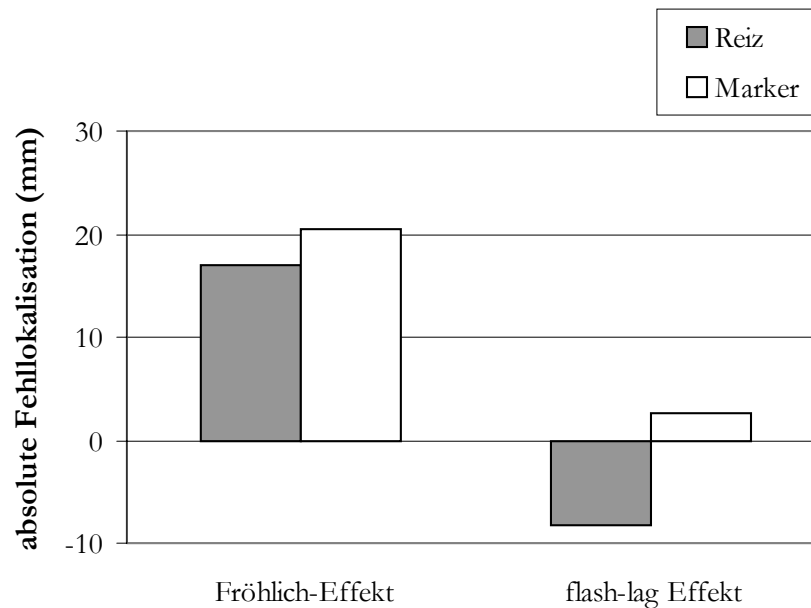


Abbildung 5.22 Gemittelte Fehllokalisierung getrennt für Effekte und den zu lokalisierenden Stimulus in Experiment 9, $N = 14$. Positive Werte stehen für eine Fehllokalisierung in Bewegungsrichtung.

Es wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse über die Faktoren Effekt und zu lokalisierenden Reiz berechnet. Es ergab sich ein Haupteffekt für den Faktor Effekt [$F(1, 13) = 225.79$; $MSe = 28.77$; $p < 0.001$]. Die Fehllokalisierungen von Reiz und Marker zu Beginn der Bewegung waren demnach höher als die in der Mitte der Bewegung. Es ergab sich außerdem ein Haupteffekt für den zu lokalisierenden Stimulus [$F(1, 13) = 6.07$; $MSe = 79.54$; $p = 0.01$]: Die Fehllokalisierung des Markers war insgesamt positiver als die des Reizes. Interessanter war aber die ebenfalls signifikante Interaktion zwischen Effekt und markiertem Reiz [$F(1, 13) = 5.60$; $MSe = 36.86$; $p = 0.034$].

Gemäß der Scheffé-Tests ging die Interaktion darauf zurück, daß es für den Fröhlich-Effekt keinen Unterschied machte, ob die Position des Markers oder die des Reizes eingestellt wurde, wohl aber für den flash-lag Effekt [$Diff_{crit} = 4.96$; $MSe = 36.86$; $p < 0.05$]. Demnach wurden Marker und Reiz zu Beginn der Bewegung um den gleichen Betrag in Richtung der Bewegung fehllokalisiert (der Faktor markierter Reiz hatte keinen Effekt unter der Bedingung Fröhlich-Effekt), während in der Mitte der Bewegung das Ausmaß der Fehllokalisierung für die beiden Objekte unterschiedlich war (unter der Bedingung flash-lag Effekt lag ein Einfluß des Faktors markierter Reiz vor). Genaugenommen wurde in der Mitte der Bewegung der Reiz entgegen der Bewegungsrichtung fehllokalisiert, während der Marker an seiner tatsächlichen Position

wahrgenommen wurde (für den Fröhlich-Effekt betrug die Fehllokalisierung des Reizes 17.07 und die des Markers 20.40 mm, während für den flash-lag Effekt der Reiz um -8.32 und der Marker um 2.70 mm fehllokalisiert wurde).

Aus diesen Daten ließen sich relative Fehllokalisationen des Reizes im Verhältnis zum Marker berechnen, indem die wahrgenommene absolute Position des Markers von der des Reizes abgezogen wurde. Anschließend konnte geprüft werden, ob die auf diese Weise berechneten relativen Positionsangaben aus Experiment 8 den Verschiebungen des Punktes subjektiver Gleichzeitigkeit aus Experiment 9 entsprachen oder nicht. Abbildung 5.23 zeigt die ermittelten relativen Abweichungen zwischen Reiz- und Markerposition für Experiment 9 im Vergleich zu denen aus Experiment 8.

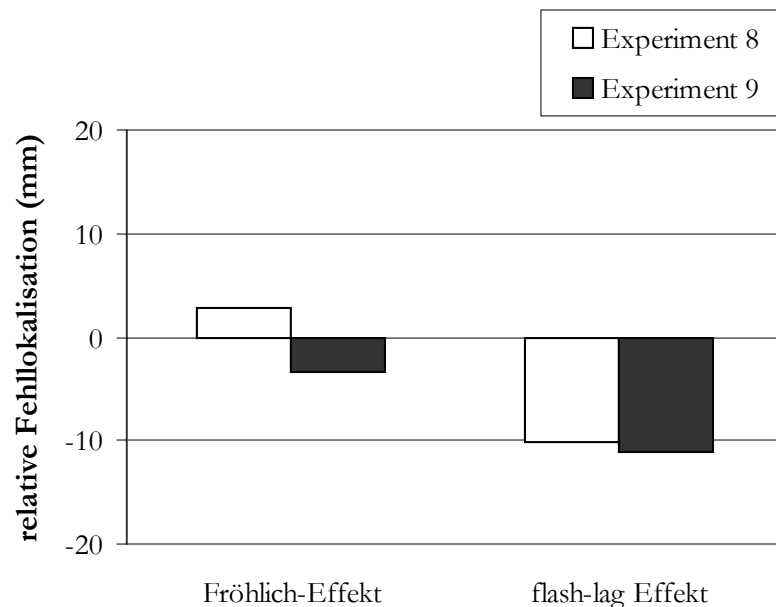


Abbildung 5.23 Gemittelte relative Fehllokalisierung des Reizes im Verhältnis zum Marker getrennt für Experimente und Effekte. Positive Werte entsprechen den Fällen, in denen der Reiz weiter in Bewegungsrichtung lokalisiert wurde als der Marker.

Betrachtet man die relativen Abweichungen für Experiment 9 isoliert – also ohne Berücksichtigung der absoluten Abweichungen –, zeigt sich ein sehr ähnliches Befundmuster wie in Experiment 8: Der Fröhlich-Effekt verschwindet nahezu (wobei er hier numerisch leicht negativ ist), während der flash-lag Effekt einen negativen Wert annimmt. Die Ähnlichkeit dieser relativen Fehllokalisationen wurde durch eine Varianzanalyse über die Faktoren Experiment und Effekt bestätigt: Der Faktor Experiment wies keinen Haupteffekt auf [$p = 0.24$], und die Interaktion zwischen

Experiment und Effekt wurde ebenfalls nicht signifikant [$p = 0.17$]. Bezieht man die absoluten Positionsangaben aus Experiment 9 mit ein, wird dieses Befundmuster der relativen Fehllokalisationen klarer: Zu Beginn der Bewegung wird der Marker mit dem Reiz fehllokalisiert, und daher ist eine relative Positionsangabe zwischen Marker und Reiz – wie sie in Experiment 8 eingesetzt wurde – kein sinnvolles Maß für die Erfassung des Fröhlich-Effektes. Der Effekt ist also in Experiment 8 nur scheinbar reduziert bzw. fast vollständig verschwunden. Im Gegensatz dazu wird in der Mitte der Bewegung der Marker an seiner tatsächlichen Position wahrgenommen, der Reiz aber an einer früheren Position lokalisiert. Daher führen relative und absolute Positionsangaben zu identischen Ergebnissen: Einem negativen flash-lag Effekt.

Hieraus ergeben sich zwei Fragen: Wodurch ist die Fehllokalisation des Markers am Anfang der Bewegung bedingt, und warum wird der Reiz in der Mitte der Bewegung an einem früheren Ort lokalisiert?

Eine mögliche Erklärung für die Fehllokalisation des Markers zu Beginn der Bewegung könnten Gedächtniseffekte sein. Wenn man annimmt, daß der Reiz an seiner tatsächlichen Position wahrgenommen wird, aber die Repräsentation aufgrund der anschließend stattfindenden Bewegung verzerrt wird, könnte dies auch die gleichzeitige Verlagerung des stationären Reizes erklären, da dieser ja auf gleicher Höhe mit dem bewegten Reiz wahrgenommen und entsprechend mitverzerrt werden sollte. Diese Überlegung soll hier zurückgestellt werden, da sie dem Ansatz zur Erklärung des representational momentums sehr ähnlich ist, der im nächsten Abschnitt behandelt und dort auf Gültigkeit geprüft wird. Möglicherweise wird aber auch der Marker, wenn er zu Beginn der Bewegung gezeigt wird, in das Perzept des Reizes integriert, weil er gleichzeitig auftaucht und zumindest relativ dicht an ihn anschließt. Da die Pfeile subjektiv zum Reiz gehören, würden sie entsprechend mit verlagert. An dieser Stelle sei noch angemerkt, daß solche Fehllokalisationen stationärer Reize in Richtung der Bewegung eines zweiten Reizes kein neues Phänomen darstellen, sondern bereits in den zwanziger Jahren des letzten Jahrhunderts beobachtet wurden (Hazelhoff & Wiersma, 1925).

Die Tatsache, daß mit Hilfe meiner Anordnung ein negativer flash-lag Effekt gefunden wurde, geht vermutlich auf die hohe Reizgeschwindigkeit zurück, da die sonstige

Versuchsordnung den bisher verwendeten relativ ähnlich war. Folgender Erklärungsversuch erscheint mir plausibel: Ein Reiz wird bei hoher Geschwindigkeit als verwischter Balken wahrgenommen (Kirschfeld & Kammer, 1999), d.h. frühere Positionen wirken in der aktuellen Wahrnehmung nach. Wird nun die äußere Begrenzung des verbreiterten Balkens mit der Markerposition verglichen oder durch Verschieben der Markierungslinie als wahrgenommene Reizposition eingestellt, würde sich eine Verschiebung entgegen der Bewegungsrichtung ergeben. Wenn diese Überlegungen richtig sind, würde der flash-lag Effekt bei hohen Geschwindigkeiten nicht verschwinden, sondern wäre lediglich – aufgrund der Verbreiterung – in meiner Versuchsanordnung nicht nachzuweisen gewesen. Ob der flash-lag Effekt bei hohen Geschwindigkeiten lediglich "verdeckt" ist oder tatsächlich verschwindet, läßt sich an dieser Stelle nicht entscheiden.

Insgesamt sprechen die Befunde dafür, daß es sich beim Fröhlich- und beim flash-lag Effekt um Phänomene handelt, die sich unter unterschiedlichen Bedingungen nachweisen lassen und – zumindest im Detail – unterschiedlich erklärt werden müssen. Denn selbst wenn die Verbreiterung den flash-lag Effekt nur "verdeckt" hat, verhindert diese anscheinend nicht das Auftreten des Fröhlich-Effektes. Außerdem zeigt sich zu Beginn der Bewegung auch eine Verlagerung des Markers, während dies in der Mitte der Bewegung nicht der Fall ist. Darüber hinaus zeigt sich der flash-lag Effekt bei Geschwindigkeiten, unter denen sich gewöhnlich kein Fröhlich-Effekt nachweisen läßt (ob umgekehrt der flash-lag Effekt ausschließlich bei niedrigen Geschwindigkeiten auftritt, ist noch nicht geklärt). Die Ergebnisse zum Richtungswechsel sprechen gegen den kortikalen Extrapolationsansatz. Der nicht gefundene flash-lag Effekt läßt sich hier nicht über eine wahrgenommene Verbreiterung erklären. Die Verbreiterung bezieht sich nur auf Positionen, die der Reiz bereits passiert hat; laut Extrapolationsansatz war aber eine Verschiebung an Positionen vorhergesagt worden, an denen der Reiz nie angekommen ist. Damit erscheint es unplausibel, daß der Fröhlich-Effekt über kortikale Extrapolation erklärt werden kann. Andererseits wird durch die Ablehnung des Extrapolationsansatzes die Hypothese des Latenzunterschiedes – und damit möglicherweise die Idee der Latenzverkürzung für den bewegten Reiz aufgrund konstant fokussierter Aufmerksamkeit – zur Erklärung des flash-lag Effektes wahrscheinlicher. Dies setzt allerdings voraus, daß die "Verdeckungs-idee" durch die wahrgenommene

Reizverbreiterung zur Erklärung des umgekehrten flash-lag Effektes richtig ist, der Effekt bei hoher Geschwindigkeit also nicht verschwindet.

5.2 Das representational momentum

Nicht nur am Anfang und während der Reizbewegung können Fehllokalisationen auftreten, sondern auch nach deren Abschluß. Zeigt man Vpn etwa statische Bilder einer Bewegungsabfolge (z.B. Bilder, die unterschiedliche Rotationswinkel eines Rechtecks zeigen) und fragt anschließend nach der Objektposition im letzten Bild, so wird diese Position in Richtung der implizierten Bewegung verzerrt erinnert, d.h. so, als hätte sich das Objekt bis zum letzten Bild weiter bewegt, als dies tatsächlich der Fall war. Dieses Tendenz – die Gedächtnisrepräsentation eines Objektes in Richtung der implizierten Veränderungsdimension zu verzerren – wurde von Freyd und Finke (1984) zum ersten Mal beobachtet und als '**representational momentum**' bezeichnet. Es handelt sich um ein Phänomen von großem aktuellem Interesse, dem derzeit ganze Konferenzen gewidmet sind. Es ist im Zusammenhang meiner Arbeit vor allem deshalb interessant, weil es nachweist, daß Positionstäuschungen - und damit möglicherweise auch der Fröhlich-Effekt - durch Gedächtniseffekte bedingt oder zumindest beeinflußt werden können.

5.2.1 Die Analogie zum 'physical momentum' und bestätigende Befunde

Freyd und Finke (1984) zeigten ihren Vpn eine Sequenz von drei statischen Bildern eines Rechtecks. Jedes Bild implizierte eine Rotation des Rechtecks um 17° im Verhältnis zum vorherigen Bild ('inducing patterns'). Impliziert war entweder eine Rotation mit oder gegen den Uhrzeigersinn. Die einzelnen Bilder wurden für je 250 ms gezeigt und auch der zeitliche Abstand zwischen ihrer Darbietung betrug 250 ms (interstimulus interval; ISI). Es handelte sich also um Reizgegebenheiten, unter denen keine Scheinbewegung auftrat. Nach einem Retentionsintervall von ebenfalls 250 ms wurde ein Testbild ('test pattern') dargeboten, und die Vpn sollten entscheiden, ob die gezeigte Reizposition mit der im dritten Bild ('memory pattern') übereinstimmte oder nicht. Das Objekt wies entweder dieselbe Rotationsstellung wie im dritten Bild auf oder war um 6° in bzw. gegen die implizierte Bewegungsrichtung verlagert. War es also nicht mit dem dritten Bild identisch, zeigte es einen früheren bzw. späteren Rotationswinkel als das dritte Bild. Abbildung 5.24

verdeutlicht die Abfolge der verwendeten bewegungsinduzierenden Bildsequenz und des Testbildes. Das Testbild stimmt hier mit dem dritten Bild überein.

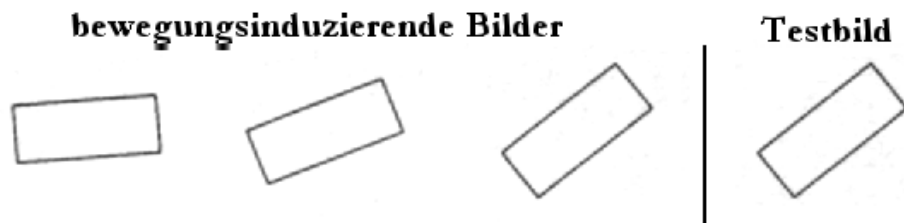


Abbildung 5.24 Verwendete Bildsequenzen in Freyd und Finke (1984). In diesem Beispiel entspricht das Testbild dem dritten Bild der Sequenz.

Es zeigte sich, daß die Vpn wesentlich mehr Testbilder fehlerhaft als identisch akzeptierten, wenn das Testbild in Bewegungsrichtung gedreht war (43.9%), als wenn es in die Gegenrichtung rotiert war (6.4%). Außerdem war die Reaktionszeit für die korrekte Zurückweisung bei den in Bewegungsrichtung weiter rotierten Distraktorbildern mit 892 ms deutlich höher, als die bei entgegengesetzt rotierten Bildern (676 ms). Das representational momentum zeigte sich also sowohl als **Fehler-** als auch als **Reaktionszeiteffekt**.

Im Anschluß an diese erste Arbeit verfeinerten die Autoren ihre Untersuchungsmethode, um das Ausmaß der Urteilsverzerrung genauer erfassen zu können (Freyd & Finke; 1985). Als bewegungsinduzierende Bildsequenz wurden wiederum drei Bilder vorgegeben (z.B. abermals das rotierende Rechteck). Im Unterschied zu den früheren Experimenten wurden aber die Testbilder nicht auf drei, sondern auf neun Stufen relativ zur Objektposition im dritten Bild variiert. Die Variationsbreite war relativ groß; so wurde die Rotationsstellung relativ zum vorherigen Bild beispielsweise in einem Bereich von -8° bis $+8^\circ$ variiert. Läßt man die Vpn für jedes Bild mehrfach angeben, ob es den gleichen Rotationswinkel zeigt wie das dritte Bild, erhält man eine Häufigkeitsverteilung für die Gleich-Urteile. Die Verschiebung dieser Verteilung zeigt anschaulich die Größe der Repräsentationsverzerrung der dritten Objektposition in Richtung der induzierten Bewegung (Abbildung 5.25 zeigt ein Beispiel für eine solche Häufigkeitsverteilung aus Freyd und Finke, 1985). Die Autoren berechneten zusätzlich eine quadratische Regression über die Daten und ermittelten so die numerische Verschiebung. Diese veränderte Versuchsmethode wurde in fast allen Anschlußuntersuchungen eingesetzt.

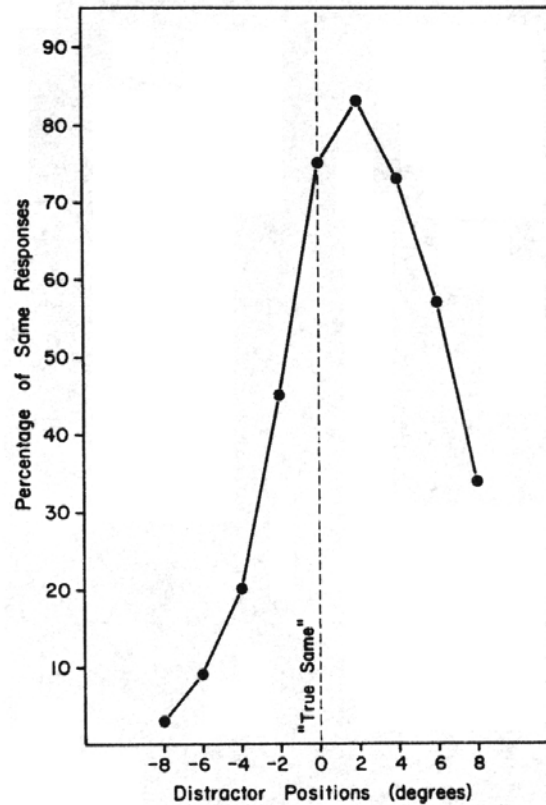


Abbildung 5.25 Beispiel für die Repräsentationsverzerrung in Form einer Häufigkeitsverteilung. Die negativen Distraktorpositionen entsprechen Verschiebungen entgegen der impliziten Bewegungsrichtung, die positiven in Richtung der Bewegung (nach Freyd und Finke, 1985).

Die ursprüngliche Erklärung des representational momentum durch die Entdecker ergibt sich bereits aus der Namensgebung. Die Bezeichnung war bewußt in Analogie zum 'physical momentum' gewählt worden, also zur Tendenz eines physikalisch bewegten Objekts, seine Bewegung in die bisherige Richtung beizubehalten (Freyd & Finke, 1984). In einem Anschlußartikel (Finke & Freyd, 1985) führten sie ihre Überlegungen zur Beziehung zwischen representational momentum und physical momentum näher aus:

"Our explanation for this effect is that the human mind has internalized the properties of physical momentum, with the consequence that representational momentum and physical momentum obey many of the same laws." (Finke & Freyd, 1985, S. 780)

Im Anschluß an die in diesem Zitat geäußerte Auffassung gingen die Autoren auf die Mechanismen ein, die ihrer Ansicht nach an der Entstehung des representational momentums beteiligt sind. **Erstens** soll die implizierte Objektbewegung dazu führen, daß die Bewegung automatisch in die Zukunft extrapoliert wird. Auf die Frage, wie genau solche Extrapolationsprozesse beschaffen sind, gehen die Autoren nicht ein, so daß schwer entscheidbar ist, inwieweit ihre Annahmen mit denen zur Erklärung des flash-lag

Effektes übereinstimmen. Da aber die Reizanordnung noch nicht einmal Scheinbewegung erzeugte, denke ich, daß es sich um höhere Prozesse handelt als die, die von Nijhawan angenommen werden. **Zweitens** bestimmt der Moment, der mit der implizierten Bewegung assoziiert ist, die Stärke der Extrapolationstendenz, d.h. wie leicht oder schwer diese Tendenz unterdrückt werden kann. **Drittens** soll kognitiver Aufwand notwendig sein, um die Extrapolation abzubrechen, so wie eine Gegenkraft notwendig ist, um ein reales bewegtes Objekt anzuhalten. **Viertens** schließlich kann die mentale Extrapolation nicht sofort gestoppt werden, sondern wirkt noch eine gewisse Zeit über den Punkt hinaus nach, zu dem die "Haltekraft" eingesetzt wurde.

In verschiedenen Experimenten wurden die theoretischen Annahmen zum representational momentum vor dem Hintergrund folgender Überlegung geprüft: Wenn die Analogie zwischen representational momentum und physical momentum angemessen ist, sollten alle Faktoren, die das physical momentum beeinflussen – wie z.B. Veränderungen der Geschwindigkeit oder der Masse – auch das representational momentum beeinflussen. Bereits Freyd und Finke (1984) konnten in ihrer ersten Arbeit nachweisen, daß der Effekt an kohärente implizierte Bewegung gebunden ist, denn er verschwand, wenn die Displays – durch Vertauschung der ersten beiden Bilder – keine fortlaufende Bewegung mehr zeigten. Ebenso konnte ausgeschlossen werden, daß die Vpn einfach die nächste logische Position in der Sequenz schätzten: Wurden nämlich nur drei Testbilder verwendet und entsprach der weiter in Bewegungsrichtung rotierte Distraktor dem logisch folgenden Bild bei Beibehaltung der Rotation, verschwand das representational momentum, d.h. der in Bewegungsrichtung rotierte Distraktor wurde nicht häufiger gewählt als der, der in die Gegenrichtung rotiert war (Freyd & Finke, 1984). Eine weitere Studie (Finke & Freyd, 1985) sprach dafür, daß der Extrapolationsprozeß tatsächlich automatisch stattfindet und nicht unterdrückt werden kann, da Rückmeldung über die Richtigkeit der Urteile die Leistung der Vpn nicht verbesserte.

Desweiteren konnten Finke und Freyd (1985) nachweisen, daß der Effekt nicht an die Rotation einer einfachen geometrischen Figur gebunden ist, sondern auch durch komplexe Bewegungsmuster erzeugt werden kann. Die Bilder zeigten hier drei Punkte, von denen sich jeder über die Bilder in eine andere Richtung bewegte. Eine beispielhafte Abfolge zeigt Abbildung 5.26.

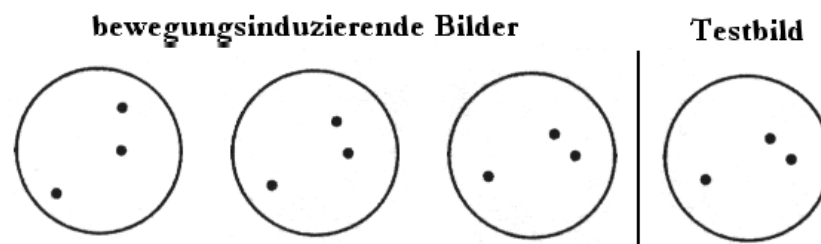


Abbildung 5.26 Verwendete Bildsequenzen in Finke & Freyd (1985). In diesem Beispiel entspricht das Testbild dem dritten Bild der Sequenz.

Interessant ist auch eine Studie von Kelly und Freyd (1987) zu der Frage, inwieweit das representational momentum an ein gleichbleibendes Objekt gebunden ist. Hierzu untersuchten sie, was geschieht, wenn man zwischen den Displays bestimmte Dimensionen der Objekte – die vollständige äußere, einen einzelnen Aspekt der äußeren oder die innere Kontur – verändert. Variierte die äußere Kontur des auf den Bildern gezeigten Objektes während der implizierten Rotation extrem – etwa von einem Rechteck über ein Stundenglas zu einem Dreieck, während das Testbild in einer Raute bestand (siehe Abbildung 5.27a) –, verschwand der Effekt. Waren die Objektveränderungen aber so gewählt, daß sich nur eine einzelne Objektdimension veränderte – z.B. die Breite eines Rechtecks, während die Länge konstant blieb (Abbildung 5.27b) – blieb der Effekt (wenn auch in geringerem Ausmaß) erhalten. Als die Autoren in einem weiteren Experiment das Muster innerhalb der Objekte veränderten (Abbildung 5.27c), zeigte sich kein signifikanter Fehlereffekt, wohl aber ein statistisch bedeutsamer Einfluß auf die Reaktionszeit. Auch diese Ergebnisse erscheinen vor dem Hintergrund der Analogie physical momentum – representational momentum plausibel. Nur wenn Bilder gezeigt werden, die als Bewegung eines konkreten Objektes interpretiert werden können, tritt ein representational momentum auf. Werden hingegen die Displays als verschiedene Objekte interpretiert, zeigt sich keine Verschiebung.

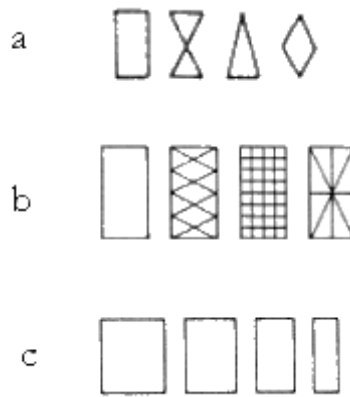


Abbildung 5.27 Beispielreize aus Kelly und Freyd (1987) bei Veränderung der vollständigen äußeren (a), einer Dimension der äußeren (b) bzw. der inneren Kontur (c). Die Bilder zeigen nicht die jeweilige Rotationsstellung der Reize.

Die nächstliegende Frage, wenn man von der Analogie ausgeht – ob nämlich das Ausmaß des Effektes von der implizierten Geschwindigkeit abhängt –, wurde von Freyd und Finke (1985) untersucht. Wenn physical momentum und representational momentum tatsächlich gleiche Merkmale aufweisen, sollte die Verschiebung mit der induzierten Geschwindigkeit ansteigen, da analog die Dauer bis zum vollständigen Stop eines Objekts mit der Geschwindigkeit ansteigt. Die Autoren verwendeten wiederum das rotierende Rechteck und variierten das ISI in einem Bereich zwischen 100 und 900 ms und damit auch die implizierte Rotationsgeschwindigkeit zwischen 48.57° und 14.78° auf dem Kreisbogen. Die Darbietungszeit für die einzelnen Bilder und das Retentionsintervall betrug durchgehend 250 ms. Es zeigte sich tatsächlich ein linearer Anstieg der Verschiebung mit zunehmender implizierter Geschwindigkeit. Finke, Freyd und Shyi (1986) replizierten die lineare Abhängigkeit des Effektes von der implizierten Geschwindigkeit unter Verwendung komplexer Punktbewegungen.

Die Analogie zum physical momentum sagt auch vorher, daß sich eine Beschleunigung bzw. Verlangsamung auf die Größe des representational momentum auswirken sollte, denn je stärker die Beschleunigung, desto größer wäre die Strecke, die ein Objekt bis zum vollständigen Halt noch zurücklegen könnte. Finke, Freyd und Shyi (1986) untersuchten diese Hypothese, indem sie durch entsprechend zunehmende, gleichbleibende oder abnehmende Versetzung von Punkten eine um $4^\circ/s$ zunehmende, eine gleichbleibende oder eine um $4^\circ/s$ abnehmende Geschwindigkeit induzierten (die mittlere Geschwindigkeit war in allen drei Fällen $0.6^\circ/s$). Auf diese Art konnten sie tatsächlich einen Einfluß der Beschleunigung oder Verlangsamung auf die Verschiebung nachweisen.

In der Beschleunigungsbedingung war das Maximum für die Gleich-Urteile weiter in positiver Richtung verschoben als bei einer gleichbleibenden Geschwindigkeit, und bei dieser wiederum stärker als bei der Verlangsamung (Freyd und Finke [1985] konnten diesen Befund für das rotierende Rechteck replizieren). Aus diesem Befund geht allerdings nicht hervor, ob das Ausmaß des representational momentum ausschließlich durch die implizierte Geschwindigkeit im letzten induzierenden Schritt festgelegt wurde ('final inducing step'), oder ob die V_{pn} tatsächlich sensitiv für die Beschleunigung bzw. Verlangsamung waren, die über die Bilder hinweg induziert worden war ('final instantaneous implied velocity'), die Beschleunigung bzw. Verlangsamung nach Zeigen des letzten induzierenden Bildes also praktisch fortführten. Bei Gültigkeit der Analogie zum physical momentum sollte die endgültige induzierte Geschwindigkeit entscheidend sein, was in einer Anschlußstudie von Finke, Freyd und Shyi (1986) auch nachgewiesen werden konnte.

Hubbard und Bharucha (1988) führten Experimente durch, die den Bedingungen zur Untersuchung des Fröhlich-Effektes am ähnlichsten waren, denn sie untersuchten, ob das representational momentum an implizierte Bewegung durch die stationären Bilder gebunden ist oder auch bei linearer Reizbewegung auf dem Bildschirm auftritt. Auch für diese Anordnung sollte sich bei Gültigkeit der Analogie eine Verlagerung der letzten gezeigten Position ergeben. Der Reiz war ein ausgefüllter schwarzer Kreis mit einem Durchmesser von 50'. Er tauchte im Mittelpunkt einer der vier möglichen Bildschirmkanten auf und bewegte sich horizontal oder vertikal mit einer Geschwindigkeit von 5.8 bis 34.8°/s über den Bildschirm. Es gab keinen festen Fixationspunkt. Ähnlich wie in den Experimenten zum Fröhlich-Effekt stellten die V_{pn} nach dem Verschwinden der Reize einen Marker auf die Position ein, an der sie den Reiz hatten verschwinden sehen (allerdings war hier der Marker in alle Richtungen frei beweglich). Auch mit dieser Methode konnte das representational momentum nachgewiesen werden: Der eingestellte Ort war in Bewegungsrichtung gegenüber dem tatsächlichen Offset-Ort verschoben¹⁰. Auch der bekannte Anstieg des Effektes mit zunehmender Geschwindigkeit wurde repliziert. Anders als beim Fröhlich-Effekt fanden sich allerdings auch Unterschiede für die Bewegungsachsen: Die Fehllokalisierung für horizontale Bewegung war größer als für vertikale. In einem späteren Experiment konnte

Hubbard (1990) zusätzlich zeigen, daß das Ausmaß des representational momentum für diagonale Bewegung zwischen der horizontalen und der vertikalen Richtung angesiedelt war. Der Effekt war kleiner als bei horizontaler Bewegung, aber größer als bei vertikaler.

Daß die ermittelte Verschiebung bei Verwendung linearer Reizbewegung kein Artefakt der Einstellungsmethode darstellt, wies Hubbard (1990) durch ein Experiment nach, in dem er wiederum lineare Scheinbewegung verwendete, aber eine Zwangswahl-Aufgabe einsetzte, ähnlich wie Freyd und ihre Mitarbeiter in den früheren Experimenten. Auch hier wurde ein representational momentum gefunden.

In weiteren Experimenten konnte zusätzlich ein representational momentum für einen spiralförmigen Pfad (Freyd und Jones, 1994) und für Kreisbewegung (Hubbard, 1996) nachgewiesen werden.

Freyd und Johnson (1987) untersuchten die zeitliche Dynamik des representational momentum, genauer gesagt die Auswirkung des Retentionsintervalls auf das Ausmaß der Fehllokalisation. Gemäß der Analogie zum physical momentum sollte die Verlagerung umso größer werden, je länger das Retentionsintervall wird, bis schließlich eine Asymptote erreicht wird und der Effekt nicht mehr weiter zunimmt. Sie variierten das Retentionsintervall in einem Bereich von 10 bis 900 ms und fanden zunächst einen Anstieg bis zu einem Retentionsintervall von etwa 300 ms. Allerdings blieb der Effekt nicht auf diesem hohen Niveau, sondern fiel anschließend ab, bis er fast wieder den Nullpunkt erreicht hatte. Um diesen unerwarteten Abfall bei langen Retentionsintervallen zu erklären, nahmen die Autoren an, daß sich zunächst ein "normales" representational momentum zeigt, später aber ein Prozeß die Oberhand gewinnt, der die einzelnen Reizpositionen mittelt bzw. die zentrale Tendenz über die Bilder bestimmt. Ich halte diesen Erklärungsversuch für unplausibel, da für einen Mittelungsprozeß exakte Reizpositionen gespeichert sein müßten. Diese werden aber doch gerade in Richtung der implizierten Bewegung verzerrt.

Welche Relevanz hat dieser Theorieansatz für den Fröhlich-Effekt bzw. umgekehrt das Wetterwart-Modell für das representational momentum? Wendet man die Analogie zum physical momentum auf den Anfang der Bewegung an, so sollte der Beginn der

¹⁰ Zusätzlich zur Verlagerung in Bewegungsrichtung fanden die Autoren auch eine Fehllokalisation der letzten wahrgenommen Position nach unten. Sie erklärten dieses Phänomen über "Gravitationseffekte".

Bewegung nahezu exakt erinnert werden können, da reale Objekte einige Zeit benötigen, um ihre endgültige Geschwindigkeit zu erreichen. Gilt hingegen die Analogie nur für die Haltekraft am Ende der Bewegung – was natürlich die Überzeugungskraft des Ansatzes schwächen würde –, sollte sich für den Bewegungsbeginn eine Verzerrung in Richtung der nachfolgenden Bewegung ergeben. Möglicherweise könnte hier sogar eine größere Verzerrung erwartet werden, weil die nachfolgende Bewegung nicht nur impliziert ist, sondern anschließend tatsächlich stattfindet und die "Haltekraft" entsprechend erst viel später – beim Verschwinden des Reizes – einsetzt. Nach dieser Idee würde die Startposition nicht verlagert wahrgenommen, sondern verzerrt erinnert werden. Auch der Einfluß der Geschwindigkeit auf den Fröhlich-Effekt kann – analog zum representational momentum – so erklärt werden. Auch hier würde ein schnellerer Reiz bis zum vollständigen Stop entsprechend längere Zeit benötigen, als ein langsamerer Reiz. Eine umgekehrte Erklärung des representational momentums über das Wetterwart-Modell ist hingegen nicht möglich, da das Modell keinerlei Verlagerung des Offset-Ortes erwarten läßt. Die Prozesse, die im Falle des Offsets stattfinden, sind zwar innerhalb des Modellrahmens nicht exakt festgelegt, sollten aber in jedem Fall zu einer exakten Lokalisation führen. Man könnte entweder annehmen, daß die Aufmerksamkeit den Reiz kontinuierlich verfolgt und daher auch der Ort des Verschwindens korrekt registriert werden kann, oder aber daß durch das Offset-Signal ein erneutes Aufmerksamkeitssignal ausgelöst und daraufhin die Aufmerksamkeit auf den Ort des Verschwindens gerichtet wird. Diese Überlegungen werden am Ende des Kapitels erneut aufgegriffen.

5.2.2 Kritik an der Analogie und ein alternativer Theorierahmen

Neben diesen Untersuchungen, die in Einklang mit der Analogie zwischen representational momentum und physical momentum stehen, existieren auch Befunde, die sich nicht mit ihr vereinbaren lassen. Über diese Untersuchungen soll im folgenden berichtet werden.

Allgemein zeigte sich, daß das representational momentum nicht an kontinuierliche Objektbewegung gebunden zu sein scheint. Stattdessen treten auch bei anderen sich kontinuierlich verändernden Merkmalen vergleichbare Verzerrungen auf, was die direkte Analogie in Frage stellt. So untersuchten Kelly und Freyd (1987), ob sich für Größenänderung ein zu Bewegung analoges representational momentum nachweisen läßt.

Sie zeigten ihren Vpn drei Bilder von größer bzw. kleiner werdenden Quadraten (siehe Abbildung 5.28a). Anschließend wurde eines von neun Testquadraten dargeboten, und die Vpn sollten entscheiden, ob seine Größe der des dritten Quadrats entsprach. Es zeigte sich eine Verzerrung der wahrgenommenen Endgröße in Richtung der Veränderung, also ein representational momentum für Größenänderung. Ein Problem dieser Studie – als Nachweis für ein nicht bewegungsabhängiges representational momentum – ist, daß sich die Größenveränderung unter Umständen noch als Annäherung bzw. Entfernung interpretieren läßt. Eindeutiger sind da die Befunde aus einem weiteren Experiment, in dem vertikal ausgerichtete Rechtecke eingesetzt wurden, die dicker bzw. dünner wurden, während ihre Länge konstant blieb (siehe Abbildung 5.28b). Anschließend wurde wieder das jeweilige Testquadrat gezeigt. Auch für diesen Fall konnten die Autoren ein representational momentum nachweisen: Die Vpn bezeichneten häufiger ein Rechteck als identisch, das in Richtung der Formänderung modifiziert war.

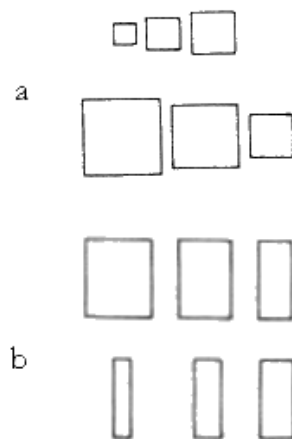


Abbildung 5.28 Beispielreize aus Kelly und Freyd (1987) bei Veränderung der Reizgröße.

Eine noch stärkere Erweiterung des representational momentums erfolgte durch Kelly und Freyd (1987). Sie konnten zeigen, daß das representational momentum nicht an die visuelle Modalität gebunden ist. Sie wiesen einen analogen Effekt für die auditive Modalität nach, indem sie Tonfolgen mit zunehmender bzw. abnehmender Frequenz als induzierende Reize einsetzten (1220.70, 1871.74 und 2522.78Hz in der aufsteigenden Bedingung und 3824.86, 3173.82 und 2522.78Hz in der absteigenden Bedingung). Die neun Testtöne variierten zwischen 2848.30 und 2197.26Hz. Es zeigte sich unter diesen Bedingungen zumindest bei den Fehlern ein representational momentum. Dieser Befund

wurde von Freyd, Kelly und DeKay (1990) repliziert und erweitert. So konnten sie zeigen, daß der Effekt nur auftritt, wenn die Tonfolge kohärent ist, also die Frequenz durchgehend ansteigt oder abfällt. Zusätzlich wiesen sie auch bei Musikern ein auditives representational momentum nach. Auch Beschleunigungs- und Verlangsamungseffekte wurden gefunden, d.h. im Verhältnis zu einer konstanten Frequenzänderung nimmt das representational momentum bei beschleunigter Frequenzänderung zu bzw. bei einer verlangsamten Frequenzänderung ab. Zusätzlich konnte auch hier nachgewiesen werden, daß die implizierte Geschwindigkeit am Ende der Sequenz entscheidend für das Ausmaß des Effektes ist.

Aufgrund solcher Befunde, rückten bereits im Jahre 1986 Freyd und ihre Mitarbeiter (Finke, Freyd & Shyi, 1986) von der "harten" Analogie representational momentum – physical momentum ab. Sie schrieben:

"We need to allow for the possibility that representational momentum can also occur for extrapolations that have no simple analogue to the motions of physical objects. For example, implied changes in sound, size, or color might give rise to momentum effects if these changes can be extrapolated along some representational pathway ... In fact, it may be possible to obtain a momentum effect for any type of implied transformation, along with an increasing forward memory shift as the rate of the implied change increases, as long as the transformation can be extrapolated into the future." (Finke, Freyd & Shyi, 1986, S. 176)

Freyd (1987; siehe auch Freyd, 1993) stellte das representational momentum in einen allgemeineren Theorierahmen. Sie behauptete, daß die dynamische Information innerhalb der Wahrnehmung so wichtig sei, daß mentale Repräsentationen selbst eine zeitliche Dimension beinhalten und daher dynamisch sein können. Sogar statische Szenen – wie z.B. Bilder – können zu solchen dynamischen Repräsentationen führen. Freyd führte zwei Bedingungen ein, die eine mentale Repräsentation erfüllen muß, um als dynamisch zu gelten: Das **intrinsische Kriterium** ('intrinsic criterion') und das **Kriterium der Notwendigkeit** ('necessary criterion'). Gemäß dem intrinsischen Kriterium teilt die repräsentierte Zeit Eigenschaften der realen Zeit, d.h. es existieren Übereinstimmungen zwischen repräsentierten und zu repräsentierenden Dimensionen. Zu diesen geteilten Eigenschaften sollen **Direktionalität** – Zeit läuft immer vorwärts – und **Kontinuirlichkeit** – zwischen zwei Zeitpunkten existiert stets ein weiterer Zeitpunkt – gehören. Das Kriterium der Notwendigkeit bezieht sich darauf, daß eine Repräsentation dann dynamisch ist, wenn die zeitliche Dimension ein notwendiger Bestandteil der

Repräsentation ist, d.h. die Zeitdimension untrennbar mit der Repräsentation verbunden ist.

Das representational momentum ist nun laut Freyd konsistent mit der Annahme solcher dynamischen mentalen Repräsentationen, obwohl es ihre Existenz nicht direkt beweist. Das Kriterium der Notwendigkeit wird z.B. durch den Befund gestützt, daß das representational momentum nicht unterdrückt werden kann, durch Rückmeldung nicht zu beeinflussen ist (Finke & Freyd, 1985) und an die konkrete Repräsentation eines Objektes gebunden ist (Kelly & Freyd, 1987). Für die Idee der Direktionalität spricht, daß stets eine Verschiebung in Richtung der implizierten Bewegung auftritt, wenn die Bewegung kohärent ist (Freyd & Finke, 1984). Das Kriterium der Kontinuierlichkeit wird durch das Ergebnis belegt, daß die Verlagerung mit zunehmendem Retentionsintervall (zumindest bis etwa 200 ms) zunimmt¹¹.

Freyd vermutete zusätzlich, daß sich das representational momentum dadurch auszeichnet, daß es, im Sinne von Pylyshyn (1981, 1984), kognitiv nicht zu durchdringen ist (**'cognitively impenetrable'**). Nach ihrer Definition ist ein Prozeß kognitiv nicht zu durchdringen, wenn die Leistung durch Wissen und Erwartungen nicht beeinflußbar ist. Sie schloß dies vor allem daraus, daß der Effekt unabhängig von der Leistungsrückmeldung ist.

Eine Reihe von Experimenten widersprach allerdings dieser Zusatzannahme:

So konnten Hubbard und Bharucha (1988) zeigen, daß der Effekt durch Wissen über zukünftige Positionen beeinflußt werden kann. Sie verwendeten einen schwarzen Kreis mit einem Durchmesser von 50', der sich horizontal oder vertikal mit einer konstanten Geschwindigkeit von 14.5°/s bewegte. Zusätzlich zum Reiz erschien ein quadratischer Rahmen mit einer Kantenlänge von 12.5° auf dem Bildschirm. Der Reiz bewegte sich innerhalb des Rahmens, "prallte" jeweils an seinen Innenkanten ab und bewegte sich anschließend in die entgegengesetzte Richtung weiter. Dies geschah ein bis fünf Mal,

¹¹ Diese Überlegungen bieten nicht nur einen neuen Interpretationsrahmen für das representational momentum, sondern auch für einzelne statische Bilder. Auch hier sollen die jeweils wirkenden physikalischen Kräfte mit repräsentiert werden. Um dies zu belegen zeigten Freyd, Pantzer und Cheng (1988) ihren Vpn Bilder einer Pflanze, die auf einem Ständer stand oder an einem Haken hing. Anschließend wurde das gleiche Bild ohne das unterstützende Objekt gezeigt. Es folgte ein Testbild, in dem das Objekt nun entweder die gleiche Höhe wie die beiden Bilder zuvor aufwies oder leicht nach oben bzw. unten verschoben war. Es zeigte sich, daß die Vpn verstärkt die in Richtung der Gravitation (also nach unten) verlagerten Pflanzenbilder fehlerhaft als identisch akzeptierten.

bevor der Reiz vom Bildschirm verschwand. Es gab drei mögliche Positionen für das Verschwinden des Reizes: 100' vor der "Wand" ('precollision'), genau auf Höhe der Wand ('collision') oder 100' nach dem Zurückprallen von der "Wand" ('postcollision'). Gleichzeitig mit dem Reiz verschwand auch der Rahmen und die Vpn sollten den Ort des Verschwindens markieren. Der interessanteste Befund zeigte sich in der Kollisionsbedingung. Hier trat eine Verschiebung in Richtung der typischen Bewegungsrichtung nach der Kollision auf. Gleiches gilt natürlich für die Postkollisionsbedingung. In der Präkollisionsbedingung ließ sich für alle Bewegungsrichtungen keinerlei Verschiebung nachweisen, mit Ausnahme der Bewegung von links nach rechts. Hier trat eine geringfügige Verlagerung in Richtung der Bewegungsrichtung nach der Kollision auf. Daß der Effekt nicht auf die alleinige Anwesenheit des Rahmens zurückging, zeigten die Autoren in einem Anschlußexperiment, in dem zwar der Rahmen gezeigt wurde, aber die Reize nicht an ihm abprallten, sondern ihn mehrmals überquerten. Hier trat stets eine Verlagerung in Richtung der Bewegung auf.

Bereits Hubbard und Bharucha (1988) zogen aus ihren Daten den Schluß, daß das representational momentum nicht auf 'low-level' Mechanismen zurückgeht, sondern auf höhere kognitive Prozesse, die zukünftige Reizpositionen antizipieren. Nach meiner Ansicht läßt sich aber gegen ihr Vorgehen und die Schlußfolgerung einwenden, daß die Vpn möglicherweise zwar den Reiz hinter dem Rahmen verschwinden sahen, dies aber nicht als Position einstellten, da sie wußten, daß der Reiz stets vorher seine Richtung änderte. Der veränderte Effekt würde also auf einen Urteilsbias zurückgehen und nicht auf kognitive Antizipationsmechanismen, die zukünftige Positionen mit einbeziehen. Eindeutiger für höhere kognitive Prozesse sprechen Befunde von Reed und Vinson (1996), die zeigten, daß konzeptuelles Wissen über typische Bewegung von Objekten das Ausmaß des representational momentums beeinflussen kann. In einem ihrer Experimente verwendeten sie als induzierenden Reiz einen mehrdeutigen Stimulus, der laut Instruktion für die eine Vpn-Gruppe eine Rakete und für eine andere einen Kirchturm darstellen sollte (siehe Abbildung 5.29).

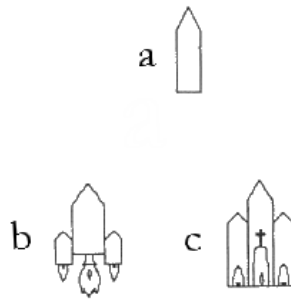


Abbildung 5.29 Mehrdeutiger Reiz (a) und seine Interpretationsmöglichkeiten (b und c) aus einem Experiment von Reed und Vinson (1996).

Es zeigte sich ein größeres representational momentum für die "Rakete" im Vergleich zum "Kirchturm" bei Bewegung nach oben und nach unten. Bei horizontaler Bewegung gab es hingegen keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Zusätzlich zeigten Verfaillie und d'Ydewalle (1991), daß Wissen über periodische Bewegungen das representational momentum moduliert und Hubbard (1993) konnte den Einfluß konzeptuellen Wissens auf das auditive representational momentum nachweisen.

Auch nach dieser Modifikation der Theorie bleibt die Alternativerklärung des Fröhlich-Effektes im Grunde unverändert: Die Repräsentation der ersten Reizposition ist dynamisch und sollte daher in Richtung der Veränderung verzerrt erinnert werden.

5.2.3 Experimente zum representational momentum

Mit Hilfe der beiden folgenden Experimente sollte untersucht werden, ob eine Gedächtnisverzerrung – wie sie zur Erklärung des representational momentums vermutet wird – als Ursache oder zumindest als modifizierender Faktor für den Fröhlich-Effekt plausibel ist.

5.2.3.1 Experiment 10

Wie in Abschnitt 4.3 bereits ausführlich beschrieben, haben Müsseler, Stork, Kerzel und Jordan (eingereicht) bereits ein representational momentum für Kreisbewegung nachgewiesen, (während der Fröhlich-Effekt in ihrem Experiment verschwand). Sie bewegten einen Punkt mit einem Durchmesser von 2.6 mm (0.3°) konzentrisch um ein Fixationskreuz. Der Radius des Kreises betrug 48 mm (5.5°) und der Reiz bewegte sich

mit einer retinalen Geschwindigkeit von $30.58^\circ/\text{s}$. Der wahrgenommene Offset-Ort wurde nach Verschwinden des Reizes durch Verschieben eines Markierungspunktes an die entsprechende Stelle eingestellt. Außerdem existiert der im vorherigen Abschnitt beschriebene Nachweis des representational momentums bei linearer Bewegung von Hubbard und Bharucha (1988) und Hubbard (1990, 1996). In Experiment 10 sollte dennoch getestet werden, ob sich für die von mir verwendete Versuchsanordnung ein representational momentum nachweisen läßt, ob also der Ort des Verschwindens eines Reizes in Richtung seiner Bewegung fehllokalisiert wird. Dieser Replikationsversuch erschien mir – trotz der bisherigen Befunde – notwendig, da die in den bisherigen Untersuchungen eingesetzten Geschwindigkeiten deutlich geringer waren als in meinen Experimenten zum Fröhlich-Effekt. Zusätzlich war der Effekt zum representational momentum bei Kreisbewegung mit etwa 6 mm numerisch relativ gering (Müsseler et al., eingereicht). Falls unter "Fröhlich-Bedingungen" eine solche Verzerrung der letzten Position tatsächlich existiert – wobei Fröhlich (1922) selbst explizit eine exakte Lokalisation des Offset-Ortes berichtete –, könnte dies Hinweise darauf liefern, daß auch der Fröhlich-Effekt durch eine solche Gedächtnisverzerrung beeinflusst oder sogar verursacht wird. Dies würde vor allem dann wahrscheinlicher werden, wenn das Ausmaß der Fehllokalisation des Offset-Ortes numerisch ähnlich ausfällt, wie bei der des Onsets. Um die Stärke der beiden Effekte direkt miteinander vergleichen zu können, wurde das Design so gewählt, daß die Ergebnisse dieses Experimentes zum representational momentum direkt mit denen aus Experiment 3 zum Fröhlich-Effekt verglichen werden konnten.

Zusätzlich sollte geklärt werden, ob eine Tendenz zur Mitte der Bewegung vorliegt, ob also die V_{pn} für den On- und Offset Werte einstellen, die in Richtung der Mitte der Laufstrecke verlagert sind. In diesem Fall sollten sich Lokalisationsfehler entgegen der implizierten Bewegungsrichtung ergeben (also numerisch negative Werte). Auch durch eine solche Tendenz könnte der Fröhlich-Effekt erklärt werden (allerdings nicht die gefundene Geschwindigkeitsabhängigkeit), da für den Beginn der Bewegung eine Verlagerung zur Mitte zu positiven Verlagerungseffekten führen würde. Wie bereits oben ausgeführt ist auf der Grundlage des Wetterwart-Modells keine Fehllokalisation des Offset-Ortes zu erwarten, da der Reiz entweder kontinuierlich verfolgt wird oder das

Offset-Signal ein weiteres Aufmerksamkeitssignal auslöst. Dadurch sollte die Position exakt lokalisierbar sein.

Method

Apparatur und Stimuli

Es wurde die gleiche Versuchsapparatur wie in Experiment 3 eingesetzt, einschließlich der dynamischen Fixationshilfe und des damit verbundenen Verzichts auf die Zusatzaufgabe. Der einzige Unterschied bestand darin, daß Start- und Endposition vertauscht waren, d.h. der Reiz verschwand nun an den Exzentrizitäten, an denen er sonst aufgetaucht war. Da der Reiz eine Zufallsstrecke von 5.38 und 7.40° (37.6 und 51.7 mm) zurücklegte, die Endposition aber festgelegt war, variierte die Startposition entsprechend. Außerdem kehrte sich von Experiment 3 zu diesem Experiment die Bewegungsrichtung um. War der Reiz beispielsweise zuvor an Position 1.68° aufgetaucht, in foveofugale Richtung gewandert und bei einer Exzentrizität von 7.70° vom Bildschirm verschwunden, wanderte er jetzt entsprechend von 7.70° bis 1.68° in foveopetaler Richtung.

Design

Variiert wurde wiederum der Faktor Bewegungsrichtung auf zwei Stufen (foveofugal, foveopetal). Bewegungsrichtung bezieht sich hier auf die Richtung in die der Reiz zum Zeitpunkt seines Verschwindens gewandert ist. Die Exzentrizität des Offset-Ortes variierte auf sechs Stufen (0, 1.68, 3.37, 5.05, 6.73, 8.42 bzw. 0, 11.75, 23.50, 35.25, 47.00, 58.75 mm). Außerdem wurde der Faktor Achse auf zwei Stufen (links, rechts) zufallsvariiert, aber nicht ausgewertet. Als abhängige Variable diente die Fehllokalisierung der Endposition, wobei positive Werte eine Verlagerung in Richtung der implizierten Bewegung kennzeichneten. Die Urteile der Vpn bezogen sich auf den relativ zur durchlaufenen Strecke äußeren Rand des Stimulus.

Versuchsablauf

Nach schriftlicher Instruktion und Übungsdurchgängen folgten die Experimentaldurchgänge. Der Ablauf der Durchgänge und die Lage der Pause entsprachen vollständig den aus Experiment 3.

Die Kombinationen der Faktoren Bewegungsrichtung und Exzentrizität wurden den Vpn insgesamt 40 mal in zufälliger Reihenfolge vorgegeben. Die 480 Durchgänge wurden in zufälliger und jeweils anderer Reihenfolge durchlaufen.

Versuchspersonen

Es nahmen 7 Männer und 8 Frauen als Vpn am Experiment teil. Ihr Durchschnittsalter lag bei 26.7 Jahren. Die Vpn wurden für die Teilnahme mit 12 DM pro Stunde bezahlt und verfügten über eine normale oder voll korrigierte Sehschärfe. Keine der Vpn wurde vorab über die Hypothesen informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Zunächst wurden die Mediane für die einzelnen Faktorkombinationen bestimmt. Abbildung 5.30 zeigt die über die Vpn gemittelten Ergebnisse getrennt für die Bewegungsrichtungen und Offset-Exzentrizitäten.

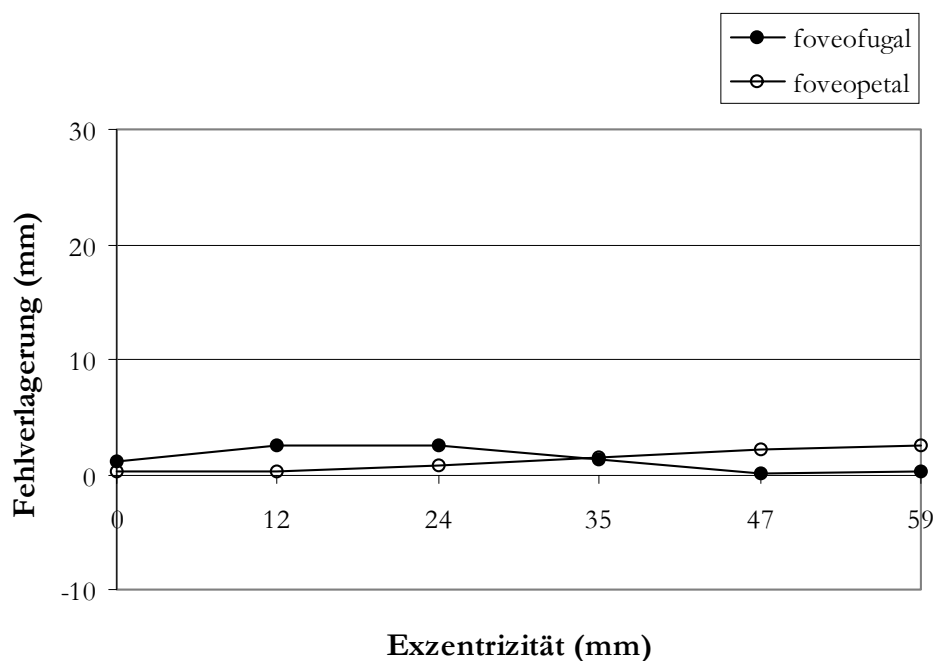


Abbildung 5.30 Gemittelte Fehllokalisierung des Offset-Ortes für Bewegungsrichtungen und Exzentrizitäten in Experiment 10, N = 15. Positive Werte stehen für eine Fehllokalisierung in Bewegungsrichtung.

Gemittelt über die Mediane betrug die Fehllokalisierung des Offsets 1.26 mm bei einer Standardabweichung von 6.67 mm. Dieser Wert unterschied sich nicht signifikant von 0. Es wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse über die Meßwiederholungsfaktoren

Bewegungsrichtung und Exzentrizität zum Offset-Zeitpunkt berechnet. Es zeigte sich kein Haupteffekt und auch keine Interaktion. Für meine Versuchsanordnung konnte also kein representational momentum nachgewiesen werden. Die Vpn können den Ort des Verschwindens sehr genau lokalisieren. Die Erinnerung wird nicht in Richtung der implizierten Bewegung verzerrt.

Hiermit wird ausgeschlossen, daß eine allgemeine Gedächtnisverzerrung existiert, die gleichermaßen eine Verlagerung des Onsets und des Offsets bewirkt. Außerdem fand sich auch keinerlei Tendenz zur Mitte. Dadurch wird es unplausibel anzunehmen, daß der Fröhlich-Effekt darüber erklärt werden kann. Trotz des nicht vorhandenen representational momentums in Experiment 10 könnte der Fröhlich-Effekt in meiner Versuchsanordnung aber durch Gedächtniseffekte bedingt oder modifiziert worden sein. Diese Möglichkeit wurde in der Diskussion von Experiment 9 als Erklärungsmöglichkeit bereits angedeutet: Die Startposition könnte durchaus richtig wahrgenommen werden, die anschließende Bewegung aber zu einer Verzerrung der erinnerten Position führen. Diese Möglichkeit sollte im folgenden Experiment untersucht werden.

5.2.3.2 Experiment 11

Die Überlegung hinter Experiment 11 war folgende: Wenn Gedächtniseffekte die Ursache für den Fröhlich-Effekt sind, sollten feste Referenzpunkte relativ zur Reizposition, die gleichzeitig enkodiert werden können, die Fehllokalisierung zum Verschwinden bringen oder zumindest stark reduzieren. Als Referenzsystem bietet sich ein Koordinatensystem in Form einer Skala an. Bereits in zwei der berichteten Experimente wurde mit einer Skala gearbeitet und der Effekt blieb bestehen. Dennoch hielt ich es für sinnvoll, diese Ergebnisse unter Reizgegebenheiten zu replizieren, in denen die Bedingungen für die Nutzung des Referenzsystems möglichst optimal waren. In Carbone (1995, Experiment 2) wurde eine farbige numerische Skala eingesetzt, die sich direkt unterhalb der Spaltbahn und zudem deutlich oberhalb des Fixationspunktes befand. Müsseler und Aschersleben (1998, Experiment 2) hatten eine einfache Skala – ähnlich der Einteilung auf einem Lineal – verwendet, die oben und unten an die Reizbahn angeschlossen. In beiden Experimenten berührte der Reiz demnach während der Bewegung nicht die Skala. In meinem Experiment (Carbone, 1995) könnte die Nutzung der Skala zusätzlich durch den verschobenen Fixationspunkt erschwert worden sein, während bei

Müsseler und Aschersleben möglicherweise die Einheitlichkeit der Skalenstruktur dazu geführt hat, daß sich einzelne Skalenpositionen gar nicht als Referenzpunkte für die Reizposition eigneten. Ich entschied mich daher für eine farbige Skala, die sich auf Höhe des Fixationspunktes befand und die der Reiz während der Bewegung berührte.

Falls Gedächtniseffekte am Fröhlich-Effekt beteiligt sind, sollte der Fröhlich-Effekt verschwinden oder zumindest deutlich reduziert werden. Falls dies nicht der Fall ist, müßte sich – da das Design so gewählt war, daß die Ergebnisse direkt mit denen aus Experiment 2 vergleichbar waren – dasselbe Befundmuster wie in Experimenten 2 zeigen, d.h. ein Anstieg des Fröhlich-Effektes über die Exzentrizitäten in der foveopetalen Bedingung und ein konstant hoher Effekt in der foveofugalen Bedingung.

Method

Apparatur und Stimuli

Die verwendete Apparatur und die Reize entsprachen vollständig denen aus Experiment 1, 2 und 4, es wurde also mit festem Fixationspunkt und der Zusatzaufgabe gearbeitet. Der einzige Unterschied zu den früheren Experimenten betraf die Verwendung einer kontinuierlich sichtbaren, farbigen, numerischen Skala. Ihre Gesamtbreite betrug 218 mm (30.49°) und sowohl der Nullpunkt der Skala als auch der Fixationspunkt befanden sich genau in der Mitte des Bildschirms. Links und rechts vom Nullpunkt war die Skala in 50 Einheiten unterteilt und alle 10er Einheiten waren zusätzlich beschriftet (0, 10, 20, usw.). Die Werte auf der linken Seite waren negativ, die auf der rechten positiv. Die Linien zur Unterteilung der Einheiten waren durchgängig ein Pixel (0.3 mm) breit. Die 10er Einheiten waren 4.7 mm (0.67°) hoch und die der 1er Einheiten 2.82 mm (0.4°). Mit jeder neuen 10er Einheit wechselte die Farbe der Markierungen. Die Farben waren (wie in Carbone, 1995, Experiment 2) so gewählt, daß sich benachbarte Farben möglichst deutlich voneinander unterschieden (von der Mitte nach außen wurde blau, gelb, schwarz, rot, weiß und grün eingesetzt). Der Reiz bewegte sich mittig über die Skala hinweg, und die Reizbreite entsprach genau zwei Einheiten. Abbildung 5.31 verdeutlicht die verwendete Skala im Verhältnis zu einem Beispielreiz.

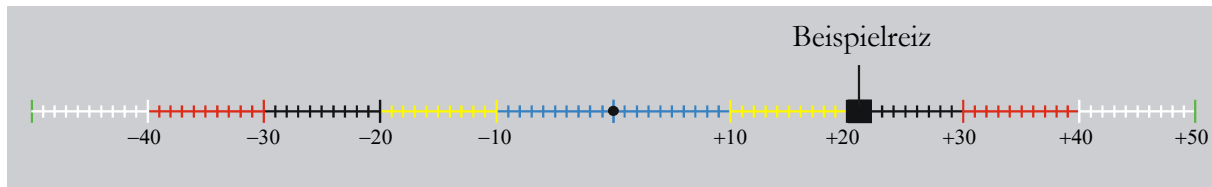


Abbildung 5.31 Verkleinerte Darstellung der verwendeten Skala im Verhältnis zu einem Beispielreiz.

Design

Der Faktor Bewegungsrichtung wurde auf zwei Stufen (foveofugal, foveopetal) und die Startexzentrizität, wie in Experiment 2, auf fünf Stufen variiert (1.68, 3.37, 5.05, 6.73, 8.42° bzw. 11.75, 23.50, 35.25, 47.00, 58.75 mm). Die Achse (links versus rechts) wurde auch hier zufallsvariiert, aber nicht in die Auswertung einbezogen. Als abhängige Variable wurde das Ausmaß des Fröhlich-Effektes bestimmt.

Versuchsablauf

Nach der schriftlichen Instruktion und den Übungsdurchgängen wurde das Experiment gestartet. Die Abfolge der Ereignisse in den Durchgängen entsprach vollständig der aus den Experimenten 1, 2 und 4. Jede Faktorkombination aus Bewegungsrichtung und Exzentrizität wurde 40 mal vorgegeben. Auch die Zusatzaufgabe wurde 40 mal realisiert. Die 440 Durchgänge wurden in zufälliger und jeweils anderer Reihenfolge vorgegeben.

Versuchspersonen

Es nahmen 8 Männer und 7 Frauen – also insgesamt 15 Vpn – am Experiment teil. Ihr Alter betrug im Mittel 24.5 Jahre. Die Vpn wurden für ihre Teilnahme bezahlt. Auch hier war vollständige oder voll korrigierte Sehschärfe vorhanden.

Ergebnisse und Diskussion

Die Fehlerrate in der Zusatzaufgabe lag für alle Vpn unter 5%, so daß niemand von der Auswertung ausgeschlossen werden mußte.

Auch in diesem Experiment wurden Mediane für einzelne Vpn und Bedingungskombinationen bestimmt. Abbildung 5.32 zeigt den für die einzelnen Bewegungsrichtungen und Exzentrizitäten ermittelten Fröhlich-Effekt.

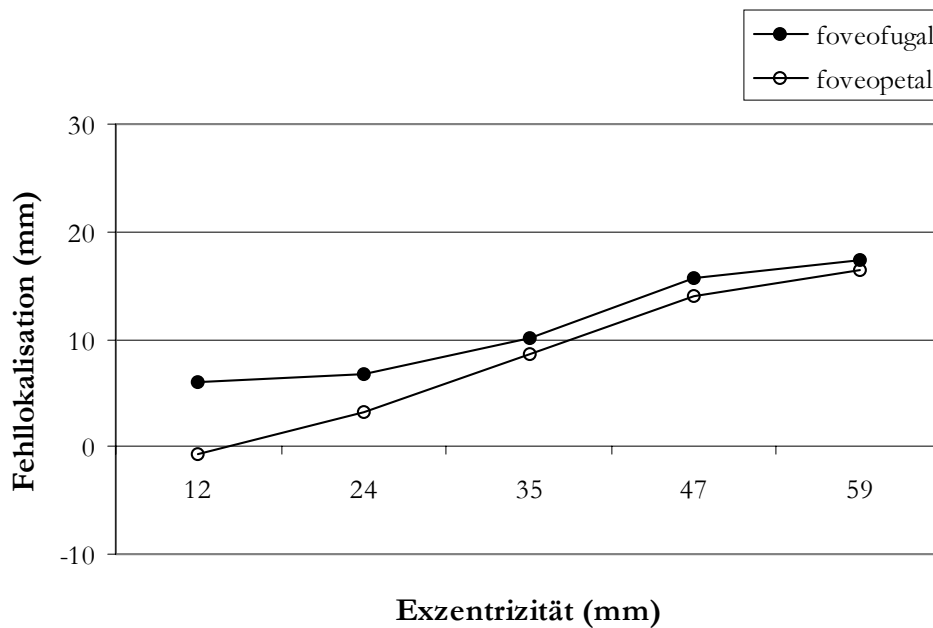


Abbildung 5.32 Gemittelte Fehllokalisation für Bewegungsrichtungen und Exzentrizitäten in Experiment 11, $N = 15$.

Der Fröhlich-Effekt betrug – gemittelt über die Mediane einzelner Vpn und Faktorkombinationen – 9.75 mm bei einer Standardabweichung von 8.75 mm. Dieser Wert war signifikant höher als 0 [$F(1, 14) = 84.84$; $MSe = 168.18$; $p < 0.001$]. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf beiden Faktoren ergab keinen signifikanten Haupteffekt für die Bewegungsrichtung, numerisch lagen die Werte in der foveofugalen Bedingung aber stets über denen in der foveopetalen Bedingung. Signifikant wurde der Einfluß der Exzentrizität [$F(4; 56) = 72.36$; $MSe = 15.59$; $p < 0.001$; $\epsilon = 0.50$]. Alle Differenzen zwischen einzelnen Exzentrizitäten lagen oberhalb des kritischen Scheffé-Wertes abgesehen von der Differenz zwischen der ersten und zweiten und der vierten und fünften Exzentrizitätsstufe [$Diff_{crit} = 3.25$; $MSe = 15.59$; $p < 0.05$] (geordnet von der niedrigsten zur höchsten Exzentrizität betragen die gemittelten Mediane 2.67, 4.98, 9.34, 14.87 und 16.90 mm). Der lineare Trendtest war hoch signifikant [$F(4, 56) = 141.51$; $MSe = 15.59$; $p < 0.001$]. Die Interaktion zwischen Bewegungsrichtung und Exzentrizität wurde nicht signifikant.

Die Verwendung einer strukturierten Skala führte nicht zum Verschwinden oder zu einer starken Reduktion des Fröhlich-Effektes, so daß Gedächtnisverzerrungen als Ursache für den Fröhlich-Effekt vermutlich ausgeschlossen werden können. Allerdings zeigte sich

kein konstant hoher Fröhlich-Effekt in der foveofugalen Bedingung, sondern – wie in Experiment 4 – sowohl in der foveofugalen als auch in der foveopetalen Bedingung ein Exzentrizitätseffekt (obwohl die Kurve in der foveofugalen Bedingung flacher verläuft). In welchem Exzentrizitätsbereich diese Funktion über die Exzentrizitäten ansteigt, scheint demnach nicht nur von den eingesetzten Exzentrizitäten abzuhängen, sondern stark von den experimentellen Bedingungen und möglicherweise von der Zusammensetzung der Versuchspersonengruppe, da einzelne Vpn mit extremen Fehllokalisationen die gemittelten Werte stark in die Höhe treiben können.

5.3 Zusammenfassung

Insgesamt scheint es sich beim flash-lag Effekt, beim representational momentum und beim Fröhlich-Effekt um Phänomene zu handeln, die unter verschiedenen Bedingungen auftreten und vermutlich unterschiedlich erklärt werden müssen. Während der Fröhlich-Effekt bei hohen Geschwindigkeiten auftritt und durch relative Positionsangaben in bezug auf einen stationären Vergleichsreiz nicht erfaßt werden kann, weil der stationäre Reiz mit verlagert wird, tritt der flash-lag Effekt (zumindest auch) bei niedrigen Geschwindigkeiten auf und der Marker wird nicht fehllokalisiert. Der Unterschied zwischen Fröhlich- und Flash-lag Effekt besteht vermutlich darin, daß der Fröhlich-Effekt durch die Dauer bis zum Aufbau einer bewußten Repräsentation festgelegt wird, während der flash-lag Effekt durch die Differenz zweier Wahrnehmungszeitpunkte bedingt ist. Laut Wetterwart-Modell lassen sich - falls sich die Idee, daß der flash-lag Effekt in meinen Experimenten nur durch die Reizverbreiterung "verdeckt" wurde, bestätigt – beide Effekte über Aufmerksamkeitsprozesse erklären: Im einen Fall muß zunächst Aufmerksamkeit auf den Reiz verlagert werden, im anderen Fall verkürzt die konstante Fokussierung der Aufmerksamkeit die Latenz des bewegten Reizes gegenüber einem stationär aufblinkenden Reiz. Falls hingegen bei hoher Geschwindigkeit tatsächlich kein flash-lag Effekt auftritt, wäre eine Erklärung über Aufmerksamkeitsprozesse wahrscheinlich nicht sinnvoll, sondern die retinale Extrapolationshypothese würde wahrscheinlicher werden.

Zusätzlich konnte für meine Reizanordnung kein representational momentum nachgewiesen werden, und die Verwendung einer farbigen, numerischen Skala, die hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit optimiert war, hatte praktisch keinen Einfluß auf den

Fröhlich-Effekt. Daher scheint es unwahrscheinlich, daß der Fröhlich-Effekt über Gedächtniseffekte zustande kommt. Möglicherweise ist das representational momentum tatsächlich an niedrigere Geschwindigkeiten gebunden, da – wie bereits weiter oben ausgeführt – die bisher verwendeten Geschwindigkeiten nahezu ausschließlich unterhalb von $20^\circ/\text{s}$ lagen.

6 Neue, aus dem Wetterwart-Modell abgeleitete Phänomene

Mit Hilfe der in diesem Kapitel beschriebenen Experimente sollte die experimentelle Prüfung des Wetterwart-Modells auf andere Weise erfolgen als in den beiden vorherigen Kapiteln. Hier wurden nicht bereits bekannte Phänomene untersucht, sondern auf der Grundlage des Modells neue Phänomene vorhergesagt und ihre Existenz überprüft. Laut Modell sollte sich für jede dynamische Reizeigenschaft eine Fehlwahrnehmung des Startmerkmals in Richtung der Veränderung ergeben sofern eine Aufmerksamkeitsverlagerung notwendig ist. Untersucht wurde die Fehlwahrnehmung der Reizdimensionen Größe und Farbe. Nach dem allgemeinen Nachweis wurden die Eigenschaften eines der beiden Phänomene – der Fehlwahrnehmung für Farbe – und deren Vereinbarkeit mit dem Wetterwart-Modell näher untersucht.

6.1 Experiment 12

In Experiment 12 sollte untersucht werden, ob sich eine Fehlwahrnehmung der Startgröße eines Reizes zeigt, wenn diese sich kontinuierlich verändert. Laut Wetterwart-Modell würde der auftauchende Reiz eine Aufmerksamkeitsverlagerung auslösen, und da sich während dieser Fokussieränderung die Reizgröße verändert, sollte nach deren Abschluß fälschlicherweise eine spätere Reizgröße als Startgröße wahrgenommen werden. Zusätzlich wurde der Einfluß der Exzentrizität auf die Fehlwahrnehmung der Größe untersucht. In bezug auf den Fröhlich-Effekt konnte bei niedrigen Exzentrizitäten und festem Fixationspunkt ein zunehmender Fröhlich-Effekt nachgewiesen werden (Experiment 4), nicht aber bei höheren Exzentrizitäten (Experiment 1 und 2). Die Versuchsanordnung und das Design waren so gewählt, daß die Fehlwahrnehmung direkt mit der Größe des Fröhlich-Effektes aus Experiment 2 in der foveofugalen Bedingung verglichen werden konnte. Es handelte sich also um die höheren Exzentrizitäten und daher wurde eine konstante Fehlwahrnehmung über die Exzentrizitäten vorhergesagt.

Methoden

Apparatur und Stimuli

Um einen Vergleich zwischen Experiment 2 und 12 zu ermöglichen, wurde wieder mit festem Fixationspunkt und mit der Zusatzaufgabe gearbeitet. Die Versuchsanordnung

entsprach vollständig der aus Experiment 2. Für die Untersuchung des Merkmals Reizgröße statt Bewegung wurden in bezug auf die Stimuli folgende Änderungen vorgenommen: Als Reize dienten schwarze Balken, die die gleiche Höhe aufwiesen wie die zuvor eingesetzten Kästchen (0.67° bzw. 4.7 mm), aber variabel in der Breite waren. Die innere Kante dieser Balken befand sich stets in der Mitte des Fixationspunktes, während die Breite des Balkens – durch Veränderung der Lage der äußeren Kante zum Zeitpunkt des Auftauchens – variabel war. Nachdem der Balken in einer bestimmten Breite aufgetaucht war, nahm diese mit jedem Bildschirmaufbau (alle 16.7 ms) um 0.67° (4.7 mm) zu, also um genau eine Kästchenbreite aus den früheren Experimenten. Hiermit entsprach die Geschwindigkeit der Reizänderung exakt der Bewegungsgeschwindigkeit der Kästchen in den vorherigen Experimenten (40.39° bzw. 282 mm/s). Insgesamt wurde der Balken um 7-10 Kästchenbreiten vergrößert (4.71-6.73 bzw. 32.9-47 mm), also genau um die Strecke, die sich das Kästchen in den früheren Experimenten im Anschluß an sein Auftauchen (also ohne die erste Position) bewegt hatte. Die Dauer für jede Reizdarbietung betrug – wie in Experiment 2 – 133.3 bis 183.3 ms. Abbildung 6.1 verdeutlicht die eingesetzte Reizanordnung für eine Beispielbreite.

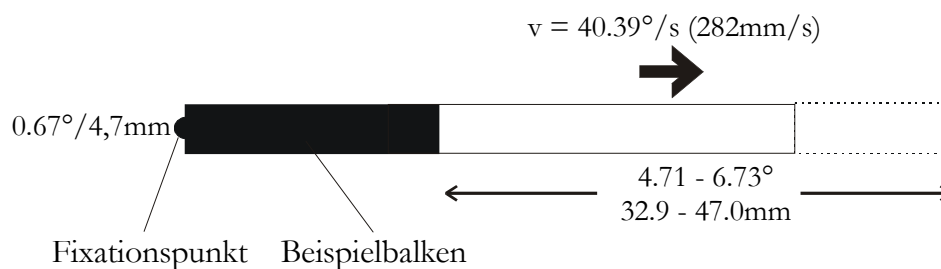


Abbildung 6.1 Reizanordnung in Experiment 12 für eine Startbreite. Die durchgezogene Linie verdeutlicht die minimale, die gestrichelte die maximale Länge des Beispielbalkens.

Zur Bestimmung der wahrgenommenen ersten Reizbreite bzw. Kantenposition wurde die Markierungslinie aus den früheren Experimenten eingesetzt. Sie tauchte unmittelbar nach dem Verschwinden des Balkens im Fixationspunkt auf und sollte über Mausbewegungen an die erste wahrgenommene äußere Kantenposition verschoben werden.

Design

Variiert wurde die Exzentrizität der äußeren Reizkante (und damit auch die Breite des auftauchenden Balkens) auf fünf Stufen ($1.68, 3.37, 5.05, 6.73, 8.42^\circ$ bzw. $11.75, 23.50,$

35.25, 47.00, 58.75 mm). Diese Werte waren so gewählt, daß sie genau den Startexzentrizitäten der bewegten Reize aus Experiment 2 entsprachen. Die Seite, auf der der Balken auftauchte (links oder rechts), wurde zufallsvariiert. Abbildung 6.2 zeigt die verschiedenen Reizbreiten/Exzentrizitäten und einen Beispielbalken auf der rechten Seite.

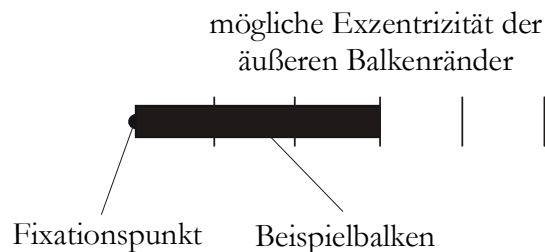


Abbildung 6.2 Darstellung der in Experiment 12 verwendeten Exzentrizitäten der Balkenränder sowie eines Beispielbalkens. Die Abbildung zeigt ausschließlich die Reizexzentrizitäten für die rechte Seite.

Als abhängige Variable diente die Fehl Wahrnehmung der äußeren Balkenkante zum Zeitpunkt des Auftauchens und damit die Überschätzung der Startbreite.

Versuchsablauf

Auch Experiment 12 begann mit einer schriftlichen Instruktion und Übungsdurchgängen. Der Ablauf der Durchgänge und die Lage der Pause entsprachen denen aus Experiment 2.

Die fünf Exzentrizitäten des äußeren Balkenrandes wurden den Vpn jeweils 40 mal und die Zusatzaufgabe 20 mal vorgegeben. Die Reihenfolge der 220 Durchgänge war für jede Vp zufällig.

Versuchspersonen

Insgesamt nahmen 14 Vpn am Experiment teil, davon waren 6 Vpn männlich und 8 weiblich. Ihr Durchschnittsalter lag bei 26.2 Jahren. Die Vpn erhielten 12 DM pro Stunde für die Teilnahme und es wurde auch hier sichergestellt, daß sie über eine normale oder voll korrigierte Sehschärfe verfügten. Keine der Vpn war über die Hypothesen informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Eine Vp mußte von der Auswertung ausgeschlossen werden, da sie statt der linken Maustaste zur Bestätigung der eingestellten Position stets die rechte gedrückt hatte und so

als Daten nur 'missing values' gespeichert worden waren. Für die übrigen 13 Vpn wurde aus den eingestellten Markerpositionen die Über- bzw. Unterschätzung der Balkenbreite zum Zeitpunkt seines Auftauchens berechnet. Positive Werte kennzeichneten eine Überschätzung der Balkenbreite. In die Varianzanalyse gingen wiederum die Mediane der Vpn für die einzelnen Faktorkombinationen ein. Abbildung 6.3 zeigt die über die Vpn gemittelten Ergebnisse.

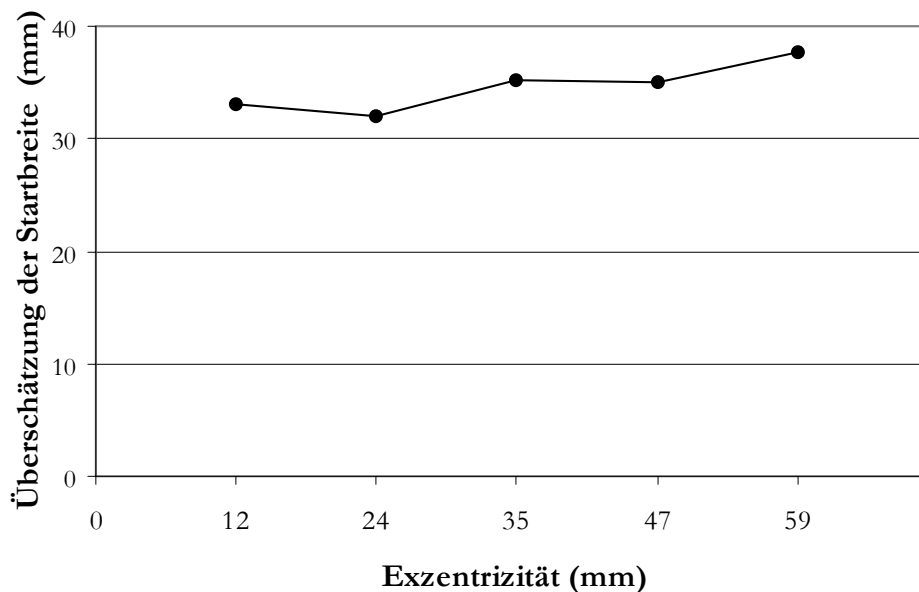


Abbildung 6.3 Gemittelte Überschätzung der Balkenbreite für die einzelnen Exzentrizitäten des äußeren Balkenrandes in Experiment 12, $N = 15$.

Im Mittel betrug die Überschätzung der ersten Balkenbreite 34.59 mm bei einer Standardabweichung von 5.58 mm. Diese Fehlwahrnehmung in Richtung der Veränderung war signifikant höher als 0 [$F(1, 12) = 733.47$; $MSe = 106.03$; $p < 0.001$]. Die einfaktorielle Varianzanalyse über den Meßwiederholungsfaktor Exzentrizität des äußeren Randes ergab einen signifikanten Haupteffekt [$F(4, 48) = 6.25$; $MSe = 9.87$; $p = 0.005$; $\epsilon = 0.53$]. Für den Faktor Exzentrizität konnte ein deutlicher linearer Trend nachgewiesen werden [$F(4, 48) = 19.60$; $MSe = 9.87$; $p < 0.001$].

Der Vergleich zwischen Experiment 2 in der foveofugalen Bedingung und Experiment 12 – mit Hilfe einer zweifaktoriellen Varianzanalyse über den unabhängigen Faktor Experiment und den Meßwiederholungsfaktor Exzentrizität – ergab, daß die

Fehlwahrnehmung in Experiment 12 mit 34.59 mm deutlich höher war, als in Experiment 2 mit 24.02 mm [$F(1, 26) = 111.68$; $MSe = 121.52$; $p < 0.001$]. Eine mögliche Erklärung für den vergrößerten Effekt könnte darin bestehen, daß der Reiz zum Zeitpunkt seines Auftauchens sehr viel breiter war, als in den Fröhlich-Experimenten mit dem bewegten Kästchen – da hier Balkenbreite und Exzentrizität konfundiert sind – und daß es daher schwieriger war, den relevanten Zielort für die Aufmerksamkeitsverlagerung auszumachen. Hierdurch hätte sich der Beginn der Verlagerung verzögert und entsprechend auch der Betrag, um den sich der Reiz während der Fokussieränderung vergrößern konnte. Über diese post-hoc Überlegungen ließe sich der Exzentrizitätseffekt in Experiment 12 – gegenüber Experiment 2 – erklären: Da der Reiz mit zunehmender Exzentrizität des äußeren Balkenrandes immer breiter wurde, stieg auch die Schwierigkeit, den relevanten Ort ausfindig zu machen, und die Aufmerksamkeitsverlagerung verzögerte bzw. verlängerte sich um immer größere Beträge (allerdings wurde bei der bereits erwähnten Varianzanalyse über die Experimente 2 und 12 zwar der Haupteffekt für die Exzentrizität signifikant [$F(4, 106) = 4.97$; $MSe = 13.92$; $p = 0.009$; $\epsilon = 0.53$], nicht aber die Interaktion zwischen Experiment und Exzentrizität [$p = 0.26$].

Insgesamt ließ sich – wie aufgrund des Wetterwart-Modells vorhergesagt – eine Fehlwahrnehmung der Breite in Richtung der dynamischen Veränderung nachweisen. Dies zeigt, daß die Wahrnehmungsverzerrung nicht an "echte" Reizbewegung gebunden ist. Ob der Effekt aber nicht doch eine gewisse Nähe zu Bewegung erfordert, läßt sich mit Hilfe dieses Experimentes nicht nachweisen, da die Reizanordnung der Methode zur Untersuchung des Fröhlich-Effektes – aufgrund der besseren Vergleichbarkeit mit Experiment 2 – noch recht ähnlich war.

6.2 Experiment 13

Die in Experiment 12 eingesetzte Größenänderung war der Reizdimension Bewegung aus den Fröhlich-Experimenten (absichtlich) noch sehr ähnlich. In beiden Fällen handelte es sich um raum-zeitliche Veränderungen. In Experiment 13 sollte daher mit Hilfe der Reizdimension Farbe die Wahrnehmung eines Merkmals untersucht werden, das nicht an räumliche Veränderungen gebunden ist. Dennoch sollte in diesem ersten Experiment zusätzlich zur Farbveränderung Bewegung stattfinden, um die Fehlwahrnehmung der

Startfarbe direkt mit dem Ausmaß des Fröhlich-Effektes unter identischen Bedingungen vergleichen zu können. Konkret sollte **erstens** untersucht werden, ob bei Reizen, die während der Bewegung kontinuierlich (also über benachbarte Farbwerte) ihre Farbe verändern, eine Fehlwahrnehmung der Startfarbe in Richtung der Farbveränderung auftritt (diese Frage wurde in Block A untersucht). Eine solche Fehlwahrnehmung ist laut Wetterwart-Modell – analog zu Bewegung oder Größenänderung – zu erwarten, sofern eine Aufmerksamkeitsverlagerung zum Reiz erforderlich ist, um die jeweilige Startfarbe zu identifizieren. Nach Abschluß der Verlagerung hätte der Reiz bereits eine spätere Farbe angenommen, und diese sollte fälschlicherweise als Startfarbe wahrgenommen werden. **Zweitens** sollte das Ausmaß dieser Fehlwahrnehmung direkt mit der Höhe des Fröhlich-Effektes unter identischen Farbreizbedingungen (Block B) bzw. den normalerweise eingesetzten schwarzen Reizbedingungen verglichen werden (Block C). In diesen beiden Bedingungen wurde der gewöhnliche Fröhlich-Effekt erwartet. Da aber aus Gründen, die weiter unten erläutert werden, die Laufstrecke deutlich verkürzt werden mußte und dadurch die Varianz der Strecke, die der Reiz während der Aufmerksamkeit zurücklegen konnte, reduziert war, wurde ein gegenüber früheren Experimenten reduzierter Effekt erwartet.

Methoden

Apparatur und Stimuli

In diesem Experiment wurde mit der dynamischen Fixationshilfe aus Experiment 3 und damit auch ohne Zusatzaufgabe gearbeitet. Die Versuchsanordnung entsprach der aus den vorherigen Experimenten, und als Reize in Block C dienten die bewegten schwarzen Kästchen aus den Experimenten zum Fröhlich-Effekt. Die farbigen Reize in Block A und B unterschieden sich von diesen auf folgende Weise: Das Kästchen hatte die gleiche Größe, veränderte aber seine Farbe kontinuierlich während der Bewegung. Um die Farbwerte festzulegen, wurden – ausgehend von voll gesättigtem Rot, Grün und Blau (jeweils eine 100 %ige RGB-Komponente) – je drei Zwischenfarben erzeugt. Hierzu wurde zunächst die jeweils benachbarte zweite Komponente zu 50% hinzugemischt (z.B. wurde zu 100% Rot 50% Grün gemischt, so daß sich Orange ergab) und im nächsten Schritt zu 100% (was Gelb ergab). Zur Erzeugung der dritten Zwischenfarbe wurde die

erste Komponente (im Beispiel also Rot) auf 50% reduziert (hierdurch ergab sich für das Beispiel ein gelbliches Grün). Auf diese Weise ergaben sich insgesamt 12 Farben, die kreisförmig nach ihrer Ähnlichkeit geordnet werden können. Abbildung 6.4 zeigt die verwendeten Farben und die dazugehörigen RGB-Werte. Auf eine feinere Farbabstufung wurde verzichtet, um die Farben nicht zu schwer diskriminierbar zu machen. Die Intensität der einzelnen Farben betrug – ausgehend vom voll gesättigten Blau bis zu Violett 6, 16, 35, 31, 28, 36, 40, 13, 9, 11, 17 und 7 cd/m².

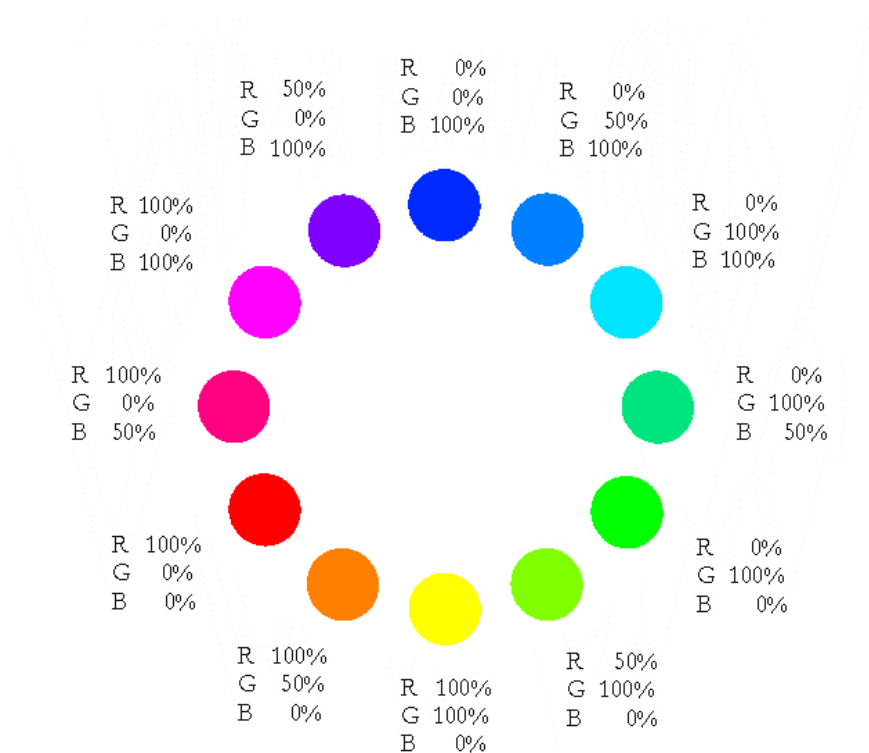


Abbildung 6.4 Eingesetzte Farben einschließlich ihrer RGB-Werte in Experiment 13.

Wie Abbildung 6.4 verdeutlicht sind die subjektiven Abstände zwischen den Farben sicher nicht gleich groß; so unterscheidet sich das Gelb von seinen Nachbarfarben wohl deutlicher, als der mittlere von den benachbarten Grüntönen. Allgemein unterscheiden sich objektive Systeme zur Anordnung von Farben deutlich von solchen, in denen Farben nach ihrer wahrgenommenen Ähnlichkeit angeordnet sind (Wyszecki & Stiles, 1982). Bekannt ist etwa, daß es für die subjektive Ähnlichkeit eine Rolle spielt, ob zwei Farbtöne aus der gleichen Kategorie stammen oder aus verschiedenen. So ist ihre Diskriminierbarkeit schlechter, wenn sie aus der gleichen Kategorie stammen, als wenn sie verschiedenen Kategorien angehören. Dies gilt selbst dann, wenn der physikalische

Abstand zwischen den Farbpaaren gleich ist (Bornstein & Korda, 1984). Wie weiter unten diskutiert wird, sollte die unterschiedliche subjektive Ähnlichkeit aber durch das gewählte Design für das Prüfen meiner Hypothesen irrelevant sein.

Die Laufstrecke in den bisherigen Experimenten variierte zwischen 5.39 und 7.41° (37.6 und 51.7 mm) und ergab sich aus 8-11 vollständigen Reizversetzungen. Um in diesem Experiment – trotz der geringen Farbzahl von 12 – genügend Farben für positive und negative Effekte zur Verfügung stellen zu können, wurde die Reizstrecke auf 6 Versetzungen (4° bzw. 28.2 mm) verkürzt und der Reiz mit jeder Versetzung um einen Farbwert verändert. So hatten die Vpn die Möglichkeit, insgesamt sechs Farben anzugeben, die in der Farbfolge enthalten waren (und damit Null- oder positive Effekte zu erzeugen) und sechs, die nicht enthalten waren (und damit negative Effekte zu produzieren). Jede der 12 Farben wurde als mögliche Startfarbe verwendet.

Zur Abfrage der wahrgenommenen Startfarbe in Block A wurde eine permanent sichtbare Farbskala eingesetzt, in der die zwölf Farben horizontal angeordnet waren. Jede einzelne Farbe war durch ein Quadrat mit einer Kantenlänge von 10.5 mm (1.5°) repräsentiert. Die Farben waren von Blau (links außen) bis Violett (rechts außen) angeordnet. Die wahrgenommene Startfarbe wurde durch Verschieben eines schwarzen Markierungsrahmens auf die entsprechende Farbe der Skala ausgewählt. Der Rahmen bewegte sich nicht kontinuierlich, sondern wurde durch Mausbewegungen nach links bzw. rechts auf das jeweils nächste farbige Quadrat der Skala verschoben. Die eingestellte Position wurde durch Drücken der linken Maustaste bestätigt und gleichzeitig der nächste Durchgang ausgelöst. Abbildung 6.5 zeigt die verwendete Farbskala und das Markierungsfenster.



Abbildung 6.5 In Experiment 13 verwendete Farbskala zur Bestimmung der wahrgenommenen Startfarbe.

Die Reizbedingungen in Block B waren mit denen in Block A vollständig identisch. Das Kästchen änderte also während der Bewegung seine Farbe. Der Unterschied bestand darin, daß nach Verschwinden des Reizes nicht die wahrgenommene Startfarbe angeben

werden sollte, sondern die Startposition. Diese Angabe erfolgte durch Verschieben der Markierungslinie, die auch in den bisherigen Experimenten verwendet worden war.

In Block C wurde das "gewöhnliche" schwarze Quadrat als Reiz verwendet. Auch hier gaben die Vpn die wahrgenommene Startposition mit Hilfe der Markierungslinie an.

Design

In **Block A** variierte die Startfarbe auf allen 12 Stufen und die Richtung der Farbänderung auf zwei Stufen. So konnte beispielsweise die Farbe von Rot über Violett nach Blau wechseln oder von Rot über Gelb nach Grün. Die erste Richtung werde ich im Folgenden als Änderung "mit der Skala" abkürzen, da sich die Farbe in Leserichtung über die Skala veränderte und die zweite Richtung entsprechend als Änderung "entgegen der Skala". Diese vollständige Variation der Startfarbe und die Richtungsvariation wurde vorgenommen, da Vorexperimente gezeigt hatten, daß – wie Abbildung 6.4 bereits nahegelegt hat – bestimmte Farben besser voneinander unterscheidbar sind als andere. So wurde Gelb eher mit dem hellen Grün verwechselt, als mit Orange. Durch die Richtungs- und Startfarbenvariation sollte sichergestellt werden, daß solche Verwechslungen gleichermaßen für als auch gegen meine Hypothese "arbeiten", sich die Effekte im Mittel also ausgleichen müßten. So sollte sich die Tendenz, Gelb eher mit Grün zu verwechseln, bei der Farbänderung mit der Skala gegen meine Hypothese auswirken, also den Effekt eher reduzieren, während sie bei der Farbänderung entgegen der Skala den Effekt eher vergrößern sollte. Technisch gesprochen müßte sich dies in einer Interaktion zwischen Startfarbe und Richtung der Farbänderung niederschlagen. Wenn sich die Verwechslungen durch die Richtungsvariation ausgleichen, sollte es keinen Haupteffekt für die Farbwechselrichtung geben. Ein Effekt der Farben wäre aber möglich – obwohl er auch nicht explizit vorhergesagt wurde –, wenn bestimmte Farben besonders schnell oder langsam Aufmerksamkeit auf sich ziehen.

In **Block B** wurde dieselbe Faktorvariation vorgenommen wie in Block A, um später die ermittelte Verzerrung der Farbe direkt mit dem Fröhlich-Effekt unter identischen Bedingungen vergleichen zu können. Erwartet wurde in Block B ein positiver, wenn auch durch die kurze Reizbewegung reduzierter Fröhlich-Effekt (s.o.). Die Richtung der Farbänderung sollte sich nicht auf den Fröhlich-Effekt auswirken, da systematische Verwechslungen von Farben keinen Einfluß auf die Positionsbeurteilung haben sollten.

Ebenso sollte sich keine Interaktion finden lassen. Die Startfarbe hingegen könnte sich – wie unter Block A besprochen – auf den Fröhlich-Effekt auswirken, wenn die einzelnen Startfarben unterschiedlich schnell Aufmerksamkeit auf sich ziehen.

In **Block C** (schwarze Reize) wurde kein Faktor systematisch variiert. Erwartet wurde ein positiver, aber - aufgrund der kurzen Laufstrecke – ebenfalls reduzierter Fröhlich-Effekt.

Zufallsvariiert wurde in allen drei Blöcken die Reizexzentrizität auf zwei Stufen (5.05 und 6.73° bzw. 35.25 und 47 mm) und die Reizseite (links versus rechts), um eine gewisse räumliche Unsicherheit aufrechtzuerhalten.

Als abhängige Variable in Block A wurde die Fehleinschätzung der Startfarbe bestimmt. Die Zuordnung von Farben zu Urteilen wurde folgendermaßen vorgenommen: Den sechs Farben, die in der Bewegungsfolge vorkamen, wurden Null- oder positive Werte zugeordnet. Der Wert Null wurde vergeben, wenn die tatsächliche Startfarbe angegeben wurde, also keinerlei Fehlwahrnehmung vorlag. Der Wert zwei bedeutete entsprechend, daß die Vp die zweite Farbe angegeben hatte usw. Wenn also beispielsweise das Kästchen an der Startposition Rot gewesen war und die Farbe des Kästchens sich über Gelb zu Grün veränderte (siehe Abbildung 6.6), dann wurde der Einstellung Rot der Wert 0 zugewiesen, der Einstellung Orange der Wert 1, usw. Die maximale Fehlwahrnehmung entsprach somit in jedem Durchgang dem Wert 5, da der Reiz sechs Farben durchlief. Die Fehlwahrnehmung entsprach negativen Werten, wenn die Vp Farben angab, die nicht in der Farbabfolge enthalten waren. Je unähnlicher die eingestellte Farbe der Startfarbe war, desto negativer der entsprechende Wert für die Fehlwahrnehmung. Gab die Vp in unserem Beispiel also das leicht bläuliche Rot an, erhielt sie den Wert -1, für das helle Violett den Wert -2 usw. Abbildung 6.6 zeigt beispielhaft die Zuordnung von positiven und negativen Werten für eine bestimmte Farbwechselrichtung (aufsteigend im Sinne der Skala) und die Startfarbe Rot. Die Abbildung verdeutlicht auch, daß die Festlegung der positiven und negativen Fehlwahrnehmungswerte konservativ in bezug auf meine Hypothesen gewählt war. Bei bloßem Raten hätte sich eher ein negativer als ein positiver Wert zeigen müssen, da der Maximalwert für positive Werte +5 betrug, der für negative aber -6.

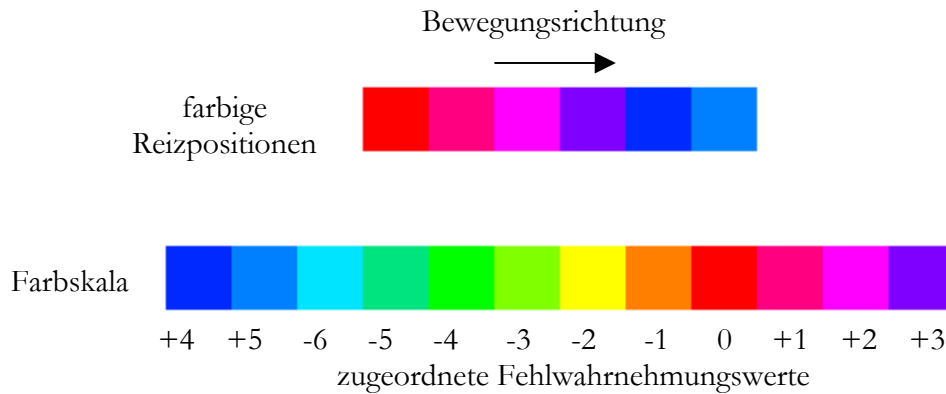


Abbildung 6.6 Beispielhafte Zuordnung von positiven und negativen Fehlwahrnehmungswerten für die aufsteigende Farbveränderungsrichtung (im Sinne der Skala) und die Startfarbe Rot.

In Block B und C wurde als abhängige Variable der Fröhlich-Effekt – also das Ausmaß der Fehllokalisierung des Kästchens in Bewegungsrichtung – bestimmt.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf in den drei Blöcken (A = Farbreize/Angabe der Startfarbe, B = Farbreize/Angabe der Startposition und C = schwarze Reize/Angabe der Startposition) war annähernd identisch. Jeder Block begann mit einer Instruktion und einigen Übungsdurchgängen. Wie in den früheren Experimenten tauchte nach der dynamischen Fixationshilfe der Reiz auf, bewegte sich und verschwand wieder. In Block A wurde aber für die Erfassung der wahrgenommenen Startfarbe die oben beschriebene Farbskala während des gesamten Blocks mittig dargeboten. 500 ms nach Verschwinden des Reizes tauchte zufällig innerhalb der Farbskala der schwarze Rahmen auf und konnte durch Mausbewegungen an die entsprechende wahrgenommene Startfarbe verschoben werden. In den Blöcken B und C hingegen wurde genau wie in Experiment 3 nach Verschwinden des Reizes die Markierungslinie zufällig im mittleren Bereich gezeigt und an die wahrgenommene Startposition verschoben. Innerhalb der Blöcke fand keine Pause statt, sondern jeweils zwischen zwei Blöcken.

In den Blöcken A und B wurden die Kombinationen aus Richtung der Farbveränderung und Startfarbe je 8 mal vorgegeben, so daß sich insgesamt 192 Durchgänge ergaben. Auch Block C bestand aus 192 Durchgängen, um die Dauer der Blöcke konstant zu halten. Die Reihenfolge der Blöcke wurde ausbalanciert, und die Abfolge der Durchgänge in den Blöcken war zufällig.

Versuchspersonen

Es nahmen insgesamt 16 Vpn (6 Männer und 10 Frauen) am Experiment teil. Ihr Alter betrug im Durchschnitt 26.8 Jahre. Sie wurden für ihre Teilnahme bezahlt. Alle verfügten über hundertprozentige oder voll korrigierte Sehkraft und waren nicht über die Hypothesen informiert.

Ergebnisse und Diskussion

Im Unterschied zu den übrigen Experimenten wurde hier mit Mittelwerten und nicht mit Medianen gearbeitet. Dieses Vorgehen erschien sinnvoll, da sich in **Block A** als Einzelmeßwerte lediglich ganze Zahlen ergeben konnten und der erwartete Effekt etwa in einem Bereich von maximal drei Einheiten lag. Die Berechnung von Medianen könnte so die Meßwerte stark verzerren. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden auch in den übrigen Blöcken Mittelwerte bestimmt.

Im Folgenden sollen zunächst die Ergebnisse für die drei Blöcke getrennt dargestellt werden und anschließend der Vergleich zwischen den einzelnen Fehlwahrnehmungen.

Abbildung 6.7 zeigt die Mittelwerte für Block A getrennt für die Veränderungsrichtungen und die Startfarben.

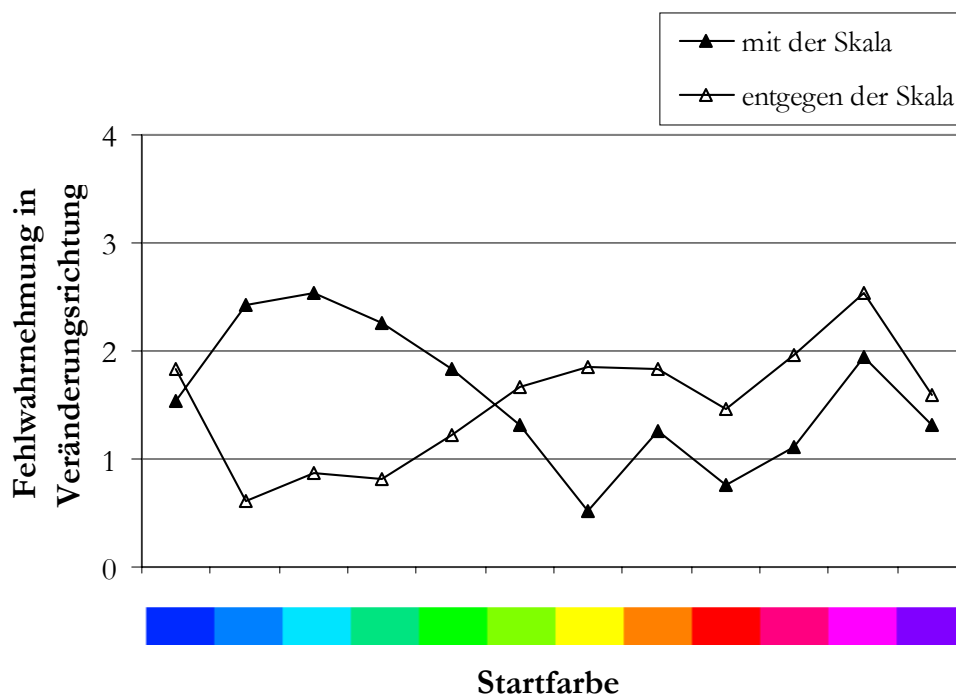


Abbildung 6.7 Gemittelte Fehlwahrnehmung in Richtung der Farbveränderung in Block A von Experiment 13 getrennt nach Richtung des Farbwechsels und Startfarbe, N = 16.

Die Fehlwahrnehmung der Farbe betrug im Mittel 1.55 Farbeinheiten, bei einer Standardabweichung von 2.36. Insgesamt war die Fehlwahrnehmung signifikant höher als 0 [$F(1, 15) = 72.17$; $MSe = 12.83$; $p < 0.001$]. Die Vpn nahmen also hypothesengemäß im Mittel nicht die tatsächliche Startfarbe als erste wahr, sondern – analog zur Position – eine spätere Reizfarbe. Für die Mittelwerte der einzelnen Vpn wurde eine zweifache Varianzanalyse über die Meßwiederholungsfaktoren Farbwechselrichtung und Startfarbe berechnet. Es konnte ein Haupteffekt für die Startfarbe nachgewiesen werden [$F(1, 15) = 3.32$; $MSe = 0.75$; $p < 0.001$], die Farbfehlwahrnehmung war also für die verschiedenen Startfarben unterschiedlich groß. Wie vorhergesagt erreichte der Haupteffekt für die Farbwechselrichtung keine Signifikanz, wohl aber die Interaktion zwischen den Faktoren Farbwechselrichtung und Startfarbe [$F(11, 165) = 7.50$; $MSe = 1.21$; $p < 0.001$; $\epsilon = 0.36$]. Die gemeinsame Variation der Farbwechselrichtung und der Startfarbe scheint also den gewünschten Effekt – die Kompensation systematischer Farbverwechslungen – erzielt zu haben. In Abbildung 6.7 zeigt sich dies darin, daß ein starker Effekt unter einer Richtung mit einem geringen unter der anderen Richtung einherging. Die Verwechslungen zwischen Farben haben also tatsächlich in einem Fall in Richtung meiner Hypothese gewirkt und ein anderes Mal entgegengesetzt.

Gegen die Interpretation dieser Befunde im Sinne einer positiven Fehlwahrnehmung läßt sich ein schwerwiegender Einwand vorbringen. Er betrifft die – zugegebenermaßen – etwas künstliche Erzeugung der negativen Fehlwahrnehmungswerte. Wenn die Vpn die Farben, die nicht in der Abfolge enthalten waren, praktisch nie als Startfarbe wählen, sondern stets eine Farbe, die in der Abfolge enthalten war, dann würden sich die Meßwerte nicht symmetrisch um den wahren Wert verteilen, sondern verstärkt in Richtung positiver Werte. Selbst wenn die erste Farbe in den allermeisten Fällen korrekt wahrgenommen wird, sollte sich unter diesen Umständen im Mittel ein positiver Wert für die Fehlwahrnehmung ergeben. Um diese Möglichkeit eines methodenbedingten Artefakts auszuschließen, wurde die Verteilung der Meßwerte über die zugeordneten Fehlwahrnehmungswerte näher betrachtet. Diese Verteilung gibt Abbildung 6.8 wieder.

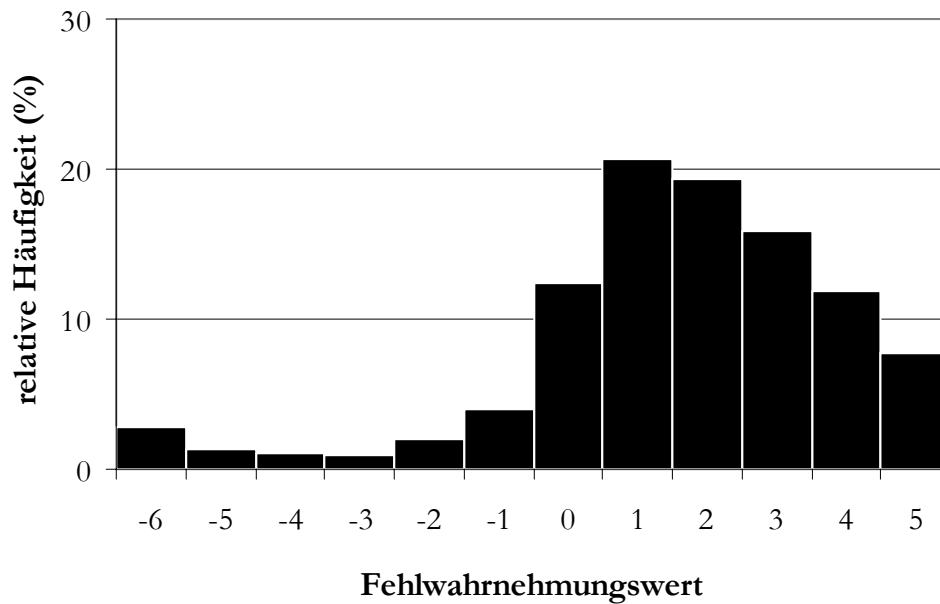


Abbildung 6.8 Relative Häufigkeiten für einzelne Fehl Wahrnehmungskategorien in Block A von Experiment 13, N = 16.

Die Abbildung zeigt, daß numerisch keineswegs die Kategorie 0 am häufigsten vorkam. Die tatsächliche Startfarbe wurde also nicht in den allermeisten Fällen als Startfarbe angegeben. Vielmehr kommt der Fehl Wahrnehmungswert 1, 2 und 3 häufiger vor als 0 (die Häufigkeiten von -6 bis +5 betragen 2.74, 1.36, 1.02, 0.99, 2.05, 4.03, 12.36, 20.65, 19.33, 15.86, 11.89 und 7.73%). Damit kann dieser methodenbedingte Artefakt ausgeschlossen werden.

Abbildung 6.9 zeigt die Fehllokalisierung für **Block B** getrennt nach Richtung des Farbwechsels und der Startfarbe.

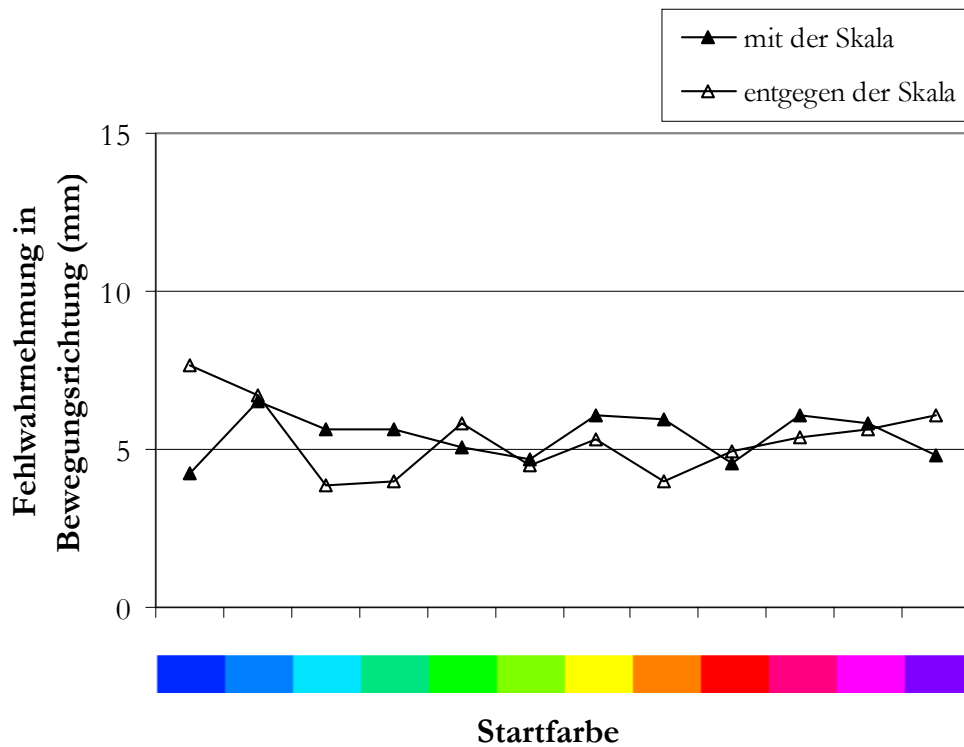


Abbildung 6.9 Gemittelte Fehlannahme in Bewegungsrichtung (Fröhlich-Effekt) in Block B von Experiment 13 getrennt nach Richtung des Farbwechsels und Startfarbe, $N = 16$.

Im Mittel betrug der Fröhlich-Effekt für Farbreize 5.37 mm bei einer Standardabweichung von 13.68 mm. Die zweifache Varianzanalyse über die Meßwiederholungsfaktoren Farbwechselrichtung und Startfarbe ergab hier insgesamt eine Fehllokalisierung, die knapp die Signifikanz verfehlte [$p = 0.059$]. Weder die Haupteffekte, noch die Interaktion unterschieden sich signifikant von 0, wobei die Interaktion zwischen Farbwechselrichtung und Startfarbe tendenziell signifikant war [$p = 0.051$]. Dies bedeutet, daß die Verkürzung der Reizstrecke den Fröhlich-Effekt so stark verkürzt hat, daß der Effekt nicht mehr signifikant war. Zusätzlich wirkten sich Startfarben und Farbwechselrichtung deutlich geringer auf den Fröhlich-Effekt aus, als auf die Farbschätzung.

Abbildung 6.10 zeigt den gemittelten Fröhlich-Effekt für **Block C** (Fröhlich-Effekt bei schwarzen Reizen).

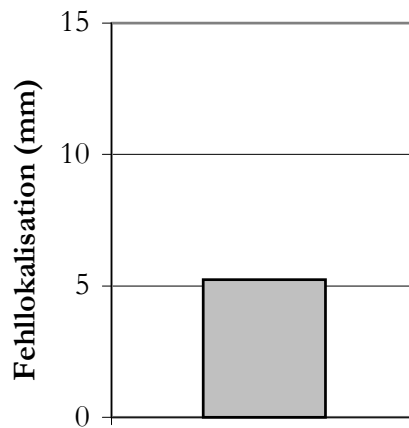


Abbildung 6.10 Gemittelte Fehllokalisierung in Bewegungsrichtung (Fröhlich-Effekt) in Block C von Experiment 13, N = 16.

Die Fehllokalisierung betrug im Mittel 5.23 mm bei einer Standardabweichung von 8.96 mm. Dieser Wert war signifikant höher als 0 [$t(15) = 2.34$; $p = 0,034$], obwohl er numerisch geringer war als der durchschnittliche Fröhlich-Effekt in Block B.

Für den Vergleich zwischen dem Farbfehlwahrmungsblock (A) und den Fröhlich-Effekt-Blöcken (B und C) mußte das Skalenniveau angepaßt werden, da sich für die Farben nur diskrete Werte zwischen -6 und +5 ergeben konnten, während bei der Fehllokalisierung kontinuierliche Werte möglich waren, deren Minimal- und Maximalwerte lediglich durch die Bildschirmränder begrenzt waren. Dies verdeutlicht Abbildung 6.11.

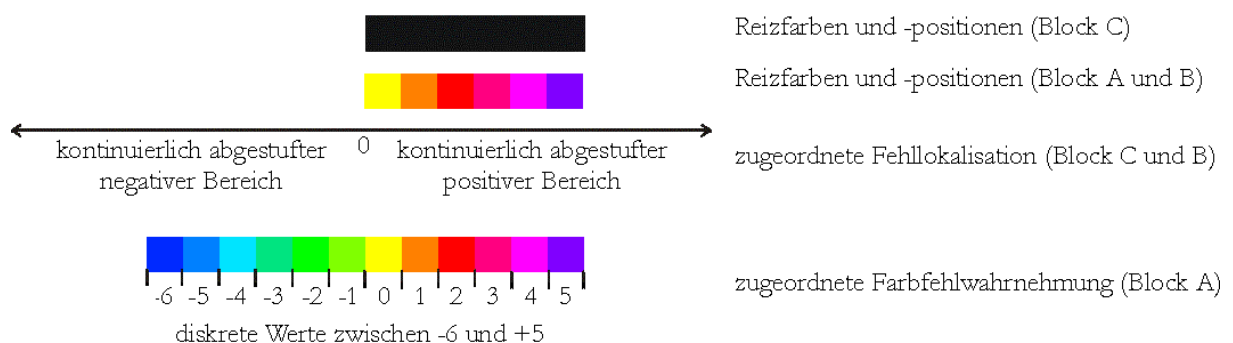


Abbildung 6.11 Zuordnung von Reizfarben und -positionen zu Fehllokalisierungen und Farbfehl Wahrnehmungswerten in den verschiedenen Blöcken.

Da mit jeder Farbänderung auch der Reiz um eine vollständige Breite (4.7 mm) versetzt wurde, entsprach jede Farbe einer bestimmten Reizposition und damit jeder Farbfehl Wahrnehmungswert auch einer diskreten Stufe räumlicher Verlagerung. So

entsprach die Angabe von Rot als subjektive Startfarbe für das Beispiel in Abbildung 6.11 einer Farbfehl Wahrnehmung von 2 und auch einem Lokalisationsfehler von 2, da das rote als drittes Kästchen gezeigt wurde. Negative Werte entsprachen analog negativen Lokalisationen. Diese Werte lassen sich aber nicht direkt mit dem Fröhlich-Effekt aus den beiden übrigen Blöcken vergleichen, da hier die Fehllokalisierung nicht in diskreten Stufen bestimmt worden war, sondern kontinuierlich. Außerdem waren die Extremwerte lediglich durch die Bildschirmränder begrenzt. Für den Vergleich wurden die kontinuierlichen Werte in diskrete umgerechnet. Da jede Reizposition 4.7 mm breit war, waren alle Lokalisationsfehler zwischen 0 und 4.7 in der ersten Reizposition enthalten und wurden daher einem diskreten Lokalisationsfehler von 0 zugewiesen. Entsprechend wurden Werte über 4.7 bis 9.4 mm dem Wert 1 zugewiesen usw. Werte oberhalb von 23.5 – also auch Fröhlich-Effekt-Werte, die höher waren als die Laufstrecke – wurden der höchsten Kategorie zugeordnet (+5). Bei den negativen Werten wurde analog vorgegangen (siehe Abbildung 6.12).

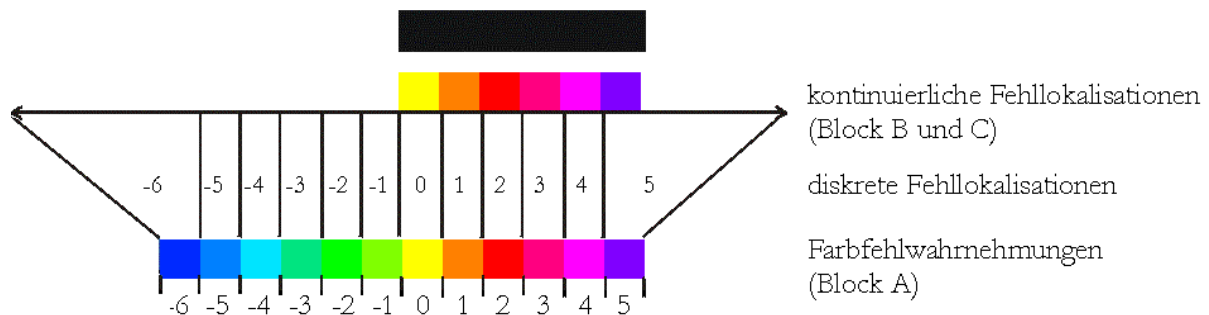


Abbildung 6.12 Zuordnung der Farbfehl Wahrnehmung in Block A und der kontinuierlichen Fehllokalisierungen in Block B und C zu diskreten Fehllokalisierungswerten.

Durch dieses Verfahren wurden die intervallskalierten Daten für den Fröhlich-Effekt in das rangskalierte Skalenniveau für die Farbfehllokalisierung umkodiert und waren so mit den Farbfehllokalisierungen vergleichbar. Die so bestimmten mittleren Fehllokalisierungen sind in Abbildung 6.13 dargestellt.

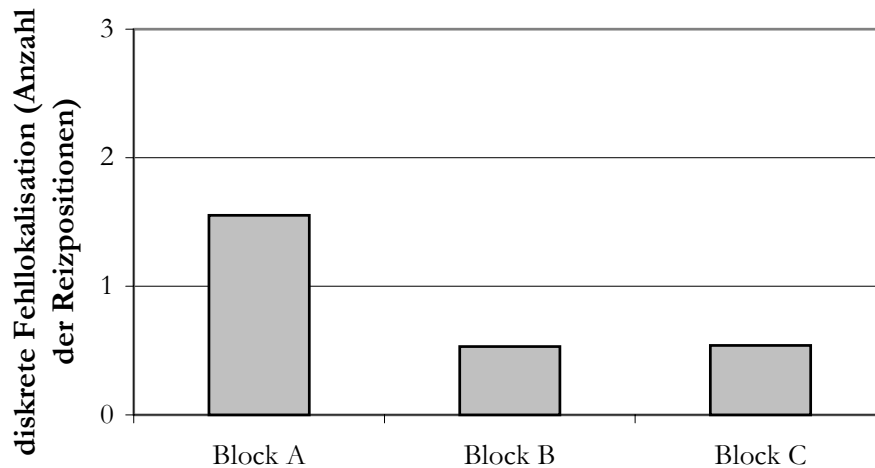


Abbildung 6.13 Vergleich der mittleren Fehlwahrnehmungen in den Blöcken A, B und C aus Experiment 13, $N = 16$.

Für die diskrete Fehllokalisierung ergab sich im Mittel ein Wert von 1.55 für Block A, von 0.53 für Block B und von 0.54 für Block C. Eine ANOVA über die drei Blöcke ergab außerdem einen signifikanten Einfluß des Faktors Block [$F(2, 30) = 5.74$; $MSe = 1.61$; $p = 0.040$]. Es überschritt zwar keine Differenz zwischen den Blöcken die kritische Scheffé-Differenz von 1.16, dennoch besteht numerisch der größte Unterschied eindeutig zwischen Block A und den beiden anderen Blöcken.

Insgesamt zeigte sich der erwartete reduzierte Fröhlich-Effekt bei verkürzter Strecke. Relevanter aber war, daß tatsächlich die direkt aus dem Wetterwart-Modell abgeleitete Verzerrung der Startfarbe bei dynamischer Farbveränderung nachgewiesen werden konnte. Zusätzlich ist diese – zumindest numerisch – deutlich höher als der Fröhlich-Effekt unter identischen und unter Standardbedingungen. Für die Farbbeurteilung wird im Schnitt statt der ersten eine Farbe zwischen der dritten und vierten wahrgenommen, während bei der Positionsbeurteilung bereits eine Position zwischen der ersten und zweiten wahrgenommen wird. Dieser Unterschied erscheint plausibel, wenn man annimmt, daß für die Bestimmung der Farbe die vorherige Lokalisation eine notwendige aber nicht hinreichende Bedingung ist. Es müßte demnach zunächst Aufmerksamkeit auf den Ort gerichtet werden, um anschließend die Farbe wahrzunehmen zu können. Bezogen auf die Analogie könnte dies bedeuten, daß die Zuwendung zur Anzeige nicht ausreicht, um den Wert abzulesen, sondern daß das Ablesen selbst Zeit erfordert.

6.3 Experiment 14

In den folgenden drei Experimenten sollte die Fehlwahrnehmung der Farbe näher untersucht werden. Im einzelnen sollten folgende Hypothesen geprüft werden: Erstens: Zeigt sich auch bei stationären Reizen eine Fehlwahrnehmung der Farbe, und wird diese Täuschung – wie bei der Einschätzung der Startposition und der Startgröße – mit der Exzentrizität größer? Zweitens: Läßt sich auch bei exakter Bekanntheit der Reizposition eine Farbfehlwahrnehmung nachweisen? Drittens: Übt Cuing einen Einfluß auf diese Wahrnehmungstäuschung aus?

In Experiment 13 bewegten sich die Reize während der Farbveränderung. Theoretisch könnte also die Fehlwahrnehmung der Farbe an die Bewegung des Reizes gebunden sein. Daher wurden in Experiment 14 stationäre Reize eingesetzt werden, die kontinuierlich ihre Farbe veränderten. Laut Modell sollte sich der Effekt auch hier nachweisen lassen, wenn die Reize an unbekannt Positionen auftauchen und entsprechend Aufmerksamkeit auf sie gerichtet werden muß. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob sich ein Exzentrizitätseffekt wie bei bewegten Reizen nachweisen läßt. Dies erschien sinnvoll, da bei konstanter Position die Fehlwahrnehmung nicht – wie bei Bewegung – durch Exzentrizitätsveränderungen während der Aufmerksamkeitsverlagerung beeinflusst werden kann. Zusätzlich erschien die Frage interessant, ob auch eine Fehlwahrnehmung der Farbe auftritt, wenn der Reiz im Zentrum der Aufmerksamkeit erscheint (Exzentrizität 0). Laut den ursprünglichen Überlegungen zum Wetterwart-Modell sollte sich hier keine Verzerrung ergeben, allerdings lassen die Daten aus dem letzten Experiment möglicherweise einen solchen Effekt erwarten. Wenn die Aufmerksamkeitsverlagerung tatsächlich nicht ausreicht, um die Farbe wahrzunehmen, sondern beispielsweise das Auslesen zusätzlich Zeit erfordert, sollte hier zwar der Effekt reduziert sein, aber nicht verschwinden.

Methode

Apparatur und Stimuli

Die Versuchsapparatur war mit der aus Block A in Experiment 13 völlig identisch, mit folgender Ausnahme: Die Reize bewegten sich während der Farbänderung nicht, sondern

blieben an ihrer jeweiligen Startposition stehen, d.h. mit jedem Bildschirmaufbau wurde die vorherige Farbe überschrieben.

Design

Systematisch variiert wurde der Faktor Exzentrizität auf 5 Stufen (0, 1.68, 3.37, 5.05, 6.73° bzw. 0, 11.75, 23.5, 35.25, 47 mm). Zufallsvariiert aber nicht ausgewertet wurden außerdem die Richtung der Farbveränderung auf zwei Stufen (mit der Skala bzw. entgegengesetzt) und die Startfarben, damit sich Farbverwechslungen nicht systematisch auswirken konnten (für eine ausführlichere Begründung siehe Experiment 13). Es handelte sich demnach um ein einfaktorielles Design. Als abhängige Variable wurde das Ausmaß der Fehlwahrnehmung der Startfarbe in Richtung der Veränderung bestimmt.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entsprach vollständig dem aus Block A in Experiment 13 mit dem einzigen Unterschied, daß sich die Reize während der Farbveränderung nicht über den Bildschirm bewegten. Die Angabe der wahrgenommenen Startfarbe erfolgte – wie in Block A von Experiment 13 – über die farbige Skala.

Jede Startexzentrizität wurde 96 mal vorgegeben und die Abfolge der Durchgänge war zufällig.

Versuchspersonen

Es nahmen 12 Versuchspersonen am Experiment teil (7 Frauen und 5 Männer). Ihr Alter betrug im Durchschnitt 24.8 Jahre, sie wurden für ihre Teilnahme bezahlt. Niemand wurde vorab über die Hypothesen informiert. Alle Vpn verfügten über normale oder korrigierte Sehschärfe.

Ergebnisse und Diskussion

Auch in diesem Experiment wurden – aufgrund der diskreten Abstufungen der Farbwerte – Mittelwerte anstelle von Medianen berechnet. Abbildung 6.14 zeigt die Ergebnisse getrennt für die verschiedenen Reizexzentrizitäten.

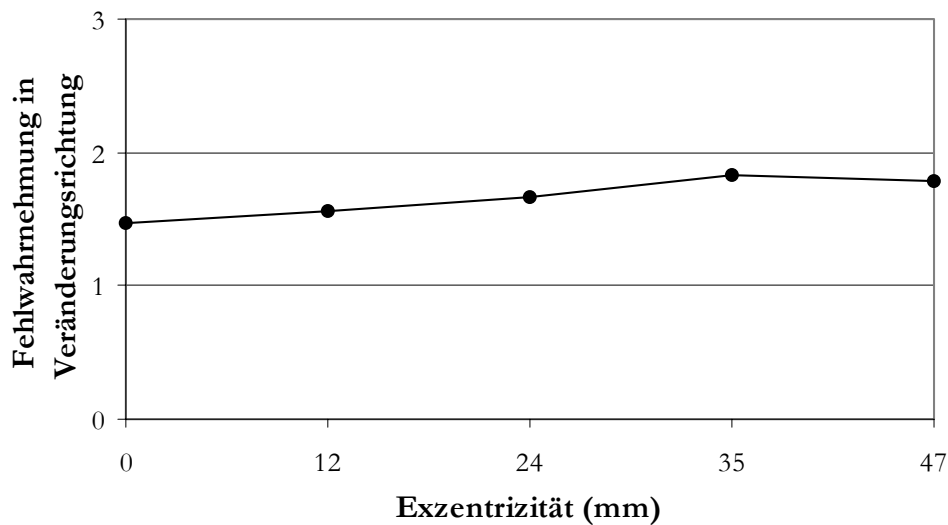


Abbildung 6.14 Gemittelte Fehl wahrnehmung in Richtung der Farbveränderung in Experiment 14 getrennt nach Exzentrizitäten, $N = 12$.

Die Fehl wahrnehmung in Richtung der Farbveränderung betrug im Mittel 1.7 Farbschritte bei einer Standardabweichung von 0.85. Dieser Wert unterschied sich deutlich von 0 [$F(1, 11) = 57.55$; $MS_e = 2.88$; $p < 0.001$]. Über die Mittelwerte der einzelnen Vpn wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung über den Faktor Reizexzentrizität berechnet. Die Reizexzentrizität übte einen signifikanten Einfluß auf die Fehl wahrnehmung aus [$F(4, 44) = 5.36$; $MS_e = 0.05$; $p = 0.001$]. Es zeigte sich ein deutlich signifikanter linearer Trend [$F(4, 44) = 17.75$; $MS_e = 0.05$; $p < 0.001$]. Zusätzlich unterschied sich – wie die Abbildung verdeutlicht – das Ausmaß der Fehl wahrnehmung für die Exzentrizität 0 deutlich von 0 [$t(11) = 7.32$; $p < 0.001$].

Diese Befunde weisen nach, daß die Fehl wahrnehmung eines Reizes, der an einer unbekanntem Position auftaucht, nicht an Bewegung, Vergrößerung, etc. – also räumliche Veränderungen – gebunden ist. Zusätzlich zeigte sich, daß die Fehl wahrnehmung der Farbe mit zunehmender Reizexzentrizität anstieg. Der Verlauf ähnelte dem für den Fröhlich-Effekt über die Exzentrizitäten. Das deutet darauf hin, daß die zunehmende Fehl wahrnehmung der Startposition in den Experimenten zum Fröhlich-Effekt nicht auf die Veränderung der Exzentrizität während der Bewegung zurückging. Zusätzlich zeigte sich selbst dann eine signifikante Fehl wahrnehmung, wenn der Reiz im Zentrum der

Aufmerksamkeit auftauchte. Dies spricht für die Überlegung, daß die Verlagerung der Aufmerksamkeit nicht ausreicht, um ein Reizmerkmal wahrzunehmen.

Allerdings läßt sich gegen diese Interpretation einwenden, daß durch die dynamische Fixationshilfe die Aufmerksamkeit möglicherweise nicht exakt auf den Bildschirmmittelpunkt ausgerichtet wurde und daher in dieser Bedingung doch Aufmerksamkeit verlagert werden mußte. Die Plausibilität dieser Überlegung sollte in Experiment 15 untersucht werden.

6.4 Experiment 15

Mit Hilfe von Experiment 15 sollte untersucht werden, ob unter Bedingungen, in denen die anschließende Reizposition durch einen zuvor auftauchenden Rahmen exakt bekannt ist und fixiert wird, eine Fehlwahrnehmung der Farbe auftritt. Wenn dies der Fall ist, würde dies die Idee, daß eine Aufmerksamkeitszuwendung an einen Ort nicht ausreichend dafür ist, daß ein Merkmal an diesem Ort wahrgenommen werden kann, weiter stützen.

Methoden

Apparatur und Stimuli

Versuchsapparatur und Stimuli waren fast vollständig mit denen aus Experiment 14 identisch. Die einzige Ausnahme betraf die Tatsache, daß statt der dynamischen Fixationshilfe ein schwarzer Rahmen mit einer Kantenlänge von 6.0 mm (0.96°) im Zentrum des Bildschirms gezeigt wurde. Er war genau so groß gewählt, daß er das farbige Quadrat umschloß, ohne es zu berühren.

Design

Kein Faktor wurde systematisch variiert. Zufallsvariiert aber nicht ausgewertet wurden wiederum – wie in Experiment 14 – die Richtung der Farbveränderung und die Startfarbe.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entsprach vollständig dem aus Experiment 14, einschließlich der Abfrage der wahrgenommenen Startfarbe über die farbige Skala. Die einzige Abweichung

bestand darin, daß statt der dynamischen Fixationshilfe der schwarze Rahmen gezeigt wurde. Er erschien für 1000 ms, und 450 ms nachdem er vom Bildschirm verschwunden war, tauchte der farbige Reiz auf. Nach einem weiteren Delay von 500 ms erschien das Markierungsfenster auf der farbigen Skala und konnte über Mausbewegungen – wie in Experiment 13 (Block A) und Experiment 14 – auf die wahrgenommene Startfarbe verschoben werden.

Es wurden 312 Durchgänge realisiert.

Versuchspersonen

Es nahmen 13 Versuchspersonen – 2 Männer und 11 Frauen - am Experiment teil. Ihr Alter betrug im Durchschnitt 26.3 Jahre und sie erhielten 12 DM pro Stunde für ihre Teilnahme. Keine der Vpn war über die Hypothesen informiert, und alle verfügten über normale oder voll korrigierte Sehschärfe.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 6.15 zeigt die gemittelte Fehlwahrnehmung der Startfarbe.

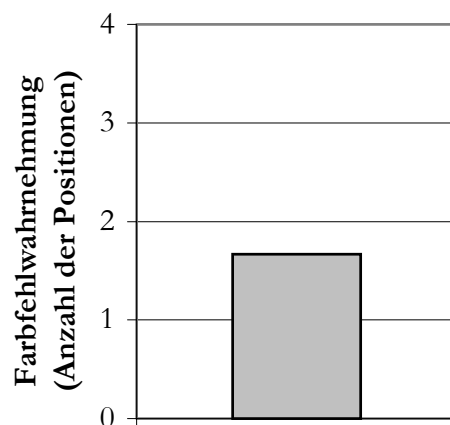


Abbildung 6.15 Gemittelte Fehlwahrnehmung in Richtung der Farbveränderung in Experiment 15, N = 13.

Im Mittel betrug die Fehlwahrnehmung 1.67 Farbeinheiten, bei einer Standardabweichung von 1.66. Dieser Wert war signifikant höher als 0 [$t(12) = 12.46$; $p < 0.001$].

Dies bedeutet, daß sich auch dann, wenn die Reizposition exakt bekannt war und entsprechend Aufmerksamkeit auf diese Position gerichtet wurde, eine Fehlwahrnehmung

der Startfarbe nachweisen läßt. Der signifikante Effekt in Experiment 14 ging also vermutlich nicht auf eine unexakte Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch die dynamische Fixationshilfe zurück. Dies bestätigt die Überlegung, daß die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den entsprechenden Ort nicht ausreicht, um einen Reiz bewußt wahrzunehmen.

6.5 Experiment 16

Wenn eine abgeschlossene Aufmerksamkeitszuwendung zum Reizort allein nicht hinreichend ist, um ein Merkmal wie Farbe an diesem Ort wahrzunehmen, stellt sich die Frage, ob Aufmerksamkeitsprozesse überhaupt relevant sind. Zumindest theoretisch wäre es möglich, daß Orts- und Farbinformationen parallel verarbeitet werden und für beide eine unabhängige Verzerrung des ersten Merkmals auftritt. In diesem Fall wäre die Lokalisation also nicht die Voraussetzung für die Wahrnehmung der Farbe. Um zu prüfen, ob räumliche Aufmerksamkeitsprozesse überhaupt eine Rolle für die Fehlwahrnehmung der Farbe spielen, sollten in Experiment 16 Cuing-Effekte untersucht werden. Wenn Cuing der Position die Farbfehlwahrnehmung reduziert, würde dies gegen eine unabhängige Verarbeitung von Ort und Farbe sprechen. Cuing-Effekte für die Farbreize erschienen auch deshalb interessant, weil räumlich valide Cues in den Fröhlich-Experimenten (Müsseler und Aschersleben, 1998) die Fehllokalisierung aufgrund von räumlicher Integration reduziert haben könnten. Wenn der Cue zuvor am gleichen oder einem benachbarten Ort auftaucht, könnte er zu einer Tendenz führen, einen mittleren Ort zwischen Cue und Reiz einzustellen. Das Problem beim Einsatz von Cues bei bewegten Reizen besteht darin, daß der Cue Information über eine räumliche Position liefert und eine Position beurteilt werden soll. Bei Farbveränderungen, die an bestimmten Orten stattfinden, beinhaltet der Cue jedoch keinerlei Information über das zu beurteilende Reizmerkmal, sondern lediglich über die Position. Eine Reduktion des Effektes unter validen Bedingungen – wenn also der Cue an der Position auftaucht, an der anschließend der Farbreiz gezeigt wird – gegenüber einer Bedingung ohne Cue würde also deutlicher für Aufmerksamkeitseffekte sprechen. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob sich im nicht-validen Fall – wenn der Cue auf der gegenüberliegenden Seite erscheint – tatsächlich keinerlei Erhöhung des Effektes finden läßt, wie bei Müsseler und Aschersleben (1998, Experiment 4) zum Fröhlich-Effekt, oder ob ihr Befund

möglicherweise auf die in Abschnitt 3.3 postulierte reduzierte räumliche Unsicherheit – dadurch, daß der Cue zwar auf der gegenüberliegenden Seite erschien, aber immer die gleiche Exzentrizität aufwies – zurückging. Vorhergesagt wurde eine Reduktion der Farbfehlwahrnehmung unter validen Bedingungen gegenüber Bedingungen ohne Cue und eine Erhöhung unter nicht-validen Bedingungen.

Methoden

Apparatur und Stimuli

Die Versuchsapparatur war mit der aus Experiment 14 bzw. 15 völlig identisch, mit dem einzigen Unterschied, daß vor den Kästchen Cues gezeigt wurden. Die Cues bestanden aus zwei Pfeilköpfen, die oben und unten mit ihren Spitzen direkt an die Reizbahn anschlossen, ohne sie zu berühren. Jeder der beiden Pfeilköpfe war 3.1 mm hoch und 3.5 mm breit ($0.45 \times 0.05^\circ$). Abbildung 6.16 zeigt den Cue relativ zum Reiz für den validen Fall.



Abbildung 6.16 Darstellung eines Cues relativ zur Reizposition in Experiment 16 (valider Fall).

Design

Variiert wurde der Faktor Cue auf 3 Stufen. Entweder es wurde kein Cue gezeigt, der Cue war valide oder er war nicht-valide. In den validen Durchgängen wurde das Pfeilpaar an der gleichen Position gezeigt, an der anschließend das Kästchen auftauchte. In der nicht-validen Bedingung erschien der Cue auf der gegenüberliegenden Seite zufällig an einer der möglichen Exzentrizitäten, d.h. nicht notwendigerweise an der gleichen Exzentrizität wie das Kästchen. Die einzelnen Cue-Bedingungen waren gleich häufig, jede wurde in einem Drittel aller Fälle realisiert. Zufallsvariieren wurden die Reizexzentrizität (3.37° , 6.73° und 8.42° bzw. 23.5, 35.25 und 47mm), die Richtung der Farbveränderung auf der Skala (auf- bzw. absteigend) und die Startfarbe. Als abhängige Variable diente wiederum die Fehlwahrnehmung der Startfarbe in Richtung der Veränderung.

Jede Cuing-Bedingung wurde 144 mal realisiert und die insgesamt 432 Durchgänge wurden in einer Zufallsabfolge dargeboten.

Versuchsablauf

Der Versuchsablauf entsprach vollständig dem aus Experiment 14, einschließlich der Abfrage der wahrgenommenen Startfarbe über die farbige Skala. Die einzige Abweichung bestand in der Darbietung des validen bzw. nicht-validen Cues. Wenn er dargeboten wurde, erschien er zu genau dem Zeitpunkt, an dem in der Bedingung ohne Cue der Reiz erschienen wäre (250 bis 450 ms nach Ende der dynamischen Fixationshilfe). Er wurde für 16.7 ms (einen Bildschirmaufbau lang) dargeboten. Das SOA zwischen Cue und Reiz betrug 133 ms und entsprach damit annähernd dem SOA von 125 ms bei Müsseler und Aschersleben (1998).

Versuchspersonen

Es nahmen 13 Versuchspersonen gegen Bezahlung am Experiment teil. 9 von ihnen waren weiblich und 4 männlich. Ihr Durchschnittsalter betrug 25.2 Jahre. Keine der Vpn war über die Hypothesen informiert. Alle verfügten über normale oder voll korrigierte Sehschärfe.

Ergebnisse und Diskussion

Eine Vp mußte von der Auswertung ausgeschlossen werden, da sie (vermutlich irrtümlich) stets die rechte Maustaste gedrückt hatte und damit angab, die Startfarbe nicht gesehen zu haben. Abbildung 6.17 zeigt die Ergebnisse für die verschiedenen Cuing-Bedingungen.

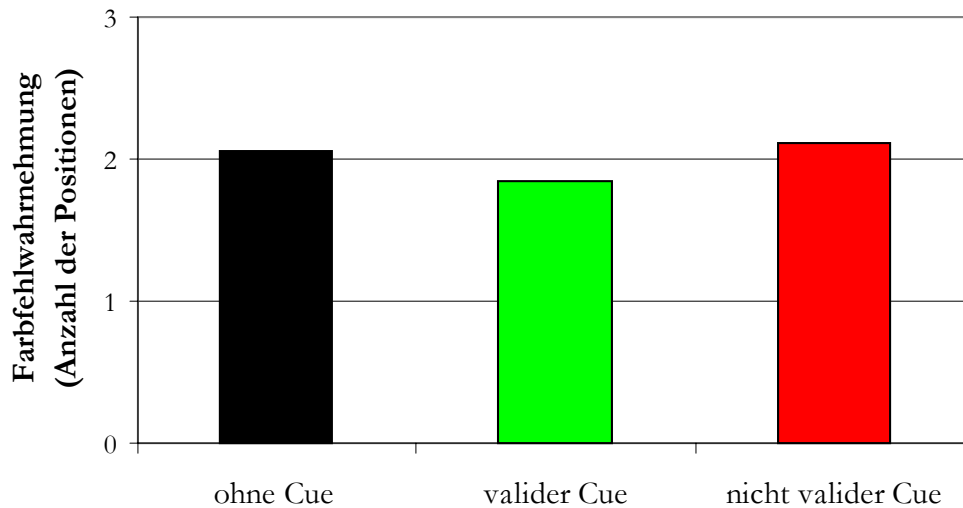


Abbildung 6.17 Gemittelte Fehlwahrnehmung in Richtung der Farbveränderung in Experiment 16 getrennt nach Cuing-Bedingung und Exzentrizität, $N = 12$.

Über die übrigen 12 Vpn ergab sich eine mittlere Fehlwahrnehmung der Startfarbe von 2.01 Einheiten bei einer Standardabweichung von 0.55 Einheiten. Dieser Wert unterschied sich signifikant von 0 [$F(1, 11) = 171.38$; $MSe = 0.84$; $p < 0.001$]. Die einfaktorielle Varianzanalyse über den Meßwiederholungsfaktor Cuing ergab einen signifikanten Effekt [$F(2, 22) = 5.42$; $MSe = 0.04$; $p = 0.012$]. Die mittleren Werte betragen hier 1.85 für die valide Bedingung und 2.11 für die nicht-valide Bedingung. Die neutrale Bedingung ohne Cue lag numerisch zwischen diesen Werten bei 2.06. Im Anschluß durchgeführte Scheffé-Tests zwischen den Cuing-Bedingungen ergaben einen statistisch bedeutsamen Unterschied zwischen der validen und den beiden anderen Bedingungen. Die nicht-valide Bedingung unterschied sich nicht von der Bedingung ohne Cue [$Diff_{crit} = 0.15$; $MSe = 0.04$; $p < 0.05$].

Cuing wirkt sich also auf die Fehlwahrnehmung der Farbe aus. Der Cuing-Effekt ist demnach nicht an Bewegung als Reizdimension gebunden. Dadurch wird unwahrscheinlich, daß die Reduktion des Fröhlich-Effekts unter der validen Cuing-Bedingung bei Müsseler und Aschersleben (1998, Experiment 4) durch räumliche Integration zustande kam. Allerdings zeigte sich auch hier – wie bei Müsseler und Aschersleben (1998) – kein Unterschied zwischen der neutralen und der nicht-validen Bedingung. Ihr damaliger Befund ging demnach wohl nicht auf reduzierte räumliche Unsicherheit in der nicht-validen gegenüber der neutralen Bedingung zurück, da hier die

Cue-Position im nicht-validen Fall ja variabel war. Ob möglicherweise eine Reduktion der zeitlichen Unsicherheit einen Effekt des nicht-validen Cuing verhindert hat, läßt sich aufgrund meiner Daten nicht entscheiden, da auch in diesem Experiment der Zeitpunkt des Reizes vor der Darbietung eines Cues unsicherer war, als im Anschluß.

6.6 Zusammenfassung

Mit Hilfe der in diesem Kapitel dargestellten Experimente konnten zwei direkt aus dem Wetterwart-Modell abgeleitete neue Phänomene – eine Fehlwahrnehmung der Anfangsgröße bzw. der Startfarbe bei dynamischer Reizveränderung – nachgewiesen werden. Beim direkten Vergleich mit dem Fröhlich-Effekt zeigte sich, daß das Ausmaß der neuen Effekte größer war. Der größere Effekt bei Größenveränderung wurde über die größere räumliche Unsicherheit in bezug auf den relevanten Reizort erklärt. Das extremere Ausmaß der Farbfehlwahrnehmung in Block A von Experiment 13 gegenüber dem Fröhlich-Effekt unter identischen (Block B) und "normalen" Bedingungen (Block C) ging vermutlich darauf zurück, daß die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den relevanten Ort zwar notwendig für die Wahrnehmung der Farbe ist (hierfür spricht der Effekt des validen Cues), aber nicht ausreicht, um den Reiz bewußt wahrzunehmen (Experiment 15). Der Effekt der Farbfehlwahrnehmung war nicht an Bewegung gebunden, und es zeigte sich die bekannte Zunahme des Effektes über die Exzentrizitäten (Experiment 14). Die Befunde lassen sich über das Wetterwart-Modell integrieren, wenn man es um die Annahme erweitert, daß die Ausrichtung der Aufmerksamkeit nicht ausreichend für die Wahrnehmung des Reizes ist und etwa für das Auslesen zusätzliche Zeit benötigt wird.

7 Allgemeine Diskussion und physiologische Plausibilität des Wetterwart-Modells

In diesem letzten Kapitel sollen zunächst die experimentellen Ergebnisse meiner Arbeit und die bisherigen Befunde zum Fröhlich-Effekt so kombiniert werden, daß ein möglichst detailliertes Bild des Fröhlich-Effektes und der neuen Phänomene entsteht. Anschließend wird mit Hilfe dieser Effekte versucht, die Prozesse innerhalb des Wetterwart-Modells näher zu beleuchten. Den Abschluß meiner Arbeit bilden Überlegungen zur physiologischen Plausibilität des Wetterwart-Modells.

7.1 Allgemeine Diskussion

Betrachtet man die neuen gemeinsam mit den bisherigen Befunden zum Fröhlich-Effekt, so ergibt sich folgendes Bild dieses Wahrnehmungsphänomens: Zunächst einmal hängt der Fröhlich-Effekt von der **Reizgeschwindigkeit** ab. Je höher die Geschwindigkeit, desto extremer wird die Fehllokalisierung (Müsseler, 1987; Müsseler & Aschersleben, 1998). Bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten scheint der Effekt überhaupt nicht vorhanden zu sein (Carbone, 1995; Müsseler et al. eingereicht). Arbeitet man mit zwei Reizen und erfaßt den Fröhlich-Effekt für den zweiten Reiz (Müsseler, 1987), zeigt sich ein Effekt der **Fensterbreite**, während der **Stababstand** keinen Einfluß auf die Fehllokalisierung ausübt. Der Fröhlich-Effekt steigt über die **Exzentrizitäten** an und nähert sich schließlich einem Maximalwert an (Experiment 4). Dieser Maximalwert wird bei foveofugaler Bewegung früher erreicht als bei foveopetaler. Aufgrund dessen kann bei foveofugaler Bewegung und ausschließlicher Realisierung von hohen Exzentrizitäten ein signifikanter Effekt der Exzentrizität fehlen (Müsseler & Aschersleben, 1998; Experiment 3). Wo genau sich der Exzentrizitätsbereich befindet, über den der Fröhlich-Effekt bei foveofugaler Bewegung ansteigt, variiert zwischen Experimenten und ist vermutlich von den konkreten experimentellen Bedingungen und möglicherweise auch von der Zusammensetzung der Versuchspersonengruppe abhängig (Experimente 1, 2, und 4 versus Experiment 11). Der unterschiedlich frühe Anstieg über die Exzentrizitäten bedingt den meist signifikanten Effekt der **Bewegungsrichtung** (Experimente 1, 2 und 4). In einigen Experimenten wurde auch unter der Exzentrizität 0 – wenn also der Reiz genau im Zentrum der Aufmerksamkeit auftauchte (Experiment 3 und 4) – ein positiver Fröhlich-Effekt nachgewiesen. Zusätzlich ist der Fröhlich-Effekt nicht an lineare

Bewegung gebunden, sondern tritt auch bei **konzentrischer Kreisbewegung** auf (Experiment 5 und 6). Ist die Geschwindigkeit niedrig, verschwindet der Effekt bei konzentrischer Kreisbewegung, taucht aber wieder auf, wenn **dezentrierte Kreisbewegung** oder eine **Zusatzaufgabe** eingesetzt wird (Müsseler et al., eingereicht). Zusätzlich spielt es für das Ausmaß des Fröhlich-Effektes keine Rolle, auf welcher **Achse** der Reiz auftaucht (oben, unten, links oder rechts). **Cuing** hingegen beeinflusst das Ausmaß der Fehllokalisierung: Ein valider Cue, der kurz vor dem Reiz an seiner Position gezeigt wird, reduziert den Fröhlich-Effekt, ein nicht-valider Cue führt hingegen nicht zu einer Erhöhung der Fehllokalisierung (Müsseler & Aschersleben, 1998, Experiment 4). Außerdem werden **Reizänderungen**, die zu Beginn der Bewegung auftreten, seltener registriert als solche, die später stattfinden (Müsseler & Aschersleben, 1998, Experiment 5). Desweiteren sprechen die Befunde zum **Richtungswechsel** in Experiment 7 gegen eine Erklärung des Fröhlich-Effektes über Extrapolationsprozesse, da sich kein Überschießen in die ursprüngliche Bewegungsrichtung gezeigt hat. Außerdem sind **relative Positionsangaben** nicht geeignet, um den Fröhlich-Effekt zu erfassen, da der Marker mit dem Reiz in Bewegungsrichtung fehllokalisiert wird (Experimente 8 und 9). Über Gedächtniseffekte scheint der Fröhlich-Effekt ebenfalls nicht erklärbar zu sein, denn es fand sich insgesamt kein signifikantes representational momentum (Experiment 10) und eine farbige numerische **Skala** reduzierte den Fröhlich-Effekt nicht um nennenswerte Beträge (Experiment 11).

Zur Fehlwahrnehmung der Startgröße eines Reizes, der kontinuierlich größer wird, sind bisher nur zwei Eigenschaften bekannt: Erstens nimmt der Effekt über die **Exzentrizität** zu, und zweitens ist er – zumindest unter der verwendeten Reizanordnung – **größer als der Fröhlich-Effekt** (Experiment 12).

Zur Fehlwahrnehmung der Startfarbe in Richtung der Änderung liegt hingegen bereits eine Reihe von Befunden vor: Auch dieser Effekt nimmt mit der **Exzentrizität** zu (Experiment 14) und ist **größer als der Fröhlich-Effekt** unter identischen Bedingungen (Experiment 13). Auch unter der Exzentrizität 0 (Experiment 14) und selbst bei **bekannter und fixierter Reizposition** tritt eine Fehlwahrnehmung der Startfarbe auf (Experiment 15). Zusätzlich wird die Fehlwahrnehmung – ähnlich wie beim Fröhlich-

Effekt – durch valides **Cuing** reduziert, während ein nicht-valider Cue keine Erhöhung des Effektes bewirkt (Experiment 16).

Wie lassen sich diese Befunde in das Wetterwart-Modell integrieren, bzw. wie können diese Befunde dazu verwendet werden, die Prozesse innerhalb des Wetterwart-Modells zu präzisieren? Die folgenden Überlegungen haben einen spekulativen Charakter, aber mit ihrer Hilfe lassen sich die Befunde recht gut integrieren. Die Kernannahme des Wetterwart-Modells lautet, daß der auftauchende Reiz die periphere Verarbeitung und das Aufmerksamkeitssignal auslöst und daß dieser Reiz erst nach Abschluß der Aufmerksamkeitszuwendung bewußt wahrgenommen werden kann. Genauere Angaben über die stattfindenden Prozesse werden nicht gemacht. Meiner Ansicht nach lassen sich die Befunde relativ gut aufklären, wenn man die Ausrichtung der Aufmerksamkeit unterteilt in die Zeitspanne, die für die Planung der Aufmerksamkeitsverlagerung nötig ist und in die Dauer, die die eigentliche Verlagerung benötigt. Außerdem nehme ich – aufgrund der Befundlage – an, daß die Ausrichtung der Aufmerksamkeit an die entsprechende Reizposition nicht ausreicht, um diesen bewußt wahrzunehmen, sondern daß hierzu weitere aufmerksamkeitsbezogene Prozesse notwendig sind. Vermutlich sind neben den raumbasierten auch objektbasierte Aufmerksamkeitsprozesse notwendig (Tipper, Brehaut & Driver, 1990; Tipper, Weaver, Jerreat & Burak, 1994; Behrmann & Tipper, 1994). Vereinfacht könnte man sagen, daß der Ausleseprozeß eines Reizmerkmals aus der Raumkarte und/oder die Verknüpfung von Merkmalen zu einem Objekt Zeit benötigt. Ich vermute, daß die Dauer der Aufmerksamkeitsverlagerung konstant ist, während die beiden anderen Prozesse durch verschiedene Faktoren beeinflussbar sind.

Meiner Ansicht nach ist die Dauer für die Planung der Aufmerksamkeitsverlagerung von der Reizexzentrizität – also dem Abstand des jeweiligen Reizes vom Fixationspunkt – abhängig, ähnlich wie auch die Latenz bis zur Ausführung einer Sakkade bei relativ hohen Exzentrizitäten mit zunehmender Reizexzentrizität größer wird (Nazir & Jacobs, 1991; Kalesnykas & Hallet, 1994). Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, daß durch die abnehmende Sehschärfe mit zunehmender Reizexzentrizität (Wertheim, 1894; Kerr, 1971) die Bestimmung des Ziels für die Aufmerksamkeitsverlagerung schwieriger wird, d.h. die räumliche Unsicherheit wird größer. Mit dieser Annahme läßt sich nicht nur der Anstieg

des Fröhlich-Effektes über die Exzentrizitäten (Experiment 4) erklären, sondern auch der Einfluß der Fensterbreite und der fehlende Effekt des Stababstandes im Experiment von Müsseler (1987): Bei größerer Fensterbreite wächst der Abstand des zweiten Reizes vom Fixationspunkt – also die Exzentrizität –, und damit sollte die Fensterbreite denselben Einfluß auf den Fröhlich-Effekt ausüben wie die Exzentrizität. Durch den zunehmenden Stababstand verändert sich die Reizexzentrizität hingegen nicht, und daher dauert der Gesamtprozeß entsprechend immer eine konstante Zeitspanne. Über diese Verlängerung der Planungsphase läßt sich analog auch die zunehmende Fehlwahrnehmung der Startbreite (Experiment 12) und der Startfarbe (Experiment 14) über die Exzentrizitäten erklären: Wenn die Planung länger andauert, wird die Aufmerksamkeitsverlagerung verzögert in Gang gesetzt und entsprechend ein späteres Reizmerkmal als das erste wahrgenommen. Die Annäherung des Fröhlich-Effektes an eine Asymptote mit zunehmender Exzentrizität (Experiment 4) läßt sich vermutlich über den Verlauf der Sehschärfe über die Exzentrizitäten erklären: Der Abfall der Sehschärfe ist negativ beschleunigt, er verläuft über die Exzentrizitäten zunächst sehr steil und nähert sich dann langsam einer Asymptote an (Wertheim, 1894; Kerr, 1971). Ob sich die Fehlwahrnehmung der Startbreite und Startfarbe ebenfalls asymptotisch einem konstanten Wert annähern ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht geklärt.

Der Einfluß der Bewegungsrichtung auf den Fröhlich-Effekt läßt sich folgendermaßen erklären: Nimmt man an, daß eine Aufmerksamkeitsverlagerung schneller geplant werden kann, wenn der Reiz auf den Fixationspunkt zu wandert als wenn er sich von diesem entfernt – sei es, weil das visuelle System für foveopetale Bewegung sensitiver ist (Mateeff und Hohsbein, 1988 und Mateeff et al., 1991) oder weil sich der Reiz in einen immer schärfer wahrnehmbaren Bereich bewegt –, sollte sich eine Verschiebung der foveopetalen gegenüber der foveofugalen Kurve in Richtung niedriger Exzentrizitäten ergeben.

Ähnlich wie durch die zunehmende Reizexzentrizität oder die Bewegungsrichtung kann die Planung der Aufmerksamkeitsverlagerung auch durch andere Faktoren verlängert werden. So führt anscheinend die zunehmende Reizbreite in Experiment 13 zu einer größer werdenden Unsicherheit über den Zielort und dadurch zu einer längeren

Planungsphase. Ähnliches geschieht meiner Meinung nach auch in den Experimenten zu Kreisbewegung von Müsseler et al. (eingereicht). Bei dezentrierter Kreisbewegung ist die räumliche Unsicherheit über den Zielort höher, und dadurch verlängert sich die Planungsphase. Beim Einsatz der Zusatzaufgabe verschiebt sich entsprechend der Beginn der Planung.

Die Geschwindigkeitsabhängigkeit (Müsseler, 1987; Müsseler & Aschersleben, 1998, Experiment 1) wird wie bisher dadurch erklärt, daß bei hoher Geschwindigkeit während der Gesamtdauer der Aufmerksamkeitsprozesse der Reiz eine größere Strecke durchlaufen kann. Wo aber ist die Grenze für das Entstehen des Fröhlich-Effektes? In meinem ersten Diplomarbeitsexperiment (Carbone, 1995) betrug die Geschwindigkeit $25.78^\circ/\text{s}$, und es zeigte sich kein Fröhlich-Effekt. In der Untersuchung von Müsseler et al. (eingereicht) zu konzentrischer Kreisbewegung wurde eine Geschwindigkeit von $30.58^\circ/\text{s}$ eingesetzt, und auch hier fehlte die Fehllokalisation. Allerdings variiert die Höhe des Fröhlich-Effektes stark zwischen V_{pn} , so daß sicher keine feste Geschwindigkeitsgrenze existiert, ab der sich grundsätzlich ein Fröhlich-Effekt nachweisen läßt (so zeigte sich eine Fehllokalisation bei $14.4^\circ/\text{s}$ in Experiment 1 von Müsseler & Aschersleben, 1998). Es wäre zudem möglich, daß die Geschwindigkeitsschwelle für Kreisbewegung eine andere ist als für lineare Bewegung. So bleibt bei linearer Bewegung die Richtung während der Bewegung konstant, während sich die Amplitude verändert. Umgekehrt bleibt bei Kreisbewegung die Amplitude konstant, aber die Richtung ist variabel. Dies könnte einen unterschiedlichen Planungsaufwand für die Aufmerksamkeitsverlagerung erforderlich machen.

Auch die schlechtere Entdeckbarkeit der Reizveränderungen zu Beginn der Bewegung (Müsseler & Aschersleben, 1998, Experiment 5) wird – wie bisher – über die in dieser Zeit stattfindenden Aufmerksamkeitsprozesse erklärt. Dies gilt aber anscheinend nur, wenn Reiz und veränderter Reiz als ein und derselbe Reiz wahrgenommen werden. Ist dies nicht der Fall, wird die Reizveränderung entdeckt.

Im Falle eines validen Cues wird zumindest die Planung der Aufmerksamkeitsverlagerung in Gang gesetzt, möglicherweise wird auch die Verlagerung selbst bereits gestartet. In

jedem Fall wird durch den Cue also räumliche Unsicherheit reduziert. Im nicht-validen Fall löst der neue Onset die Planung der neuen Aufmerksamkeitsverlagerung aus, die gemeinsam mit der Ausführung ebenso lange dauert, wie in der Bedingung ohne Cue. Hierüber lassen sich der Cuing-Effekt bei Bewegung (Müsseler & Aschersleben, 1998, Experiment 4) und bei Farbveränderungen (Experiment 16) aufklären.

Offen ist, ob Aufmerksamkeitsverlagerungen stets vom Fixationspunkt aus gestartet werden müssen, oder ob sie auch von einem beliebigen Ort aus möglich sind. Die Ergebnisse zu Kreisbewegung (Experimente 5 und 6) wurden post-hoc über die Annahme erklärt, daß die Aufmerksamkeitsverlagerungen hier von der 12-Uhr-Position aus gestartet wurden. Die Unterschiede zwischen Annäherung und Entfernung von dieser 12-Uhr-Position wären dann dadurch zustande gekommen, daß das visuelle System empfindlicher für Bewegung in Richtung dieses Ortes der Aufmerksamkeit wäre als für die Gegenrichtung. In diesem Fall müßte der Fixationspunkt nicht notwendigerweise als Startpunkt dienen, wenngleich sich dennoch die Exzentrizität auf die Dauer der Planungsphase für die Aufmerksamkeitsverlagerung auswirken sollte. Allerdings kann diese post-hoc Interpretation noch nicht als gesichert gelten, so daß die Frage, ob eine Aufmerksamkeitsverlagerung immer vom Fixationspunkt aus gestartet werden muß, noch nicht endgültig geklärt ist.

Die positiven Fehllokalisationen im Falle eines Richtungswechsels (Experiment 7) lassen vermuten, daß durch den Richtungswechsel ein erneutes Aufmerksamkeitssignal ausgelöst wird und die Aufmerksamkeitsverlagerung entsprechend neu geplant und ausgeführt werden muß. Daß der Effekt mit zunehmender Exzentrizität des Richtungswechsels anstieg, läßt sich wiederum erklären, wenn man – wie beim Onset eines Reizes – annimmt, daß die Dauer für die Planung der Verlagerung mit zunehmender Exzentrizität ansteigt. Es stellt sich hier die Frage, warum die Fehllokalisation des Reizes nach dem Richtungswechsel numerisch nicht geringer ist als die für den Reizonset. Dieser Befund scheint gegen die Annahme zu sprechen, daß die Aufmerksamkeitsverlagerung von beliebigen Positionen (hier von Reizpositionen vor dem Richtungswechsel) gestartet werden kann, denn in diesem Fall hätte sich die Planungsphase – durch die geringere räumliche Unsicherheit – verkürzen sollen. Ich vermute aber, daß diese Verkürzung der Planungsphase durch die geringere räumliche Unsicherheit dennoch stattfindet, daß sie

aber durch Prozesse überlagert wird, die die Planungsphase ihrerseits verlängern. Meiner Meinung nach ist die Reizveränderung im Vergleich zum Reizonset kein gleichwertiges Reizereignis, sondern löst das Aufmerksamkeitssignal erst mit einiger Verzögerung aus. Dadurch verzögert sich der Beginn der Planungsphase. Der Reiz wird demnach während der Strecke bis zum Richtungswechsel konstant fokussiert, die Aufmerksamkeit also in Richtung des Reizes bewegt. In dem Moment, in dem der Reiz seine Richtung ändert, wird ein – gegenüber dem Signal für den Reizonset verzögertes – Aufmerksamkeitssignal ausgelöst. Vermutlich wird während der Planungsphase die Aufmerksamkeit weiter in die ursprüngliche Richtung bewegt und muß nach Abschluß der Planung entsprechend neu ausgerichtet werden. Wenn diese Überlegungen richtig sind, würde die Fehllokalisierung einerseits durch die geringere räumliche Unsicherheit aufgrund des konstanten Fokussierens des Reizes verringert, aber andererseits durch das verzögerte Aufmerksamkeitssignal verlängert werden. Im Mittel sollte sich so eine Fehllokalisierung ergeben, deren Ausmaß etwa dem gewöhnlichen Fröhlich-Effekt entspricht.

Die positiven Fehllokalisierungen (Experimente 3 und 4) und Farbfehlwahrnehmungen (Experiment 14) unter der Exzentrizität 0 bzw. nach vorheriger Markierung durch den Rahmen (Experiment 15) sind schwer zu erklären, wenn man annimmt, daß der Eintrag in der Raumkarte nach Abschluß der Aufmerksamkeitszuwendung ohne Zeitverzögerung ausgelesen werden kann. Ich vermutet daher, daß das Ausrichten der Aufmerksamkeit auf den entsprechenden Ort zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für die bewußte Wahrnehmung des Reizes ist. Möglich wäre, daß zusätzlich zu raumbasierten auch objektbasierte Aufmerksamkeitsprozesse erforderlich sind, und daß sich während dieser Zeit der Eintrag in der Raumkarte weiter verändern kann. Raum- und objektbasierte Aufmerksamkeitsansätze wurden zwar bisher meist als einander ausschließende Alternativen angesehen, in neuerer Zeit wird aber versucht, beide Ansätze anzunähern, da Belege für beide Positionen gefunden wurden (Eggly, Driver & Rafal, 1994; Logan, 1996; Driver, 1998). Auch meine Befunde könnten in diese Richtung deuten. Die höhere Farbfehlwahrnehmung im Vergleich zur Fehllokalisierung unter identischen Reizbedingungen (Experiment 13) spricht dafür, daß diese Prozesse für die Wahrnehmung der Reizposition schneller abgeschlossen sind als die für die Wahrnehmung der Farbe des Reizes. Möglicherweise ist die Wahrnehmung der Position

des Reizes in der Raumkarte auch die Voraussetzung für die Wahrnehmung bestimmter Eigenschaften des Reizes, wie z.B. der Farbe. Für diese Vermutung sprechen auch elektrophysiologische Befunde. So richtet sich der Zeitpunkt bestimmter Komponenten im EKP (ereigniskorreliertes Potential) nach dem Merkmal (z.B. Ort, Form oder Farbe), aufgrund dessen ein Objekt selektiert wird. Hieraus schlossen Harter, Aine und Schroeder (1982), daß die Merkmalsattribute in folgender Reihenfolge selektiert werden: Zunächst die Position, dann die Kontur, dann Farbe, Ortsfrequenz, Orientierung und schließlich Kombinationen aus einzelnen Merkmalen.

Die Tatsache, daß relative Positionsangaben nicht für die Erfassung des Fröhlich-Effektes geeignet sind (Experimente 8 und 9), da der Marker zu Beginn der Bewegung mit dem Reiz fehllokalisiert wird, läßt sich über die Integration von Marker und Reiz zu einem Reiz erklären. Wenn der Marker zum Reiz gehört, wird er entsprechend mit fehllokalisiert.

7.2 Physiologische Plausibilität des Wetterwart-Modells

Nach dem Versuch, die Aufmerksamkeitsprozesse, die auf einen Reizanstieg oder eine Reizveränderung folgen, zu präzisieren, werde ich mich im verbleibenden Teil dieses Kapitels mit der physiologischen Plausibilität der im Wetterwart-Modell vertretenen Annahmen beschäftigen. Ich gebe zunächst einen kurzen Überblick über die visuellen Verarbeitungszentren und Pfade. Darauf aufbauend werden bisherige Überlegungen und Belege zu neurophysiologischen Grundlagen des Wetterwart-Modells von Scharlau und Neumann (eingereicht) beschrieben. Schließlich werde ich Alternativen bzw. Ergänzungen zu diesen möglichen Hirnstrukturen und –prozessen vorstellen.

Nach der Absorption des Lichts durch die Photorezeptoren und der Weiterleitung der Informationen bis zu den Ganglienzellen verlassen die Signale das Auge über den Sehnerv. Ein geringer Teil der Fasern verläuft zum **Colliculus superior** im Mittelhirn, der Augenbewegungen steuert, und zur **prätektalen Region** des Mittelhirns, die die Pupillenreflexe kontrolliert. Die übrigen projizieren in Schichten des **Corpus geniculatum laterale (CGL)** im Thalamus. Die Informationen im CGL sind so geordnet, daß benachbarte Retinabereiche in benachbarten Bereichen des CGL abgebildet sind (retinotopische Repräsentation). Das CGL enthält also eine neurale Karte der Retina,

wobei die Fovea im Vergleich zur Peripherie stärker repräsentiert ist. Vom CGL gelangt die Information in Bereiche des **primären visuellen Cortex (V1/Striatum)**. Die Axone der Genuculatumzellen enden in Schicht 4C β des primären visuellen Cortex. Die rezeptiven Felder dieser Zellen sind – ähnlich wie die der Zellen im CGL – konzentrisch. Ober- und unterhalb dieser Eingangsschicht reagieren die meisten Zellen optimal auf komplexere Reize (etwa auf Balken, die parallel zur Achse ihres rezeptiven Feldes verlaufen, auf bewegte Balken oder auf Ecken). Man unterscheidet Bereiche, die auf Orientierungen reagieren (Interblobs) und solche, die für die Farbverarbeitung zuständig sind (Blobs). Von V1 wird die Information an höhere visuelle Verarbeitungszentren – die sogenannten **extrastriären Bereiche** – weitergeleitet. Insgesamt existieren etwa 32 Areale, die visuelle Information verarbeiten, und sie nehmen etwa die Hälfte der gesamten Cortexoberfläche ein. Abbildung 7.1 gibt einen Überblick über die wichtigsten visuellen Areale.

Allgemein nimmt die Größe der rezeptiven Felder und die Komplexität der Reize, auf die eine Zelle optimal reagiert, mit fortschreitender visueller Verarbeitung immer mehr zu (Webster & Ungerleider, 1998). Relevant ist zusätzlich, daß neben dieser fortschreitenden ('feedforward') Verarbeitung auch Verbindungen auf einer Ebene ('horizontal connections') und rückwärtige Verbindungen ('feedback'/'reentrant connections') existieren. Es wird vermutet, daß diese Feedback-Verbindungen eine wichtige Rolle für höhere kognitive Prozesse – so etwa für Aufmerksamkeit, Bewußtsein und crossmodale Integration von Reizinformationen – spielen (Luck, 1998; Lamme & Roelfsema, 2000; Di Lollo, Enns & Rensink, 2000, Lamme et al., 2000; Driver & Spence, 2000).

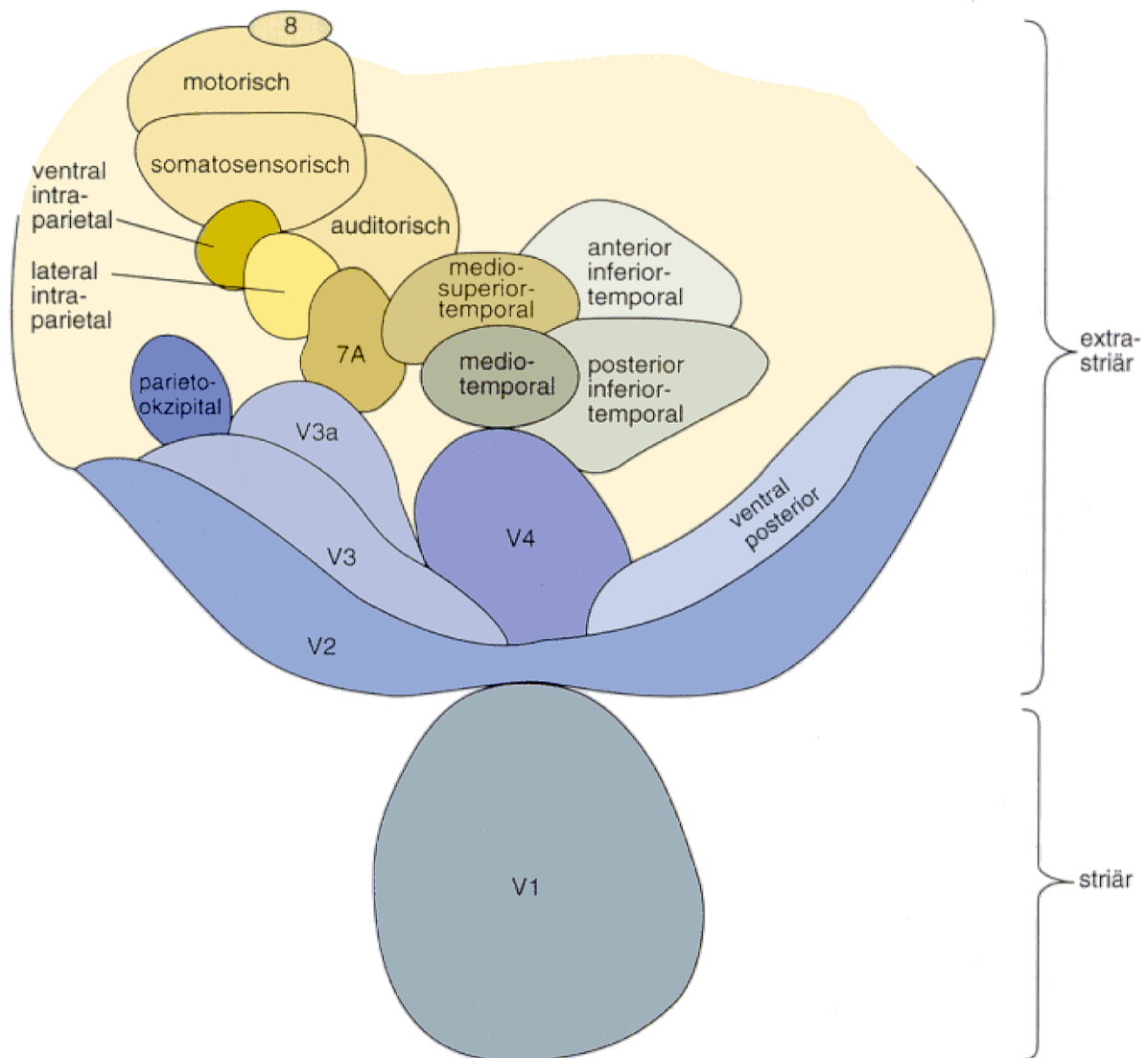


Abbildung 7.1. Visuelle Cortexbereiche beim Affen. Die Cortexoberfläche wurde auseinandergefaltet und geglättet (aus Kandel, Schwarz & Jessell, 1996).

Funktionell lassen sich mindestens drei parallele, visuelle Bahnen unterscheiden, die alle ihren Ausgangspunkt in den Ganglienzellen der Retina haben:

Die erste ist die **magnozelluläre Bahn**. Sie ist auf die Identifizierung von Bewegungen und räumlichen Beziehungen spezialisiert und an der Wahrnehmung räumlicher Tiefe beteiligt. Auf Farbe reagieren die Neurone in diesem Bereich hingegen kaum. Ausgangspunkt dieser Bahn sind die großen M-Ganglienzellen. Von dort wird die Information zu den magnozellulären Schichten des Corpus geniculatum laterale weitergeleitet und anschließend zu den Interblob-Bereichen von V1. Die Bahn verläuft weiter zu den dicken Streifen von V2 und erreicht schließlich V5, einen Bereich, der auch MT (medio-temporal) bezeichnet wird. 95% der Neurone in MT reagieren sensitiv auf

bestimmte Bewegungsrichtungen. Von MT verlaufen Fasern zu anderen Bereichen des Parietalcortex, die auf visuell-räumliche Verarbeitung spezialisiert sind (VIP/ventral-intraparietal, V5a/MST/medio-superior-temporal und 7a).

Die zweite Bahn ist die **Parvo-Blob-Bahn**. Sie ist auf die Wahrnehmung von Farbe spezialisiert, und ihr Ursprung sind die kleinen P-Ganglienzellen, die wiederum in die parvozellulären Schichten des CGL projizieren. Von hier gelangt die Information in die Blob-Schichten von V1 und weiter zu den dünnen Streifen in V2. V2 wiederum projiziert in die Area V4, die farbsensitive Zellen enthält. Die Bahn endet schließlich im inferior-temporalen Cortex (IT), wo Form- und Farbinformationen verarbeitet werden. Die Zellen in diesem Bereich sind nicht retinotop organisiert. Die RFs sind sehr groß, und etwa 10% dieser Zellen antworten selektiv auf bestimmte Bilder wie Hände oder Gesichter.

Die dritte Bahn ist die **Parvo-Interblob-Bahn**. Sie ist vor allem für die Wahrnehmung von Formen zuständig. Genaugenommen reagiert das System auf Umrisse und die Orientierung von Bildern. Die Bahn leistet aber auch einen Beitrag zum Tiefensehen und – zu einem geringeren Teil – zur Farbwahrnehmung. Wie die Parvo-Blob-Bahn hat auch die Parvo-Interblob-Bahn ihren Ursprung in den P-Ganglienzellen und projiziert zu den parvozellulären Schichten des CGL. Diese Bahn führt weiter zu den Interblob-Bereichen von V1 und den blassen Streifen von V2 und erhält auch Informationen aus dem magnozellanulären Strang. Auch diese Bahn endet im inferior-temporalen Cortex.

Die einzelnen Bahnen sind weniger isoliert, als man früher angenommen hat, denn sie interagieren auf vielen Ebenen. Abbildung 7.2 gibt einen Überblick über den Verlauf und die Verarbeitungsschwerpunkte der einzelnen Bahnen.

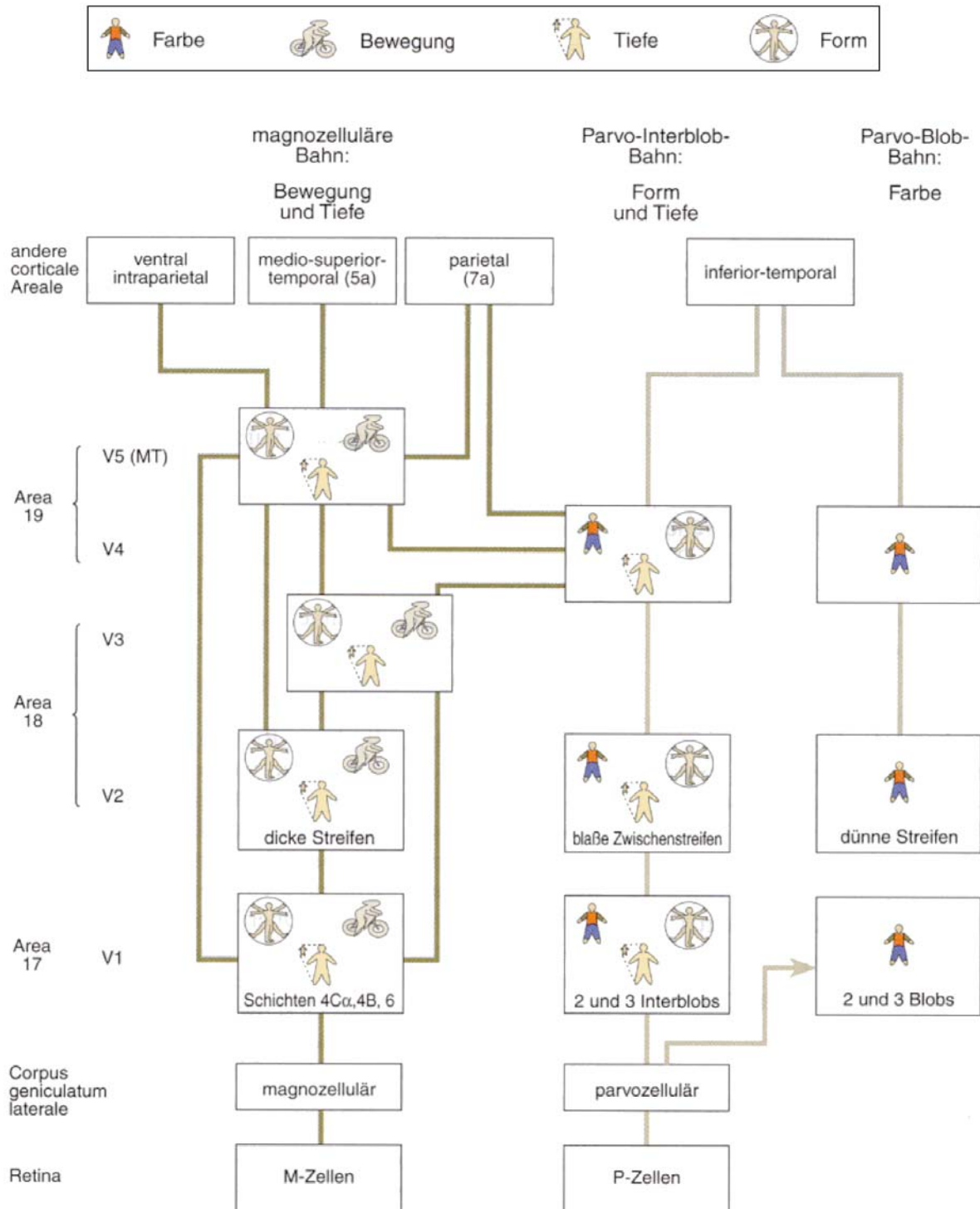


Abbildung 7.2. Verlauf und Verarbeitungsschwerpunkte der drei parallelen Bahnen des visuellen Systems (nach Kandell, Schwartz & Jessell, 1996).

Aktuell werden die Verarbeitungspfade innerhalb des Cortex eher in den dorsalen und den ventralen Pfad unterteilt (z.B. Goodale & Milner, 1992; Milner & Goodale, 1997). Der dorsale Strang verläuft von V1 zum Parietalcortex. Hier dominiert die magnozelluläre Bahn, und er ist vor allem für Raumrepräsentation, Bewegung und Handlungen zuständig.

Der ventrale Strang beginnt ebenfalls in V1 und endet im Temporalcortex. Dieser Strang wird von der parvozellulären Bahn dominiert und ist hauptsächlich mit Objektidentifikation und -wahrnehmung beschäftigt (einen guten Überblick über die visuelle Verarbeitung geben Mason & Kandel, 1991; Kandel, 1991 und Kandel, Schwarz & Jessell, 1996).

Scharlau und Neumann (eingereicht) diskutieren bereits mögliche neuronale Substrate für die einzelnen Modellkomponenten. Zusammengefaßt identifizieren sie Aktivität im posterioren Parietalcortex mit dem Aufmerksamkeitssignal und Aktivität im okzipitotemporalen Cortex mit der Raumkarte. Dem 'updating' des inneren Modells soll Feedback vom Parietalcortex und möglicherweise von prämotorischen Arealen zu V4 und dem posterioren Inferotemporalcortex (IT) entsprechen. Metakonstrast ließe sich demnach darüber erklären, daß der Prime die Verarbeitung in Gang setzt, die Maske aber die Aktivität in V4 und IT bereits modifiziert hat, wenn die Feedbackschleife über den Parietalcortex abgeschlossen ist. In inneren Modell repräsentiert – und entsprechend bewußt – wäre demnach nur die Maske und nicht der Prime.

Den Kern ihrer Argumentation – die Feedbackschleife vom Parietalcortex zu V4 und IT – stützen die beiden Autoren durch Studien zu einer aufmerksamskeitsbezogenen EKP-Komponente (ereigniskorreliertes Potential). Allgemein handelt es sich bei EKPs um EEG-Aktivität, die einzelne sensorische, kognitive oder motorische Ereignisse widerspiegelt. Man erhält sie, indem man das EEG über viele Einzeldurchgänge – ausgehend vom Zeitpunkt des relevanten Ereignisses (z.B. Reizbeginn, Tastendruck, etc.) – mittelt. So bleibt die Aktivität, die auf das Ereignis zurückgeht, weitestgehend erhalten, während die nicht ereignisbezogene Aktivität, die sich zwischen den Durchgängen unterscheidet, durch die Mittelung nahezu verschwindet. Über den Gesamtverlauf eines EKPs zeigen sich positive und negative Veränderungen (Komponenten), die nach ihrer Polarität benannt werden (P für positive und N für negative Spannungsveränderungen). Die frühen Komponenten spiegeln eher sensorische Prozesse wider und die späteren höhere kognitive Prozesse und motorische Aktivität. Abbildung 7.3 zeigt ein Beispiel für den EKP-Mittelungsprozeß und verschiedene EKP-Komponenten, die auf einen Reizbeginn folgen.

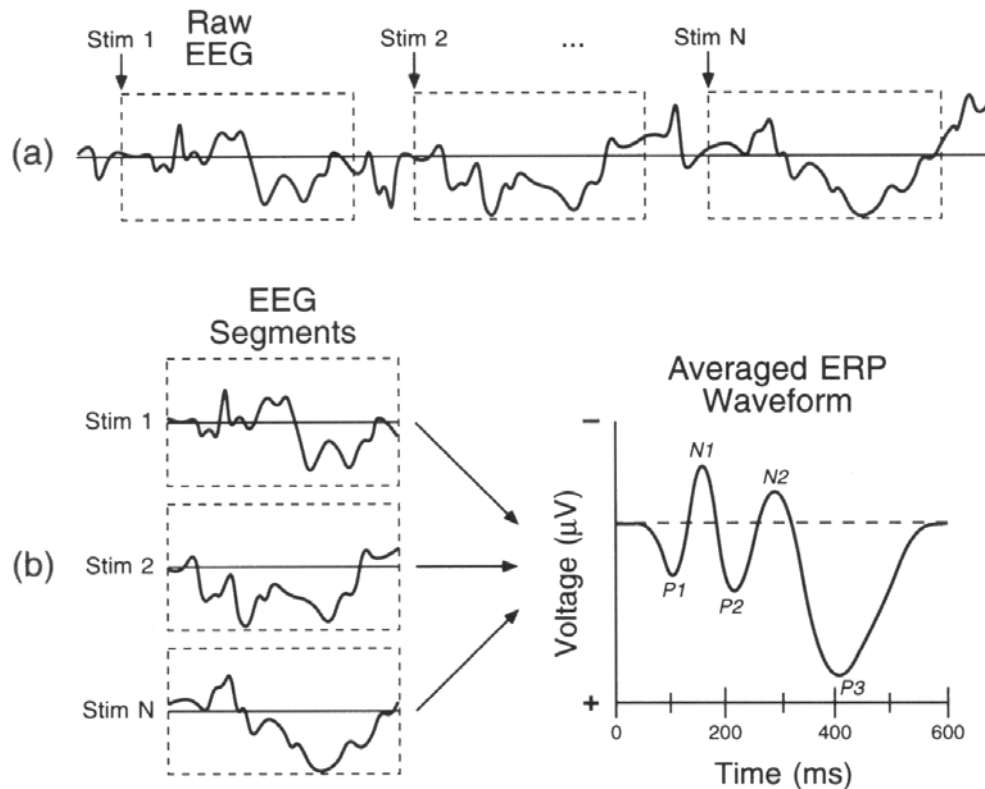


Abbildung 7.3 Beispiel für den Mittelungsprozess eines EKPs bezogen auf einen Reizbeginn und die verschiedenen EKP-Komponenten (aus Luck & Girelli, 1998, S. 72).

Die von Scharlau und Neumann (eingereicht) diskutierte aufmerksamkeitsbezogene EKP-Komponente – die N2pc – wurde von Luck und Hillyard (1994a, 1994b) untersucht und tritt bei visueller Suche auf. "N2" kennzeichnet, daß es sich um eine Unterkomponente der N2 handelt, sie also in einem Zeitfenster von etwa 200 bis 300 ms nach Reizbeginn auftritt, während "pc" den Ort maximaler Aktivität kennzeichnet ('posterior contralateral'). Es handelt es sich also um eine Negativierung, die kontralateral zum Reiz auftritt. Die N2pc zeigt sich, wenn ein Zielreiz unter gleichzeitig dargebotenen Distraktoren identifiziert werden muß. Ein typisches Experiment sieht so aus, daß den Vpn entweder Anordnungen mit ausschließlich identischen Items ('homogeneous arrays') oder mit einem Zielreiz unter ansonsten identischen Items ('target pop-out array') gezeigt werden. Die Vpn sollen angeben, ob ein Zielreiz enthalten ist oder nicht. Der Zielreiz unterscheidet sich von den Distraktoren in der Farbe, der Größe oder in der Form.

Aus der Verteilung der Aktivität über der Kopfhaut läßt sich über spezielle Verfahrensweisen die Quelle einzelner EKP-Komponenten grob lokalisieren. So bestimmten Luck und Hillyard (1994a) sogenannte CSD-Karten ('current source density

maps'). Das CSD liefert eine Schätzung der elektrischen Ströme, die zum jeweiligen Zeitpunkt senkrecht vom Gehirn zur Kopfhaut fließen. Mit Hilfe dieser Methode lokalisierten die Autoren den Generator der N2pc im Okzipitallappen (siehe Abbildung 7.4). Die Autoren selbst hielten diesen Befund für überraschend, da – aufgrund des Informationsflusses von posterioren zu anterioren Bereichen – eher eine stärker anterior lokalisierte Quelle vermutet worden war. Dies könnte nach ihrer Meinung durch Feedback-Verbindungen von höheren visuellen Arealen nach V1 bedingt sein.

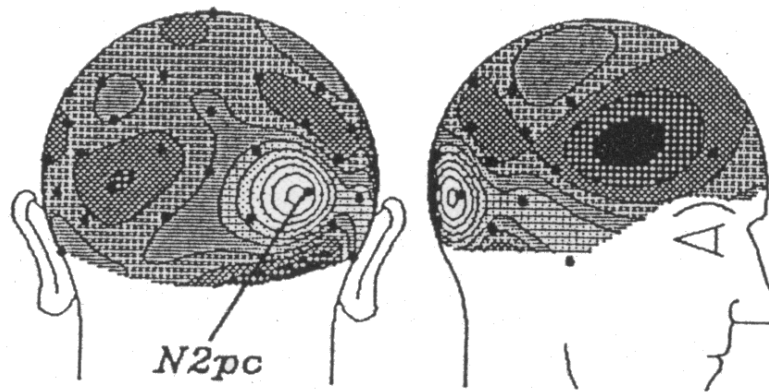


Abbildung 7.4 CSD für die N2pc (aus Luck & Hillyard, 1994a, S. 305).

Im Anschluß an diese Studie haben Hopf et al. (2000) versucht, die Quellen der N2pc mit Hilfe des MEGs (Magnetoenzephalographie) zu lokalisieren. Bei dieser Methode werden die extrem schwachen biomagnetischen Felder des Gehirns mit Hilfe von sogenannten SQUIDs ('superconducting quantum interference device') erfaßt. Aufgrund der gemessenen Magnetfelder werden die Gehirnströme erschlossen und anschließend visualisiert, etwa indem sie über ein MRI-Bild der jeweiligen Person gelegt werden (eine Beschreibung dieses Verfahrens findet sich in Weiller, 2000). Durch den Einsatz dieser Methoden konnten Hopf et al. zeigen, daß die N2pc aus zwei Komponenten zusammengesetzt ist: einer frühen Komponente, die ihr Maximum nach etwa 180 bis 200 ms erreicht und deren Quelle parietal lokalisiert ist und einer späteren Komponente, die ihren Peak nach 220 bis 240 ms erreicht und auf eine okzipito-temporale Quelle zurückgeht. Abbildung 7.5 zeigt die Lage dieser beiden Quellen für die gemittelten Daten.

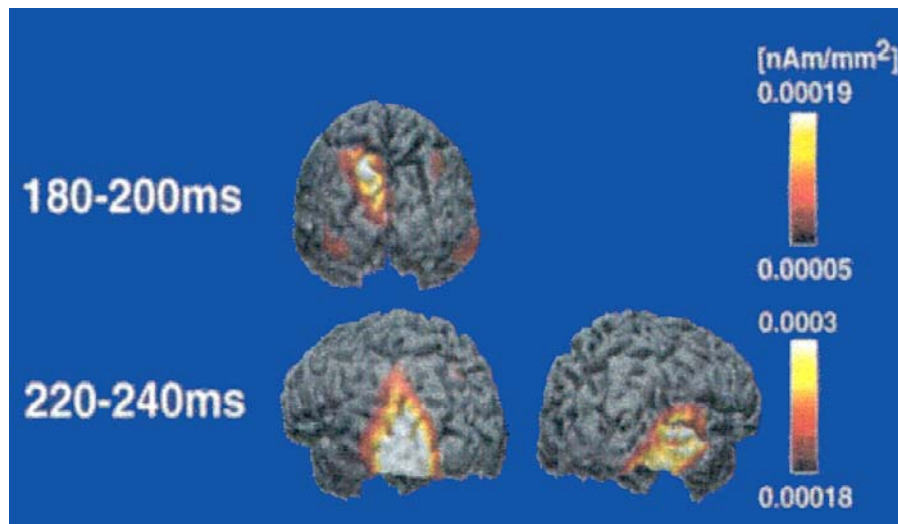


Abbildung 7.5 'Distributed source model' für die N2pc (aus Hopf et al., 2000, S. 1238).

Dieser Befund, daß die parietale Komponente ihr Maximum vor der okzipito-temporalen erreicht, paßt – laut Scharlau und Neumann (eingereicht) – zu den zunehmenden Belegen für die Relevanz von Feedbackverbindungen ('reentrant activity').

Auch Einzelzellableitungen sprechen – laut Scharlau und Neumann (eingereicht) – für die Bedeutsamkeit von V4 und IT für selektive Aufmerksamkeitsprozesse. Allgemein kann mit Hilfe dieser Technik die individuelle Aktivität eines Neurons aufgezeichnet werden (einen Überblick über die Methode gibt Motter, 1998). Hierzu wird eine Elektrode nahe an den Zellkörper plziert, und anschließend werden die Aktionspotentiale ('spikes') dieser Zelle aufgezeichnet. Da innerhalb des Gehirns keine Schmerzrezeptoren vorhanden sind, können so Untersuchungen an wachen Tieren durchgeführt werden. Wenn ein Ereignis eintritt, für das die Zelle sensitiv ist, reagiert das Neuron mit einer Erhöhung der Feuerrate, d.h. die Anzahl der Aktionspotentiale pro Sekunde steigt an. Die Veränderung der Feuerrate über die Zeit läßt sich in Form eines Histogramms abtragen. Da die Antworten der Zellen zwischen einzelnen Durchgängen recht stark variieren, wird für die Erfassung dieses zeitlichen Verlaufs die Aktivität über eine Reihe von identischen Durchgängen gemittelt (siehe Abbildung 7.6).

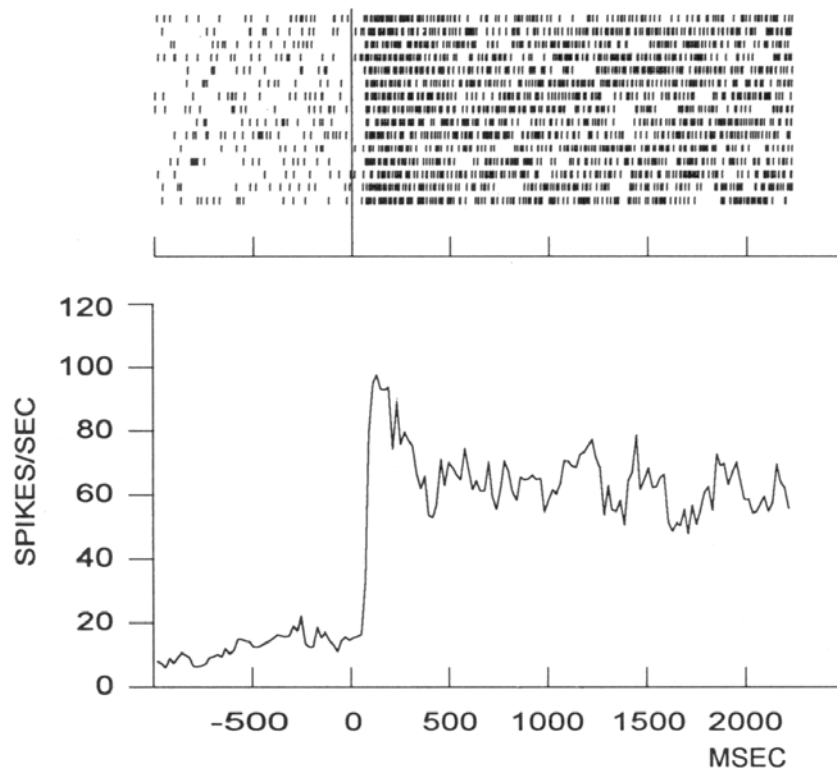


Abbildung 7.6. Der obere Teil der Abbildung zeigt die Aktionspotentiale über die Zeit für mehrere Durchgänge, der untere die durchschnittliche Anzahl der Aktionspotentiale pro Sekunde (aus Motter, 1998, S. 54).

Speziell in V4 und IT wurden mit Hilfe dieser Technik spezifische Aufmerksamkeitseffekte nachgewiesen. In diesen – zum ventralen Strang gehörenden – Arealen sind die RFs sehr groß, so daß sie typischerweise mehrere Objekte enthalten (Aston-Jones et al., 1999). Je mehr Objekte im RF enthalten sind, umso geringer wird die Information über jedes einzelne. Genaugenommen wird das Aktivitätsmuster der Zelle mehrdeutig: Angenommen, eine dieser Zellen reagiert auf ein einzelnes rotes Quadrat mit 50 Aktionspotentialen pro Sekunde, auf ein blaues mit 10 und auf ein violettes mit 30. Wenn nun gleichzeitig ein rotes und ein blaues Quadrat gezeigt werden, dann reagiert die Zelle mit einer Aktivität von 30 Aktionspotentialen. Diese Aktivierung ist demnach nicht von der für ein violettes Objekt unterscheidbar. Aufmerksamkeit spielt eine Rolle bei der Auflösung solcher Mehrdeutigkeiten. Das beachtete Objekt gewinnt die Kontrolle über ein Neuron, so daß es nur noch die Eigenschaften dieses Objektes kodiert (Luck, Girelli, McDermott & Ford, 1997). Wenn etwa das blaue und das rote Quadrat gleichzeitig im RF enthalten sind, Aufmerksamkeit aber ausschließlich auf das rote gerichtet wird, wird das Neuron mit 50 Aktionspotentialen in der Sekunde reagieren. Wird hingegen das blaue

Quadrat beachtet, reagiert die Zelle nur noch mit 10 Aktionspotentialen pro Sekunde. Das Neuron zeigt also die gleiche Reaktion wie auf den Einzelreiz in seinem RF.

Diese Überlegungen von Scharlau und Neumann (eingereicht) zu neuronalen Substraten für die einzelnen Modell-Komponenten sind sicher plausibel, aber nicht zwingend. So wäre auch denkbar, daß das Aufmerksamkeitssignal nicht erst durch Aktivität im posterioren Parietalcortex ausgelöst wird, sondern bereits auf subkortikaler Ebene. Hier halte ich – zumindest bei exogenen Aufmerksamkeitsverlagerungen – den Colliculus superior (CS) für einen geeigneten Kandidaten.

Für die Bedeutsamkeit des CS für visuelle Aufmerksamkeitsprozesse sprechen vor allem Einzelzelleableitungen. So zeigten Goldberg und Wurtz (1972), daß sich in den tiefen Schichten des CS Neurone befinden, die verstärkt feuern, bevor ein Tier eine Sakkade in Richtung eines Reizes ausführt, der sich in seinem rezeptiven Feld befindet. Eine solche Verstärkung ('enhancement') tritt hingegen nicht auf, wenn keine Sakkade erforderlich ist. Hieraus hat man zunächst geschlossen, daß der CS nicht an impliziten Aufmerksamkeitsverlagerungen beteiligt ist. Gegen diese Schlußfolgerung sprechen aber Befunde von Posner, Cohen und Rafal (1982), die gezeigt haben, daß Schädigungen von Mittelhirnstrukturen nicht nur dazu führen, daß keine vertikalen Blickbewegungen ausgeführt werden konnten, sondern daß zusätzlich die Reaktionszeit auf Reize verlangsamt ist, die lediglich eine vertikale implizite Aufmerksamkeitsverlagerung erfordern. Luck (1998) vermutet aufgrund solcher Befunde, daß der CS eine wichtige Rolle für die automatische Ausrichtung der Aufmerksamkeit in Richtung eines plötzlich auftauchenden Reizes spielt.

Zu der Idee, daß der CS vor allem eine Rolle für exogene Aufmerksamkeitsverlagerungen spielt, passen Überlegungen von Aston-Jones et al. (1999). Die Autoren nehmen an, daß der Parietallappen und der CS eher an exogenen Aufmerksamkeitsverlagerungen beteiligt sind, während der Frontallappen eine Rolle bei endogenen Aufmerksamkeitsverlagerungen spielt. Falls meine Überlegungen zur Rolle des CS an der Auslösung des Aufmerksamkeitssignals zutreffend sind, wäre allerdings zu klären, warum sich im EKP kein Einfluß der Aufmerksamkeit auf subkortikale Strukturen nachweisen läßt, sondern lediglich auf Orte und Zeitpunkte, die auf V1 folgen (z.B. Mangun, Hillyard & Luck, 1993; Mangun und Hillyard, 1991; Luck et al., 1994).

Anders als Scharlau und Neumann (eingereicht) könnte ich mir als Ort für die Raumkarte – falls sich diese überhaupt räumlich festmachen läßt – den posterioren Parietalcortex vorstellen. Dies erscheint mir unter anderem deshalb plausibel, weil er sowohl für Aufmerksamkeitsprozesse relevant ist, als auch für Raumrepräsentation (Constantinidis & Steinmetz, 2001). So hat man in den bewegungssensitiven MT- und MST-Arealen Zellen gefunden, die während der Verfolgung eines Reizes mit den Augen (glatte Folgebewegungen) verstärkt feuern. Diese verstärkte Aktivierung zeigt sich selbst dann, wenn der Reiz auf der Retina stabilisiert wird und daher das Bild verschwindet. Daraus hat Marzi (1999) geschlossen, daß diese Zellen auch extraretinalen Input erhalten, der mit der Aufmerksamkeitskomponente der Aufgabe in Beziehung steht. Zellen mit ähnlichen Reaktionseigenschaften findet man auch in einer Struktur namens VIP (ventral intraparietal), die im posterioren Parietallappen lokalisiert und direkt mit MST verbunden ist. Neben VIP und ebenfalls im posterioren Parietalcortex befindet sich die Area LIP (lateral intraparietal). Dieser Bereich ist direkt mit dem Colliculus superior verbunden und spielt wahrscheinlich – wie auch VIP – eine wichtige Rolle für die Kontrolle von Blickbewegungen. Laut Colby und Olsen (1999) sind VIP und LIP auch zentral für die Raumrepräsentation. So findet man in LIP Neurone, die feuern, bevor der Affe eine Sakkade ausführt, die den Reiz auf das rezeptive Feld des jeweiligen Neurons ausrichtet (Duhamel, Colby & Goldberg, 1992).

Auch fMRI-Untersuchungen ('functional magnetic resonance imaging') sprechen für die Bedeutsamkeit des posterioren Parietallappens für räumliche Aufmerksamkeitsprozesse. Bei der Kernspintomographie (NMR = 'nuclear magnetic resonance') – auf der das fMRI beruht - werden Wasserstoff-Atomkerne innerhalb des Körpers durch ein starkes Magnetfeld ausgerichtet. Durch einen Hochfrequenzimpuls wird diese gemeinsame Ausrichtung gestört. Im Anschluß schwingen die Kerne wieder zurück und senden dabei selbst Energie in Form von Radiowellen aus. Diese Signale werden von spulenförmigen Antennen aufgefangen und in Bilder umgerechnet. Funktionelle Kernspintomographie im speziellen basiert nun auf den unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften sauerstoffarmen und sauerstoffreichen Blutes. Sauerstoffarmes Blut wird innerhalb des magnetischen Feldes des MRI-Scanners magnetisch und verändert bestimmte Eigenschaften des MR-Signals. Höhere lokale neurale Aktivität geht mit einem verstärkten Zufluß sauerstoffreichen Blutes einher. Dieser veränderte Sauerstoffgehalt

schlägt sich in den MR-Signalen nieder und wird anschließend in Bildern sichtbar gemacht. Ein Bereich, der erhöhte Aktivität bzw. einen entsprechend höheren Sauerstoffgehalt aufweist, wird im Bild aufgehellt, eine Verringerung der Aktivität bzw. niedrigerer Sauerstoffgehalt wird entsprechend durch eine Verdunkelung kenntlich gemacht (einen recht detaillierten Überblick über das Verfahren geben Haxby, Courtney & Clark, 1998). Am Ende der Untersuchung liegt eine Zeitserie von Einzelbildern vor. Man geht davon aus, daß die Aktivitätsmuster, die während der Ausführung der Aufgabe gemessen werden, die gesamten sensorischen, kognitiven und motorischen Komponenten der Aufgabe widerspiegeln, also die integrierte neuronale Aktivität. Wenn man an der Wirkung einer bestimmten Komponente innerhalb einer Aufgabe interessiert ist, subtrahiert man die entsprechenden Aktivitätsmuster voneinander. Serien von Aufgaben, in denen die Komponente abgestuft variiert, werden hingegen durch eine Korrelation verglichen. Haxby et al. (1998) konnten mit Hilfe dieser Methode nachweisen, daß Aufmerksamkeit, die auf einen bestimmten Ort, an dem sich bewegte Objekte befinden, ausgerichtet wird, die Aktivität in MT und MST (Bereiche, die für die Wahrnehmung von Bewegung zuständig sind) erhöht. Dies gilt selbst dann, wenn die Farbe und nicht die Bewegung beachtet werden soll. Wenn unter gleichen Bedingungen Aufmerksamkeit sowohl auf den Ort als auch auf die Bewegung gerichtet wurde, stieg die Aktivität in MT und MST noch stärker an.

Auch Untersuchungen zu den speziellen Defiziten nach bestimmten Hirnschädigungen sprechen für einen starken Einfluß des posterioren Parietalcortex an räumlichen Aufmerksamkeitsprozessen. So ist bekannt, daß unilaterale (meist rechtsseitige) Parietalläsionen zu Extinktion führen können, d.h. bei gleichzeitiger Darbietung von Reizen (visuell, auditiv, taktil) auf der linken und rechten Seite wird der Reiz, der sich kontralateral zur Schädigung befindet, nicht wahrgenommen. Bei einseitiger Reizdarbietung wird der gleiche Reiz hingegen bemerkt. Laut Driver (1998) wird Extinktion von vielen Autoren als Beeinträchtigung von verdeckten Aufmerksamkeitsverlagerungen angesehen, da hier die Sensorik intakt ist und Extinktion außerdem stark reduziert werden kann, wenn die Patienten aufgefordert werden, die ipsiläsionalen Ereignisse zu ignorieren und nur die kontraläsionalen zu berichten. Eine noch stärkere Beeinträchtigung, die ebenfalls nach einer meist rechtsseitigen Schädigung des Parietallappens auftritt, ist Hemineglect. Auch bei dieser Schädigung reagieren die

Patienten nicht adäquat auf Reize auf der kontraläsionalen Seite. Allerdings zeigt sich diese Störung nicht ausschließlich bei beidseitiger Reizung, sondern in einer wesentlich größeren Anzahl von Situationen. So ignorieren die Patienten häufig vollständig die kontraläsionale Seite, übersehen also Menschen, essen ihren Teller nur auf einer Seite leer oder schminken nur eine Gesichtshälfte. Es gibt eine Reihe klinischer Tests zum Nachweis des Neglects, so z.B. Durchstreichaufgaben, in denen bestimmte Zeichen markiert werden sollen oder Zeichenaufgaben, in denen Objekte abgezeichnet werden sollen. Auch diese Störung tritt unabhängig von sensorischen Defiziten auf, und es scheint Konsens darüber zu bestehen, daß es sich bei Neglect um eine Aufmerksamkeitsstörung handelt. So haben Posner, Walker, Friedrich und Rafal (1984) Cuing-Experimente mit Hemineglect-Patienten durchgeführt und gefunden, daß sie – wie gesunde Vpn – vom Cue profitieren, wenn dieser valide ist, unabhängig davon, in welchem visuellen Halbfeld er auftaucht. Sie zeigen aber eine extreme Reaktionszeitverlangsamung, wenn der Cue im nicht-vernachlässigten visuellen Feld gezeigt wird, der Zielreiz aber im vernachlässigten auftaucht. Posner und seine Mitarbeiter haben dies als Beleg dafür interpretiert, daß der Parietallappen an Prozessen beteiligt ist, die zum Lösen der Aufmerksamkeit vom aktuell beachteten Reiz führen ('disengagement').

Generell halte ich die Idee, daß eine Feedbackschleife der Aktualisierung des inneren Modells entspricht, für sehr plausibel. Allerdings bin ich nicht sicher, inwieweit hierzu die Prozesse geeignet sind, die der N2pc zugrunde liegen. Wie beschrieben, scheint die N2pc eine EKP-Komponente zu sein, die nur auftritt, wenn ein Reiz unter konkurrierenden Distraktoren identifiziert werden muß, d.h. unter Metakontrast- oder Fröhlich-Effekt-Bedingungen sollte sie überhaupt nicht auftreten. Feedback aus parietalen Regionen zu V4 und IT könnte aber natürlich dennoch das 'updating' des inneren Modells widerspiegeln.

Neben den Daten, die für eine Beteiligung von V4 und IT an bewußten Wahrnehmungsprozessen sprechen, liegt inzwischen auch eine Reihe von Arbeiten vor, die belegen, daß Feedbackverbindungen nach V1 notwendig für bewußte Wahrnehmung von Reizmerkmalen sind. Möglicherweise könnten demnach auch diese die Aktualisierung des inneren Modells widerspiegeln. Martinez et al. (1999) haben dies durch eine

Kombination von fMRI und EKP gestützt. Im fMRI fanden die Autoren einen Aufmerksamkeitseinfluß in V1. Eine Quellenanalyse der EKPs zeigte hingegen – wie in früheren Studien (z.B. Mangun, Hillyard & Luck, 1993) – keinen Effekt der Aufmerksamkeit im Striatum. Die Autoren nahmen an, daß die Modulation, die mit dem fMRI gefunden wurde, durch Feedback-Schleifen von höheren visuellen Arealen zustande kommt.

Pascual-Leone und Walsh (2001) wiesen Feedbackschleifen nach V1 durch transcraniale Magnetstimulation (TMS) nach. Allgemein werden bei diesem Verfahren durch leistungsstarke Magnetfeldpuls-Generatoren einzelne kurze Impulse erzeugt, die Neurone in spezifischen Hirnbereichen reizen. Die Reizwirkung entsteht dabei nicht durch das Magnetfeld selbst, sondern durch die im Hirngewebe induzierten Ströme. Die Reizung mit einer solchen Spule über visuellen Arealen kann sowohl zur Unterdrückung visueller Eindrücke als auch zu Phosphenen – also zur Wahrnehmung einfacher visueller Eindrücke ohne dazugehörigen äußeren Reiz – führen (einen Überblick über die Methode gibt Hess, 1996). Pascual-Leone und Walsh (2001) erzeugten zunächst bewegte Phosphene durch Reizung von MT und stationäre Phosphene durch Reizung von V1. Die Spule wurde dabei über MT und V1 so ausgerichtet, daß der Ort, an dem die Phosphene wahrgenommen wurden, übereinstimmte. Anschließend wurde die Stärke des Magnetimpulses über V1 so verringert, daß weder ein Phosphen wahrgenommen noch ein Skotom erzeugt wurde. In den kritischen Durchgängen wurden in jedem Durchgang beide Cortexbereiche mit variablem Zeitintervall zwischen den beiden Impulsen gereizt, um die zeitliche Beziehung zwischen Ereignissen in MT und V1 zu untersuchen. Die Idee hinter dieser Studie war, daß wenn Feedback von MT zu V1 kritisch für die bewußte Wahrnehmung ist, die Unterbrechung der Aktivität in V1 zum Zeitpunkt des Feedbacks mit der Wahrnehmung der im extrastriären Cortex enkodierten Merkmale interferieren müßte. Die Befunde bestätigten diese Überlegungen: Wenn V1 vor MT stimuliert wurde, waren die bewegten Phosphene sichtbar, wurde hingegen V1 in einem Intervall von 5 bis 45 ms nach MT stimuliert, wurden die bewegten Phosphene maskiert. Dies zeigt – laut Pascual-Leone und Walsh – daß die bewußte Wahrnehmung von Bewegung an Feedback von MT zu V1 gebunden ist.

Di Lollo, Enns und Rensink (2000) gehen sogar so weit zu behaupten, daß alle wichtigen visuellen Verarbeitungszentren Feedbackverbindungen zu V1 aufweisen, und Bullier

(2001a) betont, daß die Cortexbereiche, von denen viele dieser Feedbackschleifen ausgehen – wie MT, MST oder 7a –, sehr früh aktiviert werden, da sie zum dorsalen Strang gehören. Da die Feedback-Schleifen ebenfalls sehr schnell sind, kann auch die Beeinflussung von Neuronen in V1 und V2 sehr früh einsetzen. Bullier (2001b) vermutet außerdem, daß das Feedback zu V1 dazu dient, die Ergebnisse der Berechnungen auf unterschiedlichen Verarbeitungsebenen zu integrieren.

Schließlich möchte ich noch eine weitere, sehr spekulative Möglichkeit für einen physiologischen Mechanismus vorstellen, der dem 'updating' des inneren Modells und damit der bewußten Reizwahrnehmung zugrunde liegen könnte. Es wäre denkbar, daß die bewußte Wahrnehmung nicht an Aktivität in einer bestimmten Verarbeitungsebene – wie IT und V4 oder V1 – gebunden ist, sondern, daß durch Feedbackverbindungen verschiedene Reizmerkmale auf unterschiedlichen Verarbeitungsebenen (dazu würden dann vermutlich IT, V4 und V1 gehören) gemeinsam aktiviert werden. Die bewußte Wahrnehmung würde dann erst durch die synchrone Aktivierung in diesen Arealen entstehen. Der Vorteil dieser Idee wäre, daß man auf diese Art Aufmerksamkeitseffekte auf verschiedenen Verarbeitungsebenen über den gleichen Mechanismus erklären könnte. Zusätzlich erscheint diese Überlegung nicht unplausibel, weil aufgrund der unterschiedlichen Größe der rezeptiven Felder, auf den verschiedenen Verarbeitungsebenen jeweils nur ein Teil der gesamten komplexen Reizanordnung zugänglich ist. So "kennt" eine Zelle in V1 aufgrund der kleinen rezeptiven Felder jeweils nur einen kleinen Ausschnitt der Gesamtanordnung, während eine Zelle auf einer höheren Verarbeitungsebene möglicherweise die gesamte Anordnung kennt, nicht aber die räumliche Anordnung der Einzelteile. Durch eine gemeinsame Aktivierung der einzelnen Verarbeitungsebenen wären alle Aspekte gleichzeitig verfügbar.

Ich hoffe, ich konnte verdeutlichen, daß die Annahmen des Wetterwart-Modells recht gut zu aktuellen neurophysiologischen Befunden passen. Im Detail lassen sich die dem Modell zugrundeliegenden Strukturen und Prozesse derzeit aber noch nicht identifizieren. Hierzu sind eine Reihe weiterer Studien notwendig, in denen dezidiert Vorhersagen aufgestellt und überprüft werden. Obwohl derzeit noch keine sicheren Aussagen möglich sind, halte ich die Kombination psychologischer und neurophysiologischer bzw. -

biologischer Daten aber in jedem Fall für die Methode der Wahl, denn erst durch die Berücksichtigung von Ergebnissen aus beiden Forschungsparadigmen wird eine Theorie wirklich überzeugend. In dieser Beziehung entspricht meine Ansicht der von Braun und Koch (2001), die schreiben:

"It seems evident to us that the psychology and neurobiology of attention have much to learn from one another. The strength of psychology lies in the immense breadth of its empirical base, and its consequent ability to reach valid generalizations about attention. Neurobiology contributes additional information about neural architecture and function, which is not available through psychological means. In our eyes, the goal must be a comprehensive theory that accounts simultaneously for psychological and neurobiological results of attention." (Braun & Koch, 2001, S. XI)

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, einen Aufmerksamkeitsansatz durch die Untersuchung einzelner, experimentell erzeugter Wahrnehmungsverzerrungen zu stützen. Hierzu wurden drei Versuchsreihen durchgeführt: Mit Hilfe der ersten Versuchsreihe sollten Widersprüche aus früheren Experimenten zu einem dieser Phänomene näher aufgeklärt und weitere aus dem Modell abgeleitete Hypothesen überprüft werden. Die zweite Versuchsreihe sollte die Ähnlichkeit dieses Phänomens zu anderen Wahrnehmungsverzerrungen und die Plausibilität von Alternativerklärungen untersuchen. Mit Hilfe der dritten Versuchsreihe schließlich sollten neue, aus dem Modell abgeleitete Phänomene nachgewiesen und näher untersucht werden. Den Abschluß der Arbeit bilden Überlegungen zu möglichen physiologischen Grundlagen des Aufmerksamkeitsmodells.

Das Wetterwart-Modell ist ein Modell selektiver Aufmerksamkeit. Es wird angenommen (z.B. Neumann, 1982), daß zwei interne Repräsentationsebenen existieren, auf denen Änderungen der Umwelt aktualisiert werden können: Auf der Ebene der internen Raumkarte werden Änderungen sehr schnell aktualisiert. Die Einträge innerhalb der Raumkarte sind bereits räumlich geordnet, aber nicht dem Bewußtsein zugänglich. Durch hinreichend extreme Änderungen wird zusätzlich zur Aktualisierung der Raumkarte ein Aufmerksamkeitssignal ausgelöst. Dies bewirkt eine Fokussieränderung in Richtung des Reizes. Wenn die Aufmerksamkeitsverlagerung abgeschlossen ist, wird der Eintrag im inneren Modell aktualisiert und dadurch der jeweilige Inhalt dem Bewußtsein zugänglich.

Mit Hilfe des Modells läßt sich unter anderem der Fröhlich-Effekt erklären. Dieses Phänomen (z.B. Fröhlich, 1929) besteht darin, daß ein Reiz, der sich schnell bewegt, nicht an seiner tatsächlichen Startposition zum ersten Mal wahrgenommen wird, sondern an einer späteren Position. Über das Wetterwart-Modell wird der Effekt folgendermaßen erklärt: Durch das Auftauchen des Reizes werden die Aktualisierung der Raumkarte und das Aufmerksamkeitssignal ausgelöst. Während der Aufmerksamkeitsverlagerung bewegt sich der Reiz weiter, und entsprechend ändert sich der Eintrag in der Raumkarte. Diese verlagerte Position wird nach Abschluß der Aufmerksamkeitsverlagerung fälschlicherweise als Startposition wahrgenommen.

Bereits vor Beginn meiner Dissertationsexperimente wurden Untersuchungen zum Fröhlich-Effekt durchgeführt, deren Ergebnisse mit dem Modell vereinbar sind (Carbone, 1995; Kirschfeld & Kammer, 1999; Müsseler, 1987; Müsseler & Aschersleben, 1998 und Müsseler et al., eingereicht): So nimmt die Fehllokalisierung mit zunehmender Geschwindigkeit zu, valides Cuing – also ein Reiz, der kurz vor dem bewegten Reiz an seiner Position gezeigt wird – reduziert den Effekt, und Veränderungen eines Reizes zu Beginn der Bewegung werden schlechter entdeckt als in späteren Bewegungsphasen. Ein Teil der Befunde war aber in bezug auf das Modell weniger eindeutig. So war unklar, ob die Fehllokalisierung mit zunehmender Reizexzentrizität zunimmt, ob sie von der Bewegungsrichtung (foveofugal versus foveopetal) abhängt und ob konzentrische Kreisbewegung den Effekt tatsächlich zum Verschwinden bringt.

Aufgrund dieser offenen Fragen und zusätzlicher, aus dem Modell abgeleiteter Hypothesen wurde die erste Versuchsreihe durchgeführt. In den Experimenten 1 bis 4 wurde geprüft, ob die Bewegungsrichtung einen Einfluß auf die Fehllokalisierung ausübt, ob es einen Unterschied macht, auf welcher Achse relativ zum Fixationspunkt (oben, unten, links oder rechts) sich der Reiz bewegt, ob die Reizexzentrizität den Effekt beeinflusst und ob auch Reize, die an einer bestimmten Position für kurze Zeit aufblinken, fehllokalisiert werden. Zusammengefaßt war die Fehllokalisierung für stationär aufblinkende Reize nicht signifikant von 0 verschieden. Die Darbietungsachse übte – wie vorhergesagt - keinen Einfluß auf den Fröhlich-Effekt aus. Über die Exzentrizitäten zeigte sich eine zunehmende Fehllokalisierung, bis sie schließlich einen Maximalwert erreichte. Dieser Maximalwert wurde bei foveofugaler Bewegung bereits bei niedrigeren Reizexzentrizitäten erreicht als bei foveopetaler. Außerdem zeigte sich auch dann ein Fröhlich-Effekt, wenn der Reiz genau im Zentrum der Aufmerksamkeit (Exzentrizität 0) auftauchte. Diese Befunde lassen sich problemlos in das Modell integrieren, wenn man annimmt, daß durch die abnehmende Sehschärfe die räumliche Unsicherheit über die Zielposition der Aufmerksamkeitsverlagerung wächst und daß dies die Zeitspanne bis zum Beginn der Aufmerksamkeitsverlagerung verlängert. Der frühere Anstieg der foveofugalen Bedingung über die Exzentrizitäten läßt sich zusätzlich über eine höhere Sensitivität des visuellen Systems für foveopetale Bewegung erklären. Der positive Effekt unter der Exzentrizität 0 könnte dafür sprechen, daß räumliche Aufmerksamkeitsprozesse

nicht ausreichend sind, um einen Reiz bewußt wahrzunehmen, sondern daß hierzu zusätzlich objektbasierte Aufmerksamkeitsprozesse notwendig sind. In Experiment 5 und 6 wurde außerdem nachgewiesen, daß auch bei konzentrischer Kreisbewegung ein Fröhlich-Effekt auftritt.

Nach der Aufklärung von Widersprüchen wurde mit Hilfe der Experimente 7 bis 11 versucht, die Beziehung des Fröhlich-Effektes zu ähnlichen Fehllokalisationsphänomenen – dem flash-lag Effekt und dem representational momentum – zu untersuchen. In Untersuchungen zum flash-lag Effekt blinkt für kurze Zeit ein Objekt auf gleicher Höhe mit einem bewegten Reiz auf, und der Effekt besteht darin, daß der bewegte gegenüber dem stationären Reiz in Bewegungsrichtung verschoben erscheint. Es wurden eine Reihe von Erklärungen für dieses Phänomen herangezogen, von denen die Extrapolationshypothese (z.B. Nijhawan, 1997a) möglicherweise als Alternativerklärung für den Fröhlich-Effekt geeignet sein könnte. Demnach wird ein bewegter Reiz in die Zukunft extrapoliert, um die Fortleitungsverzögerung von der Retina zu höheren visuellen Arealen auszugleichen. Dadurch kann der Reiz an der Position wahrgenommen, an der er sich tatsächlich aktuell befindet. Ein stationär aufblinkender Reiz kann hingegen nicht extrapoliert werden, sondern wird an seiner tatsächlichen Position wahrgenommen. Im Falle des flash-lag Effektes wird also zeitlich verzögert die tatsächliche Position des stationären und die extrapolierte Position des bewegten Reizes wahrgenommen, so daß eine Lücke zwischen beiden entsteht. Wenn im Falle des Fröhlich-Effektes bereits die ersten Reizpositionen extrapoliert werden können, könnte dies die Fehllokalisation der Startposition erklären. In Experiment 7 wurde die Plausibilität der Extrapolationshypothese geprüft. Hierzu wurde ermittelt, an welcher Position der Richtungswechsel eines Reizes wahrgenommen wird. Laut Extrapolationsansatz müßte sich dieser an einem Ort befinden, an dem der Reiz nie ankommt, weil er zuvor seine Richtung gewechselt hat. Dies war jedoch nicht der Fall. Es zeigte sich eine Fehllokalisation in Richtung der Bewegung nach dem Richtungswechsel. Dieser Befund widerspricht der Extrapolationshypothese, ist aber mit dem Wetterwart-Modell vereinbar. In den Experimenten 8 und 9 wurde die Größe des Fröhlich-Effektes direkt mit der des flash-lag Effektes verglichen. In Experiment 8 sollten die Vpn relative Positionen zwischen einem stationär aufblinkenden Marker und dem bewegten Reiz entweder am

Anfang (Fröhlich-Effekt) oder in der Mitte der Bewegung (flash-lag Effekt) beurteilen und in Experiment 9 die absoluten Reizpositionen des Markers bzw. des bewegten Reizes. Es zeigte sich, daß bei Angabe der relativen Position der Fröhlich-Effekt nahezu verschwand und der flash-lag Effekt sogar negative Werte annahm (d.h., der Marker mußte entgegen der Bewegungsrichtung verschoben werden, damit er auf gleicher Höhe mit dem Reiz wahrgenommen wurde). Diese Befunde konnten mit Hilfe von Experiment 9 näher aufgeklärt werden: Die absoluten Positionsangaben in diesem Experiment zeigten, daß das Auftreten des Fröhlich-Effektes bei Angabe der relativen Positionen verschwindet, weil der aufblinkende Marker mit dem Reiz fehllokalisiert wird. In der Mitte der Bewegung wird hingegen der Reiz an früheren Reizpositionen lokalisiert, während der Marker an seiner tatsächlichen Position wahrgenommen wird. Die Befunde sprachen gegen den Extrapolationsansatz, sind aber mit dem Wetterwart-Modell vereinbar.

Das representational momentum besteht darin, daß der Ort des Verschwindens eines Reizes in Richtung der Bewegung fehllokalisiert wird, also so, als wäre er noch eine gewisse Strecke weiter gewandert (z.B. Finke & Freyd, 1985). Mit Hilfe von Experiment 10 wurde untersucht, ob sich unter meinen Reizgegebenheiten ein solches representational momentum nachweisen läßt. Hierzu ließ ich die Vpn den Ort des Verschwindens der Reize angeben. Es zeigte sich keinerlei Fehllokalisation. Experiment 11 sollte zusätzlich überprüfen, ob eine Gedächtnisverzerrung als Erklärung für den Fröhlich-Effekt plausibel ist. Dazu wurde eine farbige Skala als Referenzsystem eingesetzt, über die sich der Reiz hinweg bewegte. Da dies den Effekt nicht beeinflusste, schloß ich, daß Gedächtniseffekte keine entscheidende Rolle für die Entstehung des Fröhlich-Effektes spielen.

Die Experimente der letzten Versuchsreihe dienten dazu, neue, aus dem Modell abgeleitete Phänomene nachzuweisen bzw. näher zu untersuchen. Laut Modell sollte sich für jede Veränderungsdimension eine Fehlwahrnehmung des Startmerkmals in Richtung der Änderung nachweisen lassen, da sich – wie im Falle des Fröhlich-Effektes – das Reizmerkmal während der Aufmerksamkeitsverlagerung verändert. In Experiment 12 wurde gezeigt, daß auch für die Dimension Größe eine Fehlwahrnehmung der Startgröße in Richtung der Veränderung auftritt und daß diese mit der Exzentrizität zunimmt. Mit

Hilfe von Experiment 13 bis 16 wurde eine Fehlwahrnehmung der Startfarbe bei Farbveränderungen nachgewiesen. Auch dieser Effekt steigt mit der Exzentrizität an. Zusätzlich wurde gezeigt, daß die Farbfehlwahrnehmung numerisch größer ist als der Fröhlich-Effekt unter identischen Bedingungen. Dies könnte darauf hindeuten, daß die Wahrnehmung der Position des Reizes die Voraussetzung für die Wahrnehmung seiner Farbe ist. Zusätzlich konnte ich nachweisen, daß auch dann eine Fehlwahrnehmung auftritt, wenn der Reiz im Zentrum der Aufmerksamkeit auftaucht – was die Annahme zusätzlicher objektbasierter Aufmerksamkeitsprozesse weiter stützt – und daß sich der Effekt durch valides Cuing reduzieren läßt.

Ingesamt konnte das Wetterwart-Modell durch diese unterschiedlichen Versuchsreihen weiter gestützt werden. Im letzten Teil der Arbeit spekuliere ich über mögliche physiologische Grundlagen des Wetterwart-Modells. Als Aufmerksamkeitssignal könnte man sich etwa Einflüsse des Colliculus superior vorstellen, als Raumkarte könnte der posteriore Parietalcortex relevant sein, und für die Aktualisierung des inneren Modells scheinen Feedbackschleifen eine Rolle zu spielen.

Literaturverzeichnis

- Ansorge, U, Klotz, W. & Neumann, O. (1998). Manual and verbal responses to completely masked (unreportable) stimuli: Exploring some conditions for the metacontrast dissociation. *Perception*, 27, 1177-1189.
- Aston-Jones, G. S., Desimone, R., Driver, J., Luck, S. J. & Posner, M. I. (1999). Attention. In M. J. Zigmond, F. E. Bloom, S. C. Landis, J. L. Roberts & L. R. Squire (Hrsg.), *Fundamental Neuroscience* (S. 1385-1409). San Diego: Academic Press.
- Bachmann, T. (1994). *Psychophysiology of visual masking: The fine structure of conscious experience*. Commack: Nova Science Publishers.
- Baldo, M. V. C. & Klein, S. A. (1995). Extrapolation or attention shift? *Nature*, 378, 565-566.
- Ball, K. & Sekuler, R. (1980). Human vision favors centrifugal movement. *Perception*, 9, 317-325.
- Behrmann, M. & Tipper, S. P. (1994). Object-based attentional mechanisms: Evidence from patients with unilateral neglect. In C. Umiltà & M. Moscovitch, Morris (Hrsg.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (S. 351-375). Cambridge: MIT Press.
- Berry, M. J., Brivanlou, I. H., Jordan, T. A. & Meister, M. (1999). Anticipation of moving stimuli by the retina. *Nature*, 398, 334-338.
- Bornstein, M. H. & Korda, N. O. (1984). Discrimination and matching within and between hues measured by reaction times: Some implications for categorical perception and levels of information processing. *Psychological Research*, 46, 207-222.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Braun & Koch (2001). Overview. In J. Braun, C. Koch & J. L. Davis (Hrsg.). *Visual attention and cortical circuits* (S. XI-XVIII). Cambridge: MIT Press.
- Brown, J. L. (1966). Afterimages. In C. H. Graham (Hrsg.), *Vision and visual perception* (S. 479-503). New York: Wiley & Sons.

- Bullier, J. (2001a). Review: Integrated model of visual processing. *Brain Research*, 36, 96-107.
- Bullier, J. (2001b). Feedback connections and conscious vision. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 369-370.
- Burr, D. C (1980). Motion smear. *Nature*, 284, 164-165
- Carbone, E. (1995). *Bewegung und Aufmerksamkeit: Fröhlichs Beobachtungen und ihre Beziehung zum Wetterwart-Modell*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Bielefeld.
- Cavanagh, P. (1997). Predicting the present. *Nature*, 386, 19-21.
- Colby, C. L. & Olson, C. R. (1999). Spatial cognition. In M. J. Zigmond, F. E. Bloom, S. C. Landis, J. L. Roberts & L. R. Squire (Hrsg.) *Fundamental Neuroscience* (S. 1363-1383). San Diego: Academic Press.
- Collewijn, H., Erkelens, C. J. & Steinman, R. M. (1988). Binocular co-ordination of human horizontal saccadic eye movements. *Journal of Physiology*, 404, 157-182.
- Constantinidis, C. & Steinmetz, M. A. (2001). Neuronal responses in area 7a to multiple-stimulus Displays: I. Neurons encode the location of the salient stimulus. *Cerebral Cortex*, 11, 581-591.
- Cornsweet, T. N. (1970). *Visual perception*. New York: Academic Press.
- Cowey, A. & Rolls, E. T. (1974). Human cortical magnification factor and its relation to visual acuity. *Experimental Brain Research*, 21, 447-454.
- Di Lollo, V., Enns, J. T. & Rensink, R. A. (2000). Competition for consciousness among visual events: The psychophysics of reentrant visual processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 481-507.
- Docherty, N. M., Hawkins, K. A., Hoffman, R. E., Quinlan, D. M., Rakfeldt, J. & Sledge, W. H. (1996). Working memory, attention, and communication disturbances in schizophrenia. *Journal of Abnormal Psychology*, 105, 212-219.
- Driver, J. (1998) The neuropsychology of spatial attention. In H. Pahler (Hrsg.), *Attention* (S. 297-340). Hove: Psychology Press.

- Driver, J. & Spence, C. (2000). Multisensory perception: Beyond modularity and convergence. *Current Biology*, 10, 731-735.
- Duhamel, J. R., Colby, C. L., Goldberg, M. E. (1992). The updating of the representation of visual space in parietal cortex by intended eye movements. *Science*, 255, 90-92.
- Eggly, R., Driver, J. & Rafal, R. D. (1994). Shifting visual attention between objects and locations: Evidence from normal and parietal lesion subjects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, 161-177.
- Erismann, T. (1935). Die Empfindungszeit: Eine kritische Untersuchung I. Teil. *Archiv für die gesamte Psychologie*, 93, 453-519.
- Fehrer, E. & Raab, D. (1962). Reaction time to stimuli masked by metacontrast. *Journal of Experimental Psychology*, 63, 143-147.
- Filoteo, J. V., Williams, B. J., Rilling, L. M., Roberts, J. W. (1997). Performance of Parkinson's disease patients on the visual search and attention test: Impairment in single-feature but not dual-feature visual search. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 12, 621-634
- Finke, R. A. & Freyd, J. J. (1985). Transformations of visual memory induced by implied motions of pattern elements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 11, 780-794.
- Finke, R. A., Freyd, J. J. & Shyi, G. C.-W. (1986). Implied velocity and acceleration induce transformations of visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 175-188.
- Finney, D. J. (1971). *Probit analysis*. Cambridge: University Press.
- Freyd, J. J. (1987). Dynamic mental representations. *Psychological Review*, 94, 427-438.
- Freyd, J. J. (1993). Five hunches about perceptual processes and dynamic representations. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and performance XIV: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience* (S. 99-119). Cambridge: MIT Press.

- Freyd, J. J. & Finke, R. A. (1984). Representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 126-132.
- Freyd, J. J. & Finke, R. A. (1985). A velocity effect for representational momentum. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23, 443-446.
- Freyd, J. J. & Johnson, J. Q. (1987). Probing the time course of representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13, 259-268.
- Freyd, J. J. & Jones, K. T. (1994). Representational momentum for a spiral path. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 968-976.
- Freyd, J. J., Kelly, M. H. & DeKay, M. L. (1990). Representational momentum in memory for pitch. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16, 1107-1117.
- Freyd, J. J., Pantzer, T. M. & Cheng, J. L. (1988). Representing statics as forces in equilibrium. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 395-407.
- Fröhlich, F. W. (1921). Untersuchungen über periodische Nachbilder. *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, 52, 60-88.
- Fröhlich, F. W. (1922). Über die Messung der Empfindungszeit. *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, 54, 58-78.
- Fröhlich, F. W. (1923). Über die Abhängigkeit der Empfindungszeit und des zeitlichen Verlaufes der Gesichtsempfindung von der Intensität, Dauer und Geschwindigkeit der Belichtung. *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, 55, 1-46.
- Fröhlich, F. W. (1929). *Die Empfindungszeit: Ein Beitrag zur Lehre von der Zeit-, Raum- und Bewegungsempfindung*. Jena: Fischer.
- Gegenfurtner, K. (1999). The eyes have it! *Nature*, 398, 291-292.
- Goldberg, M. E., Eggers, H. M. & Gouras, P. (1991). The ocular motor system. In E. R. Kandel, Schwartz, J. H. & Jessell, T. M (Hrsg). *Principles of neural science* (S. 660-678). Norwalk: Appleton & Lange.

- Goldberg, M. E. & Wurtz, R. H. (1972) Activity of superior colliculus in behaving monkey. II. Effect of attention on neuronal responses. *Journal of Neurophysiology*, 35, 560-574.
- Goodale, M. A. & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15, 20-25.
- Grüsser, O. J. & Grüsser-Cornehls, U. (1985). Physiologie des Sehens. In R.F. Schmidt (Hrsg.). *Grundriß der Sinnesphysiologie* (S. 174-241). Berlin: Springer.
- Harter, M. R., Aine, C. & Schroeder, C. (1982). Hemispheric differences in the neural processing of stimulus location and type: Effects of selective attention on visual evoked potentials. *Neuropsychologia*, 20, 421-438.
- Hartje, W. (1989). Funktionelle Spezialisierung der Großhirnhemisphären. In K. Poeck (Hrsg.). *Klinische Neuropsychologie* (S. 37-70). Stuttgart: Thieme
- Haxby, J. V., Courtney, S. M. & Clark, V. P. (1998). Functional magnetic resonance imaging and the study of attention. In R. Parasuraman (Hrsg.), *The attentive brain* (S. 123-142). Cambridge: MIT Press.
- Hays, W. L. (1988). *Statistics*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Hazelhoff, F. F. & Wiersma, H. (1925). Die Wahrnehmungszeit. *Zeitschrift für Psychologie*, 96, 171-188.
- Henderson, J. M. (1993). Eye movement control during visual object processing: Effects of initial fixation position and semantic constraint. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 47, 79-98.
- Hess, C. W. (1996). Die mittels Kortexreizung motorisch evozierten Potentiale (MEP). In M. Stöhr, J. Dichgans, U. W. Buettner, C.W. Hess & E. Altenmüller (Hrsg.), *Evozierte Potentiale* (S. 589-654). Berlin: Springer.
- Hopf, J. M., Luck, S. J., Girelli, M., Hagner, T., Mangun, G. R., Scheich, H. & Heinze, H. J. (2000). Neural sources of focused attention in visual search. *Cerebral Cortex*, 10, 1233-1241.
- Hubbard, T. L. (1990). Cognitive representation of linear motion: Possible direction and gravity effects in judged displacement. *Memory and Cognition*, 18, 299-309.

- Hubbard, T. L. (1993). Auditory representational momentum: Musical schemata and modularity. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31, 201-204.
- Hubbard, T. L. (1996). Representational momentum, centripetal force, and curvilinear impetus. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1049-1060.
- Hubbard, T. L. & Bharucha, J. J. (1988). Judged displacement in apparent vertical and horizontal motion. *Perception and Psychophysics*, 44, 211-221.
- Husain, M., Shapiro, K., Martin, J. & Kennard, C. (1997). Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature*, 385, 154-156.
- Kalesnykas, R. P. & Hallett, P. E. (1994). Retinal eccentricity and the latency of eye saccades. *Vision Research*, 34, 517-531.
- Kandel, E. R., (1991). Perception of motion, depth, and form. In E. R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessell (Hrsg.), *Principles of neural science* (S. 440-466). Norwalk: Appleton & Lange.
- Kandel, E. R., Schwarz, J. H. & Jessell, T. M. (1996) *Neurowissenschaften*. Heidelberg: Spektrum.
- Kapoula, Z. & Robinson, D. A. (1986). Saccadic undershoot is not inevitable: Saccades can be accurate. *Vision Research*, 26, 735-743.
- Kaptein, N. A., Theeuwes, J., van der Heijden, A. H. C. (1995). Search for a conjunctively defined target can be selectively limited to a color-defined subset of elements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 1053-1069
- Kelly, M. H. & Freyd, J. J. (1987). Explorations of representational momentum. *Cognitive Psychology*, 19, 369-401.
- Kerr, J. (1971). Visual resolution in the periphery. *Perception and Psychophysics*, 9, 375-378.
- Khurana, B. Cavanagh, P. & Nijhawan, R. (1996). Are moving objects 'corrected' or flashed objects attentionally delayed? *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 37, 2421-B266.

- Khurana, B. & Nijhawan, R. (1995). Exploration or attentional shift? Reply to Baldo and Klein. *Nature*, 378, 566.
- Kinsbourne, M. (1977). Hemi-neglect and hemisphere rivalry. In E. A. Weinstein & R. P. Friedland (Hrsg.), *Advances in Neurology 18: Hemi-inattention and hemispheric specialization* (S. 41-49). New York: Raven Press.
- Kinsbourne, M. (1987). Mechanisms of unilateral neglect. In M. Jeannerod (Hrsg.), *Neurophysiological and neuropsychological aspects of spatial neglect* (S. 69-86). New York: Elsevier.
- Kinsbourne, M. & Byrd, M. (1985). Word load and visual hemifield shape recognition: priming and interference effects. In M. I. Posner & O. S. M. Marin (Hrsg.), *Attention and performance XI: Mechanisms of attention* (S. 529-543). Hillsdale: Erlbaum.
- Kirschfeld, K. & Kammer, T. (1999). The Fröhlich effect: a consequence of the interaction of visual focal attention and metacontrast. *Vision Research*, 39, 3702-3709.
- Klotz, W., & Neumann, O. (1999) Motor activation without conscious discrimination in metacontrast masking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 976-992.
- Kolbert, J., Müsseler, J. & Neumann, O. (1982). Scheinbare Abstandsverkürzung durch Bewegung: Der 'Tandem'-Effekt. *Bericht Nr. 26/1982, Psychologisches Institut der Ruhr-Universität Bochum, Arbeitseinheit Kognitionspsychologie*.
- Kovács, A. (1923). Über den Einfluß der Dunkeladaptation auf die Empfindungszeit und den zeitlichen Verlauf der Gesichtsempfindung. *Zeitschrift für Sinnesphysiologie*, 54, 161-214.
- Kronenberger, P. (1925). Empfindungszeit und Empfindungsdauer des hell- und dunkeladaptierten Sehorgans bei Minimalreizung mit farbigen Prüflichtern. *Archiv für die gesamte Physiologie*, 210, 355-391.
- Lamme, V. A. F. & Roelfsema, P. R. (2000) The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, 23, 571-579.

- Lappe, M. & Krekelberg, B. (1998). The position of moving objects. *Perception*, 27, 1437-1449.
- Lempert, H. & Kinsbourne, M. (1982). Effect of laterality of orientation on verbal memory. *Neuropsychologia*, 20, 211-214.
- Logan, G. D. (1996). The CODE theory of visual attention: An integration of space-based and object-based attention. *Psychological Review*, 103, 603-649.
- Luck, S. J. (1998). Neurophysiology of selective attention. In H. Pashler (Hrsg.), *Attention* (S. 257-295). Hove: Psychology Press.
- Luck, S. J. & Girelli, M. (1998) Electrophysiological approaches to the study of selective attention in the human brain. In R. Parasuraman (Hrsg.), *The attentive brain* (S. 71-94). Cambridge: MIT Press.
- Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T. & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: An ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cognitive Psychology*, 33, 64-87.
- Luck, S. J. & Hillyard, S. A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31, 291-308.
- Luck, S. J. & Hillyard, S. A. (1994b). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1000-1014.
- Luck, S. J., Hillyard, S. A., Mouloua, M., Woldorff, M. G., Clark, V. P. & Hawkins, H. L. (1994) Effects of spatial cuing on luminance detectability: Psychophysical and electrophysiological evidence for early selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 887-904.
- MacKay, D. M. (1958). Perceptual stability of a stroboscopically lit visual field containing self-luminous objects. *Nature*, 181, 507-508.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1991). Modulations of sensory-evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 1057-1074.

- Mangun, G. R., Hillyard, S. A. & Luck, S. J. (1993) Electrocortical substrates of visual selective attention. In D. E. Meyer & S. Kornblum (Hrsg.), *Attention and performance XIV: Synergies in Experimental Psychology, Artificial Intelligence, and Cognitive Neuroscience* (S. 219-243). Cambridge: MIT Press.
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: Freeman.
- Martinez, A., Anllo-Vento, L., Sereno, M. I., Frank, L. R., Buxton, R. B., Dubowitz, D. J., Wong, E. C., Hinrichs, H., Heinze, H. J. & Hillyard, S. A. (1999). Involvement of striate and extrastriate visual cortical areas in spatial attention. *Nature Neuroscience*, 2, 364-369
- Marzi, C. A. (1999) Neuropsychology of attention. In G. Denes & L. Pizzamiglio (Hrsg.), *Handbook of clinical and experimental neuropsychology* (S. 509-524). Hove: Erlbaum.
- Mason, C. und Kandel, E. R. (1991) Central visual pathways. In E.R. Kandel, J. H. Schwartz & T. M. Jessell (Hrsg.), *Principles of neural science* (S. 420-439). Norwalk: Appleton & Lange.
- Mateeff, S. & Gourevich, A. (1983). Peripheral vision and perceived visual direction. *Biological Cybernetics*, 49, 111-118.
- Mateeff, S. & Hohnsbein, J. (1988). Perceptual latencies are shorter for motion towards the fovea than for motion away. *Vision Research*, 28, 711-719.
- Mateeff, S., Yakimoff, N., Hohnsbein, J., Ehrenstein, W. H., Bohdanecky, Z. & Radil, T. (1991). Selective directional sensitivity in visual motion perception. *Vision Research*, 31, 131-138.
- Metzger, W. (1932). Versuch einer gemeinsamen Theorie der Phänomene Fröhlichs und Hazelhoffs und Kritik ihrer Verfahren zur Messung der Empfindungszeit. *Psychologische Forschung*, 16, 176-200.
- Milner, A. D. & Goodale, M. A. (1997) *The visual brain in action*. Oxford: Oxford University Press.
- Mitrani, L. & Dimitrov, G. (1982). Retinal location and visual localization during pursuit eye movement. *Vision Research*, 22, 1047-1051.

- Monjé, M. (1925). Die Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufes der Gesichtsempfindung vom zeitlichen Verlauf des Lichtreizes und dem Adaptationszustand. *Archiv für die gesamte Physiologie*, 209, 562-604.
- Motter, B. C. (1998). Neurophysiology of visual attention. In R. Parasuraman (Hrsg.), *The attentive brain* (S. 51-69). Cambridge: MIT Press.
- Müller, G. E. (1924). *Darstellung und Erklärung der verschiedenen Typen der Farbenblindheit*. Göttingen: Dandenhoeck & Ruprecht.
- Müsseler, J. (1987). *Aufmerksamkeitsverlagerung und Relativität. Ein experimenteller Beitrag zur Raum-Zeit-Wahrnehmung anhand eines Kontraktionsphänomens (Tandem-Effekt)*. München: Minerva.
- Müsseler, J. & Aschersleben, G. (1998). Localizing the first position of a moving stimulus: The Fröhlich effect and an attention-shifting explanation. *Perception and Psychophysics*, 60, 683-695.
- Müsseler, J. & Neumann, O. (1992). Apparent distance reduction with moving stimuli (Tandem Effect): Evidence for an attention-shifting model. *Psychological Research*, 54, 246-266.
- Müsseler, J., Stork, S., Kerzel, D. & Jordan, S. (eingereicht). Different localizations with linear and circular movements.
- Nazir, T. A. & Jacobs, A. M. (1991). The effects of target discriminability and retinal eccentricity on saccade latencies: An analysis in terms of variable-criterion theory. *Psychological Research*, 53, 281-289.
- Neumann, O. (1978). Visuelle Aufmerksamkeit und der Mechanismus des Metakontrastes. *Bericht Nr. 6/1978, Psychologisches Institut der Ruhr-Universität Bochum, Arbeitseinheit Kognitionspsychologie*.
- Neumann, O. (1979). Visuelle Aufmerksamkeit und der Mechanismus des Metakontrastes. In L. Eckensberger (Hrsg.), *Bericht über den 31. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. Göttingen: Hogrefe.

- Neumann, O. (1982). Experimente zum Fehler-Raab-Effekt und das 'Wetterwart'-Modell der visuellen Maskierung. *Bericht Nr. 24/1982, Psychologisches Institut der Ruhr-Universität Bochum, Arbeitseinheit Kognitionspsychologie.*
- Neumann, O. (1987). Zur Funktion der selektiven Aufmerksamkeit für die Handlungssteuerung. *Sprache & Kognition, 6*, 107-125.
- Neumann, O. (1989). Kognitive Vermittlung und direkte Parameterspezifikation. Zum Problem mentaler Repräsentation in der Wahrnehmung. *Sprache und Kognition, 8*, 32-49.
- Neumann, O. (1990a). Visual attention and action. In O. Neumann & W. Prinz (Hrsg.), *Relationships between perception and action: Current approaches* (S. 227-267). Berlin: Springer.
- Neumann, O. (1990b). Direct parameter specification and the concept of perception. *Psychological Research, 52*, 207-215.
- Neumann, O. (1991). *Konzepte der Aufmerksamkeit: Entstehung, Wandlungen und Funktionen eines psychologischen Begriffs.* Unveröffentlichte Habilitationsschrift, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Neumann, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: Von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau, 43*, 83-101.
- Neumann, O. (1996). Theorien der Aufmerksamkeit. In O. Neumann & A. F. Sanders (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Aufmerksamkeit* (S. 559-643). Göttingen: Hogrefe.
- Neumann, O., Esselmann, U. & Klotz, W. (1993). Differential effects of visual-spatial attention on response latency and temporal-order judgment. *Psychological Research, 56*, 26-34.
- Neumann, O. & Klotz, W. (1994). Motor responses to nonreportable, masked stimuli: Where is the limit of direct parameter specification? In C. Umiltà & M. Moscovitch (Hrsg.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (S. 123-150). Cambridge: MIT Press.
- Neumann, O. & Müsseler, J. (1990). Visuelles Fokussieren: Das Wetterwart-Modell und einige seiner Anwendungen. In C. Meinecke & L. Kehler (Hrsg.), *Bielefelder Beiträge zur Kognitionspsychologie* (S. 77-108). Göttingen: Hogrefe.

- Nijhawan, R. (1992). Misalignment of contours through the interaction of apparent and real motion systems. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 33, 974.
- Nijhawan, R. (1994). Motion extrapolation in catching. *Nature*, 370, 256-257.
- Nijhawan, R. (1997a). Visual decomposition of colour through motion extrapolation. *Nature*, 386, 66-69.
- Nijhawan, R. (1997b). Is retinal disparity really retinal? *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 38, 4216-B817.
- Pascual-Leone, A & Walsh, V. (2001). Fast backprojections from the motion to the primary visual area necessary for visual awareness. *Science*, 292, 510-512.
- Pihl, O. A. L. (1894). Ueber occultirende Mikrometer und ihre Brauchbarkeit zu genauen astronomischen Messungen. *Astronomische Nachrichten*, 134, 313-336.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I., Cohen, Y. & Rafal, R. D. (1982). Neural systems control of spatial orienting. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B298, 187-198.
- Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J. & Rafal, R. D. (1984). Effects of parietal lobe injury on covert orienting of attention. *Journal of Neuroscience*, 4, 1863-1874.
- Purushothaman, G., Patel, S. S., Bedell, H. E., Ogmen, H. (1998). Moving ahead through differential visual latency. *Nature*, 396, 424
- Pylyshyn, Z. W. (1981). The imagery debate: Analogue media versus tacit knowledge. *Psychological Review*, 88, 16-45.
- Pylyshyn Z. W. (1984). *Computation and cognition: Toward a foundation for cognitive science*. Cambridge: MIT Press.
- Rayner, K. (1984). Visual selection in reading, picture perception, and visual search. A tutorial review. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Hrsg.). *Attention and performance X: Control of language processes* (S. 67-96). Hillsdale: Erlbaum.

- Reed, C. L. & Vinson, N. G. (1996). Conceptual effects on representational momentum. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 839-850.
- Reuter-Lorenz, P. A., Kinsbourne, M. & Moscovitch, M. (1990). Hemispheric control of spatial attention. *Brain and Cognition*, 12, 240-266 .
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I. & Umiltà, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25, 31-40.
- Rizzolatti, G., Riggio, L. & Sheliga, B. M. (1994). Space and selective attention. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Hrsg.), *Attention and Performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (S. 231-265). Cambridge: MIT Press.
- Rubin, E. (1929). Kritisches und Experimentelles zur "Empfindungszeit" Fröhlichs. *Psychologische Forschung*, 13, 101-112.
- Scharlau, I. & Neumann, O. (eingereicht). Perceptual latency priming by metacontrast-masked stimuli: Evidence for an attentional interpretation.
- Sheth, B. R., Shimojo, S. & Nijhawan, R. (1999). The generalized flash-lag effect: What it is not and what it may be. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 40, 240-B200.
- Steglich, C. & Neumann, O. (2000) Temporal, but not spatial, context modulates a masked prime's effect on temporal order judgment, but not on response latency. *Psychological Research*, 63, 36-47.
- Stelmach, L. B. & Herdman, C. M. (1991). Directed attention and perception of temporal order. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 539-550.
- Tipper, S. P., Brehaut, J. C. & Driver, J. (1990). Selection of moving and static objects for the control of spatially directed attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 492-504.
- Tipper, S. P., Weaver, B., Jerreat, L. M. & Burak, A. L. (1994). Object-based and environment-based inhibition of return of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 478-499.

- Tsal, Y. (1983). Movement of attention across the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 523-530.
- Umiltà, C., Riggio, L., Dascola, I. & Rizzolatti, G. (1991). Differential Effects of central and peripheral cues on the reorienting of spatial attention. *European Journal of Cognitive Psychology*, 3, 247-267.
- Usher, M. & Niebur, E. (1996) Modeling the temporal dynamics of IT neurons in visual search: A mechanism for top-down selective attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 311-327.
- Verfaillie, K. & d'Ydewalle, G. (1991). Representational momentum and event course anticipation in the perception of implied periodical motions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 17, 302-313.
- Viviani, P. & Swenson, R. G. (1982). Saccadic eye movements to peripherally discriminated visual targets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 113-126.
- Vogelsang, K. (1924). Die Veränderungen des zeitlichen Verlaufes der fovealen Gesichtsempfindung durch die Dunkeladaptation bei Prüfung mit farbigen Lichtern. *Archiv für die gesamte Physiologie*, 206, 29-65.
- Wandell, B. A. (1995). *Foundations of vision*. Sunderland: Sinauer Associates.
- Webster, M. J. & Ungerleider, L. G. (1998) Neuroanatomy of visual attention. In R. Parasuraman (Hrsg.), *The attentive brain* (S. 19-34). Cambridge: MIT Press.
- Weiller, C. (2000). Bildgebende Verfahren – Aktivierungstudien mit PET und fMRT. In W. Sturm, M. Herrmann & C.W. Wallesch (Hrsg.), *Lehrbuch der Klinischen Neuropsychologie* (S. 204-218). Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Wertheim, T. (1894). Über die indirekte Sehschärfe. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, 7, 172-187.
- Whitney, D. & Murakami, I. (1998). Latency difference, not spatial extrapolation. *Nature Neuroscience*, 1, 656-657.

- Whitney, D., Murakami, I. & Cavanagh, P. (2000). Illusory spatial offset of a flash relative to a moving stimulus is caused by differential latencies for moving and flashed stimuli. *Vision Research*, 40, 137-149.
- Wirth, W. (1927). Das Wesen der psychophysischen Gesetzmäßigkeit. *Archiv für die gesamte Psychologie*, 60, 205-233.
- Wolff, P. (1989). *Einfluß des maskierten Testreizes auf die Wahlreaktion auf den Metakontrast*. Vorgestellt auf der 31. Tagung experimentell arbeitender Psychologen in Bamberg.
- Wyszecki, G. & Stiles, W. S. (1982). *Color Science: Concepts and methods, quantitative data and formulae*. New York: Wiley & Sons.