

# Wahrnehmungspsychologische Evaluation eines dreidimensionalen Visualisierungssystems

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. phil.

der Universität Kassel

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften

Fachrichtung Psychologie

vorgelegt von

Dipl.-Psych. Nina Cours

Kassel, im Oktober 2004

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Dezember 2004

Erstgutachter: Prof. Dr. Johannes Becker

Zweitgutachter: PD Dr. Martin Hänze

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2. Theoretischer Teil</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Evaluation</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Grundlagen der Tiefenwahrnehmung</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Der Erklärungsansatz mehrfacher Tiefeninformationen</b>	<b>13</b>
2.3.1 Okulomotorische Informationen für die räumliche Tiefe	14
2.3.2 Monokulare Informationen für die räumliche Tiefe	15
2.3.3 Bewegungsinduzierte Informationen für die räumliche Tiefe	19
2.3.4 Stereoskopische Informationen für die räumliche Tiefe	20
<b>2.4 Integration der Tiefeninformationen</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Technische Realisierung der dreidimensionalen Wahrnehmung</b>	<b>29</b>
2.5.1 Technische Realisierung zur Erzeugung von Tiefe in Bildern	30
2.5.2 Technische Realisierung zur Erzeugung von Tiefe auf Bildschirmen	31
2.5.3 Unterschied zwischen der technisch erzeugten Tiefenwahrnehmung und der natürlichen Tiefenwahrnehmung	35
<b>2.6 Verschiedene stereoskopische Systeme</b>	<b>36</b>
<b>2.7 Autostereoskope Systeme</b>	<b>38</b>
2.7.1 Die Linsenrasterscheibe	38
<b>2.8 Eingesetztes Messinstrument: Die Befindlichkeitsskalen</b>	<b>40</b>
<b>3. Empirischer Teil: Experiment 1</b>	<b>45</b>
<b>3.1 Methode</b>	<b>46</b>
<b>3.2 Hypothesen</b>	<b>53</b>
<b>3.3 Ergebnisse</b>	<b>55</b>
<b>3.4 Diskussion</b>	<b>63</b>

<b>4. Empirischer Teil: Experiment 2</b>	<b>68</b>
4.1 Methode	69
4.2 Hypothesen	74
4.3 Ergebnisse	75
4.4 Diskussion	85
<b>5. Empirischer Teil: Experiment 3</b>	<b>91</b>
5.1 Methode	92
5.2 Hypothesen	95
5.3 Ergebnisse	96
5.4 Diskussion	103
<b>6. Abschließende Diskussion</b>	<b>106</b>
6.1 Anwendungsbereiche	108
6.2 Weiterentwicklungsmöglichkeiten	111
6.3 Ausblick	112
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>114</b>
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>116</b>
<b>Anhang</b>	<b>129</b>
Anhang A: Instruktion von Experiment 1	130
Anhang B: Nachbefragung von Experiment 1	131
Anhang C: Reizabfolge von Experiment 1	132
Anhang D: Instruktion von Experiment 2	133
Anhang E: Nachbefragung von Experiment 2	134
Anhang F: Reizabfolge von Experiment 2	135
Anhang G: Befindlichkeitsskalen	136
Anhang H: Ergebnisse der Itemanalyse der Befindlichkeitsskalen	138

# **1. Einleitung**

## Die Erde ist eine Kugel!

Doch stellt Ihr Rechnerbildschirm die Erde wirklich als eine Kugel oder eher als eine Scheibe dar?

Betrachtet man sich diesen Sachverhalt, wird man feststellen, dass die normalen Bildschirme uns die dritte Dimension zwar zu suggerieren versuchen, aber den vollständigen Tiefeneindruck nicht hervorrufen können. Doch aufgrund des voranschreitenden technischen Fortschritts existieren bereits einige Displays, die uns einen Raum vorspiegeln können, der der natürlichen Wahrnehmung sehr nahe kommt. Zu diesen dreidimensionalen Visualisierungstechniken gehört auch die Darstellung mittels einer Linsenrasterscheibe, die am Institut für periphere Mikroelektronik der Universität Kassel entwickelt wurde. Diese stellt für die vorliegende Arbeit den Evaluationsgegenstand dar.

Hinter der dreidimensionalen Darstellung mit Hilfe der Linsenrasterscheibe verbirgt sich eine neue Dimension der Interaktion mit dem Computer. Im Vergleich zu gewöhnlichen dreidimensionalen Darstellungen, bei denen ein 3D-Objekt auf einer 2D-Fläche abgebildet wird und somit nach wie vor nicht aus der Bildschirmenebene heraus kann, ruft die stereoskopische Darstellung eine dreidimensionale Wahrnehmung hervor. Das heißt, die Objekte tauchen vor, beziehungsweise hinter der Darstellungsebene auf. Der phänomenologische Eindruck der dreidimensionalen Darstellung ist somit wesentlich lebendiger und eindrucksvoller als die flache Visualisierung beim normalen 2D-Display.

Abgesehen von der phänomenologischen Ebene gewinnt in der zunehmend technisierten Umwelt auch die Gebrauchstauglichkeit von informationstechnischen Systemen eine immer größere Bedeutung. Die Chancen und die Risiken von neuen Techniken zu erkennen, sie in ihrem sozialen und ökologischen Umfang zu analysieren und entsprechende Handlungsmöglichkeiten abzuleiten, ist heute eine der vorrangigen Aufgaben moderner Industriegesellschaften. Aus diesem Grund wird die psychologische Evaluation technischer Entwicklungen immer essentieller.

Bevor der weitreichende Einsatz von stereoskopischen Visualisierungsmethoden realisiert wird, sollten erst die Vor- und Nachteile dieser neuen Visualisierungstechniken gegenüber konventionellen analysiert werden (Hsu, Pizlo, Chelberg, Babbs & Delp, 1996). Da die dreidimensionale Visualisierungstechnik mittels Linsenrasterscheibe bisher noch nicht evaluiert wurde und auch generell auf dem Gebiet der Evaluation von dreidimensionalen Systemen nur wenige Untersuchungen mit quantitativen Ergebnissen verfügbar sind (Vollbracht, 1997), besteht hier ein zentrales Forschungsinteresse.

Ein Schwerpunkt der Evaluation wird auf die Untersuchung von Wahrnehmungsleistungen gelegt. Der Grund ist darin zu sehen, dass bei der Arbeit am Bildschirm vor allem die Augen betroffen sind. Die unterschiedlichen Helligkeiten zwischen Monitor, Vorlage, Tastatur und Umgebung fordern von den Augen ständige Anpassungsleistungen ab. Um störenden Einflüssen, wie zum Beispiel Blendungen, Spiegelungen oder Reflexionen auszuweichen wird häufig eine Fehlhaltung eingenommen. Das kann Rückenprobleme, Augenschmerzen oder Augenbrennen zur Folge haben. Diese Beschwerden beeinträchtigen nicht nur die allgemeine Leistungsfähigkeit, sondern auch die Fehlerquote beim Lesen am Bildschirm (Ertel, Junghans, Pech & Ullsperger, 1997). Um die Belastung für die späteren Anwender so gering wie möglich zu halten und zusätzlich die Fehlerquote zu senken, sollte die dreidimensionale Darstellung auf dem Bildschirm an die Gegebenheiten des menschlichen Sehapparates angepasst werden. Aufgrund dieser ergonomischen Anpassung sollen somit vorzeitige Ermüdungen und langfristige gesundheitliche Beeinträchtigungen verhindert oder zumindest eingeschränkt werden.

Um dieses langfristige Ziel zu erreichen, muss das dreidimensionale Visualisierungssystem erst einmal mit einem konventionellen Display verglichen werden. Bei diesem Vergleich wird deutlich, dass durch die Entwicklung der hochauflösenden Linsenrasterscheibe ein System zur Verfügung steht, das gegenüber zweidimensionalen Systemen aus psychologischer Sicht den Vorteil hat, dass es eine Möglichkeit der Informationsaufnahme bietet, die der natürlichen menschlichen Wahrnehmung entspricht, aber technisch erzeugt wird. Dieser Vorteil besteht darin, dass in dem 3D-System auch Querdisparation dargestellt werden kann. Diese Tiefeninformation ist die wichtigste Quelle der räumlichen Wahrnehmung, da sie

alleine ausreicht, den Betrachtern eine plastische Wahrnehmung zu ermöglichen. Dadurch enthält das 3D-System mehr Informationen als ein herkömmliches 2D-Display, welches nur die monokularen, bewegungsinduzierten und okulomotorischen Tiefeninformationen verwenden kann.

Eine zentrale Frage der Forschung ist es hierbei herauszufinden, ob durch den höheren Informationsgehalt grundlegende Wahrnehmungsleistungen in bestimmten Bereichen positiv beeinflusst werden können. Dazu zählen zum Beispiel Entfernungsschätzungen, Größenschätzungen, Lokalisationsschätzungen und die Identifikation der räumlichen Lage von Objekten zueinander. Darüber hinaus wird in dieser Arbeit die Frage untersucht, ob durch die höhere visuelle Natürlichkeit und die Neuartigkeit der Bildpräsentation auch die subjektive Befindlichkeit der Probanden positiv beeinflusst und somit die Belastung für den Anwender gering gehalten wird.

Bevor allerdings untersucht werden kann, ob es quantifizierbare Unterschiede zwischen der zweidimensionalen und der dreidimensionalen Abbildung mittels Linsenrasterscheibe gibt, wird im Theorieteil zunächst der Begriff der Evaluation definiert. Des Weiteren werden die wahrnehmungspsychologischen Grundlagen der monokularen und binokularen Raumwahrnehmung erörtert. Anschließend werden Techniken zur Erzeugung von Tiefe in Bildern und auf Bildschirmen erläutert und die Unterschiede zwischen der technisch erzeugten und der natürlichen Tiefenwahrnehmung näher beleuchtet. Nach der Vorstellung verschiedener stereoskopischer Systeme wird näher auf die autostereoskopische Linsenrasterscheibe eingegangen. Zum Abschluss des theoretischen Teils dieser Arbeit wird die Theorie des eingesetzten Befindlichkeitsfragebogens veranschaulicht. Danach wird auf die methodischen Vorgehensweisen eingegangen und konkrete Hypothesen werden generiert. Die empirische Überprüfung dieser Hypothesen erfolgt mittels dreier Experimente. Bei den ersten beiden Experimenten stehen grundlegende wahrnehmungspsychologische Leistungen im Vordergrund, während in der dritten Untersuchung der Bereich der subjektiven Befindlichkeit gemessen wird. Abschließend werden die Ergebnisse der Untersuchungen vorgestellt, diskutiert und konkrete Einsatzmöglichkeiten für die Linsenrasterscheibe abgeleitet.

## **2. Theoretischer Teil**



## 2.1 Evaluation

Aufgrund gesellschaftlicher Veränderungen und des voranschreitenden technischen Fortschritts, vor allem im Bereich der Informationstechnologie, werden Displays, die eine dreidimensionale Wahrnehmung ermöglichen, in den nächsten Jahren immer mehr Anwendung in der Arbeitswelt finden. Durch diese zahlreichen Innovationen entsteht ein erheblicher Bedarf an Evaluation (Holliman, 2003; Wottawa, 2001).

Evaluationen werden heute in großer Zahl in fast allen gesellschaftlichen Tätigkeitsbereichen durchgeführt (Wottawa & Thierau, 1998), hierzu zählen vor allem Universitäten, Krankenhäuser und Betriebe.

Die charakteristischen Merkmale einer Evaluation sind allerdings so verschiedenartig, dass man in der psychologischen und der pädagogischen Literatur eine sehr große Anzahl unterschiedlicher Definitionsversuche vorfindet. Diese Begriffsvielfalt kann zu Missverständnissen führen. In vielen Lehrbüchern wird betont, dass Evaluationen wissenschaftlichen Kriterien genügen müssen, die auch sonst für empirische Forschungsarbeiten gelten. In der Praxis wird jedoch gern jede Bewertung und jede Rückmeldung als Evaluation bezeichnet (Westermann, 2002).

Eine sehr weitreichende Bedeutung erhält der Begriff Evaluation, wenn man ihn mit dem Bewerten von Sachverhalten gleichsetzt. Für Scriven (1991) ist eine Evaluation gleichbedeutend mit dem Prozess der Beschreibung und Beurteilung des Wertes eines Gegenstandes, wie zum Beispiel eines Produktes, einer Person, einer Intervention oder einer Institution. Aus der Definition folgt, dass jede Evaluation notwendigerweise zwei Komponenten beinhaltet, nämlich Informationen über den bewerteten Gegenstand und Standards für die Beurteilung (Wottawa, 2001).

Eine engere Definition vom Begriff Evaluation liegt dann vor, wenn nicht mehr alle im Alltag getätigten Bewertungen darunter subsumiert werden, sondern nur noch diejenigen, die sich durch besondere Merkmale auszeichnen. Kennzeichnend für diese Bewertungen ist, dass sie besonders systematisch (Joint Committee on Standards for Educational Evaluation & Sanders, 2000, S. 25), sorgfältig und streng (Walberg & Haertel, 1990, S. xvii) und darüber hinaus noch nachprüfbar und objektiv sind (Kromrey, 2001, S. 105, 108).

Damit von einer wissenschaftlichen Evaluation gesprochen werden kann, muss noch einen Schritt weiter gegangen werden. Hier reicht nicht die systematische Bewertung oder Beurteilung eines Gegenstandes aus, sondern sie muss auch noch auf wissenschaftlichen Methoden beruhen. Diese sind in erster Linie psychologischer oder sozialwissenschaftlicher Natur. Vor allem Forschungsmethoden zur standardisierten Gestaltung der Untersuchungssituation, zur fundierten Merkmalerfassung (z.B. experimentelle oder quasi-experimentelle Versuchspläne, standardisierte Tests, Experimente) und zur adäquaten Datenauswertung (deskriptive Statistik und Signifikanztests) werden hier verwendet (Westermann, 2002). Diese Methoden werden dann zur Beschreibung und Beurteilung von Programmen, Maßnahmen und Interventionen, Techniken und Methoden, Produkten und Personen, hinsichtlich Zielsetzung und Planung, Durchführung, Wirksamkeit und Effizienz eingesetzt (vgl. Mittag & Hager, 2000; Rossi, Freeman & Hofmann, 1988; Rossi, Freeman & Lipsey, 1999; Wottawa & Thierau, 1998). Darüber hinaus gehören zu den allgemeinen Kennzeichen einer wissenschaftlichen Evaluation, dass die Evaluationsmaßnahmen dem aktuellen Stand wissenschaftlicher Techniken und Forschungsmethoden angepasst sein sollten (Wottawa & Thierau, 1998).

Wissenschaftlich gestützte Evaluationen werden auch als Evaluationsforschung (evaluation research, Suchman, 1967) oder als formale Evaluation bezeichnet (Clarke, 1999). Damit allerdings von einer Evaluationsforschung gesprochen werden kann, reicht es nicht aus, eine wissenschaftliche Methodik an einer peripheren Stelle der Untersuchung einzusetzen. Hier sollte besonders darauf geachtet werden, dass zentrale Bestandteile der Untersuchung, wie die Erhebung und die Auswertung der Daten wissenschaftlich gestützt sind (Westermann, 2002).

Zum Begriff Evaluation gehört auch eine Reihe verwandter Konzepte. Diese werden in verschiedenen sozialen Kontexten teilweise synonym, teilweise im Sinne einer spezialisierten Form von Evaluation verwendet. Hier spricht man von Erfolgskontrolle, Effizienzforschung, Begleitforschung, Bewertungsforschung, Wirkungskontrolle, Qualitätskontrolle usw. (Wottawa & Thierau, 1998). Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt eindeutig auf der wissenschaftlich gestützten Evaluation.

Evaluationsforschung ist in der Regel Auftragsforschung, für die ein Auftraggeber finanzielle Mittel zur Bewertung einer bestimmten Maßnahme oder eines Produkts bereitstellt. Auch die hier durchzuführende Evaluation findet im Rahmen eines Drittmittelprojekts statt, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird. Für die Evaluation steht ein 3D-System mit einer autostereoskopischen Linsenrasterscheibe zur Verfügung, welches am Institut für periphere Mikroelektronik der Universität Kassel entwickelt wurde.

Da Evaluationen von Forschern und Praktikern aus den verschiedensten Disziplinen durchgeführt werden (z.B. Psychologie, Soziologie und Ökonomie) und die Ergebnisse über die Grenzen einzelner wissenschaftlicher Disziplinen hinausgehen, handelt es sich bei der Evaluationsforschung um ein interdisziplinäres Feld (vgl. Wittmann, 1985). Auch bei der hier vorliegenden Arbeit werden durch das aktuelle Thema der Evaluation eines 3D-Systems die gewohnten Grenzen der Ingenieurwissenschaften und der Psychologie überschritten, um der Komplexität der Thematik gerecht zu werden. Diese Herangehensweise entspricht der Forderung nach Interdisziplinarität von Silbereisen (2003). Aufgrund der stark ausgerichteten interdisziplinären Forschung ist allerdings darauf zu achten, dass die zentralen Ergebnisse so aufbereitet werden, dass sie von Lesern aus verschiedenen Fachdisziplinen richtig verstanden und verarbeitet werden können (Patton, 1997).

Die evaluativen Experimente ähneln in ihrem Ablauf den grundlagenwissenschaftlichen Untersuchungen. Sie basieren auch auf einer Phase der Konzeptualisierung, der Durchführung und der abschließenden Auswertung und Bewertung (Rost, 2000). Ich teile damit die Ansicht vieler Evaluationsexperten, die in der Evaluationsforschung keine eigenständige Disziplin sehen, sondern eine Anwendungsvariante wissenschaftlicher Forschungsmethoden auf spezielle Fragestellungen (vgl. z.B. Hager, 1992; Rossi & Freeman, 1993; Weiss, 1974; Wittmann, 1990; Wottawa & Thierau, 1998).

Das Ziel dieser Evaluation soll nicht nur darin bestehen, die Linsenrasterscheibe allein zu beschreiben und zu bewerten, sondern sie mit einem herkömmlichen 2D-Display in Beziehung zu setzen und bestehende wahrnehmungspsychologische Unterschiede aufzuzeigen. Die 2D-Bedingung fungiert in allen Experimenten als eine

Art Kontroll- oder Vergleichsgruppe. Sie unterscheidet sich von der 3D-Bedingung nur dadurch, dass hier die Objekte nicht vor und hinter dem Bildschirm wahrgenommen werden können, sondern auf die Bildschirmenebene beschränkt sind. Diese beiden experimentellen Bedingungen kennzeichnen sich darüber hinaus durch eine zufällige Zuweisung der Versuchspersonen zu den Gruppen. Durch die Randomisierung wird es mit zunehmendem Versuchspersonenumfang immer unwahrscheinlicher, dass das Ergebnis durch Unterschiede zwischen den Probanden beeinflusst wird (Westermann, 2002).

Die methodische Vorgehensweise dieser Evaluation ist quantitativ. Sie zeichnet sich durch die explizite Erfassung von festgelegten Erfolgskriterien mit strukturierten Erfassungsmethoden wie Tests und Fragebögen aus, die wiederum statistisch ausgewertet werden. Bei der Verwendung von Fragebögen im Vergleich zu Beobachtungsmethoden besteht ein wesentlicher Vorteil dahingehend, einen Zugang zu Daten, wie zum Beispiel subjektiven Befindlichkeiten zu bekommen, die sich durch Beobachtungen nicht oder nur eingeschränkt erschließen lassen (Nielsen, 1993). Durch die methodische Wahl von Computerexperimenten und Fragebögen, bei denen die Interaktion zwischen Versuchsleiter und Versuchsperson durch standardisierte Instruktionen sehr reglementiert sind, kann man von einem annähernd objektiven, unverfälschten Standpunkt der Untersuchungen ausgehen.

Da bei dieser Evaluation nicht nur wahrnehmungspsychologische Aspekte im Vordergrund stehen, sondern auch die aktuelle subjektive Befindlichkeit der einzelnen Probanden gemessen wird, kann hier gemäß Scriven (1991) von einer analytischen Evaluation gesprochen werden. Bei einer analytischen Evaluation werden auch einzelne Aspekte bewertet, die dann abschließend zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst werden. Das heißt, das System, welches die vorher festgelegten Ziele, wie zum Beispiel kürzere Reaktionszeiten, das Begehen von weniger Fehlern und eine höhere subjektive Befindlichkeit, insgesamt besser erreicht, kann letztendlich als positiver bewertet werden. Die Festlegung von vorherigen Evaluationskriterien, anhand derer die Bewertung vorgenommen werden kann, liefert somit die Voraussetzung für die

Bewertung der beiden Systeme (Gediga & Hamborg, 2002). Mit Kriterien sind hier die messbaren Bewertungsmerkmale gemeint (Dzida, 1994).

Um die Auswirkungen der dreidimensionalen Darstellung auf entsprechende Wahrnehmungsleistungen zu überprüfen, stehen bei den ersten beiden Experimenten grundlegende Wahrnehmungsleistungen im Vordergrund, während in der dritten Untersuchung der Bereich der subjektiven Befindlichkeit gemessen wird.

## **2.2 Grundlagen der Tiefenwahrnehmung**

In der Geschichte der Wahrnehmungspsychologie ist die visuelle Raumwahrnehmung lange Zeit Gegenstand wissenschaftlicher Auseinandersetzungen gewesen. Ausgangspunkt der Streitigkeiten war dabei die Frage, wie Menschen von den zweidimensionalen flachen retinalen Bildern zu einer plastischen dreidimensionalen Wahrnehmung kommen (Guski, 1996). Die dreidimensionale Wahrnehmung beruht auf Abbildungen von Objekten im Raum, die auf den Netzhäuten der Augen nur in zweidimensionaler Form vorhanden sind. Unser visuelles System nutzt diese rein flächenhaften, zweidimensionalen Informationen, um eine Wahrnehmung zu kreieren, die der dreidimensionalen Umwelt entspricht.

Die Informationen aus der Umwelt können durch die Gesetze der geometrischen Optik beschrieben werden, die eine Beziehung zwischen den distalen und proximalen Reizen herstellen. Die distalen Reize (Fernreize, Gegenstandsmerkmale) setzen sich zusammen aus den Objekten und Flächen im Raum, die das Licht ins Auge reflektieren. Die proximalen Reize (Nahreize, Reizmuster an den Sinnesorganen) stellen eine Repräsentation der distalen Objekte auf der Retina dar. Die Beziehung zwischen distalen und proximalen Reizen ist besonders wichtig, da das visuelle System keinen Rezeptor für die Distanz besitzt. Die dritte Dimension im euklidischen Raum muss also aus den Abbildungen auf der Retina rekonstruiert werden (Haber & Hershenson, 1980).

Hier stellt sich die Frage: „Wie werden diese zwei retinalen, zweidimensionalen Repräsentationen in eine dreidimensionale Wahrnehmung umgesetzt?“ Dies ist eine der Fragen, die die Wahrnehmungsforschung bis heute am meisten beschäftigt hat.

Dem visuellen System stehen dafür viele verschiedene Informationen über die räumliche Gliederung der Umwelt zur Verfügung, die in den retinalen Abbildungen verschlüsselt enthalten sind. Diese Informationen müssen dekodiert und weiter verarbeitet werden (Goldstein, 2002). Ein Erklärungsansatz für die Umsetzung der zweidimensionalen Repräsentation in eine dreidimensionale Wahrnehmung ist die Theorie der mehrfachen Tiefeninformationen.

### **2.3 Der Erklärungsansatz mehrfacher Tiefeninformationen**

Der Erklärungsansatz mehrfacher Tiefeninformationen versucht in der Projektion der Umweltinformationen auf die Netzhaut, diejenigen Reizinformationen zu identifizieren, die mit der wahrgenommenen räumlichen Tiefe der visuellen Szene systematisch zusammenhängen. Die Faktoren, die das visuelle System bei der Tiefenwahrnehmung verwendet, sind dabei sehr unterschiedlicher Art. Es können Merkmale der optischen Eigenschaften des Auges sein, oder des visuellen Reizes selbst, aber auch physiologische Mechanismen und kognitive Faktoren sind beteiligt. Diese unterschiedlichen Informationen lassen sich in folgende Gruppen einteilen (für eine vergleichbare Konzeption siehe Goldstein, 2002):

1. Okulomotorische Informationen für die räumliche Tiefe
2. Monokulare Informationen für die räumliche Tiefe
3. Bewegungsinduzierte Informationen für die räumliche Tiefe
4. Stereoskopische Informationen für die räumliche Tiefe

In den folgenden Abschnitten werden die Informationsquellen für die räumliche Tiefe näher erläutert.

### 2.3.1 Okulomotorische Informationen für die räumliche Tiefe

Okulomotorische Tiefeninformationen ergeben sich aus der Fähigkeit, die Stellung der Augen und die Anspannung der Augenmuskeln auszuwerten. Sie beruhen einerseits auf physiologischen Signalen, die entstehen, wenn die Augen sich einwärts drehen (*Konvergenz*), um Objekte in der Nähe zu erfassen, oder sich auswärts drehen, um Objekte in der Ferne wahrzunehmen (*Divergenz*). Diese Konvergenzbewegungen dienen dazu, Objekte jeweils in den Fovea-Bereich der beiden Augen zu projizieren. Andererseits gehen die okulomotorischen Tiefeninformationen auf die Formveränderung der Linse beim Fixieren zurück (*Akkommodation*). Die Akkommodation ist die Fähigkeit des Auges, Objekte in unterschiedlichen Entfernungen scharf abzubilden. Beim Scharfstellen naher Objekte verdickt sich die Linse und bei weiter entfernten Gegenständen wird die Linse flacher. Der jeweilige Spannungszustand der Ciliarmuskeln, die die Linsenkrümmung bewirken, kann als Informationsquelle über die Entfernung des fixierten Objektes herangezogen werden.

Konvergenz und Akkommodation dienen somit als Signale für räumliche Tiefe, weil die Augenstellung und die Linsenform mit dem Abstand des beobachteten Objekts zusammenhängen. Aus den Steuerungs- und Rückmeldesignalen, die mit der Änderung der Konvergenz und der Akkommodation einhergehen, kann das visuelle System Informationen für räumliche Tiefe ableiten (vgl. Goldstein, 2002). Diese Tiefeninformationen sind allerdings nur bei Distanzen wirksam, die kleiner sind als anderthalb bis drei Meter (Cutting & Vishton, 1995; Mon-Williams & Tresilian, 1999; Tresilian, Mon-Williams & Kelly, 1999).

Die Bedeutung der Akkommodation für die räumliche Wahrnehmung scheint vor allem darin zu liegen, den anderen visuellen Modulen eine bestmögliche Stimulusqualität zu bieten (Falter, Rötting & Springer, 1994). Okulomotorische Tiefeninformationen liefern somit nur eine eingeschränkte Möglichkeit, über räumliche Tiefe zu urteilen (Glassner, 1995; Ogle, 1964; Pastoor, 1991).

### 2.3.2 Monokulare Informationen für die räumliche Tiefe

Obwohl unsere dreidimensionale Wahrnehmung der Welt im Wesentlichen durch unser binokulares Sehen begründet ist, sind Menschen in der Lage, auch mit nur einem Auge Informationen über die räumliche Tiefe zu erhalten (Guski, 1996). Dies wird über die monokularen Tiefeninformationen realisiert, die sich einem unbewegten zweidimensionalen Bild, zum Beispiel einem Foto, entnehmen lassen. Diese Tiefeninformationen nennt man monokular, weil sie auch dann wirksam sind, wenn wir eine Szene nur mit einem Auge betrachten. Unser Wahrnehmungssystem ist in der Lage, aus diesen monokularen Informationen räumliche Tiefe zu konstruieren oder zu rekonstruieren.

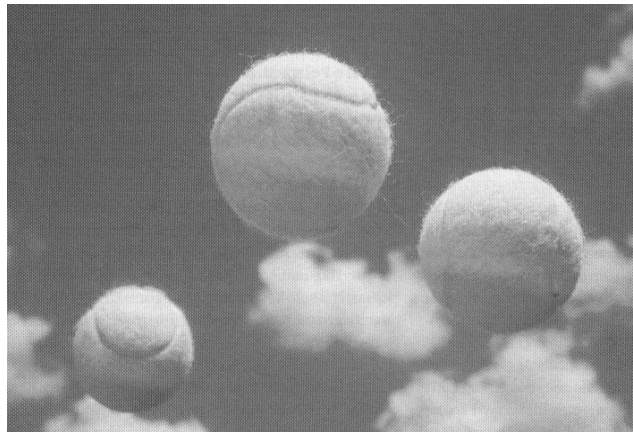
Das *Verdecken von Objekten* liefert Informationen darüber, dass sich ein Objekt vor einem anderen befindet. Dieser Effekt wird auch in zweidimensionalen Abbildungen genutzt und ist besonders stark, wenn die verdeckende Fläche einfache und geschlossene Konturen besitzt (siehe Guski, 1996). Die Tiefeninformation des Verdeckens enthält aber keine Informationen über die Entfernung eines Objekts, sondern nur über die relative räumliche Tiefe. Wir wissen also nur, dass ein Objekt vor dem anderen ist, wir wissen aber nicht um wie viel.

Hinweise auf räumliche Orientierungen und Positionen geben auch Helligkeitsverteilungen und die im Gesichtsfeld auftretenden *Schatten*. Dreidimensionale Gegenstände weisen auf ihrer Oberfläche eine bestimmte Verteilung von Licht und Schatten auf, die von der jeweiligen Position der Lichtquelle abhängt (Kubeck, 1994).

Die Tiefeninformation *relative Größe im Gesichtsfeld* zeigt auf, dass Objekte im Hintergrund einen geringeren Anteil des Gesichtsfeldes einnehmen, als die im Vordergrund. Wenn zwei Objekte physikalisch gleich groß sind, dann nimmt das Nähere einen größeren Teil des Gesichtsfeldes ein. Diese Regelmäßigkeit der relativen Größe im Gesichtsfeld kann für die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe ausgenutzt werden (Goldstein, 2002). Da man aus Erfahrung weiß, dass ein Mensch seine Körpergröße nicht innerhalb kürzester Zeit ändert, ist dem Sehsystem klar, dass er sich entfernt, wenn er kleiner zu werden scheint. Aus diesem Grund nimmt man kleinere, identische Motive wegen der Größenkonstanz als entfernter liegend wahr (Bach, 1999).



Wenn alle anderen Faktoren gleich sind, wirkt dadurch ein größeres Objekt näher. Um diese Tiefeninformation, die in der vorliegenden Arbeit eine zentrale Rolle spielt, noch einmal genauer zu verdeutlichen, wird sie in Abbildung 2-1 visualisiert. Hier sieht man den kleineren Tennisball links weiter entfernt als die beiden anderen Bälle.



*Abbildung 2-1:* Die relative Tiefe der drei Tennisbälle wird entsprechend ihrer Größe wahrgenommen (Goldstein, 2002, S. 231).

Die Größe des Netzhautbildes eines Objektes ist, im Gegensatz zum Objekt selber, nicht konstant, sondern hängt von der Entfernung des Objektes ab. Mit zunehmender Entfernung wird das Netzhautbild immer kleiner. Bei Gegenständen, deren Größe aus früheren Erfahrungen bekannt ist, lässt sich die Entfernung und die räumliche Position aufgrund der Größe der Abbildungen auf der Netzhaut einschätzen (Kubeck, 1994). Ist die wahre Größe eines Objektes nicht genau bekannt, so gilt das Emmert'sche Gesetz. Es besagt, dass die wahrgenommene Größe von Objekten gleicher Winkelgröße direkt proportional zu ihrer Entfernung ist (Emmert, 1881; Kaufman, 1974). Geraten in einer künstlich herbeigeführten Situation die beiden unabhängigen Tiefeninformationen Größe und Konvergenz in Konflikt, so wird das Emmert'sche Gesetz gegenüber der Konvergenz priorisiert (Heinemann, Tulving & Nachmias, 1959). Dies wird deutlich, wenn die Akkomodation von Versuchspersonen paralytisiert wird, und den Personen dann getrennt für jedes Auge scheibenförmige Lichtreize präsentiert werden, die zu einem konstanten retinalen Abbild führen. Das heißt, ihre objektive Größe nimmt mit zunehmender Entfernung zu. Diese Lichtreize werden dann umso kleiner und weiter entfernt wahrgenommen, je stärker die Augen konvergieren. Dies ist also genau entgegen der angedeuteten Konvergenzlage und verstößt scheinbar gegen das

Emmert'sche Gesetz. Der Sachverhalt kann damit erklärt werden, dass das retinale Abbild bei Annäherung an das Auge größer geworden wäre, aber in der Versuchssituation bleibt das retinale Abbild konstant. Infolgedessen scheint der Stimulus zu schrumpfen und gehorcht damit dem Emmert'schen Gesetz. Da aber Objekte beim Näherkommen (starkes Konvergieren) nicht schrumpfen, geraten in dieser Situation die Mechanismen Größe und Konvergenz in Konflikt.

Die *relative Höhe* eines Objektes *im Gesichtsfeld*, womit die vertikale Position im Netzhautbild gemeint ist, korrespondiert mit der Entfernung vom Betrachter. Der Horizont stellt dabei den Bezugspunkt für die Entfernungsschätzung dar. Dabei gilt für Gegenstände unterhalb der Horizontlinie, dass je näher sie der Horizontlinie sind, desto weiter entfernt sie gesehen werden. Objekte, wie Wolken, Vögel oder Flugzeuge, die über der Horizontlinie liegen, erscheinen entfernter, wenn sie im Blickfeld niedriger stehen. Für die Wirksamkeit dieses Prinzips gibt es allerdings keine zweifelsfreie wissenschaftliche Bestätigung. Zum Beispiel benutzen Beobachter in der Untersuchung von Epstein (1966) die relative Höhe im Gesichtsfeld erst dann als Entfernungsinformation, wenn zumindest perspektivische Linien oder eine Textur als Hintergrund zu sehen war.

Wenn Menschen sich von ihrem Wissen beeinflussen lassen, beeinflusst die Tiefeninformation *gewohnte Größe* ihr Urteil über die räumliche Tiefe. Ein Experiment von Epstein (1965) zeigte, dass unser Wissen über die Größe eines Objektes beeinflusst, wie weit entfernt wir Objekte wahrnehmen. Entscheidend bei dieser Untersuchung war, dass die Münzen, die real verschieden groß sind, in derselben Größe abgebildet waren und somit die retinale Größe keinen Einfluss haben konnte. Bei monokularer Betrachtung wurde die bekannte Größe tatsächlich zur Schätzung der relativen Entfernung benutzt. Dieses Ergebnis stellte sich dagegen nicht ein, wenn die Beobachter die Vorlage binokular sahen. Hier war den Beobachtern zu deutlich, dass die Münzfotos konstant entfernt waren. Die Tiefeninformation *gewohnte Größe* ist daher am effektivsten, wenn andere Tiefeninformationen fehlen (siehe auch Coltheart, 1970; Schiffman, 1967).

Eine weitere Quelle für monokulare, bewegungsunabhängige Tiefeninformation ist die *atmosphärische (oder Luft-) Perspektive*. Sie ist der Grund dafür, dass wir entfernte

Objekte weniger scharf sehen, da die Luft kleine Schwebepartikel wie Wassertröpfchen, Staub und verschiedene Verschmutzungen enthält. Je weiter ein Objekt entfernt ist, desto mehr Luft und Partikel liegen auf unserer Sichtlinie, und deshalb wirken weit entfernte Gegenstände unschärfer und haben weniger gesättigte Farben. Aus diesem Grund werden sie als sich weiter entfernt befindend interpretiert. Allerdings ist die Stärke dieses Effekts nicht konstant, sondern hängt vom Anteil der Schwebepartikel in der Luft ab. Die Luftperspektive wirkt deswegen in großen Städten viel stärker als in den Bergen bei klarer Sicht.

Mit der Frage, wie man ein dreidimensionales Objekt auf einer zweidimensionalen Fläche abbilden kann, beschäftigen sich schon die Künstler seit der Zeit des antiken Griechenland. Doch erst 1435 beschrieb Leon Battista Alberti die Prinzipien des Zeichnens mit linearer Perspektive. Mit Hilfe dieses geometrischen Verfahrens kann ein dreidimensionaler Tiefeneindruck auf einer zweidimensionalen Fläche erzeugt werden (siehe Hagen 1979, 1986; Kubovy, 1986; White, 1968). Eine andere Möglichkeit, ein perspektivisches Bild zu generieren, geht auf Leonardo da Vinci zurück. Nach diesem Verfahren kann jeder perspektivisch zeichnen, wenn er das zu malende Objekt durch eine durchsichtige Glasscheibe betrachtet, auf deren Oberfläche er dann die Konturen der Gegenstände nachzeichnet, die sich hinter der Scheibe befinden (Gombrich, 1960). Dieses Verfahren wurde auch als Albertis Fenster bezeichnet. Eine weitere Alternative, ein perspektivisches Bild herzustellen, ist die Fotografie.

Wenn ein Bild linearperspektivisch gezeichnet ist, konvergieren die Linien, die in der wirklichen Szene parallel verlaufen, in der Ferne (Goldstein, 2002). Der wahrgenommene Abstand zwischen Straßenrändern oder Eisenbahnschienen wird bei großen Entfernungen so gering, dass sie schließlich in einem Punkt, dem so genannten Fluchtpunkt, zu verschmelzen scheinen. Parallele Linien behalten zwar mit zunehmender Entfernung ihren physischen Abstand bei, aber sie nehmen einen immer kleineren Schinkel ein, so dass die beiden Linien im Unendlichen nicht mehr visuell unterschieden werden können (siehe Guski, 1996). Diese Gesetzmäßigkeit der Tiefenwahrnehmung wird als *lineare Perspektive* bezeichnet.

Mit der Linearperspektive hängt eine weitere Tiefeninformation zusammen, die sich auf die Oberflächenstrukturen im visuellen Feld stützt. Gibson (1950) hat diese Tiefeninformation als *Texturgradienten* bezeichnet. Bei der Betrachtung einer

regelmäßig strukturierten Oberfläche wirken die Tiefeninformationen der linearen Perspektive und der relativen Größe der Elemente zusammen. Das heißt, je größer die Entfernung, desto stärker konvergieren die parallelen Strukturen, während gleichzeitig die einzelnen Elemente der Strukturen mit zunehmender Entfernung immer kleiner und dichter zusammenliegend erscheinen.

Texturgradienten beziehen sich auf den Boden, auf dem der Beobachter steht. Mit Hilfe von Experimenten konnte gezeigt werden, dass sich unsere Wahrnehmung der räumlichen Tiefe verschlechtert, wenn man den Untergrund entfernt. Beobachter schätzen die Entfernung zu einem Gegenstand dann schlechter ein, wenn zwischen dem Beobachter und dem Gegenstand die weiterführende Fläche fehlt und sich dort zum Beispiel eine Grube befindet. Die Distanz kann richtig eingeschätzt werden, wenn der Boden vorhanden ist (Sinai, Ooi & He, 1998). Sinai und seine Mitarbeiter nehmen an, dass der Boden mit seiner Textur ein Referenzsystem darstellt, welches die Entfernungswahrnehmung erleichtert.

### 2.3.3 Bewegungsinduzierte Informationen für die räumliche Tiefe

Alle bisher dargestellten Tiefeninformationen wirken bei statischen Positionen des Betrachters und der visuellen Reize. Bewegungsinduzierte Tiefeninformationen gehen hingegen aus der Bewegung des Beobachters oder der Bewegung von Objekten in der Umwelt hervor.

Obwohl in der vorliegenden Arbeit nur mit statischen Bildern gearbeitet wird, sollen im Folgenden der Vollständigkeit halber noch die zwei bewegungsinduzierten Tiefeninformationen kurz erläutert werden.

Die *Bewegungsparrallaxe* dient als Kriterium zur Wahrnehmung räumlicher Tiefe auf der Basis der relativen Geschwindigkeit zwischen dem Betrachter und den Objekten. Bei Bewegungen des Kopfes oder des Körpers bewegen sich die wahrgenommenen Objekte mit zur Entfernung umgekehrt proportionaler Geschwindigkeit. Weit entfernte Objekte bewegen sich langsam, Objekte in der Nähe bewegen sich hingegen schnell. Somit bewegen sich die Abbilder auf der Netzhaut von unterschiedlich weit entfernten Objekten unterschiedlich schnell und unterschiedlich

weit. Dieser Geschwindigkeitsunterschied heißt Bewegungsparallaxe (vgl. Goldstein, 2002). Solche Beobachtungen lassen sich zum Beispiel aus dem Seitenfenster eines fahrenden Zuges oder Autos machen.

Befinden sich zwei Flächen in unterschiedlichen Entfernungen, wird die hintere Fläche von der vorderen zugedeckt, wenn sich der Beobachter in die eine Richtung bewegt und aufgedeckt, wenn der Beobachter sich in die andere Richtung bewegt. Diese Tiefeninformation des *fortschreitenden Zu- oder Aufdeckens von Flächen* ist besonders wirksam bei der Wahrnehmung räumlicher Tiefe an Kanten (Kaplan, 1969).

In dieser Arbeit werden die Experimente, bezüglich der Unterschiede zwischen der dreidimensionalen und der zweidimensionalen Darstellung, mit Hilfe von statischen Bildern durchgeführt, da sonst zusätzliche Probleme entstehen. Wenn zum Beispiel Bewegungen der Beobachter erlaubt werden, müssen zusätzliche Variationen, die durch die Bewegungsverfolgungs- Hardware und das Updaten der Bilder entstehen, mit berücksichtigt werden (Azarbayejani, Starner, Horowitz & Pentland, 1993; Deering, 1992; Robinett & Rolland, 1992).

#### 2.3.4 Stereoskopische Informationen für die räumliche Tiefe

Alle bisher vorgestellten Tiefeninformationen, mit Ausnahme der Konvergenz, basieren auf monokularen Informationen. Beim beidäugigen Sehen werden hingegen binokulare (zweiäugige) Tiefeninformationen von unserem zentralen Nervensystem zur Errechnung der Tiefenwahrnehmung verwendet. Die Querdisparation, die auch als binokulare Disparität bezeichnet wird, ist eine solche binokulare Tiefeninformation, weil beide Augen an ihrem Zustandekommen beteiligt sind.

Da zwischen den beiden Augen ein lateraler Abstand von ungefähr 6,5cm liegt, sehen wir die Welt aus zwei verschiedenen „Blickwinkeln“. Die Gesichtsfelder unserer Augen überlappen sich, so dass die meisten Sichtobjekte in beiden Augen auf der Netzhaut abgebildet werden (Bach, 1999). Dadurch entstehen in den Augen zwei minimal voneinander abweichende Abbildungen (Cumming & DeAngelis, 2001; Lappin & Craft, 2000). Die Unterschiede in den retinalen Abbildungen werden vom

visuellen System decodiert und in das Stereosehen oder die Stereopsis umgesetzt (Abbildung 2-2). Die Wahrnehmung räumlicher Tiefe entsteht somit durch die neuronale Verarbeitung der in der Querdisparation enthaltenen Information über die relative Entfernung zwischen wahrgenommenem Objekt und dem Betrachter.

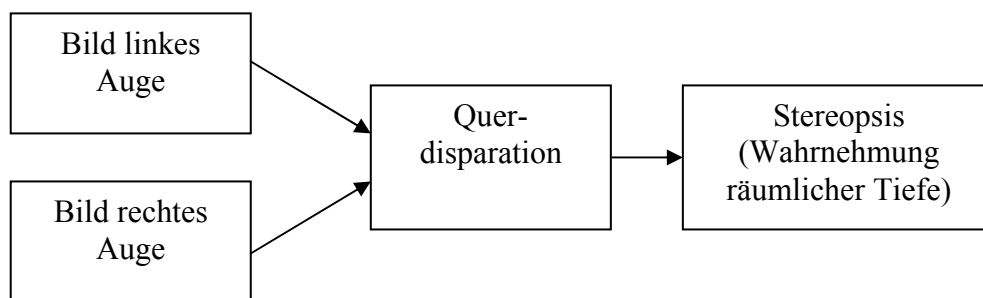


Abbildung 2-2: Querdisparation basiert auf dem Unterschied zwischen den beiden Abbildungen des linken und des rechten Auges. Stereoskopisches Sehen entsteht dadurch, dass die Querdisparation den Eindruck räumlicher Tiefe erzeugt (Goldstein, 2002, S. 236).

Die Abweichungen der beiden Netzhautbilder werden uns nicht bewusst, da sie über das nachgeschaltete Nervensystem erst in mehrfacher Weise miteinander „verrechnet“ werden, bevor uns eine räumliche plastische Wahrnehmung als Ergebnis zu Bewusstsein kommt (Becker-Carus, 2004).

Doch worin genau unterscheiden sich die beiden Netzhautbilder? Zur Beantwortung dieser Frage wird der Begriff der korrespondierenden Netzhautpunkte eingeführt.

Korrespondierende Netzhautpunkte sind die Stellen auf jeder der beiden Netzhäute, die mit derselben Stelle im visuellen Cortex verbunden sind. Alle Objekte, die auf einer gedachten Kreislinie liegen (Horopter), die durch den Fixationspunkt F und die optischen Mittelpunkte der beiden Augen geht, erzeugen Abbildungen, die auf korrespondierende Punkte der beiden Netzhäute fallen (siehe Abbildung 2-3).

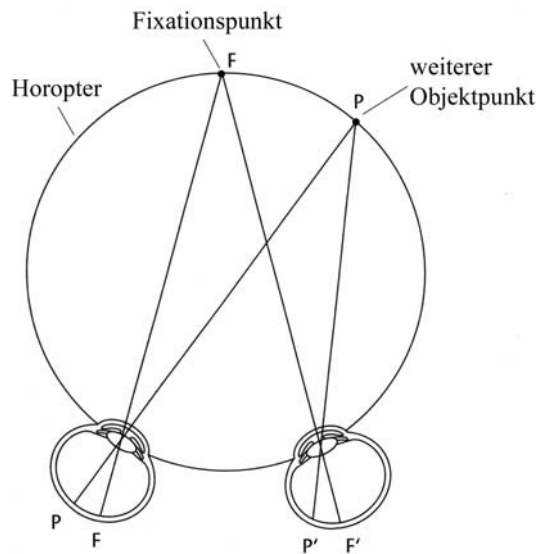


Abbildung 2-3: Die Punkte F und P liegen beide auf dem Horopter und werden auf korrespondierenden Bildpunkten F und F' sowie P und P' abgebildet (aus Gillam, 1995).

Fixiert der Beobachter einen neuen Punkt, entsteht ein neuer Horopter, der durch den Fixationspunkt verläuft.

Objekte, die vor oder hinter dem Horopter liegen, fallen auf unterschiedliche, disparate, nichtkorrespondierende Punkte beider Netzhäute. Wie Abbildung 2-4 zeigt, fällt zum Beispiel der Objektpunkt A auf die nichtkorrespondierenden Netzhautpunkte B und G'. Schöbe man die Netzhäute übereinander, würden sich die Punkte B und G' nicht decken (Goldstein, 2002).

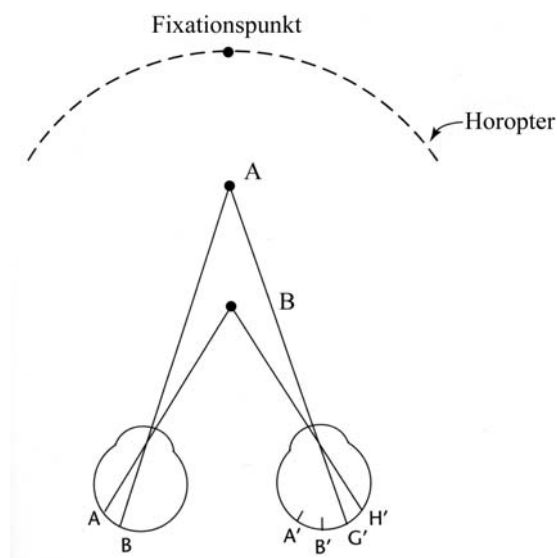


Abbildung 2-4: Die Abbildungen von den Objektpunkten A und B fallen auf nichtkorrespondierende Netzhautpunkte.

Aus diesen unterschiedlichen Punkten auf der rechten und der linken Retina resultiert die binokulare Disparität. Der Winkel zwischen diesen differenten Abbildungen heißt Querdisparationswinkel, dieser gibt den Grad der Querdisparation an. Zentral für die binokulare Wahrnehmung ist folgender Zusammenhang. Je weiter das Objekt vom Horopter entfernt ist, desto größer ist der Querdisparationswinkel. Fallen die Objekte auf korrespondierende Punkte, beträgt der Querdisparationswinkel null, das heißt, hier besteht keine Differenz zwischen der Lokalisation im rechten und linken retinalen Bild.

Wenn Objekte vor dem Horopter liegen (also näher am Betrachter), nennt man die resultierende Querdisparation gekreuzte Querdisparation, da hier die linke Hälfte des Bildes vom rechten Auge und die rechte Hälfte des Bildes vom linken Auge gesehen wird. Sie zeigt an, dass ein Objekt näher liegt als der Horopter. Ihre Abbildungen fallen auf die äußeren Randbereiche der Netzhäute. Liegen Objekte außerhalb des Horopters, spricht man von ungekreuzter Querdisparation, da die rechte Hälfte des Bildes vom rechten Auge gesehen wird und vice versa. Je weiter sich ein Objekt hinter dem Horopter befindet, desto mehr rücken seine Bilder auf der Netzhaut nach innen (siehe Abbildung 2-5).

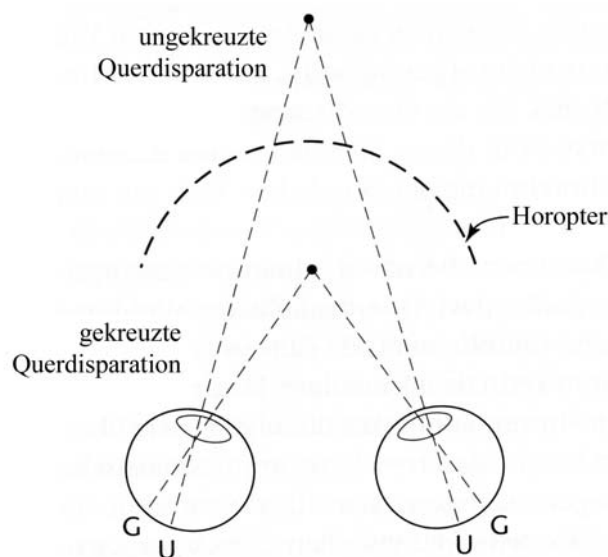


Abbildung 2-5: Objekte, die vor dem Horopter liegen, erzeugen gekreuzte Querdisparation; ungekreuzte Querdisparation entsteht bei Objekten hinter dem Horopter (Goldstein, 2002, S. 241).

Das Corpus geniculatum laterale (CGL) liegt zwischen der Netzhaut und dem visuellen Cortex. An dieser Stelle eröffnet sich dem neuronalen System das erste Mal



die Möglichkeit, die Signale der beiden Augen zu verrechnen. Dabei vergleicht das visuelle System die beiden Netzhautbilder im Hinblick auf die horizontale Verschiebung oder Querdissparation ihrer korrespondierenden Punkte und generiert daraus eine einheitliche Wahrnehmung eines räumlich-plastischen Gegenstandes. Dies führt dazu, dass die horizontale Verschiebung zwischen den beiden Netzhautbildern als Tiefe in der dreidimensionalen Welt interpretiert wird (Becker-Carus, 2004). Signale, die dabei von korrespondierenden Netzhautstellen kommen, aktivieren Fixationsneurone und Reize, die von disparaten Netzhautstellen ausgehen, regen Nah- oder Fernneurone an (Poggio & Fischer, 1997). Somit liefert die in den Netzhautbildern enthaltene Querdissparation Informationen darüber, wie weit ein Objekt vom Betrachter entfernt ist. Diese binokulare Disparität erzeugt dann das Stereosehen.

Allerdings können nicht alle Menschen die Disparität zur Tiefenwahrnehmung nutzen, da etwa 2% stereoblind sind und weitere 15% Schwierigkeiten haben bei komplexen Stereogrammen (Julesz, 1971; Owczarczyk & Owczarczyk, 1990). Darüber hinaus ist bekannt, dass dreidimensionales Sehen durch Übung signifikant verbessert werden kann (McKay, 1953). Ein Proband, der wenig oder keine Erfahrung mit stereoskopischem Sehen hat, benötigt eine gewisse Zeit, um die Tiefe in Bildern wahrzunehmen. Der Lerneffekt tritt aber schon nach kurzer Zeit ein (Dodwell, 1970).

Geometrisch kann man den Querdissparationswinkel,  $\alpha$ , als Differenz zwischen dem Vergenzwinkel am Punkt der Fixation,  $F$ , und dem Punkt des Interesses,  $A$  oder  $B$ , definieren (Holliman, 2003):

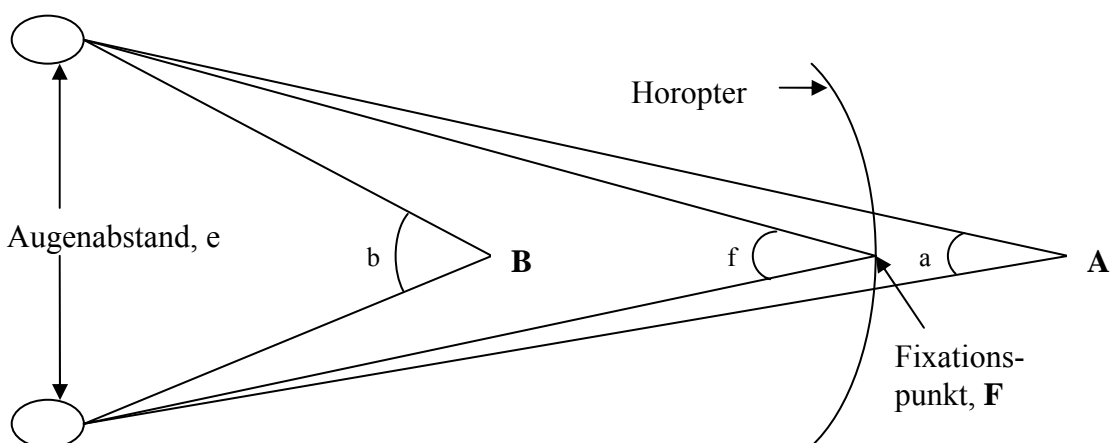


Abbildung 2-6: Darstellung des Querdissparationswinkels (nach Holliman, 2003, S. 7).

Dabei haben Punkte, die hinter dem Fixationspunkt liegen, wie *A*, eine positive Disparität.

$$\alpha_a = f - a \quad (1)$$

Punkte vor dem Fixationspunkt, wie *B*, hingegen eine negative Disparität.

$$\alpha_b = f - b \quad (2)$$

Zusammenfassend kann man sagen, dass das binokulare Sehvermögen auf die stereoskopischen Tiefeninformationen der retinalen Disparität zurückgreift, um die Tiefe eines Objektes relativ zum Fixationspunkt der beiden Augen wahrzunehmen. Die in den Netzhautbildern enthaltene Querdissparation liefert somit Informationen darüber, wie weit ein Objekt von unserem Blickpunkt entfernt ist.

## 2.4 Integration der Tiefeninformationen

Obwohl nachgewiesen ist, dass die Querdissparation eine Wahrnehmung räumlicher Tiefe bewirkt, beweist das noch lange nicht, dass sie alleine einen Tiefeneindruck hervorruft. Um zu überprüfen, ob die räumliche Wahrnehmung auf Querdissparation, monokularen Tiefeninformationen oder auf eine Kombination von beiden zurückgeht, können die Experimente von Julesz (1971) herangezogen werden. Er hat die Frage mit Reizvorlagen beantwortet, die keine andere Tiefeninformation enthalten, als die einer absichtlich konstruierten Querdissparation. Bei diesen Reizvorlagen handelt es sich um Stereogramme mit zufälligen Punktmustern, oder kurz gesagt um Zufallsstereogramme (random-dot-stereogram).

Zur Herstellung von Zufallsstereogrammen muss zuerst ein Computer zwei identische Zufallsmuster erzeugen. Dann wird in dem einen Muster ein quadratischer Ausschnitt geringfügig nach rechts verschoben. Wenn man nun dem linken Auge nur die linke Vorlage und dem rechten nur die rechte Vorlage in einem Stereoskop darbietet, nimmt man ein kleines Quadrat wahr, das über dem Hintergrund schwebt. Das

heißt, die hineinkonstruierte Figur erscheint in plastisch-räumlicher Tiefe. Die erzeugte Querdissparation ruft somit die Wahrnehmung räumlicher Tiefe hervor.

Julesz (1971) zeigte damit, dass Versuchspersonen in Vorgaben, die keinerlei monokulare Tiefeninformation enthalten, räumliche Tiefe wahrnehmen können. Julesz' Experiment lieferte somit einen psychophysischen Nachweis dafür, dass Querdissparation alleine zur Tiefenwahrnehmung führen kann.

Um die räumliche Tiefenwahrnehmung weiter aufzuklären, kann auf neurophysiologische Untersuchungen zurückgegriffen werden. Zum Beispiel fanden David Hubel und Torsten Wiesel (1970) in ihren Untersuchungen am visuellen Cortex des Affen nachgeschaltete Neuronen, die sensibel auf einen bestimmten Querdissparationswinkel reagierten. Diese Zellen reagieren nur dann besonders stark auf Reize, wenn diese gleichzeitig beide Augen treffen und durch einen bestimmten Winkel voneinander getrennt sind. Wird nur ein Auge mit demselben Reizmuster gereizt, kommt keine Reizantwort zustande. Hubel und Wiesel bezeichneten diese querdissparationsempfindlichen Neuronen als Zellen für räumliche Tiefe oder binokulare Neuronen. Auch im visuellen Cortex (V1) der Katze fanden Horace Barlow, Colin Blakemore und John Pettigrew (1967) Zellen, die optimal auf Reize reagieren, die auf den beiden Netzhäuten durch einen bestimmten Querdissparationswinkel getrennt sind.

Mittlerweile liegen viele Daten zur neuronalen Verarbeitung der Querdissparation vor. Simon LeVay und Thomas Voigt (1988; siehe auch Poggio, 1995) untersuchten zum Beispiel 272 Neuronen in den Cortex-Arealen V1 und V2 der Katze. Dabei fanden sie heraus, dass einige Neuronen optimal auf eine Querdissparation von null oder fast null reagieren und dass viele entweder auf gekreuzte oder ungekreuzte Querdissparation ansprechen. Zellen für räumliche Tiefe wurden auf allen Stufen des visuellen Cortex entlang der dorsalen Verarbeitungsbahn gefunden, in V2, V3, dem mediotemporalen Cortex (MT) und im mediosuperioren temporalen Cortex (MST) (Cumming & Parker, 1999; DeAngelis, Cumming & Newsome, 2000; Ohzawa, 1998; Ohzawa, DeAngelis & Freeman, 1996; Van Essen & DeYoe, 1995; Übersichten enthalten DeAngelis, 2000 und Sakata, Taira, Kusunoki, Murata & Tanaka, 1997).

Zusammenfassend kann man sagen, dass in diesen Untersuchungen nachgewiesen werden konnte, dass Neuronen des primären und extrastriären visuellen Cortex der

Katze und des Affen selektiv auf Querdissparation reagieren. Die retinale binokulare Disparität wird somit im Gehirn über Neuronen des visuellen Cortex in eine Information über räumliche Tiefe übersetzt.

Um zu untersuchen, in welcher Verbindung die querdissparationsempfindlichen Neuronen zur räumlichen Wahrnehmung stehen, müssen Verhaltensexperimente durchgeführt werden. Könnte in diesen nachgewiesen werden, dass Degeneration oder Verlust der binokularen Neurone zum Verlust des stereoskopischen Sehens führt, wäre dies ein Beleg dafür, dass binokulare Neurone im visuellen Cortex tatsächlich für das stereoskopische Sehen verantwortlich sind. Um dies zu überprüfen, zogen Randolph Blake und Helmut Hirsch (1975) Katzen in den ersten sechs Lebensmonaten monokular auf, indem die Tiere abwechselnd an einem Tag mit dem linken, am anderen Tag mit dem rechten Auge sehen konnten. Blake und Hirsch konnten durch neuronale Ableitungen bestätigen, dass unter diesen Bedingungen die speziellen binokularen Neurone zugrunde gehen. Durch Verhaltensexperimente stellten sie fest, dass der Verlust binokularer Neurone den Verlust des stereoskopischen Sehens nach sich zieht. Damit bestätigten sie, dass querdissparationsempfindliche Neuronen für das stereoskopische Sehen verantwortlich sind.

Um Querdissparation richtig entschlüsseln zu können, muss das visuelle System Punkte aus der einen retinalen Abbildung mit ähnlichen Punkten aus der anderen vergleichen. Diesen Vorgang bezeichnet man als Korrespondenzproblem beim Stereosehen. Um dieses Problem zu lösen, könnten die beiden Netzhautbilder anhand ihrer hervorstechenden Merkmale verglichen werden. Bei Objekten, die in der Welt gut voneinander zu unterscheiden sind, lassen sich die beiden Netzhautbilder gut miteinander vergleichen, aber funktioniert das zum Beispiel bei Julesz' Zufallsstereogrammen? Hier ist es natürlich viel schwieriger und zeitaufwendiger, ähnliche Merkmale zu vergleichen, als in der realen Welt. Trotz allem schafft es das visuelle System, ähnliche Teile der beiden Stereobilder zu vergleichen, ihre Querdissparation zu berechnen und einen Eindruck räumlicher Tiefe zu erzeugen. Auf die Frage, wie das visuelle System das Korrespondenzproblem bei Zufallsstereogrammen löst, gibt es mehrere Erklärungsansätze, aber keiner hat sich

bisher als völlig befriedigend erwiesen (Blake & Wilson, 1991; DeAngelis, 2000; Ohzawa, 1998).

Allgemein gilt, dass keine dieser Tiefeninformationen wie Querdisparation, monokulare Tiefeninformationen, bewegungsinduzierte Tiefeninformationen und okulomotorische Tiefeninformationen alleine entscheidend für unsere Wahrnehmung räumlicher Tiefe ist. Beispielsweise können wir die Querdisparation ausschalten, wenn wir ein Auge schließen. Wir sehen jedoch aufgrund der verbleibenden monokularen Tiefeninformationen immer noch räumlich, aber weniger pointiert (Livingstone & Hubel, 1988; Pizlo & Rosenfeld, 1992; Pizlo, 1994; Todd & Akerstrom, 1987). Auf der anderen Seite gibt es auch viele praktische Fälle, in denen monokulare Tiefeninformationen, zusätzlich zur Querdisparation, komplett abwesend oder nur minimal vorhanden sind. Ein Beispiel hierfür stellen Röntgenbilder dar. Durch das Fehlen der entsprechenden Tiefeninformationen wirkt das Röntgenbild nicht mehr räumlich. Infolgedessen ist es schwer zuerkennen, welche Elemente sich weiter vorne und welche sich weiter hinten befinden.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Tiefeninformationen in unterschiedlichen Entfernungen relevant sind. Die Tiefeninformationen Verdeckung und relative Größe sind zum Beispiel in einem Entfernungsbereich von 0 bis über 30m wirksam, Akkomodation und Konvergenz hingegen nur bei 0 bis 2m, Bewegung und Querdisparation von 0 bis 30m. Die relative Höhe im Gesichtsfeld wirkt in einem Bereich zwischen 2 und 30m und die atmosphärische Perspektive ist nur über 30m wirksam (Bruno & Cutting, 1988; Cutting & Vishton, 1995; Landy, Maloney, Johnston & Young, 1995; Tittle & Braunstein, 1993).

Abschließend kann man sagen, dass alle Tiefeninformationen gemeinsam ausgewertet werden und je mehr uns davon zur Verfügung stehen, desto besser sind unsere Chancen, die drei räumlichen Dimensionen der Welt aus der zweidimensionalen Information auf unseren Netzhäuten richtig abzuleiten (Goldstein, 2002).

## 2.5 Technische Realisierung der dreidimensionalen Wahrnehmung

Die Frage, die sich an dieser Stelle aufdrängt, lautet: „Wie lässt sich der dreidimensionale Eindruck, den wir beim normalen Sehen der Welt haben, künstlich realisieren?“ Allgemein kann man sagen, dass sich monokulare Tiefeninformationen, wie z.B. Verdeckungen, relative Größe im Blickfeld, relative Höhe im Blickfeld etc., in Bildern und auf konventionellen Displays problemlos darstellen lassen. Bei den binokularen Tiefeninformationen, wie z.B. Querdissipation benötigt man hingegen neue stereoskopische Ausgabetechnologien, doch gerade diese Tiefeninformationen sind die Hauptquelle dafür, dass wir den uns umgebenden Raum dreidimensional wahrnehmen und feine Unterschiede bezüglich räumlicher Distanzen fällen können (Goldstein, 2002). Dadurch, dass die zu betrachtenden Objekte aus der flachen Bildschirmenebene nach vorne oder nach hinten heraus zu schweben scheinen, wirken die Bilder wesentlich lebendiger.

Da es bereits 1982 über 5000 Patente zur stereoskopischen Darstellung gab (Lipton, 1982), wird deutlich, wie vielfältig die Möglichkeiten zur technischen Realisierung sind. Im Vergleich zu gewöhnlichen 3D-Darstellungen, bei denen ein 3D-Objekt auf einer 2D-Fläche abgebildet wird und somit nach wie vor nicht aus der Bildschirmenebene heraus kann, können bei der stereoskopischen Visualisierung die Objekte dreidimensional dargestellt werden. Das heißt, die Objekte tauchen vor, bzw. hinter der Darstellungsebene auf. Technisch kann die dreidimensionale Wahrnehmung mit Hilfe von autostereoskopischen Verfahren oder Verfahren mit Sichthilfe realisiert werden (McAllister, 1992; Milgram & Van der Horst, 1986; Schlüter, 1991).

Ziel der Anwendung eines stereoskopischen Darstellungssystems ist es, dem Anwender Daten dreidimensional darzubieten. Diese Form der Darstellung kommt dem menschlichen Sehen näher, als die üblicherweise zweidimensionale Darstellung.

Für die Darstellung von stereoskopischen Bildern machen sich diese Systeme die Funktionsweise des menschlichen Sehapparates zunutze. Der räumlich-plastische Eindruck, den wir beim normalen Sehen haben, lässt sich künstlich mit zweidimensionalen Vorlagen erzielen, wenn dafür gesorgt wird, dass beide Augen unterschiedliche Bilder des gleichen Objekts erhalten. Diese Bilder müssen abhängig

vom Augenabstand, jeweils um ca. 6,5cm zueinander versetzt sein. Anhand der Verschiebung kann dann das menschliche Gehirn die Tiefenposition ermitteln.

### 2.5.1 Technische Realisierung zur Erzeugung von Tiefe in Bildern

Um einen dreidimensionalen Eindruck künstlich, mit Hilfe von zweidimensionalen Vorlagen, zu erzeugen, nutzte der Physiker Charles Wheatstone (1838) die unterschiedliche Sicht beider Augen zum Bau eines Stereoskops. Diese Vorrichtung, mit der den beiden Augen getrennt zwei geringfügig unterschiedliche (disparate) Bilder präsentiert werden, ruft einen lebhaft plastischen Tiefeneindruck hervor. Die dargebotenen Bilder werden mit einer speziellen Kamera aufgenommen. Diese Kamera verfügt über zwei Linsen, die genauso weit wie der Augenabstand voneinander entfernt sind. Sie erzeugt somit zwei leicht unterschiedliche Bilder, wobei dem rechten Auge das rechte Bild und dem linken Auge das linke Bild dargeboten wird. Diese unterschiedlichen Aufnahmen von derselben Szene erzeugen Disparität. Der Blick durch ein Stereoskop zeigt, dass man eine dreidimensionale Wahrnehmung erlebt, wenn die Augen zwei leicht unterschiedliche Bilder derselben Szene wahrnehmen. Durch die Disparität in den Bildern wird eine retinale Disparität erzeugt, die der natürlichen Szene sehr ähnlich, aber nicht identisch ist (Holliman, 2003). Wheatstone prägte für den dadurch erzeugten Eindruck von räumlicher Tiefe die Bezeichnung Stereopsis oder stereoskopisches Sehen. Einen Überblick über die Erfindung und die Geschichte von stereoskopischen Bildern liefern zum Beispiel folgende Quellen: Helmholtz, 2000; Lane, 1982; Lipton, 1982; Okoshi, 1976 und Valyus, 1966.

Bei einer besonderen Art der Stereogramme wird der Querdissparationseffekt innerhalb eines einzigen Bildes erzeugt. Diese so genannten Autostereogramme fanden wegen ihres verblüffenden Wahrnehmungseffektes (Tyler, 1983; Tyler & Clarke, 1990) und durch Bücher wie *Magic Eye* (Thomas, 1993) sehr bald eine weite Verbreitung. Die dreidimensionale Wahrnehmung wird bei diesen Bildern durch die Wiederholung von Bildteilen erzeugt, die eine Querdissparation hervorrufen, wenn das Bild mit einem divergierenden (auf unendlich eingestellten) Blick betrachtet wird (vgl. Becker-Carus, 2004; Goldstein, 2002). Dabei versucht der Betrachter durch das Bild hindurch zu sehen

und einen gedachten Punkt ca. 30 cm hinter dem Bild zu fixieren. Diese Art zu sehen muss aber erst erlernt werden, sie strengt das Auge an und begrenzt die Bildgröße (Hölsken, 2003).

### 2.5.2 Technische Realisierung zur Erzeugung von Tiefe auf Bildschirmen

Auch der Eindruck von Dreidimensionalität auf einem Computerdisplay entsteht dadurch, dass rechtes und linkes Auge leicht unterschiedliche Bilder derselben Szene sehen. Beim Computer werden die zwei Bilder für den jeweiligen Blickwinkel errechnet und dargestellt. Als Faustregel gilt hier, dass bei einer Entfernung zwischen Monitor und Betrachter von 50cm die Disparität auf dem Bildschirm nicht wesentlich über einem Zentimeter liegen sollte, da sonst der Betrachter die Einzelbilder nicht mehr zu einem Bild fusionieren kann (Bach, 1999). Als Bilddisparität wird der Abstand zwischen korrespondierenden Punkten im linken Bild, welches für das linke Auge bestimmt ist und dem rechten Bild, das für das rechte Auge bestimmt ist, bezeichnet. Diese leichten Verschiebungen führen zur Querdissipation. Laut Jones, Lee, Holliman und Ezra (2001) haben die meisten Probanden bei einer wahrgenommenen Tiefe von 2cm vor oder 5cm hinter dem Bildschirm eine komfortable 3D-Sicht.

In diesem Zusammenhang muss näher auf die Geometrie der Tiefenwahrnehmung eingegangen werden.

Geometrische Modelle der Tiefenwahrnehmung wurden von Helmholtz (1867) und Valys (1966) und in neuerer Zeit von Diner und Fender (1993), Hodges und Davis (1993), Holliman (2003), Jones et al. (2001) und Woods, Docherty und Koch (1993) untersucht. In dieser Arbeit wird der Schwerpunkt auf ein vereinfachtes Modell von Holliman (2003) gelegt, das in Abbildung 2-7 dargestellt wird.



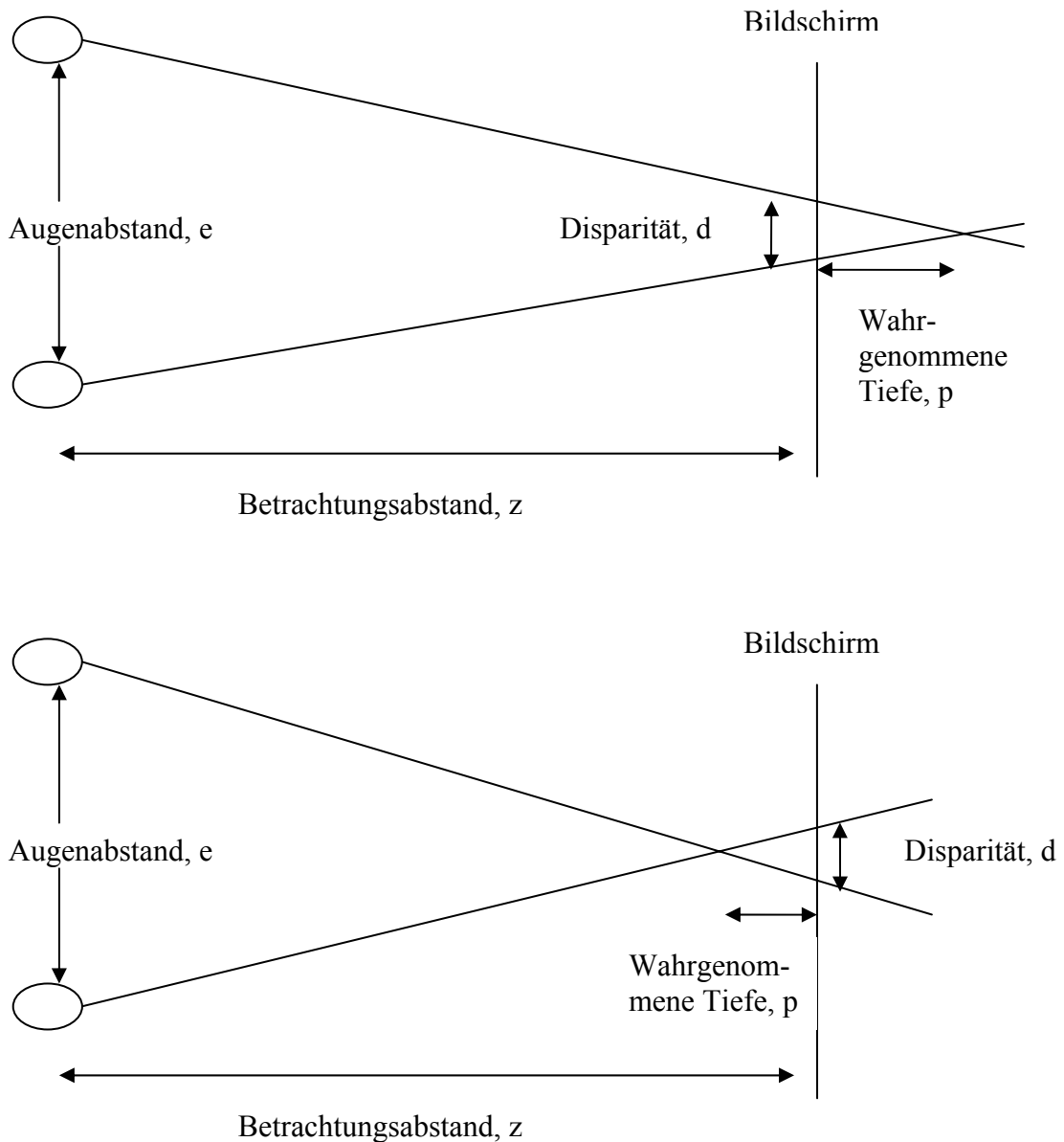


Abbildung 2-7: Wahrgenommene Tiefe hinter und vor dem Display (Holliman, 2003, S. 11).

In dem Modell sind die Augen des Betrachters durch den entsprechenden Augenabstand,  $e$ , voneinander entfernt angeordnet. Der individuelle Augenabstand variiert zwischen 55mm und 75mm, mit einem Durchschnittswert von 65mm. Durch die Variable  $z$  wird der Abstand zwischen Betrachter und Bildschirm angegeben. Dabei ist herauszustellen, dass die wahrgenommene Tiefe direkt proportional ist zum Betrachtungsabstand. Das heißt, wenn der Betrachterabstand variiert wird, dann verändert sich auch die wahrgenommene Tiefe.

Die Bildschirmdisparität zwischen korrespondierenden Punkten in dem linken und dem rechten Bild,  $d$ , ist eine physikalische Distanz, die aus der Bilddisparität resultiert und in Pixeln gemessen wird. Während die Bilddisparität für ein Stereopaar konstant ist, variiert die Bildschirmdisparität in Abhängigkeit von dem physikalischen Display.

Die Bildschirmdisparität kann dargestellt werden als Differenz zwischen den horizontalen x-Koordinaten der korrespondierenden Punkte im rechten Bild ( $x_r$ ) und im linken Bild ( $x_l$ ):

$$d = x_r - x_l \quad (3)$$

Um von der Bildschirmdisparität zu der uns interessierenden wahrgenommenen Tiefe zu gelangen, müssen die beiden einfachen Dreiecke in Abbildung 2-7 betrachtet werden. Aus der Graphik kann abgeleitet werden, dass die wahrgenommene Tiefe hinter dem Bildschirm, mit positiven Werten für  $d$ , errechnet wird durch:

$$p = \frac{z}{\left(\frac{e}{|d|}\right) - 1} \quad (4)$$

Das heißt, die wahrgenommene Tiefe,  $p$ , ergibt sich aus dem Betrachtungsabstand,  $z$ , dividiert durch den an der Disparität,  $d$ , relativierten Augenabstand,  $e$ , minus 1.

Die wahrgenommene Tiefe vor dem Bildschirm, mit negativen Werten für  $d$ , wird dargestellt durch:

$$p = \frac{z}{\left(\frac{e}{|d|}\right) + 1} \quad (5)$$

Aus den Formeln 4 und 5 lassen sich folgende Konsequenzen für die hier durchzuführenden Experimente ableiten:

Da die wahrgenommene Tiefe direkt proportional zum Betrachterabstand  $z$  ist, nimmt ein Betrachter, der ein Stereobild aus unterschiedlichen Distanzen betrachtet, eine unterschiedliche Tiefe in dem präsentierten Bild wahr (Holliman, 2003). Liegt die

Distanz zwischen Bildschirm und Betrachter außerhalb des optimalen Bereichs, der sich bei ca. 65 cm befindet, bricht die Trennung zwischen rechtem und linkem Auge zusammen (Hentschke & Börcsök, 2002). Infolgedessen wird ein Objekt bei einem kleineren Abstand zum Display als eher flach wahrgenommen und bei einem zu großen Abstand wird das Objekt in der Tiefe gedehnt (Hsu, Pizlo, Babbs, Chelberg & Delp, 1994). Je größer die Abweichung von der optimalen Position, desto schlechter ist die dreidimensionale Wahrnehmung. Aus diesem Grund muss bei der Durchführung von Experimenten besonders darauf geachtet werden, dass der Betrachterabstand bei den Versuchspersonen konstant gehalten wird, damit alle Probanden die gleichen Voraussetzungen haben.

Darüber hinaus hängt die wahrgenommene Tiefe auch direkt proportional von der Bildschirmdisparität  $d$  ab (Holliman, 2003). Da die Bildschirmdisparität von stereoskopischen Bildern in Abhängigkeit von der Größe des Bildschirms variiert, ist es relevant, die durchzuführenden Experimente an ein und demselben Display zu realisieren, damit eventuelle Variationen, die aus diesem Sachverhalt resultieren können, vermieden werden.

Auch der Augenabstand  $e$ , der zwischen 55mm und 75mm variiert und im Durchschnitt 65mm beträgt, beeinflusst die Wahrnehmung von räumlicher Tiefe an Bildschirmen (Holliman, 2003). Gerade Kinder, bei denen der Augenabstand noch geringer ist, erreichen viel schneller als Erwachsene die Grenzen ihrer Vergenz- und Akkomodationsfähigkeiten. Aus diesem Grund werden bei den Experimenten dieser Arbeit nur erwachsene Probanden untersucht.

Um darüber hinaus sicherzustellen, dass bei den hier durchzuführenden Experimenten bei den Versuchspersonen keine großen Unterschiede bezüglich der Fertigkeit zwischen den beiden Betrachtungsmodalitäten bestehen, wird ein Training eingeführt. Dieses praktische Training hilft den Probanden, sich nicht nur mit der Linsenrasterscheibe vertraut zu machen, sondern auch die Aufgabenstellung kennen zu lernen, die sie während des Experiments erwartet (Hsu et al., 1996).

### 2.5.3 Unterschiede zwischen der technisch erzeugten Tiefenwahrnehmung und der natürlichen Tiefenwahrnehmung

Ein großer Unterschied zwischen der technisch erzeugten und der natürlichen Tiefenwahrnehmung liegt in den physiologischen Signalen, die sich aus der Stellung der Augen und der Anspannung der Augenmuskeln ergeben.

Bei der natürlichen Tiefenwahrnehmung stellen sich die Augen beim räumlichen Sehen so ein, dass das betrachtete Objekt in einer bestimmten Tiefe scharf erscheint (Akkommodation). Zusätzlich drehen sich die Augen so, dass die beiden Bildachsen genau auf dem Objekt zusammenlaufen (Konvergenz). Diese physiologischen Anpassungen geschehen in der Regel automatisch und gleichzeitig.

Bei der technisch erzeugten Tiefenwahrnehmung wird das Auge wegen der Dominanz der Disparität über die anderen Tiefeninformationen darüber hinweg getäuscht, dass es nach wie vor auf die Bildschirmenebene fixiert bleibt. Die Augen sind bei stereoskopischen Displays bemüht, auf den Rechnerbildschirm zu akkomodieren, um die Darstellung scharf zu stellen. Auf der anderen Seite konvergieren oder divergieren sie je nach virtueller Lage im Raum des betrachteten Objekts, um die korrespondierenden Stimuli auf beide Fovea zu platzieren (Holliman, 2003). Dies erfordert eine Entkopplung beider Mechanismen. Die physiologischen Tiefeninformationen Akkommodation und Konvergenz treten dadurch in Konflikt und infolgedessen kann es zeitweise oder situationsbedingt zu Fusionsproblemen kommen (Falter et al., 1994). Darüber hinaus weicht die Augenvergenzstellung stark von der ab, die der vorgetäuschten Entfernung entspricht (Bach, 1999). Längeres Betrachten von Stereobildern kann aus diesem Grund zu diffusen Kopf- oder Augenschmerzen führen. Dies ist auch ein Grund, warum technisch erzeugte Bilder mit einer starken Tiefenwahrnehmung schwerer zu sehen sind.

Aus den oben aufgeführten Argumenten lässt sich schlussfolgern, dass es erforderlich ist, den Bereich der Tiefenwahrnehmung in stereoskopischen Bildpaaren zu limitieren, um dem Betrachter eine komfortable Stereoansicht zu ermöglichen (vgl. Holliman, 2003, S. 10).

## 2.6 Verschiedene stereoskopische Systeme

Alle räumlich wirkenden Bildeindrücke (Stereobilder) basieren auf dem Prinzip, dass dem linken Auge die linke Perspektive eines Gegenstandes zugeführt wird und dem rechten Auge die rechte. Stereobilder unterscheiden sich somit nur in der Methode, mit der die Bildansichten den Augen zugeführt werden.

Stereosysteme können dabei in zeitparallele und sequentielle Verfahren unterteilt werden (Hsu et al., 1996; McAllister, 1992; Milgram & Van der Horst, 1986). Bei den zeitparallelen Verfahren werden die Bilder für beide Augen gleichzeitig dargeboten (z.B. Anaglyphen-Methode, Head-Mounted-Displays und Polarisationsverfahren). Bei sequentiellen Verfahren werden die Links- und Rechtsbilder abwechselnd auf einem Monitor dargeboten und das jeweils andere Auge wird verdeckt (z.B. Shutterbrillen). Der Eindruck von räumlicher Tiefe wird bei beiden Verfahren über die physiologische Größe Disparität erzeugt.

Viele stereoskopische Systeme erfordern bislang die Verwendung von Hilfsmitteln. Zu diesen Hilfsmitteln zählen bei herkömmlichen 3D-Systemen z.B. Head-Mounted-Displays, Anaglyphen- oder auch Shutterbrillen. Bei dieser brillenbasierten Stereographietechnik benötigt der Betrachter eine Vorrichtung, die ihm die beiden Bilder trennt und dafür sorgt, dass nur das jeweilige Auge das Bild sieht, für das es bestimmt ist.

Das Anaglyphenverfahren basiert auf der Benutzung zweier farbgefilterter Perspektiven. Hierbei werden die Bilder für die beiden Augen in unterschiedlichen Farben eingefärbt und direkt übereinander dargeboten. Handelsübliche Anaglyphenbrillen gibt es in rot/grün und rot/blau. Durch den roten Filter der Anaglyphenbrille wird bei Betrachtung des Anaglyphenbildes das rote Halbbild gelöscht und nur das grüne Halbbild bleibt sichtbar und beim Blick durch den grünen Filter ist es genau umgekehrt. Daher bleibt für jedes Auge nur ein Halbbild sichtbar und im Gehirn verschmelzen diese beiden Halbbilder zu einem Raumbild. Zu beachten ist hierbei allerdings, dass das Verfahren keine Farbbilder wiedergeben kann. Da die Farben zur Bildtrennung benötigt werden ist das 3D-Bild somit schwarz-weiß (Bach, 1999). Neue Techniken erlauben aber auch die Herstellung von Klarsichtfolie, die durch

eingearbeitete Minilinsen die Farbtrennung für das Auge ermöglichen. Ein Auge betrachtet das Objekt durch eine normale Klarsichtfolie, das andere schaut durch die Spezialfolie und sieht das Bild durch die Linsen farblich verschoben. Vorteil dieses Verfahrens gegenüber der herkömmlichen Farbtrennung ist die Farbechtheit des 3D-Bildes, da keine Farbfolien benutzt werden.

Bei Head-Mounted-Displays (HMD) muss der Betrachter nicht auf den Computermonitor schauen, um das Bild zu sehen. Bei dieser Methode befindet sich vor jedem Auge ein LCD, beziehungsweise ein kleiner Monitor, mit dem die Bilder für beide Augen gleichzeitig dargeboten werden (Hinsche, 1988).

Das Polarisationsverfahren eignet sich besonders gut für Projektionen. Dazu benötigt man zwei Projektoren, die jeweils mit einem Polarisationsfilter ausgestattet sind. Da Polarisationsfilter das Licht nur in einer Schwingungsrichtung durchlassen, werden sie so in den Strahlengang eingesetzt, dass sich ihre Schwingungsrichtungen um  $90^\circ$  kreuzen. Der Betrachter trägt ebenfalls eine Brille in der sich Polarisationsfilter befinden, deren Schwingungsrichtungen sich um  $90^\circ$  kreuzen. Alle Filter sind so angeordnet, dass die Halbbilder für je ein Auge sichtbar bleiben und für das jeweils andere Auge gesperrt werden. Durch die Polarisationsbrille erhält somit jedes Auge nur das für sich bestimmte Bild (vgl. Emrich, 2003).

Die Benutzung von Shutterbrillen ist mit das populärste Verfahren. Die Shutterbrillen besitzen anstelle des Glases eine Flüssigkeitskristallscheibe, die verdunkelt werden kann. Die Flüssigkeitskristalle in der Brille haben die Eigenschaft durch ein elektronisches Signal von transparent auf undurchsichtig zu schalten. Die Synchronisation erfolgt in der Regel über ein Kabel oder über Infrarot. Die zugrunde liegende Idee ist, die Bilder für beide Augen auf demselben Bildschirm in schneller Reihenfolge abwechselnd darzubieten. Solange beispielsweise die Bildansicht für das linke Auge angezeigt wird, verdunkelt diese Brille dem rechten Auge die Sicht. Wenn anschließend die Ansicht für das rechte Auge erscheint, schaltet die Brille um und verdunkelt entsprechend das linke Auge. Dies geschieht so schnell, dass das Gehirn die beiden Ansichten nicht mehr getrennt wahrnimmt und der Eindruck eines plastischen Stereobildes entsteht (vgl. Ahlers, 1998).

Diese Rot-Grün-, Polarisations- oder Shutterbrillen können aber in der Praxis nicht überzeugen, da durch diese Prothesen meist Einbußen in Komfort und Bildqualität resultieren (Krätzschar, 1995).

## 2.7 Autostereoskope Systeme

Es gibt jedoch auch andere Ansätze, die ohne tragbare Sehhilfe auskommen. Am Institut für periphere Mikroelektronik (IPM) der Universität Kassel werden seit vielen Jahren Displays zur dreidimensionalen Visualisierung entwickelt. Dabei liegt der Schwerpunkt besonders auf „autostereoskopischen Systemen“ (Andiel, Hentschke & Herrfeld, 2001). Der Begriff der Autostereoskopie bedeutet, dass bei der Betrachtung einer 3D-Darstellung ein räumliches Bild ohne Hinzunahme eines Hilfsmittels wahrgenommen werden kann. Diese Systeme verzichten somit auf „unbequeme Nasenreiter“, da sie andere Wege beschreiten, um den Augen das jeweilige Bild zu präsentieren (Krätzschar, 1995).

### 2.7.1 Die Linsenrasterscheibe

Bei dem neuen am IPM entwickelten autostereoskopischen Display wird durch eine spezielle Linsenrasterscheibe die klare Trennung zwischen rechtem und linkem Bild erreicht. Bei diesem System können zwei Bildperspektiven nebeneinander angeordnet (verkämmt) werden, indem das Stereobildpaar in kleine, gleich große, senkrechte Streifen geschnitten wird, die wiederum abwechselnd zusammengesetzt werden. Das heißt, dass der erste Streifen des linken Bildes neben dem ersten Streifen des rechten Bildes plaziert wird. Danach folgt der zweite Streifen des linken Bildes und der zweite Streifen des rechten Bildes usw. Aufgabe der Linse ist es nun, alle Streifen des rechten Bildes auf einen und alle Streifen des linken Bildes auf einen anderen Raumpunkt abzubilden, so dass das rechte Auge nur die Informationen vom rechten Bild und das linke Auge nur die Informationen vom linken Bild erhält. Das wird erreicht, indem man über je zwei Streifen eine Linse legt. Von einer bestimmten Betrachterposition aus sind

dann für die beiden Augen unterschiedliche Streifen auf dem Bildschirm sichtbar, die mit den zugehörigen beiden Bildinformationen angesteuert werden. Dies beschränkt sich nicht nur auf schwarz-weiß Darstellungen, sondern funktioniert auch für alle drei in einem Pixel angesteuerten Farbpunkte, in der Regel rot, grün und blau (Hentschke, 1996). Die Trennung der einzelnen Perspektiven erfolgt also nicht beim Betrachter, wie z.B. bei dem Einsatz von Hilfsmitteln, sondern am Darstellungsmedium direkt. Der Betrachter muss bei diesem System folglich keine Hilfsmittel tragen.

Die meisten Monitorsysteme werden ausschließlich als 3D-Systeme aufgebaut. Aus diesem Grund benötigen Systeme, die zwischen 2D und 3D umschalten können, weitere Scheiben, was die Kosten erhöht (Eichenlaub, 1995). Die Linsenrasterscheibe stellt hingegen aus kostentechnischer Sicht eine relativ günstige Alternative der verfügbaren Technologien dar. Darüber hinaus kann die Rasterscheibe für eine konventionelle 2D-Ansicht einfach entfernt, bzw. 2D und 3D gleichzeitig dargestellt werden (Andiel et al., 2001).

Als Grundlage für die Rasterscheibe dienen ein handelsüblicher TFT-Bildschirm mit digitaler Schnittstelle, eine hochwertige Grafikkarte und eine spezielle 3D-Software. Zur Erzielung des 3D-Eindrucks dienen entweder preisgünstige Barriereraster oder hochwertige Zylinderlinsenraster. Dabei kann das Raster den ganzen Bildschirm bedecken, für eine vollständige autostereoskopische Sicht oder aber es kann, je nach Anforderung, ein Teil des Bildschirms frei bleiben, um eine 2D-Ansicht zu erhalten (Andiel et. al, 2001).

Bei den Experimenten, die im Rahmen dieser Evaluation durchgeführt werden, kommt die hochwertige Zylinderlinsenscheibe zum Einsatz. Diese kann leicht vor dem Bildschirm mit Hilfe einer kleinen Führungsschiene angebracht werden. Um einen optimalen dreidimensionalen Eindruck zu erlangen, für den eine bestimmte Position eingenommen werden muss, stehen entsprechende Testbilder zur Verfügung. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass das linke Auge die Streifen für das linke Auge und das rechte Auge die Streifen für das rechte Auge wahrnimmt, da andernfalls eine Umkehrung der Tiefeninformation mit geometrischen Verzerrungen resultiert (Sun & Forrest, 1992). In den Experimenten wird aus diesen Gründen die optimale Einstellung der Scheibe sehr sorgfältig durchgeführt.



## 2.8 Eingesetztes Messinstrument: Die Befindlichkeitsskalen

Bei der Evaluation des 3D-Systems wird neben der Untersuchung wahrnehmungspsychologischer Leistungen ein Schwerpunkt auf die Erforschung des subjektiven Wohlbefindens der Probanden gelegt. Dieser Aspekt soll zusätzlich zu den erfassten Wahrnehmungsleistungen der Schnelligkeit und der Genauigkeit, das Empfinden bei der Betrachtung dreidimensionaler Darstellungen mittels Linsenrasterscheibe näher beleuchten. In meinem dritten Experiment soll deswegen untersucht werden, ob sich die höhere visuelle Natürlichkeit und die Neuartigkeit der Bildpräsentation positiv auf das aktuelle Wohlbefinden auswirkt.

Das aktuelle Wohlbefinden der Versuchspersonen wird in dieser Arbeit mithilfe der Befindlichkeitsskalen (BFS) von Abele-Brehm und Brehm (1986) gemessen. Da der Begriff des Wohlbefindens in der Fachliteratur aber oft nicht einheitlich verwendet wird, muss zum Anfang erst einmal eine definitorische Präzision vorgegeben werden (vgl. Abele & Becker, 1991; Diener, Suh, Lucas, & Smith, 1999; Staudinger, 2000). Diese Begriffserklärung orientiert sich an der Unterscheidung zwischen aktuellem Wohlbefinden (AW) und habituellem Wohlbefinden (HW) von Becker (1991). Unter AW versteht man hier die augenblickliche Befindlichkeit und hinter HW versteckt sich die zeitlich relativ stabile Eigenschaft einer Person, die sich durch äußere und innere Faktoren weniger stark beeinflussen lässt. Da bei meiner Untersuchung nur das AW eine Rolle spielt, werde ich im Folgenden auch nur diesen Bereich näher erläutern. Unter aktuellem Wohlbefinden versteht Becker (1991, S. 13) „...einen Oberbegriff zur Charakterisierung des momentanen Erlebens einer Person, der positiv getönte Gefühle, Stimmungen und körperliche Empfindungen sowie das Fehlen von Beschwerden umfasst“. Wohlbefinden besteht somit nicht nur in Abwesenheit negativer Aspekte, sondern auch im Vorliegen positiver Aspekte. Darüber hinaus hängt das AW von relativ kurzfristig wirksamen Faktoren ab, wie zum Beispiel sensorischen Erfahrungen, sozialen Zuwendungen und Nähe, erfolgreichen Handlungen und glücklichen Umständen (Becker, 1991). In meiner Untersuchung werden die Auswirkungen der visuellen Faktoren auf das aktuelle Wohlbefinden erforscht.

Zur Erfassung des subjektiven Wohlbefindens liegen heutzutage sehr viele verschiedene Erhebungsmethoden vor. Verbale Berichte der Probanden über ihr subjektives Erleben gelten schon bei Hampel (1977) als erste und reichhaltigste Quelle. Auch Asendorpf (1984) zufolge erhalte man aufgrund der Selbstbeschreibung ein besonders differenziertes Bild des augenblicklichen Stimmungszustandes einer Person. Mayring stellte 1991 in einem Artikel 52 verschiedene Messinstrumente zum subjektiven Wohlbefinden vor. Allerdings werden viele davon der Komplexität des Wohlbefindens nicht gerecht, sind einseitig simplifiziert oder theoretisch dubios (Mayring, 1991).

Als Methode der Selbstbeschreibung werden gewöhnlich Fragebogen, Rating-Skalen bzw. Einschätzungsskalen (z.B. Isen & Gorgoglione, 1983) oder standardisierte Adjektivlisten (z.B. Abele-Brehm & Brehm, 1986; Bohner, Hormuth & Schwarz, 1991; Bullinger, Heinisch, Ludwig & Geier, 1990; Dalbert, 1992; Grob, Luethi, Kaiser, Flammer, Mackinnon & Wearing, 1991; Hampel, 1977; Janke & Debus, 1978; Schimmack, 1997; Steyer, Schwenkmezger, Notz & Eid, 1994; Underwood & Froming, 1980) verwendet. Einige Experimente basieren auch auf physiologischen Variablen, wie Herzschlagrate oder Blutdruck. Eine weitere Möglichkeit, das subjektive Wohlbefinden zu erfassen, besteht in der Verhaltensbeobachtung. Im Fokus der Untersuchung steht dann z.B. die allgemeine Psychomotorik, der Gesichtsausdruck (vgl. Brockmeyer & Ulrich, 1993; Ekman, 1981, 1988) oder die Gestik. Da allerdings der Informationsgehalt von physiologischen Indikatoren und Daten der Fremdbeobachtung eingeschränkt ist, werden am häufigsten Rating-Skalen oder standardisierte Fragebogen eingesetzt (vgl. Abele-Brehm & Brehm, 1986; Gerrards-Hesse, Spies & Hesse, 1994).

Bei der hier durchzuführenden Untersuchung ist die Wahl auf die Befindlichkeitsskalen von Abele-Brehm und Brehm (1986) gefallen, da hier vor allem der Bereich der „normalen Stimmungsschwankungen“ und nicht klinisch auffällige Phänomene im Zentrum des Fragebogens stehen, wie das zum Beispiel bei den Befindlichkeitsskalen von Zerssen (1976) oder bei den Basler-Befindlichkeitsskalen von Hobi (1985) der Fall ist. Das Konstrukt der Befindlichkeit bezieht sich bei Abele-Brehm und Brehm (1986) auf die Beschreibung des momentanen, aktuellen psychophysischen Zustands einer Person.

Die theoretischen Grundannahmen der Konstruktion des Fragebogens basieren auf einem Kreismodell der Befindlichkeit (Abbildung 2-8). Dieses Kreismodell setzt sich laut Abele-Brehm und Brehm (1986) aus zwei stabilen, unabhängigen bipolaren Grunddimensionen zusammen, die zur Beschreibung unterschiedlicher psychophysischer Erscheinungen dienen. Dabei bezieht sich die x-Achse auf den Aspekt der „Bewertung“ und die y-Achse auf die „Spannung“. Die vier Segmente des Kreismodells lassen sich jeweils durch zwei monopolare Befindlichkeitszustände näher bestimmen.

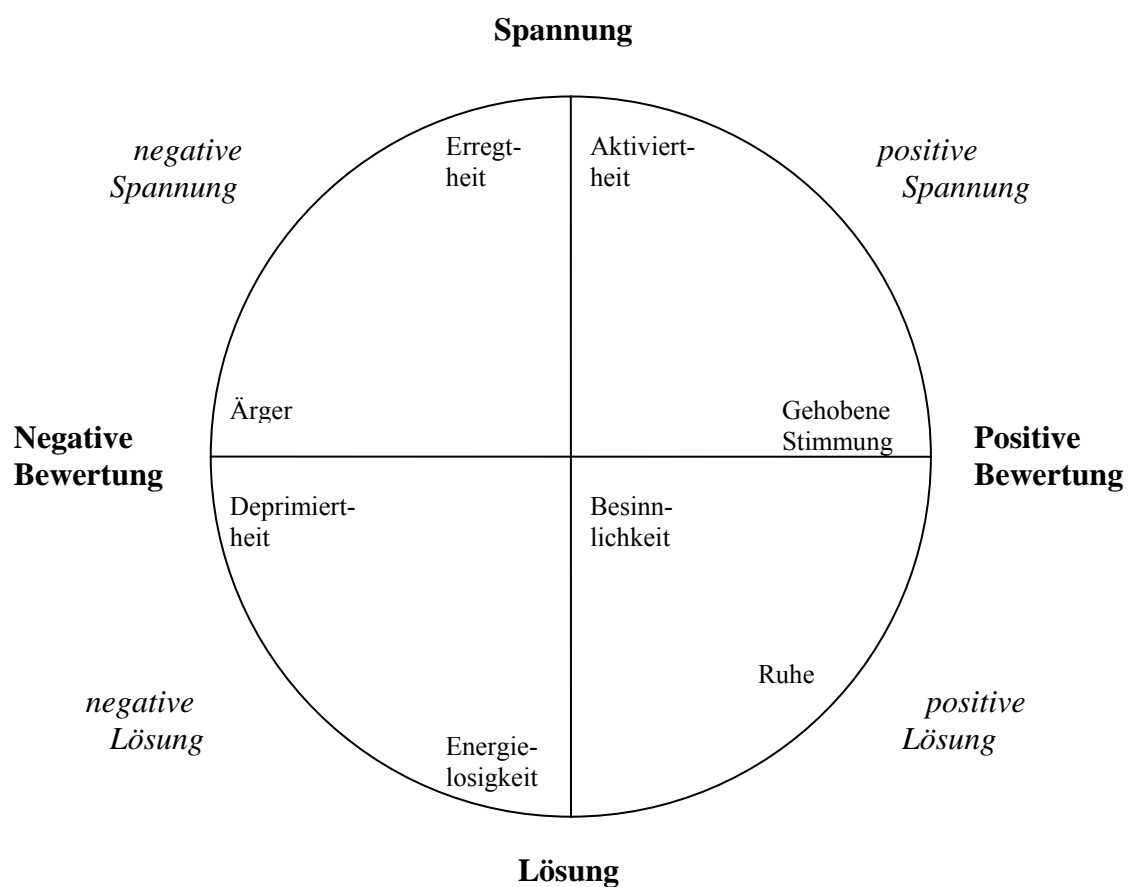


Abbildung 2-8: Kreismodell der Befindlichkeit (nach Abele-Brehm & Brehm, 1986, S. 214).

Die acht Aspekte der Befindlichkeit: Ärger, Erregtheit, Aktiviertheit, Ruhe, Gehobene Stimmung, Besinnlichkeit, Energielosigkeit und Deprimiertheit stellen in unterschiedlichem Ausmaß „Mischzustände“ der Grunddimensionen dar. So setzt sich das Segment der *positiven Spannung* aus den Aspekten „Aktiviertheit“ und „Gehobene Stimmung“ zusammen, das Segment der *positiven Lösung* wird durch die Aspekte „Ruhe“ und „Besinnlichkeit“ konkretisiert, die Konstrukte „Energielosigkeit“ und

„Deprimiertheit“ repräsentieren das Segment der *negativen Lösung*, und das Segment der *negativen Spannung* wird über die Aspekte „Ärger“ und „Erregtheit“ bestimmt.

Bei der Operationalisierung der acht Skalen führten zwei Voruntersuchungen (vgl. Abele & Brehm, 1984; Abele-Brehm & Brehm, 1986) dazu, dass fünf Items pro Skala ausgewählt wurden (siehe Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Items der acht Subskalen der BFS

<b>Ärger:</b>	missmutig, ärgerlich, sauer, gereizt, mürrisch
<b>Erregtheit:</b>	ruhelos, nervös, verkrampft, angespannt, kribbelig
<b>Aktiviertheit:</b>	frisch, angeregt, voller Energie, tatkräftig, aktiv
<b>Ruhe:</b>	locker, gelöst, entspannt, ruhig, gelassen
<b>Gehobene Stimmung:</b>	unbeschwert, angenehm, ausgezeichnet, gut gelaunt, freudig
<b>Besinnlichkeit:</b>	nachdenklich, beschaulich, nach innen gekehrt, träumerisch, besinnlich
<b>Energielosigkeit:</b>	passiv, energielos, lasch, träge, lahm
<b>Deprimiertheit:</b>	gedrückt, betrübt, traurig, niedergeschlagen, unglücklich

Bei drei durchgeführten Itemanalysen (für eine ausführliche Darstellung siehe Abele-Brehm & Brehm, 1986, S. 215 ff.), die der Überprüfung der a priori festgelegten Skalenzuordnungen dienten, erbrachten alle Untersuchungen gute statistische Kennwerte. Alle Itemtrennschärfen und internen Konsistenzen der Skalen lagen unter Berücksichtigung der geringen Itemanzahl pro Skala im akzeptablen Bereich. Auch die theoretisch postulierten acht Skalen konnten als konsistent und in sich homogen reproduziert werden. Da bei einem fünfstufigen Antwortmodus die item- und skalenanalytischen Kennwerte allgemein etwas besser sind als beim zweistufigen Antwortmodus, wird aus diesem Grund für die hier durchzuführende Untersuchung eine fünfstufige Skala gewählt.

Um die zweidimensionale Grundstruktur des Befindlichkeitsmodells empirisch zu überprüfen, wurden von Abele-Brehm und Brehm (1986) Faktorenanalysen (Hauptkomponentenmethode mit anschließender Varimax-Rotation) gerechnet. In allen drei durchgeführten Untersuchungen legt die Faktorenanalyse nach dem Scree-Test von Cattell eine zweifaktorielle Lösung nahe. Während Faktor 1 als „positive Spannung“ versus „negative Lösung“ benannt werden kann, wird Faktor 2 als „negative Spannung“

versus „positive Lösung“ bezeichnet. Die Lokalisierung der acht Skalen innerhalb des Kreismodells entspricht ebenfalls recht gut den Modellvorstellungen. Die Skala „Besinnlichkeit“ ist im Vergleich zur theoretischen Konzeptualisierung allerdings eher im negativen Bewertungsbereich lokalisiert und die Skala „Ärger“ weist eine stärkere Spannungskomponente auf.

Aus den Validierungsuntersuchungen von Abele-Brehm und Brehm (1986) lässt sich ableiten, dass die geforderte Veränderungssensitivität der BFS eindeutig vorhanden ist, da die vorher – nachher Differenzwerte sowohl in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt, als auch in Abhängigkeit vom Erhebungskontext variieren.

Wegen der einfachen Handhabbarkeit, des geringen Zeitaufwandes und der relativ guten Ergebnisse der Item- und Faktorenanalysen, wurden die BFS schon in vielen Untersuchungen (z.B. Abele & Brehm, 1989, Alfermann & Stoll, 1996; Bös & Brehm, 1999, Kellmann & Golenia, 2003) angewendet.

### **3. Empirischer Teil: Experiment 1**

### 3.1 Methode

Im ersten Experiment stand die Überprüfung grundlegender Wahrnehmungsleistungen im Vordergrund. Dabei wurden die Lokalisationsschätzung und die Identifikation der räumlichen Lage der Objekte zueinander, mit Hilfe eines Computereperimentes untersucht. Die Wahl fiel hier auf eine Lokalisationsaufgabe, da die Lokalisation von Objekten zu den basalen Wahrnehmungsleistungen gehört. Bevor ein Mensch Aussagen über die Größe oder das Volumen eines Gegenstandes fällen kann, muss dessen Ort zunächst identifiziert werden.

Bei dem Experiment fand ein Vergleich zwischen der dreidimensionalen Wahrnehmung mittels Linsenrasterscheibe und dem normalen zweidimensionalen Computerdisplay statt. Hierbei sollte festgestellt werden, ob es Unterschiede bezüglich der Reaktionszeiten und der Fehlerhäufigkeit, in Abhängigkeit von der Lage und der Distanz der Objekte im Raum, zwischen den beiden Systemen gibt.

Während des Experiments wurden auf dem Computerdisplay jeweils drei gleich große Kugeln präsentiert, die an unterschiedlichen Tiefenpositionen im visuellen Raum dargeboten wurden. Die Aufgabe der Probanden war dabei, während der Darbietung, jeweils die vorderste Kugel mittels Tastendruck auszuwählen.

Das zentrale Ziel dieses Experimentes ist es herauszufinden, inwieweit die Lokalisationsaufgabe durch die Dimensionalität der Darbietung beeinflusst wird.

#### *Versuchspersonen*

An der Untersuchung nahmen insgesamt 30 Versuchspersonen teil. Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über direkte Ansprache. Für die Teilnahme erhielten sie keine Entlohnung.

Die 30 Versuchspersonen setzten sich aus 15 erfahrenen- und 15 unerfahrenen Personen zusammen. Erfahrene Versuchspersonen waren diejenigen, die seit mindestens

sechs Monaten mit diesem System arbeiteten. Die unerfahrenen Personen hatten vor dem Experiment noch nie mit der Linsenrasterscheibe gearbeitet.

Die Stichprobe setzte sich aus 17 Frauen und 13 Männern zusammen. Das durchschnittliche Alter lag bei 30,4 Jahren und variierte zwischen 19 und 49 Jahren.

## ***Versuchsanordnung***

### *Räumlichkeiten und Apparaturen*

Die Versuche wurden in einem Experimentalraum des psychologischen Instituts der Universität Kassel durchgeführt.

In diesem Raum befand sich ein Bürosessel. Diesem gegenüber stand in ca. 65cm Entfernung ein Laptop, dessen Display eine Bildschirmdiagonale von 15 Zoll aufwies. Auf dem Monitor wurden der sitzenden Versuchsperson die visuellen Reize in Augenhöhe dargeboten. Die Bildschirmauflösung des Monitors betrug  $1600 \times 1200$  Pixel.

## ***Versuchsdurchführung***

Die Bearbeitung des Experiments wurde im Einzelversuch durchgeführt.

Nach der Begrüßung wurden die Probanden in den Experimentalraum geführt und gebeten, sich auf den Sessel vor den Monitor zu setzen. Danach erhielten sie eine schriftlich angefertigte Instruktion (siehe Anhang A). Wenn die Instruktion von der Versuchsperson nicht richtig verstanden worden war, wurde diese nochmals verbal vorgetragen.

Die Aufgabe der Probanden während des Experiments war, innerhalb der einzelnen Durchgänge, die relative Tiefe von drei Kugeln entsprechend ihrer Größe zu bestimmen und jeweils die vorderste mittels Tastendruck zu markieren. Zur Auswahl standen den Probanden dabei drei der vier Pfeiltasten der Laptoptastatur. Die linke Taste sollte gedrückt werden, wenn die linke Kugel am weitesten vorne schien, die mittlere Taste,



wenn die mittlere Kugel am weitesten vorne schien und die rechte Taste, wenn die rechte Kugel am weitesten vorne schien. Dabei sollte so schnell wie möglich reagiert werden, aber versucht werden, so wenig Fehler wie möglich zu begehen.

Da die Wahrnehmung der Größe von Objekten unmittelbar mit der Wahrnehmung der räumlichen Tiefe und der Entfernung zusammenhängt (vgl. Holliman, 2003), saßen die Probanden während der Experimente an einer festen Position vor dem Monitor, um Variationsmöglichkeiten bezüglich der Tiefenwahrnehmung einzuschränken.

Um darüber hinaus noch Orientierungsreaktionen einzudämmen, die besonders dann auftreten, wenn neue oder unerwartete Reize erscheinen, erhielten die Versuchspersonen zu Beginn eine Trainingsphase, in der sechs verschiedene Durchgänge präsentiert wurden. Überganglos begann dann der eigentliche Versuch, der ungefähr zehn Minuten dauerte.

Nach Ablauf des Experiments wurden die Versuchspersonen gebeten, den Nachbefragungsbogen (siehe Anhang B) auszufüllen. In diesem Bogen wurde nach demographischen Angaben und nach den subjektiven Erfahrungen mit den Betrachtungsdimensionen gefragt.

Die Gesamtdauer der Untersuchung, einschließlich Vorbereitung und Abschlussbesprechung, betrug pro Person ungefähr 20 Minuten.

### ***Reizmaterial***

Das Reizmaterial bestand in allen Versuchsdurchgängen aus drei grünen Kugeln, die auf einem schwarzen Hintergrund präsentiert wurden. Eine Kugel wurde dabei rechts, eine in der Mitte und eine links dargeboten. Zwischen den Durchgängen war die Bildschirmfarbe für drei Sekunden schwarz.

Die Bilddarstellungen wurden mit der Software „3D Studio Max“ generiert.

Zusätzlich wurde der Tiefenabstand zwischen den Kugeln verändert. Hier konnte zwischen einem großen, einem mittleren und einem kleinen Abstand unterschieden werden.

Die Reihenfolge der Reizpräsentation war zufällig und für alle Versuchspersonen gleich. Die Zufallsauswahl wurde allerdings dahingehend eingeschränkt, dass nicht

mehr als zwei bezüglich des Tiefenabstandes gleiche Durchgänge aufeinander folgen durften. Die genauen Reizabfolgen sind Anhang C zu entnehmen.

### *Zweidimensionales Reizmaterial*

Im zweidimensionalen Bereich wurde die Tiefeninformation „relative Größe im Gesichtsfeld“ ausgenutzt (siehe Kapitel 2.3.2), um den Tiefenabstand der Kugeln zu verändern. Das heißt, bei Objekten die physikalisch gleich groß sind, nimmt das Nähere einen größeren Teil des Gesichtsfeldes ein, als das entferntere Objekt. Wenn alle anderen Faktoren gleich sind, wirkt dadurch ein größeres Objekt näher.

Um den relativen Tiefenabstand der drei Kugeln im Experiment zu verändern, wurde deswegen bei einem großen Abstand zwischen den Kugeln die vorderste Kugel um 14,29% größer dargestellt als die Kugel auf der Bildelebene. Beim mittleren Abstand um 8,11% und beim kleinen Abstand zwischen den Kugeln wurde die vorderste Kugel um 3,9% größer präsentiert.

Ein Beispielreiz für den zweidimensionalen Bereich wird in Abbildung 3-1 dargestellt.

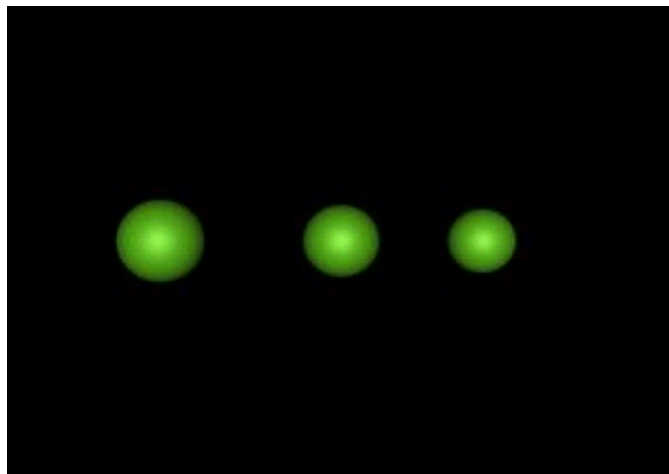


Abbildung 3-1: Bei diesem Beispielreiz ist die linke Kugel am weitesten vorne angeordnet.

### *Dreidimensionales Reizmaterial*

Im dreidimensionalen Bereich kam zur Tiefeninformation „relative Größe im Gesichtsfeld“ auch noch die Tiefeninformation „binokulare Disparität“ hinzu, wodurch die Kugeln vor und hinter der Bildschirmenebene wahrgenommen werden konnten. Bei einem großen Abstand zwischen den Kugeln kam die vorderste Kugel um 5,98cm aus der Bildschirmenebene heraus, beim mittleren Abstand um 3,55cm und beim kleinen Abstand um 1,76cm. Berechnet wurden diese Daten mithilfe der in Kapitel 2.5.2 dargestellten Formeln 4 und 5.

### *Versuchsplan*

Um den Einfluss der künstlich erzeugten Querdissparation auf die Lösung der Lokalisationsaufgabe zu untersuchen, wurde das Experiment sowohl unter der zweidimensionalen, als auch unter der dreidimensionalen Bedingung durchgeführt. Zusätzlich unterschieden sich die Versuchspersonen durch ihren Grad der Expertise. Es konnte zwischen erfahrenen und unerfahrenen Probanden differenziert werden. Beim Versuchsplan handelt es sich somit um ein  $2$  (Versuchsbedingung: 2D vs. 3D)  $\times$   $2$  (Erfahrung: hoch vs. niedrig) – Design (siehe Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1: *Versuchsplan.*

<b>Gruppe</b>	<b>Lokalisationsaufgabe</b>
<b>Erfahrene Probanden</b>	6 Training-Durchgänge in 2D: 18 Durchgänge in 2D 6 Training-Durchgänge in 3D: 18 Durchgänge in 3D
<b>Unerfahrene Probanden</b>	6 Training-Durchgänge in 2D: 18 Durchgänge in 2D 6 Training-Durchgänge in 3D: 18 Durchgänge in 3D

Der Faktor Versuchsbedingung wurde „within-subjects“ und der Faktor Erfahrung „between-subjects“ variiert.

Der Versuch bestand pro Dimension aus 24 Durchgängen, von denen die ersten 6 Durchgänge zum Training gehörten und somit nicht ausgewertet wurden.

Neben der schon erwähnten Gruppenaufteilung wurde zusätzlich die Reihenfolge für jede Untergruppe variiert. 15 Probanden realisierten den Versuch erst im 2D-Bereich und anschließend im 3D-Bereich, während die anderen 15 Probanden den Versuch mit der Linsenrasterscheibe begannen und ihn anschließend ohne durchführten. Diese Variation wurde umgesetzt, um mögliche Verzerrungen, die durch die Übung hervorgerufen werden können, zu eliminieren.

## ***Unabhängige Variablen***

### *Within-Faktoren*

Die unabhängige Variable ***Dimension*** war zweifach gestuft und gab an, unter welcher Bedingung das Experiment durchgeführt wurde (zweidimensional vs. dreidimensional).

Die zweite unabhängige Variable bestand in dem ***Abstand*** zwischen den Kugeln. Hierbei wurden die sechs Durchgänge mit den großen Tiefenabständen, die sechs mit den mittleren und die sechs mit den kleinen Abständen jeweils zusammengefasst. Mit diesem Faktor soll untersucht werden, ob eine Differenzierung zwischen großen, mittleren und kleinen Tiefenabständen stattgefunden hat.

Als dritte unabhängige Variable trat der within-Faktor ***Block*** auf. Block 1 enthält die ersten sechs Reize, Block 3 enthält die letzten sechs Reize. Dieser Faktor bildet den Lernverlauf über die Zeit ab.

### *Between-Faktoren*

Als unabhängige Variable (UV) zwischen den Versuchspersonen diente der Grad der *Erfahrung*. Dieser Faktor war zweifach abgestuft. Hier wurden entweder unerfahrene oder erfahrene Probanden untersucht.

### *Abhängige Variablen*

Als abhängige Variablen (AV) wurden erstens die *Reaktionszeiten* während der Reizpräsentationen und zweitens die *Anzahl der Fehler* erfasst. Die Messung der Reaktionszeiten begann dabei immer gleichzeitig mit dem Erscheinen der Reize und endete beim Drücken der Taste.

Die erfassten Reaktionszeiten wurden nach Vorschlägen von Fazio (1990) logarithmiert, um annähernd normalverteilte Werte zu erhalten.

## 3.2 Hypothesen

Da es zwei abhängige Variablen gibt, die während des Experiments gemessen werden, werden auch die Hypothesen getrennt nach ihnen aufgestellt. Dabei wird zuerst auf die Reaktionszeiten eingegangen, bevor die Hypothesen bezüglich der Fehler folgen.

Aufgrund der zusätzlichen Tiefeninformation der binokularen Disparität in der 3D-Bedingung gegenüber der 2D-Bedingung wird erwartet, dass beide Leistungsmaße unter der 3D-Bedingung besser abschneiden. Diese Erwartung führen zu nachfolgenden Hypothesen.

### Reaktionszeiten:

- Hypothese 1:**
- a. Die Reaktionszeiten sind in der 3D-Bedingung kürzer als in der 2D-Bedingung.
  - b. Die Reaktionszeiten steigen mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller an als in der 3D-Bedingung.

Hypothese 1b setzt voraus, dass die Reaktionszeiten mit der Schwierigkeit der Aufgabe ansteigen. Das heißt, je schwerer die Aufgabe, also je geringer der Tiefenabstand zwischen den Kugeln, desto länger sollten die Reaktionszeiten sein. Daraus resultiert folgende Voraussetzung:

- Voraussetzung 1:** Die Reaktionszeiten steigen mit der Schwierigkeit der Aufgabe an.

### Fehler:

- Hypothese 2:**
- a. In der 3D-Bedingung werden weniger Fehler gemacht als in der 2D-Bedingung.

**b.** Die Fehleranzahl steigt mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller an als in der 3D-Bedingung.

Um Hypothese 2b überprüfen zu können, muss gewährleistet sein, dass die Aufgabenstellung so schwer ist, dass überhaupt Fehler gemacht werden und diese mit abnehmendem Tiefenabstand ansteigen. Daraus folgt:

**Voraussetzung 2:** Die Fehleranzahl steigt mit der Schwierigkeit der Aufgabe an.

### 3.3 Ergebnisse

Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Analysen auf  $\alpha = .05$  festgelegt. Bei Messwiederholungsfaktoren mit mindestens drei Abstufungen basieren die Wahrscheinlichkeiten auf der von Greenhouse und Geisser (1959) vorgeschlagenen Korrektur der Freiheitsgrade. Bei der Berechnung von *t-Tests* wurde die Wahrscheinlichkeit für zweiseitiges Testen angegeben.

Zusätzlich zum Signifikanzniveau wurde bei der Berechnung von Varianzanalysen auch die Schätzung der Effektgröße angegeben, um der Forderung nachzukommen, dass gerade bei Evaluationen die Größe des Unterschieds oder Zusammenhangs (d.h. die Effektgröße) die entscheidende Information ist (Westermann, 2002). Da das Effektstärkemaß  $\eta^2$  dem Varianzanteil der abhängigen Variablen entspricht, der durch die unabhängige Variable erklärt wird (vgl. Cohen, 1988, S. 280 ff.), würde bei der Varianzanalyse ein Wert von 1 bedeuten, dass die abhängige Variable völlig fehlerfrei bestimmt wurde (Wolf, 2001). Das Hundertfache dieses standardisierten Effektstärkemaßes kann nach Auffassung vieler Autoren als prozentualer Anteil der zugeschriebenen Varianz interpretiert werden (vgl. Cohen, 1969; Bortz & Döring, 2002). Bei der Varianzanalyse entspricht laut Konvention ein kleiner Effekt einer Varianzaufklärung von ca. 1%, ein mittlerer Effekt einer Aufklärung von 6% und ein großer Effekt einer Varianzaufklärung von 14% (zur näheren Erläuterung siehe Bortz, 1999, S. 249).

#### *Ergebnisse für die Reaktionszeiten*

Zuerst wurde überprüft, ob die hier nicht im Vordergrund des Interesses stehende Reihenfolge der Reizdarbietungen während der Lokisationsaufgabe (2D – 3D vs. 3D – 2D) einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ausübt. In einer  $2 \times 2 \times 2 \times 3$  – faktoriellen Varianzanalyse, mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Erfahrung (Erfahrung vs. keine Erfahrung), Reihenfolge (2D – 3D vs. 3D – 2D) und Abstand (groß, mittel, klein), zeigt sich kein signifikanter Einfluss des Reihenfolgefaktors [*alle F*



< 1.82, alle  $p > .19$ ]. Aus diesem Grund wird dieser Faktor bei den folgenden Analysen nicht weiter berücksichtigt.

Um den Lernverlauf der Versuchspersonen während des Lokalisationsexperiments zu untersuchen, wurde ein Verlaufsdiagramm für alle Probanden (siehe Abbildung 3-2) erstellt. Auf der Abszisse sind die Blöcke abgetragen und die Ordinate zeigt die transformierten Reaktionszeiten.

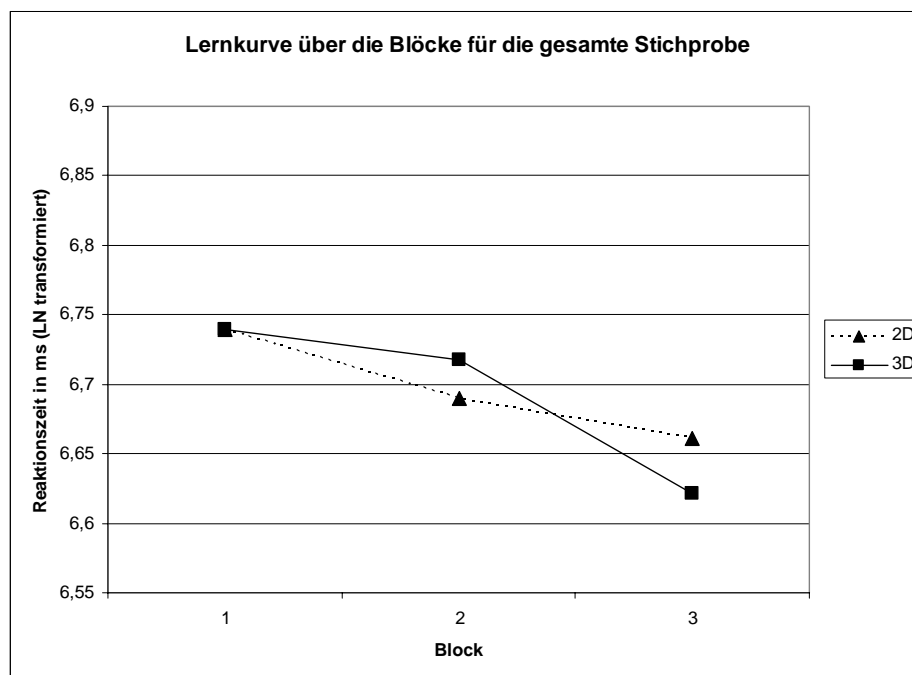


Abbildung 3-2: Lernkurve für alle Probanden

In Abbildung 3-2 ist zu sehen, dass über die Zeit hinweg, also von Block 1 zu Block 3, die Reaktionszeiten immer geringer werden. Dabei fällt auf, dass die transformierten Reaktionszeiten im ersten Block unter der 2D- und der 3D-Bedingung identisch sind (Mittelwert = 6,74). Im zweiten Block hingegen sind die Probanden unter der 2D-Bedingung (Mittelwert = 6,69) etwas schneller als unter der 3D-Bedingung (Mittelwert = 6,72) und im dritten Block kehrt sich dieser Trend in die entgegengesetzte Richtung um (Mittelwert 2D = 6,66; Mittelwert 3D = 6,62). Die Versuchspersonen können also zum Ende des Experiments die Lokalisationsaufgabe unter der 3D-Bedingung schneller lösen, als unter der 2D-Bedingung.

Um diesen ersten Eindruck zu überprüfen, wurde eine  $2 \times 2 \times 3$  – faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Erfahrung (Erfahrung vs. keine Erfahrung) und Block (drei Blöcke á sechs Reize) durchgeführt.

Die varianzanalytischen Auswertungen bestätigen den ersten Eindruck. Der Haupteffekt Block ist signifikant [ $F(2, 56) = 5.573, p = .006, \eta^2 = .166$ ]. Ein linearer Trendtest zeigt in diesem Zusammenhang, dass die Reaktionszeiten linear [ $F(1, 28) = 136.700, p < .001, \eta^2 = .83$ ] über die Blöcke hinweg absinken. Die Interaktion Dimension  $\times$  Block erlangt keine statistische Bedeutsamkeit [ $F(2, 56) = 0.530, p = .578, \eta^2 = .019$ ]. Das deutet darauf hin, dass auf die Reize über die Zeit hinweg, in Abhängigkeit von der Dimension, nicht unterschiedlich reagiert wird. Die Interaktion Dimension  $\times$  Erfahrung erweist sich ebenfalls als nicht signifikant [ $F(1, 28) = 0.527, p = .474, \eta^2 = .018$ ]. Der Erfahrungshintergrund der Versuchspersonen mit der Linsenrasterscheibe führt demnach nicht zu signifikant schnelleren Reaktionszeiten, wenn die Lokalisationsaufgabe unter der 3D-Bedingung durchgeführt wird. Alle anderen Kombinationen der Faktoren erlangen keine statistische Bedeutsamkeit.

Zur Prüfung der Voraussetzung 1 und der Hypothese 1a und 1b, wurde der unterschiedliche Tiefenabstand zwischen den Kugeln noch mit einbezogen.

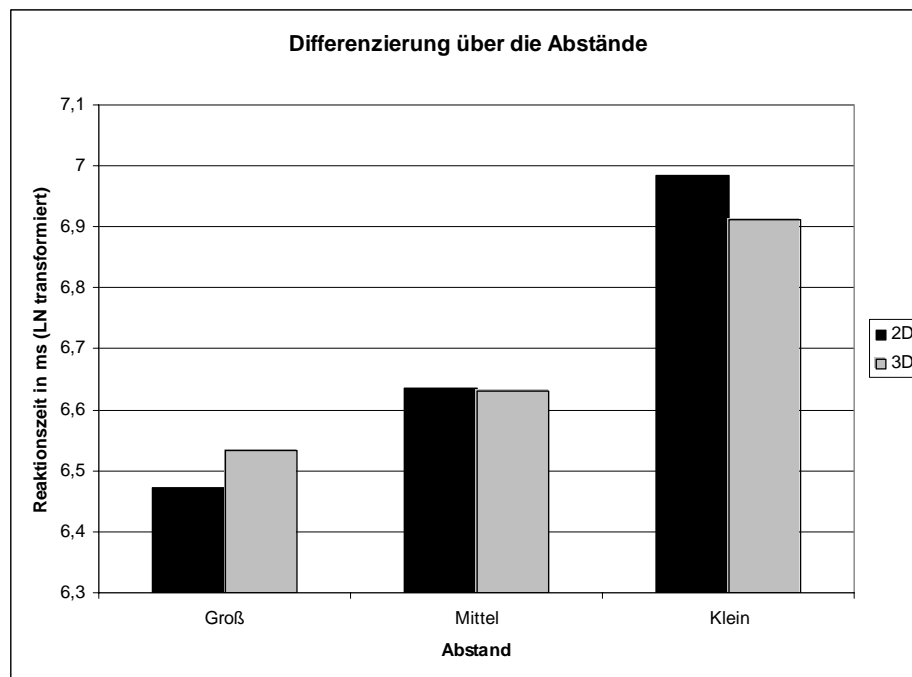


Abbildung 3-3: Differenzierung über die Abstände für alle Probanden

Auf der Ordinate sind die transformierten Reaktionszeiten abgetragen und die Abszisse zeigt die unterschiedlichen Tiefenabstände zwischen den Kugeln auf (siehe Abbildung 3-3).

In der Abbildung ist zu sehen, dass die Reaktionszeiten über beide Bedingungen, in Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Aufgabe, kontinuierlich ansteigen (Mittelwert groß = 6,5; Mittelwert mittel = 6,63; Mittelwert klein = 6,95). Dieses Datenmuster entspricht der Voraussetzung 1. Betrachtet man die Reaktionszeiten der unterschiedlichen Tiefenabstände in Abhängigkeit von der Dimension, so fällt auf, dass bei einem großen Abstand zwischen den Kugeln die Probanden unter der 2D-Bedingung (Mittelwert = 6,47) schneller reagieren konnten, als unter der 3D-Bedingung (Mittelwert = 6,53). Dieser Effekt neutralisiert sich aber beim mittleren Abstand zwischen den Kugeln (Mittelwert 2D = 6,64; Mittelwert 3D = 6,63) und kehrt sich letztendlich beim kleinen Abstand zwischen den Kugeln um (Mittelwert 2D = 6,98; Mittelwert 3D = 6,91).

Im Anschluss daran wurde eine  $2 \times 2 \times 3$  – faktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Erfahrung (Erfahrung vs. keine Erfahrung) und Abstand (groß, mittel, klein) durchgeführt.

Der Haupteffekt Abstand [ $F(2, 56) = 110.603, p < .001, \eta^2 = .798$ ], der der Überprüfung von Voraussetzung 1 dient, ist signifikant. Die darauf folgend berechneten geplanten Kontraste zeigen auf, dass der Unterschied in den Reaktionszeiten vom großen bis zum mittleren Tiefenabstand [ $F(1, 28) = 99.189, p < .001, \eta^2 = .780$ ] und auch vom mittleren bis zum kleinen Abstand signifikant ist [ $F(1, 28) = 126.054, p < .001, \eta^2 = .818$ ]. Dies verdeutlicht, dass eine Verkleinerung der Tiefenabstände mit einer Verlängerung der Reaktionszeiten einhergeht. Die Schwierigkeit der Lokisationsaufgabe konnte somit erfolgreich variiert werden.

Für die Überprüfung der Hypothese 1a, wurde der Faktor Dimension herangezogen. Dieser Hauptfaktor erlangt keine statistische Bedeutsamkeit [ $F(1, 28) = 0.103, p = .75, \eta^2 = .004$ ]. Das deutet darauf hin, dass die Reaktionszeiten sich unter der 2D- (Mittelwert = 6,7) und unter der 3D-Bedingung (Mittelwert = 6,69) nicht voneinander unterscheiden.

Für die Hypothese 1b, wurde die Interaktion Dimension  $\times$  Abstand betrachtet. Um die Richtung der Interaktion zu beurteilen, wurde in Abbildung 3-4 noch einmal die mittlere Reaktionszeit bezogen auf die unterschiedlichen Tiefenabstände in Abhängigkeit von der Dimension dargestellt.

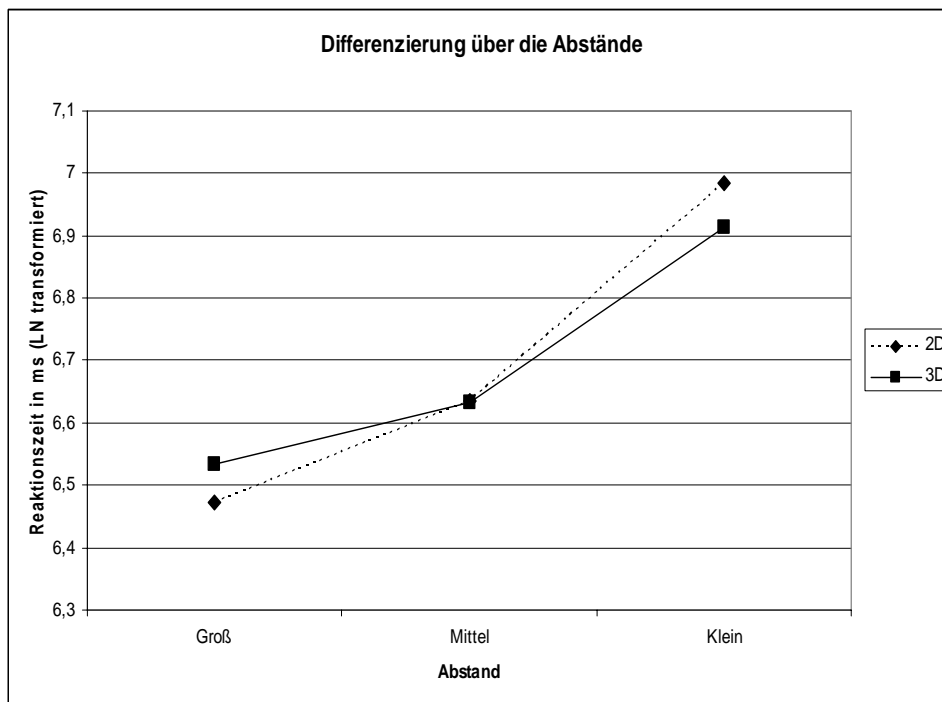


Abbildung 3-4: Differenzierung über die Abstände für alle Probanden

Abbildung 4-5 zeigt eine Interaktion zwischen dem großen und dem kleinen Tiefenabstand, die aber nicht der postulierten Interaktion entspricht.

In der varianzanalytischen Berechnung erweist sich die Interaktion Dimension  $\times$  Abstand [ $F(2, 56) = 3.763, p = .039, \eta^2 = .118$ ] als signifikant. Alle anderen Interaktionen erreichen keine statistische Bedeutsamkeit.

Um die Interaktion Dimension  $\times$  Abstand aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten, wurden zusätzlich Varianzanalysen durchgeführt, die sich immer nur auf zwei Tiefenabstände bezogen. Die ursprüngliche Varianzanalyse wurde somit in drei  $2 \times 2$  – faktorielle Varianzanalysen aufgegliedert, mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D) und Abstand (entweder groß und mittel, mittel und klein oder groß und klein). Hier ergibt sich, dass weder der Vergleich zwischen dem großen und dem mittleren Tiefenabstand [ $F(1, 28) = 2.453, p = .129, \eta^2 = .018$ ], noch der Vergleich zwischen dem

mittleren und dem kleinen Tiefenabstand [ $F(1, 28) = 2.417, p = .131, \eta^2 = .079$ ] signifikant ist, sondern nur der Vergleich zwischen großem und kleinem Tiefenabstand erreicht eine statistische Bedeutsamkeit [ $F(1, 28) = 5.203, p = .030, \eta^2 = .157$ ]. Diese Interaktion zeigt, dass der Vorteil der 2D-Betrachtung beim großen Tiefenabstand zwischen den Kugeln sich zu einem Nachteil beim kleinen Tiefenabstand entwickelt.

Um zu überprüfen, ob die Vor- und Nachteile auch eine statistische Relevanz haben, wurden zusätzlich  $t$ -Tests durchgeführt. Hier stellt sich heraus, dass der Unterschied zwischen den großen Tiefenabständen tendenziell signifikant ist [ $t(29) = -1.892, p = .068$ ], während es bei den kleinen Abständen [ $t(29) = 0.878, p = .388$ ] keine signifikanten Ergebnisse in Abhängigkeit von den Dimensionen gibt. Führt man hier eine Bonferroni Korrektur durch, um die Inflation des  $\alpha$ -Fehlers zu verhindern, so verringert sich das  $\alpha$ -Niveau für jeden Einzelvergleich von 0,05 auf 0,025. Bei Anlegung dieses Niveaus ist somit auch der Unterschied zwischen den großen Tiefenabständen nicht mehr signifikant.

### ***Ergebnisse der Fehlerhäufigkeiten***

Analog zu den Reaktionszeiten wurde bei der Ergebnispräsentation der Fehler zunächst überprüft, ob die Reihenfolge der Reizdarbietungen (2D – 3D vs. 3D – 2D) einen relevanten Einfluss hat. In einer  $2 \times 2 \times 2 \times 3$  – faktoriellen Varianzanalyse, mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Erfahrung (Erfahrung vs. keine Erfahrung), Reihenfolge (2D – 3D vs. 3D – 2D) und Abstand (groß, mittel, klein) konnte festgestellt werden, dass der Faktor Reihenfolge sowohl als Hauptfaktor, als auch in allen Interaktionen statistisch nicht signifikant ist [alle  $F < 1$ , alle  $p > .59$ ]. Deshalb werden die Daten beider Reihenfolgen im Folgenden gemeinsam ausgewertet.

Um die Voraussetzung 2 zu überprüfen, dass die Fehleranzahl mit der Schwierigkeit der Aufgabe ansteigt, wurde ein nichtparametrisches Verfahren herangezogen, da die Daten laut Kolmogorov-Smirnov-Test nicht normalverteilt waren. Die Ergebnisse des Friedman-Tests zeigen, dass sich die Fehleranzahl in den einzelnen Bedingungen signifikant unterscheidet [ $\chi^2_{(2, 95\%)} = 10.786, p = .005$ ]. Die Unterschiede

entsprechen dem in Voraussetzung 2 postulierten Verlauf. Die mittlere Fehleranzahl steigt vom großen Tiefenabstand (Mittelwert = 0,0333) über den mittleren (Mittelwert = 0,05) bis hin zum kleinen Tiefenabstand zwischen den Kugeln (Mittelwert = 0,2) an. In nachfolgenden paarweisen Vergleichen mit entsprechenden Zwei-Gruppen Friedman-Tests (Bonferroni-Adjustierung;  $\alpha = 0,0167$ ) ist der Vergleich der Fehleranzahl zwischen großen und kleinen Tiefenabständen signifikant [ $\chi^2_{(1, 95\%)} = 8.00, p = .005$ ]. Das heißt also, je schwerer die Aufgabe, desto größer ist die mittlere Fehleranzahl.

Zur Überprüfung der Hypothese 2a, die besagt, dass in der 3D-Bedingung weniger Fehler gemacht werden als in der 2D-Bedingung, wurden die Daten zunächst einmal deskriptiv betrachtet. Dabei fällt auf, dass 25 Probanden im 2D-Bereich überhaupt keine Fehler machen, drei Probanden einen Fehler verursachen, ein Proband zwei Fehler und ein weiterer drei Fehler begeht. Im 3D-Bereich machen 23 Probanden keine Fehler, fünf Probanden einen Fehler und zwei zwei Fehler. Insgesamt treten im 2D-Bereich acht Fehler und im 3D-Bereich neun Fehler auf. Bei 540 Darbietungen pro Bedingung (18 Durchgänge mal 30 Vp's), entspricht das in der 2D-Bedingung einem Fehlerprozentwert von 1,48% und in der 3D-Bedingung einem von 1,67%.

Im Friedman-Test gibt es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Fehleranzahl im zwei- und drei-dimensionalen Bereich [ $\chi^2_{(1, 95\%)} = 1.000, p = .317$ ].

Um die Hypothese 2b zu überprüfen, wurden die Ergebnisse zuerst deskriptiv betrachtet, bevor eine statistische Überprüfung folgt. Die deskriptiven Ergebnisse werden in Tabelle 3-2 dargestellt.

Tabelle 3-2: Darstellung der Fehler bezogen auf die beiden Dimensionen.

Tiefenabstand	2D			3D		
	Fehler	Fehler-prozent	Personen mit Fehlern	Fehler	Fehler-prozent	Personen mit Fehlern
<b>Groß</b>	1	0,19%	1	1	0,19%	1
<b>Mittel</b>	1	0,19%	1	2	0,37%	2
<b>Klein</b>	6	1,11%	5	6	1,11%	5
<b>Summe</b>	<b>8</b>	<b>1,48%</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>1,67%</b>	<b>8</b>

Es zeigt sich, dass die Fehleranzahl bei den unterschiedlichen Tiefenabständen zwischen den Kugeln in den beiden Bedingungen nahezu identisch ansteigen.

Auch statistisch ist der Unterschied zwischen den beiden Dimensionen beim großen  $[\chi^2_{(1, 95\%)} = 0.000, p = 1]$ , mittleren  $[\chi^2_{(1, 95\%)} = 0.333, p = .564]$  und kleinen Tiefenabstand  $[\chi^2_{(1, 95\%)} = 0.000, p = 1]$  nicht signifikant.

### ***Ergebnisse des Nachbefragungsbogens***

Bei der Nachbefragung antworteten 20 von insgesamt 30 Probanden auf die Frage: „Fiel es dir unter der 2D- oder unter der 3D-Bedingung schwerer den vordersten Kreis zu erkennen?“, dass es ihnen unter der 2D-Bedingung schwerer fällt  $[\chi^2_{(1, 95\%)} = 3.333, p = .068]$ . Hier zeigen sich tendenzielle Häufigkeitsunterschiede zugunsten der 3D-Bedingung. Bei der zweiten Frage: „War es für deine Augen unter der 2D- oder unter der 3D-Bedingung angenehmer?“ gaben signifikant mehr Probanden (23 zu 7) an, den Test unter der 2D-Bedingung als angenehmer für ihre Augen zu empfinden  $[\chi^2_{(1, 95\%)} = 8.533, p = .003]$ .

### 3.4 Diskussion

#### *Diskussion der Reaktionszeiten*

Die vorgestellten varianzanalytischen Ergebnisse bestätigen, dass sowohl unter der 2D- als auch unter der 3D-Bedingung sich in Abhängigkeit von der Schwierigkeit der Aufgabe die Reaktionszeiten verlängerten. Dieses Datenmuster entspricht den Erwartungen. Je größer der Abstand zwischen den Kugeln, desto leichter ist es für die Versuchsperson, die vorderste Kugel zu identifizieren. Das heißt, dass auf die Bilder, bei denen der Tiefenabstand zwischen den Kugeln sehr groß war, wesentlich schneller reagiert wurde, als auf die Bilder mit geringem Tiefenabstand. Aufgrund der Ergebnisse gilt Voraussetzung 1 als erfüllt.

Die Hypothese 1a konnte hingegen nicht bestätigt werden. Die mittleren Reaktionszeiten über alle Abstände hinweg unterschieden sich nicht signifikant in den beiden Bedingungen. Daher kann man nicht von einem globalen Vorteil der 3D- oder der 2D-Bedingung sprechen.

Bei der Überprüfung der Hypothese 1b zeigt die graphische Darstellung der Daten, dass die Probanden über die Zeit hinweg, in Abhängigkeit von der Dimension unterschiedlich auf die Abstände zwischen den Kugeln reagierten. Bei einem großen Abstand zwischen den Kugeln reagierten die Probanden unter der 2D-Bedingung schneller, als unter der 3D-Bedingung. Dieser Effekt neutralisierte sich aber beim mittleren Abstand zwischen den Kugeln und kehrte sich letztendlich beim kleinen Abstand zwischen den Kugeln um. Die Hypothese 1b, dass die Reaktionszeiten mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller ansteigen als unter der 3D-Bedingung, konnte somit nicht bestätigt werden, da das erwartete Reaktionsmuster nur vom mittleren bis zum kleinen Abstand sichtbar wurde.

Aus den Ergebnissen kann man ableiten, dass die zusätzliche Information der binokularen Disparität unter diesen Bedingungen nicht zu statistisch besseren Ergebnissen führt. Allerdings ergab sich deskriptiv ein Trend dahingehend, dass beim kleinen Abstand zwischen den Kugeln, also größerer Schwierigkeit, die Probanden von der Linsenrasterscheibe profitierten.



Die Frage, die man sich an diesem Punkt stellen kann, lautet: Warum führt die zusätzliche Tiefeninformation der binokularen Disparität bei großen Abständen zwischen den Kugeln nicht zu besseren Ergebnissen? Eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse könnte in der Kapazitätsbegrenzung der visuellen Informationsverarbeitung liegen. Grundsätzlich erreichen wir eine optimale Ausnutzung unserer kognitiven Ressourcen, wenn wir die wichtigen Informationen verarbeiten und die weniger wichtigen Informationen entsprechend vernachlässigen (Anderson, 2001). Bei einem großen Abstand zwischen den Kugeln erhalten die Versuchspersonen in der 3D-Bedingung sowohl die Tiefeninformation „relative Größe im Gesichtsfeld“ als auch die Tiefeninformation „binokularen Disparität“. Bei dieser sehr leichten Aufgabe kann die zusätzliche Information der binokularen Disparität zu einer Verlangsamung der visuellen Informationsverarbeitung führen, da zur Lösung der Aufgabe die hinzugefügte Information keinen relevanten Zusatznutzen bringt. Auch Volbracht (1997) ist der Meinung, dass redundante Informationen die Informationsverarbeitung verlangsamen. Solange die künstlich erzeugte binokulare Disparität keine notwendigen Informationen liefert, erschwert sie nur die Interpretation einer Visualisierung. In so einem Fall vermindert ein redundantes Visualisierungsattribut die Effektivität einer Visualisierung.

Eine alternative Erklärung stammt von Falter et al. (1994). Nach Falter et al. steckt die Ursache für das Problem, dass mit größer werdender Disparität die Leistung ihrer Versuchspersonen gesunken ist, in der Entkoppelung von Vergenz und Akkomodation. Je größer die binokulare Disparität, desto schwieriger ist es, die einzelnen Bilder zu einem Stereobild zu fusionieren.

### ***Diskussion der Fehlerhäufigkeiten***

Die Analyse der Fehlerhäufigkeiten zeigt, dass Voraussetzung 2 zutrifft. Die Fehleranzahl steigt unabhängig von der Dimension mit der Schwierigkeit der Aufgabe kontinuierlich an. Die Hypothesen 2a und 2b konnten hingegen statistisch nicht bestätigt werden. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich darin, dass die Fehlerquote in der 2D- und der 3D-Bedingung jeweils unter 2% lag.

Da insgesamt nur sehr wenig Fehler auftraten, kann man daraus schließen, dass die Aufgaben an sich zu einfach waren, das heißt, der Tiefenabstand zwischen den Kugeln konnte fast fehlerfrei wahrgenommen werden.

### ***Diskussion des Nachbefragungsbogens***

Hier zeigte sich, dass es der Mehrheit der Versuchspersonen subjektiv unter der 3D-Bedingung leichter fiel, den vordersten Kreis zu erkennen, als unter der 2D-Bedingung. Dieses Ergebnis ist insofern interessant, da hier eine Diskrepanz zwischen den objektiven Ergebnissen und der subjektiven Empfindung der Probanden vorliegt. Obwohl sie unter der 3D-Bedingung weder schneller waren, noch weniger Fehler begingen, sind die Probanden der Meinung, einen visuellen Vorteil durch die Linsenrasterscheibe zu haben. Auf der anderen Seite empfanden aber signifikant mehr Probanden das Experiment unter der 2D-Bedingung angenehmer für ihre Augen. Dies kann an der eingeschränkten Bewegungsfreiheit während des Experiments unter der 3D-Bedingung gelegen haben. Die Probanden wurden unter dieser Bedingung angehalten, ihren Kopf, nach Einstellung der optimalen Position, nicht mehr zu bewegen, da sich sonst der 3D-Effekt verschlechtert und die Probanden schnell die optimale Position wieder einnehmen mussten. Unter der 2D-Bedingung bekamen die Probanden zwar die gleiche Instruktion, aber leichte Kopfbewegungen verschlechterten hier nicht die Wahrnehmungsleistungen. Diese äußeren Umstände können dazu geführt haben, dass die Probanden die 3D-Bedingung als unangenehmer für ihre Augen empfanden.

Ein weiterer möglicher Grund ist die Entkopplung zwischen Akkomodation und Vergenz, sowie die stark abweichende Augenvergenzstellung von der, die der vorgetäuschten Entfernung entspricht (Bach, 1999). Dadurch, dass die Augen bei der technisch erzeugten Tiefenwahrnehmung auf der Bildelebene fixiert bleiben, um die Darstellung scharf zu stellen, aber gleichzeitig konvergieren oder divergieren, um das betrachtete Objekt je nach Lage im virtuellen Raum auf die korrespondierenden Stimuli zu bringen (Holliman, 2003), entsteht ein Konflikt zwischen den physiologischen Signalen. Längeres Betrachten von Stereobildern, mit einer starken

Tiefenwahrnehmung, kann aus diesem Grund zu diffusen Kopf- oder Augenschmerzen führen.

### ***Konsequenzen für das zweite Experiment***

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich über alle Versuchspersonen hinweg ein deutlicher Lerneffekt einstellt, der in den Reaktionszeiten, die im Verlauf immer kürzer wurden, erkennbar war. Dieser Lerneffekt war allerdings im 3D-Bereich deskriptiv etwas größer ausgeprägt als im 2D-Bereich. Der Unterschied wurde besonders beim Übergang vom zweiten bis zum dritten Block deutlich. Das lässt darauf schließen, dass die Probanden vor der Testphase noch nicht die gleichen Fertigkeiten bezüglich der beiden Modalitäten besaßen. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Probanden in der 3D-Bedingung nicht nur die Aufgabe erlernen mussten, sondern darüber hinaus auch noch den Umgang mit der Linsenrasterscheibe. Aus diesem Grund wird im zweiten Experiment das Vortraining um weitere 12 Durchgänge verlängert, um die Unterschiede in der Fertigkeit mit den beiden Modalitäten zu minimieren.

Um zusätzlich den Einfluss der Erfahrung, der im ersten Experiment keine bedeutsame Auswirkung auf die Ergebnisse hatte, aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten, wird im zweiten Experiment nur auf Versuchspersonen zurückgegriffen, die noch nie mit der Linsenrasterscheibe gearbeitet haben. Um den Grad der Erfahrung mit der Scheibe zu variieren, wird die Hälfte der Versuchspersonen vor dem Lokalisationsexperiment eine 10-minütige Bilderserie in 3D betrachten und die andere Hälfte schaut sich diese Bilderserie in 2D an.

Auch aus den Reaktionszeitergebnissen lässt sich eine Variation für das folgende Experiment ableiten. Im ersten Experiment ergab sich deskriptiv ein sehr interessanter Trend dahingehend, dass beim kleineren Abstand zwischen den Kugeln die Versuchspersonen von der Linsenrasterscheibe profitierten. Um zu überprüfen, ob sich dieser Trend bei kleiner werdenden Abständen fortsetzt, wird im zweiten Experiment

der Abstand zwischen den Kugeln weiter verkleinert. Aufgrund dieser Variation wird auch die Schwierigkeit der Aufgabe erhöht, wodurch mehr Fehler entstehen sollten.

Um darüber hinaus den Vergleich zwischen den beiden Modalitäten noch weiter zu standardisieren, wird im zweiten Experiment mit einer Konstruktion gearbeitet, die die Kopfbewegungen minimiert. Diese Konstruktion wird sowohl unter der 2D- als auch unter der 3D-Bedingung eingesetzt.

## **4. Empirischer Teil: Experiment 2**

## 4.1 Methode

Da der Aufbau des zweiten Experiments im Wesentlichen dem Aufbau des ersten Experiments entsprach, werden im folgenden Methodenteil nur noch die Variationen erwähnt.

### *Versuchspersonen*

An der Untersuchung nahmen insgesamt 40 Versuchspersonen teil. Die Rekrutierung der Probanden erfolgte über einen Aushang. Für die Teilnahme an dem Experiment wurde ein Schein ausgestellt, der Teil der Prüfungsordnung ist.

Die Stichprobe setzte sich aus 30 Frauen und 10 Männern zusammen. Das durchschnittliche Alter lag bei 23,5 Jahren und variierte zwischen 18 und 43 Jahren.

### *Versuchsanordnung*

#### *Räumlichkeiten und Apparaturen*

Die Räumlichkeiten des zweiten Experiments entsprachen exakt denen des ersten Experiments. Bezüglich der Apparaturen wurde, um die Versuchsbedingungen weiter zu standardisieren, ein Gerät konstruiert, mit dessen Hilfe die Bewegungsfreiheit des Kopfes verringert wurde. Bei diesem Gerät handelt es sich lediglich um eine Anlehnmöglichkeit für die Stirn, wobei die Höhe individuell eingestellt werden konnte. Durch diese angenehme Fixierungsmöglichkeit des Kopfes wurden Variationsmöglichkeiten (z.B. durch Veränderungen des Betrachterabstandes; siehe Kapitel 2.5.2), die durch kleine Kopfbewegungen bedingt sein können, eliminiert. Die Konstruktion kam sowohl in der 2D- als auch in der 3D-Bedingung zum Einsatz.

### ***Versuchsdurchführung***

Vor dem Lokalisationsexperiment wurde der Hälfte der Probanden eine Bilderserie in 2D und der anderen Hälfte in 3D gezeigt. Diese Bilderserie dauerte ca. 10 Minuten und bestand aus neutral bis positiv besetztem Bildmaterial (z.B. Unterwasseraufnahmen, Landschaftsbilder etc.). Der weitere Ablauf entsprach exakt dem ersten Experiment (Instruktion siehe Anhang D). Eine zusätzliche Veränderung wurde im Nachbefragungsbogen vorgenommen (siehe Anhang E), der um zwei Fragen ergänzt wurde, die auch in einer Untersuchung von Falter et al. (1994) zum Einsatz kamen. In der Untersuchung von Falter et al. wurde allerdings mit einer Shutterbrille gearbeitet. Die Fragen lauten: „Kannst du dir vorstellen, pro Tag mehrere Stunden mit der Scheibe zu arbeiten?“ (0 = gar nicht, 10 = kein Problem) und „Wie stark war der räumliche Eindruck unter der 2D- und der 3D-Bedingung?“ (0 = kein räumlicher Eindruck, 10 = sehr starker Eindruck).

Diese beiden Fragen werden dem Nachbefragungsbogen hinzugefügt, um einen Vergleich mit den bestehenden Daten zu ermöglichen.

Die Gesamtdauer der zweiten Untersuchung einschließlich Vorbereitung und Abschlussbesprechung betrug pro Person ungefähr 45 Minuten.

### ***Reizmaterial***

Das Reizmaterial entsprach dem des ersten Experimentes. Als kritische Veränderung wurde allerdings der Tiefenabstand zwischen den Kugeln verringert, um zu überprüfen, ob sich der sichtbare Vorteil im 3D-Bereich bei einem noch kleineren Abstand kontinuierlich fortsetzt. Der Tiefenabstand wurde dabei so verändert, dass der kleine Abstand im ersten Experiment dem großen Abstand im zweiten Experiment entsprach. Zusätzlich wurde die Abfolge der Reize verändert. Die genauen Reizabfolgen sind Anhang F zu entnehmen.

### *Zweidimensionales Reizmaterial*

Im zweidimensionalen Bereich wurde analog zum ersten Experiment die Tiefeninformation „relative Größe im Gesichtsfeld“ ausgenutzt, um den Tiefenabstand der Kugeln zu verändern. Bei einem großen Tiefenabstand zwischen den Kugeln wurde die vorderste Kugel um 3,9% größer dargestellt als die Kugel auf der Bildschirmenebene. Beim mittleren Abstand um 2,04% und beim kleinen Abstand zwischen den Kugeln wurde die vorderste Kugel um 1,01% größer dargestellt als die Kugel auf der Bildschirmenebene.

### *Dreidimensionales Reizmaterial*

Im dreidimensionalen Bereich kam wiederum zur Tiefeninformation „relative Größe im Gesichtsfeld“ die Tiefeninformation „binokulare Disparität“ hinzu. Mithilfe der in Kapitel 2.5.2 dargestellten Formeln 4 und 5 konnte die wahrgenommene Tiefe berechnet werden. Bei einem großen Abstand zwischen den Kugeln kam somit die vorderste Kugel um 1,76cm aus der Bildschirmenebene heraus, beim mittleren Abstand um 0,93cm und beim kleinen Abstand um 0,47cm.

### *Versuchsplan*

Auch im zweiten Experiment wurde ein  $2 \times 2$  – Design angelegt. Der erste Faktor bezog sich dabei auf die Dimension der Bilderserie (2D vs. 3D), die die Versuchspersonen vor der Lokisationsaufgabe gesehen hatten. Der zweite Faktor bezog sich auf die Dimension der experimentellen Versuchsbedingung (2D vs. 3D). Hierbei durchliefen alle Probanden den Versuch sowohl in der 2D- als auch in der 3D-Bedingung. Der Faktor Bilderserie wurde somit „between-subjects“ und der Faktor Versuchsbedingung „within-subjects“ variiert. Der Versuchsplan kann Tabelle 4-1 entnommen werden.



Tabelle 4-1: *Versuchsplan*

<b>Gruppe</b>	<b>Lokalisationsaufgabe</b>
<b>2D Bilderserie</b>	18 Training-Durchgänge in 2D: 18 Durchgänge in 2D 18 Training- Durchgänge in 3D: 18 Durchgänge in 3D
<b>3D Bilderserie</b>	18 Training- Durchgänge in 2D: 18 Durchgänge in 2D 18 Training- Durchgänge in 3D: 18 Durchgänge in 3D

Darüber hinaus wurde die Trainingsphase im zweiten Experiment pro Bedingung um weitere 12 Durchgänge, auf insgesamt 18 verlängert. Das Experiment bestand somit für jede Dimension aus 36 Durchgängen, von denen die ersten 18 Durchgänge zum Training gehörten und deswegen nicht ausgewertet wurden.

Des Weiteren wurde auch die Reihenfolge (2D – 3D vs. 3D – 2D) der Lokalisationsaufgabe wieder variiert.

## ***Unabhängige Variablen***

### *Within-Faktoren*

Die unabhängige Variable ***Dimension*** war zweifach gestuft und gab an, unter welcher Bedingung das Experiment durchgeführt wurde (zweidimensional vs. dreidimensional).

Die zweite unabhängige Variable bestand in dem ***Abstand*** zwischen den Kugeln. Auch hier wurde wieder zwischen einem großen, einem mittleren und einem kleinen Tiefenabstand unterschieden. Wichtig ist hier noch einmal zu erwähnen, dass trotz gleicher Benennung die Abstände zwischen den Kugeln wesentlich geringer waren, als im ersten Experiment.

Als dritte unabhängige Variable trat der within-Faktor **Block** auf. Block 1 enthielt die ersten sechs Reize, Block 2 die mittleren sechs und Block 3 die letzten sechs Reize. Dieser Faktor bildete somit den Lernverlauf über die Zeit ab.

### *Between-Faktoren*

Als unabhängige Variable (UV) zwischen den Versuchspersonen diente die Dimension der **Bilderserie**. Dieser Faktor war zweifach abgestuft (2D Bilderserie vs. 3D Bilderserie).

### *Abhängige Variable*

Als abhängige Variablen wurden wie im ersten Experiment die **Reaktionszeiten** und die **Fehler** erfasst.

## 4.2 Hypothesen

Das Ziel von Experiment 2 ist es zu überprüfen, ob sich die Hypothesen von Experiment 1 unter schwierigeren Wahrnehmungsbedingungen bestätigen lassen. Aus diesem Grund werden die gleichen Hypothesen postuliert wie bei Experiment 1.

### Reaktionszeiten:

- Hypothese 1:**
- a. Die Reaktionszeiten sind in der 3D-Bedingung kürzer als in der 2D-Bedingung.
  - b. Die Reaktionszeiten steigen mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller an als in der 3D-Bedingung.

**Voraussetzung 1:** Die Reaktionszeiten steigen mit der Schwierigkeit der Aufgabe an.

### Fehler:

- Hypothese 2:**
- a. In der 3D-Bedingung werden weniger Fehler gemacht als in der 2D-Bedingung.
  - b. Die Fehleranzahl steigt mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller an als in der 3D-Bedingung.

**Voraussetzung 2:** Die Fehleranzahl steigt mit der Schwierigkeit der Aufgabe an.

### 4.3 Ergebnisse

#### *Ergebnisse für die Reaktionszeiten*

Wie beim ersten Experiment wurde auch hier zuerst untersucht, ob die Variation der Reihenfolge während der Lokisationsaufgabe (2D – 3D vs. 3D – 2D) einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionszeiten ausübt. In einer  $2 \times 2 \times 2 \times 3$  – faktoriellen Varianzanalyse, mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Bilderserie (2D vs. 3D), Reihenfolge (2D – 3D vs. 3D – 2D) und Abstand (groß, mittel, klein), zeigt sich kein signifikanter Einfluss des Reihenfolgefaktors [*alle*  $F < 1.66$ , *alle*  $p > .21$ ]. Deswegen wird dieser Faktor im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Analog zum ersten Experiment wurde ein Verlaufdiagramm erstellt, welches den Lernverlauf über die Zeit abbildet. Diese Lernkurve wird in Abbildung 4-1 dargestellt.

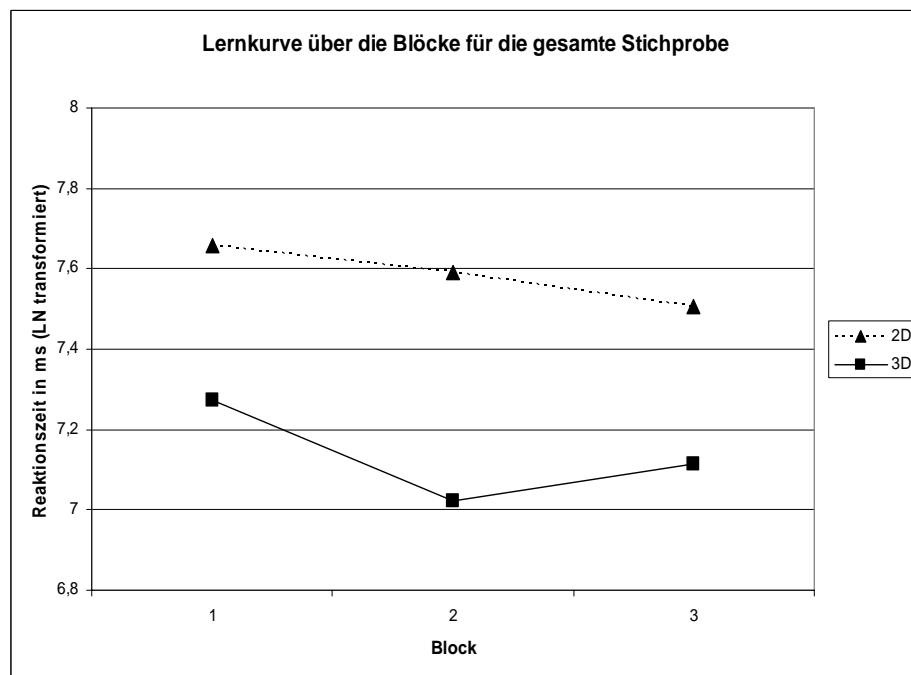


Abbildung 4-1: Lernkurve für alle Probanden

Bei Betrachtung der Abbildung fällt auf, dass die Reaktionszeiten unter der 3D-Bedingung bei allen drei Blöcken (Block 1: Mittelwert 2D = 7,66; Mittelwert 3D =

7,27; Block 2: Mittelwert 2D = 7,59; Mittelwert 3D = 7,02; Block 3: Mittelwert 2D = 7,51; Mittelwert 3D = 7,11) wesentlich geringer sind als unter der zweidimensionalen Bedingung. Dieser Unterschied wurde im ersten Experiment erst im letzten Block sichtbar.

Darüber hinaus ist unter der 2D-Bedingung ein Absinken der Reaktionszeiten von Block 1 über Block 2 bis hin zu Block 3 zu erkennen. Unter der dreidimensionalen Bedingung sinkt die Zeit zwar auch von Block 1 zu Block 3, aber von Block 2 zu Block 3 ist ein leichter Anstieg sichtbar.

Um dieses Muster auf Signifikanz zu prüfen, wurde eine  $2 \times 2 \times 3$  – faktorielle Varianzanalyse durchgeführt, bei der die Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Bilderserie in 2D vs. Bilderserie in 3D und Block (drei Blöcke á sechs Reize) Berücksichtigung fanden.

Der Haupteffekt Block ist statistisch bedeutsam [ $F(2, 76) = 13.068, p < .001, \eta^2 = .538$ ]. Durch die im Anschluss daran durchgeführten geplanten Kontraste wird deutlich, dass dieser Effekt auf die Reduzierung der Reaktionszeiten vom ersten zum zweiten Block zurückzuführen ist [ $F(1, 38) = 23.681, p < .001, \eta^2 = .384$ ] und nicht auf den Verlauf vom zweiten zum dritten Block [ $F(1, 38) = 0.014, p = .908, \eta^2 < .001$ ]. Die Interaktion Dimension  $\times$  Bilderserie erreicht keine statistische Bedeutsamkeit [ $F(1, 38) = 0.354, p = .555, \eta^2 = .009$ ]. Demnach hat die Dimension, in der die Bilderserie betrachtet wird, keinen Einfluss auf die Bearbeitungszeit des Lokalisationsexperiments. Die Interaktion Dimension  $\times$  Block erweist sich als signifikant [ $F(2, 76) = 3.941, p < .030, \eta^2 = .094$ ]. Alle anderen Interaktionen erlangen keine statistische Bedeutsamkeit.

Um die Interaktion Dimension  $\times$  Block zu überprüfen, wurden getrennt nach der Dimension geplante Kontraste berechnet. Im 2D-Bereich sinken die Reaktionszeiten nicht signifikant von Block 1 zu Block 2 [ $F(1, 38) = 3.491, p = .069, \eta^2 = .084$ ] und Block 2 zu Block 3 [ $F(1, 38) = 2.419, p = .128, \eta^2 = .060$ ], aber von Block 1 zu Block 3 [ $F(1, 38) = 5.421, p = .025, \eta^2 = .125$ ] werden die Reaktionszeiten signifikant schneller. Im 3D-Bereich sinken die Zeiten zwar signifikant von Block 1 zu Block 2 [ $F(1, 38) = 30.558, p < .001, \eta^2 = .446$ ], steigen aber signifikant von Block 2 zu Block 3 an [ $F(1, 38) = 6.545, p = .015, \eta^2 = .147$ ]. Von Block 1 zu Block 3 [ $F(1, 38) = 15.003,$

$p < .001$ ,  $\eta^2 = .283$ ] brauchen die Versuchspersonen auch hier immer weniger Zeit, um die Aufgabe zu lösen.

Um Voraussetzung 1 und Hypothese 1a und 1b zu überprüfen, wurde der unterschiedliche Tiefenabstand zwischen den Kugeln noch mit einbezogen. In Abbildung 4-2 werden die transformierten Reaktionszeiten für die unterschiedlichen Tiefenabstände dargestellt.

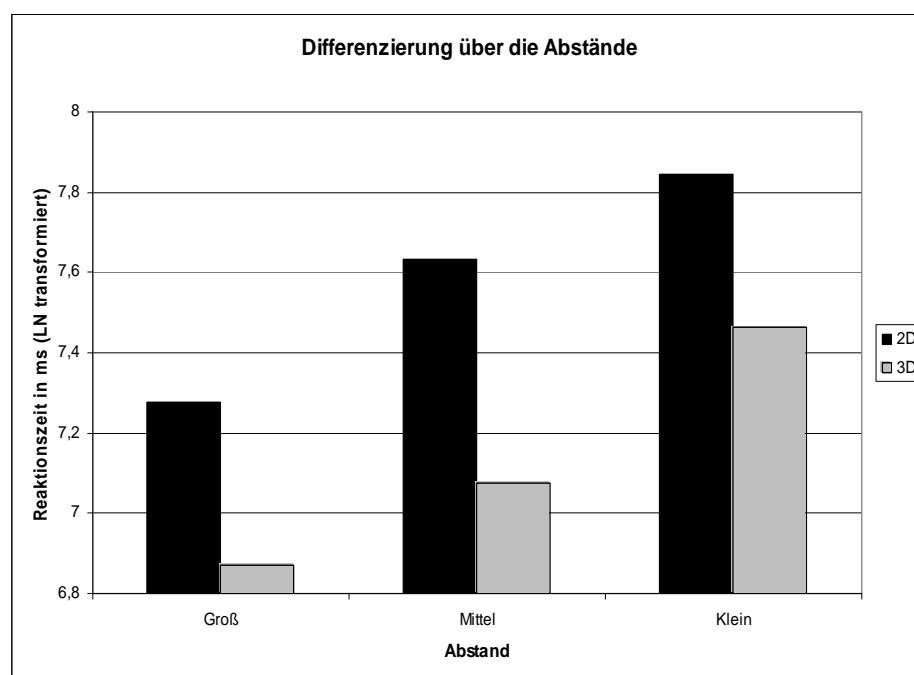


Abbildung 4-2: Differenzierung über die Abstände für alle Probanden

Wie in Abbildung 4-2 zu erkennen ist, steigen die Reaktionszeiten bei beiden Dimensionen vom großen (Mittelwert = 7,08), über den mittleren (Mittelwert = 7,35), bis hin zum kleinen Tiefenabstand (Mittelwert = 7,66) zwischen den Kugeln kontinuierlich an.

Darüber hinaus ist sichtbar, dass die Versuchspersonen unter der 3D-Bedingung sowohl beim großen (Mittelwert 2D = 7,28; Mittelwert 3D = 6,87), beim mittleren (Mittelwert 2D = 7,63; Mittelwert 3D = 7,07), als auch beim kleinen Tiefenabstand (Mittelwert 2D = 7,85; Mittelwert 3D = 7,46) wesentlich schneller reagieren als unter der 2D-Bedingung.

Um den ersten Eindruck genauer zu untersuchen, wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse gerechnet, mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Bilderserie (Bilderserie in 2D vs. Bilderserie in 3D) und Abstand (groß, mittel, klein).

Der Haupteffekt Abstand ist signifikant [ $F(2, 76) = 168.476, p < .001, \eta^2 = .816$ ]. Durch geplante Kontraste konnte im Anschluss ermittelt werden, dass die Reaktionszeiten sowohl vom großen zum mittleren Abstand [ $F(1, 38) = 243.485, p < .001, \eta^2 = .865$ ], als auch vom mittleren bis hin zum kleinen Abstand zwischen den Kugeln signifikant ansteigen [ $F(1, 38) = 91,805, p < .001, \eta^2 = .707$ ]. Das deutet darauf hin, dass die Schwierigkeit bei kleiner werdendem Tiefenabstand zunimmt (Voraussetzung 1).

Um zu überprüfen, ob die Reaktionszeiten in der 3D-Bedingung statistisch geringer sind als in der 2D-Bedingung (Hypothese 1a), wurde der Hauptfaktor Dimension betrachtet. Auch dieser Faktor erreicht eine statistische Bedeutsamkeit [ $F(1, 38) = 44.164, p < .001, \eta^2 = .538$ ]. Dies ist ein Hinweis dafür, dass die Versuchspersonen die Lokalisationsaufgabe mithilfe der Linsenrasterscheibe wesentlich schneller lösen konnten (Mittelwert 3D = 7,13) als ohne (Mittelwert 2D = 7,59).

Zusätzlich durchgeführte  $t$ -Tests ergeben, dass nicht nur die Differenz zwischen den 2D- und 3D-Reaktionszeiten signifikant ist, sondern auch zwischen den großen [ $t(39) = 5.295, p < .001$ ], mittleren [ $t(39) = 7.764, p < .001$ ] und kleinen Tiefenabständen [ $t(39) = 5.430, p < .001$ ]. Dieses Muster zeigt auf, dass die Probanden unabhängig vom Abstand unter der 3D-Bedingung immer schneller sind als unter der 2D-Bedingung. Auch nach der  $\alpha$ -Fehler Korrektur, die das Signifikanzniveau für die Einzelvergleiche von 0,05 auf 0,0167 senkt, bleiben alle drei Vergleiche signifikant.

Die nicht signifikante Interaktion Abstand  $\times$  Bilderserie [ $F(2, 76) = 0.662, p = .483, \eta^2 = .017$ ] zeigt auf, dass die Versuchspersonen in Abhängigkeit von der vorher betrachteten Bilderserie nicht unterschiedlich auf die Tiefenabstände reagieren.

Auskunft darüber, ob die Reaktionszeiten mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller ansteigen als unter der 3D-Bedingung (Hypothese 1b), liefert die Interaktion Dimension  $\times$  Abstand. Um die Richtung der Interaktion genauer zu

betrachten, wird in Abbildung 4-3 diese Interaktion noch einmal graphisch veranschaulicht.

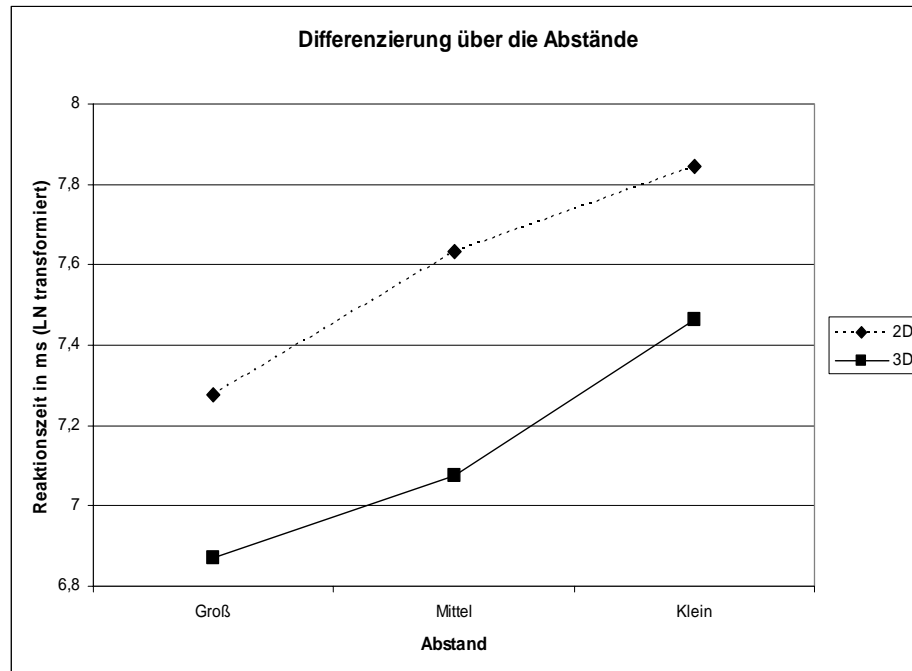


Abbildung 4-3: Differenzierung über die Abstände für alle Probanden.

Obwohl in der Abbildung keine Interaktion zu erkennen ist, erreichte die Interaktion Dimension  $\times$  Abstand eine statistische Signifikanz [ $F(2, 76) = 7.423, p = .002, \eta^2 = .163$ ]. Dies verdeutlicht, dass in Abhängigkeit von der Dimension unterschiedlich auf die Tiefenabstände reagiert wird.

Um zu untersuchen wo die Unterschiede liegen, wurden wie beim ersten Experiment zusätzlich Varianzanalysen durchgeführt, die sich jeweils nur auf zwei Tiefenabstände bezogen. Die ursprüngliche Varianzanalyse wurde somit in drei  $2 \times 2$ -faktorielle Varianzanalysen aufgesplittet, mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D) und Abstand (entweder groß und mittel, mittel und klein oder groß und klein). Es ergibt sich eine signifikante Interaktion, wenn man den großen und den mittleren Abstand betrachtet [ $F(1, 38) = 13.111, p = .001, \eta^2 = .257$ ]. Die Differenz, die zwischen den Dimensionen beim großen Tiefenabstand besteht (Differenz der Mittelwerte = 0,41), nimmt zum mittleren Abstand (Differenz der Mittelwerte = 0,56) deutlich zu.

Die Interaktion zwischen dem mittleren und dem kleinen Abstand [ $F(1, 38) = 13.055, p = .001, \eta^2 = .256$ ] ist auch signifikant, allerdings nimmt hier die Differenz



zwischen dem mittleren Tiefenabstand (Differenz der Mittelwerte = 0,56) zum kleinen Abstand (Differenz der Mittelwerte = 0,38) ab.

Vom großen bis zum kleinen Abstand hingegen erweist sich das Ergebnis als nicht signifikant [ $F(1, 38) = 0.218$ ,  $p = .643$ ,  $\eta^2 = .006$ ]. Die Differenzen zwischen den Dimensionen sind gleich.

### ***Ergebnisse der Fehlerhäufigkeiten***

Es wurde kontrolliert, ob die Reihenfolge der Reizdarbietungen (2D – 3D vs. 3D – 2D) einen Einfluss auf die Fehleranzahl ausübt. In einer  $2 \times 2 \times 2 \times 3$  – faktoriellen Varianzanalyse, mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Bilderserie (2D vs. 3D), Reihenfolge (2D – 3D vs. 3D – 2D) und Abstand (groß, mittel, klein) konnte festgestellt werden, dass der Faktor Reihenfolge sowohl als Hauptfaktor, als auch in allen Interaktionen statistisch nicht signifikant ist [alle  $F < 1$ , alle  $p > .54$ ]. Aus diesem Grund wird der Reihenfolgefaktor bei den folgenden Analysen nicht weiter berücksichtigt.

Zur Überprüfung der Hypothesen und der Vorraussetzung wurde zuerst eine Abbildung erstellt (siehe Abbildung 4-4).

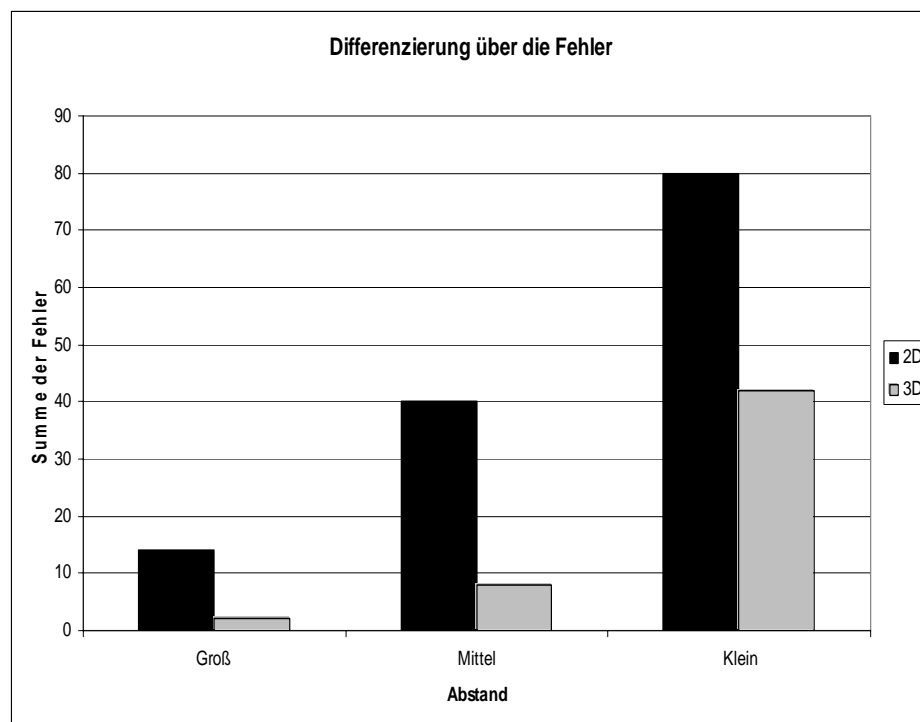


Abbildung 4-4: Differenzierung über die Fehler.

Abbildung 4-4 veranschaulicht graphisch die Summe der Fehler für die unterschiedlichen Tiefenabstände. Wie dieser Abbildung zu entnehmen ist, steigt die Summe der Fehler über beide Dimensionen vom großen (Fehleranzahl = 8), über den mittleren (Fehleranzahl = 24), bis hin zum kleinen Tiefenabstand (Fehleranzahl = 61) zwischen den Kugeln kontinuierlich an. Darüber hinaus ist eine deutliche Differenz zwischen den beiden Dimensionen zu erkennen. Beim großen (Fehleranzahl 3D = 2; Fehleranzahl 2D = 14), mittleren (Fehleranzahl 3D = 8; Fehleranzahl 2D = 40) und kleinen Tiefenabstand (Fehleranzahl 3D = 42; Fehleranzahl 2D = 80) ist die Summe der Fehler unter der 3D-Bedingung wesentlich geringer als unter der 2D-Bedingung.

Um dieses Muster statistisch zu überprüfen, wurde eine multifaktorielle Varianzanalyse gerechnet, bei der die Faktoren Dimension (2D vs. 3D), Bilderserie (Bilderserie in 2D vs. Bilderserie in 3D) und Abstand (groß, mittel, klein) berücksichtigt wurden.

Der Haupteffekt Abstand ist signifikant [ $F(2, 76) = 79.328, p < .001, \eta^2 = .676$ ]. Durch die Berechnung von geplanten Kontrasten wurde deutlich, dass die Fehleranzahl vom großen bis hin zum mittleren [ $F(1, 38) = 136.748, p < .001, \eta^2 = .783$ ] und vom mittleren bis hin zum kleinen Tiefenabstand kontinuierlich ansteigt [ $F(1, 38) = 53.356, p < .001, \eta^2 = .584$ ]. Dies deutet darauf hin, dass die Schwierigkeit der Lokisationsaufgabe mit kleiner werdendem Abstand zunimmt (Voraussetzung 2).

Zur Überprüfung der Hypothese 2a, die besagt, dass in der 3D-Bedingung weniger Fehler gemacht werden als in der 2D-Bedingung, wurde der Faktor Dimension betrachtet. Dieser Hauptfaktor erweist sich als signifikant [ $F(1, 38) = 18.955, p < .001, \eta^2 = .333$ ]. Das Ergebnis zeigt auf, dass unter der 3D-Bedingung (Fehleranzahl = 52) signifikant weniger Fehler gemacht werden als unter der 2D-Bedingung (Fehleranzahl = 134). Bei 720 Darbietungen pro Bedingung (18 Durchgänge mal 40 Vp's), entspricht das in der 2D-Bedingung einem Fehlerprozentwert von 18,61% und in der 3D-Bedingung einem wesentlich geringeren Wert von 7,22%. Die Versuchspersonen begehen also unter der 3D-Bedingung im Mittel 11,39% weniger Fehler als unter der 2D-Bedingung.

Bei zusätzlich durchgeführten Friedman-Tests wird darüber hinaus deutlich, dass es nicht nur einen signifikanten Unterschied in der mittleren Fehleranzahl zwischen den

beiden Dimensionen gibt, sondern dass dieser Unterschied auch beim großen [ $\chi^2_{(1, 95\%)} = 7.364, p = .007$ ], mittleren [ $\chi^2_{(1, 95\%)} = 12.462, p < .001$ ] und kleinen Tiefenabstand [ $\chi^2_{(1, 95\%)} = 4.829, p = .028$ ] signifikant ist. Über alle Tiefenabstände hinweg werden somit unter der 3D-Bedingung wesentlich weniger Fehler gemacht als unter der 2D-Bedingung. Führt man hier jedoch eine  $\alpha$ -Fehler Korrektur durch, bei der sich das  $\alpha$ -Niveau für die Einzelvergleiche auf 0,0167 senkt, ist der Unterschied zwischen den kleinen Tiefenabständen nicht mehr signifikant.

Die Interaktionen Dimension  $\times$  Bilderserie [F (1, 38) = 1.906,  $p = .176, \eta^2 = .048$ ] und Abstand  $\times$  Bilderserie [F (2, 76) = 0.751,  $p = .449, \eta^2 = .019$ ] erlangen keine statistische Bedeutsamkeit. Das deutet darauf hin, dass die Dimension, in der man die vorherige Bilderserie betrachtet, keinen Einfluss auf die Fehleranzahl des Experiments hat. Darüber hinaus wirkt sie sich auch nicht relevant auf die Fehleranzahl bei den unterschiedlichen Tiefenabständen aus.

Auskunft darüber, ob die Fehleranzahl mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller ansteigt als in der 3D-Bedingung (Hypothese 2b), gibt die Interaktion Dimension  $\times$  Abstand. Bei dieser Interaktion zeigt sich kein signifikanter Effekt [F (2, 76) = 2.737,  $p = .091, \eta^2 = .067$ ].

Obwohl diese Interaktion statistisch nicht signifikant geworden ist, soll sie im Folgenden noch einmal untersucht werden (siehe Abbildung 4-5), da es sich hier um die Überprüfung der Hypothese 2b handelt.

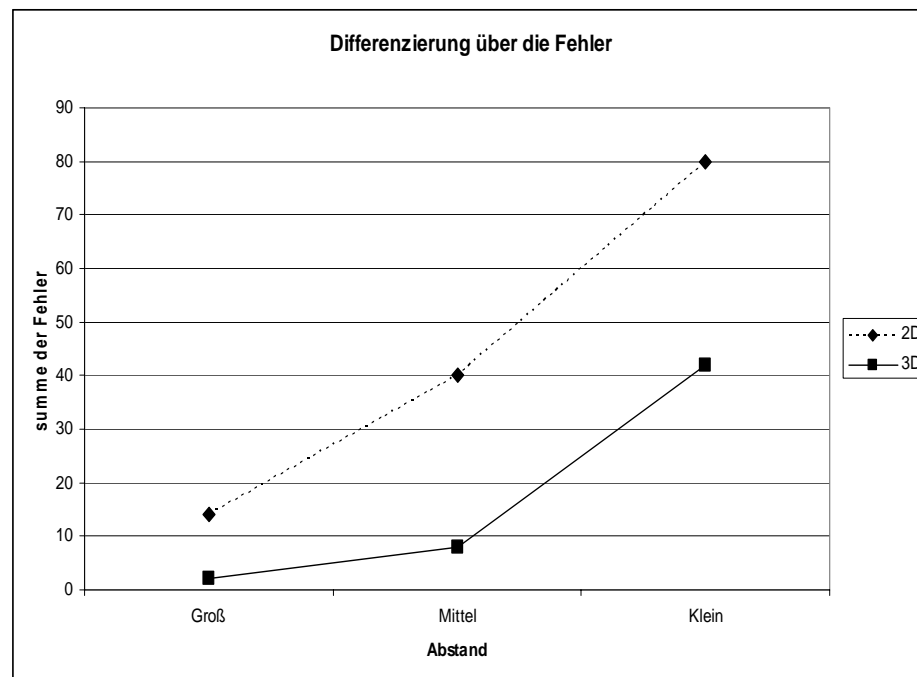


Abbildung 4-5: Differenzierung über die Fehler.

Zur Überprüfung wurden zusätzlich Varianzanalysen durchgeführt, die sich aber immer nur auf zwei Tiefenabstände bezogen. Die ursprüngliche Varianzanalyse wurde somit in drei  $2 \times 2$  – faktorielle Varianzanalysen aufgegliedert, mit den Faktoren Dimension (2D vs. 3D) und Abstand (entweder groß und mittel, mittel und klein oder groß und klein).

Beim großen und beim mittleren Abstand ist die Interaktion signifikant [ $F(1, 38) = 7.615, p = .009, \eta^2 = .167$ ]. Die Differenz der Fehler, die zwischen den Dimensionen beim großen Tiefenabstand besteht (Differenz der Mittelwerte = 0,3), nimmt zum mittleren Abstand (Differenz der Mittelwerte = 0,8) deutlich zu.

Die Interaktion, die sich auf den mittleren und den kleinen Tiefenabstand bezieht erweist sich hingegen als nicht signifikant [ $F(1, 38) = 0.179, p = .675, \eta^2 = .005$ ]. Hier bleibt der Unterschied zwischen den Dimensionen nahezu konstant (Differenz der Mittelwerte beim mittleren Abstand = 0,8; Differenz der Mittelwerte beim kleinen Abstand = 0,95).

Die Interaktion beim großen und beim kleinen Tiefenabstand erreicht statistische Bedeutsamkeit [ $F(1, 38) = 4.441, p = .042, \eta^2 = .105$ ]. Auch hier nimmt der Unterschied zwischen den Dimensionen vom großen Abstand bis hin zum kleinen zu.

Die vermutete Interaktion Dimension  $\times$  Abstand, die sich auf alle Abstände bezieht ist somit zwar statistisch nicht signifikant, aber weitere Analysen zeigen auf, dass der sichtbare Trend in die Richtung der formulierten Hypothese geht.

### ***Ergebnisse des Nachbefragungsbogens***

Im Nachbefragungsbogen gaben 37 Versuchspersonen von insgesamt 40 an, dass es ihnen unter der 2D-Bedingung schwerer fällt den vordersten Kreis zu erkennen als unter der 3D-Bedingung. Dieser Häufigkeitsunterschied ist signifikant [ $\chi^2_{(1, 95\%)} = 28.9, p < .001$ ].

Bei der zweiten Frage, in der danach gefragt wurde, unter welcher Bedingung das Experiment angenehmer für ihre Augen ist, gaben 27 Probanden an, dass dies unter der 3D-Bedingung der Fall ist und nur 13 empfanden das Experiment unter der 2D-Bedingung als angenehmer. Auch dieser Häufigkeitsunterschied ist zugunsten der 3D-Bedingung signifikant [ $\chi^2_{(1, 95\%)} = 4.9, p = .027$ ].

In der dritten Frage, in der auf einer Skala von null bis zehn (0 = kein räumlicher Eindruck, 10 = sehr starker Eindruck) nach dem räumlichen Eindruck während des Experiments unter der 2D- und der 3D-Bedingung gefragt wurde, sehen die Ergebnisse folgendermaßen aus. Während der räumliche Eindruck unter der 3D-Bedingung bei einem Mittelwert von 7,65 liegt, ist er unter der 2D-Bedingung im Mittel nur bei 2,45. Beim Wilcoxon-Test erreicht dieser Mittelwertsunterschied eine statistische Bedeutsamkeit [ $z = -5.513, p < .001$ ].

Die letzte Frage: „Kannst du dir vorstellen, pro Tag mehrere Stunden mit der Scheibe zu arbeiten?“ (0 = gar nicht, 10 = kein Problem) wird im Mittel mit 4,65 beantwortet. Die Standardabweichung liegt bei dieser Frage bei 3,15.

## 4.4 Diskussion

### *Diskussion der Reaktionszeiten*

Auch im zweiten Experiment gilt Voraussetzung 1 als erfüllt. Die varianzanalytischen Ergebnisse zeigten eindeutig, dass die Reaktionszeiten vom großen über den mittleren bis hin zum kleinen Tiefenabstand kontinuierlich anstiegen. Dies kann als Beleg gedeutet werden, dass die Aufgabenschwierigkeit mit kleiner werdendem Abstand kontinuierlich zunahm. Die Versuchspersonen benötigten aufgrund des kleineren Tiefenabstands mehr Zeit um zu entscheiden, welche von den drei Kugeln die vorderste ist.

Im Gegensatz zum ersten Experiment, bei dem es keinen signifikanten Unterschied in den mittleren Reaktionszeiten zwischen den beiden Modalitäten gab, war im zweiten Experiment die Differenz zwischen den Dimensionen nicht nur deskriptiv sichtbar, sondern auch statistisch signifikant. Die Versuchspersonen konnten die Lokalisationsaufgabe mithilfe der Linsenrasterscheibe wesentlich schneller lösen, als unter der 2D-Bedingung. Die Hypothese 1a gilt somit als bestätigt.

Darüber hinaus ist dieser Reaktionsvorteil nicht nur global, sondern auch bei jedem einzelnen Tiefenabstand sichtbar. Bei allen drei Tiefenabständen konnten die Probanden unter der 3D-Bedingung die Aufgabe wesentlich schneller lösen.

Weiterführend konnte Vollbracht (1997) in ihren Untersuchungen mit einer Shutterbrille zeigen, dass der Unterschied bezüglich der Reaktionszeiten und Fehler zwischen zweidimensionalen und Stereodarstellungen auch mit zunehmender Größe bzw. Komplexität der Aufgabe zunahm. Während die mittleren Bearbeitungszeiten und Fehler beim kleinen Molekül noch nicht signifikant voneinander abwichen, zeigte sich beim komplexeren Molekül, dass die Probanden bei der 2D-Darstellung signifikant schlechter waren als bei der Stereodarstellung. Transferiert man diese Ergebnisse auf die hier durchgeführten Untersuchungen, bei denen eine sehr leichte Aufgabenstellung verwendet wurde, deutet es darauf hin, dass bei einer Erhöhung der Komplexität der Aufgabe die Unterschiede zwischen den Darstellungsmodi noch gravierender ausfallen würden.

Die zusätzliche Information der binokularen Disparität, die nur in der 3D-Bedingung enthalten war, führte somit dazu, dass die Versuchspersonen visuell schneller erkennen konnten, welche von den drei Kugeln die vorderste war. Das Ergebnis stützt die Annahme von Goldstein (2002), dass je mehr Tiefeninformationen uns zur Verfügung stehen, desto besser unsere Chancen sind die drei räumlichen Dimensionen der Welt aus der zweidimensionalen Information auf unseren Netzhäuten richtig abzuleiten.

Der Vorteil der Linsenrasterscheibe, der sich beim kleinen Tiefenabstand zwischen den Kugeln im ersten Experiment schon deskriptiv abzeichnete, konnte mit Zunahme des Schwierigkeitsgrades der Aufgabe im zweiten Experiment statistisch fundiert werden.

An dieser Stelle kann man sich fragen, warum die Versuchspersonen beim ersten Experiment beim kleinen Tiefenabstand zwischen den Kugeln keinen signifikanten Vorteil von der Linsenrasterscheibe hatten, aber beim zweiten Experiment beim gleichen Tiefenabstand, der hier allerdings dem großen entspricht, dieser Reaktionsvorteil signifikant wurde. Um diese Frage zu beantworten, kann erst einmal festgestellt werden, dass auch beim ersten Experiment ein deskriptiver Trend zugunsten der 3D-Bedingung festgestellt werden konnte. Der Grund dafür, dass dieser Trend keine Signifikanz erlangte, kann unter anderem daran liegen, dass im ersten Experiment die Bewegungsfreiheit des Kopfes nicht eingeschränkt wurde. Kleinste Veränderungen der Kopfhaltung können somit zu einer Verminderung des 3D-Eindrucks geführt haben, da sich beim Verlassen der optimalen Position, die klare Trennung zwischen rechtem und linkem Auge verschlechtert (Hentschke & Börcsök, 2002). Beim zweiten Experiment hingegen wurde die Bewegungsfreiheit des Kopfes durch eine einfache Konstruktion deutlich eingeschränkt. Dies kann dazu geführt haben, dass hier die Differenz zwischen den Betrachtungsmodalitäten wesentlich größer ausfiel.

Die Hypothese 1b, die besagt, dass die Reaktionszeiten mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller ansteigen, als unter der 3D-Bedingung, kann nicht bestätigt werden. Die Differenz zwischen den beiden Modalitäten bleibt vom großen bis hin zum kleinen Tiefenabstand konstant.

Auch der ursprünglich erwartete Effekt, dass die Probanden, die die Bilderserie in 3D gesehen haben, das anschließende dreidimensionale Reaktionszeitexperiment schneller lösen können als die Versuchspersonen, die die Bilderserie in 2D gesehen haben, wurde nicht aufgefunden. Daraus lässt sich schließen, dass die Trainingsdurchgänge, die ungefähr zwei Minuten dauern und direkt vor dem eigentlichen Lokalisationsexperiment durchgeführt wurden, ausreichen, um die Probanden mit dem dreidimensionalen Sehen am Bildschirm vertraut zu machen. Dieses Ergebnis stimmt auch mit der Literatur überein, in der allerdings nicht genau quantifiziert wird, nach welcher Zeit der Lerneffekt eintritt, sondern nur erwähnt wird, dass er sich schon nach kurzer Zeit entwickelt (Dodwell, 1970).

### ***Diskussion der Fehlerhäufigkeiten***

Auch bei der zweiten abhängigen Variable, den Fehlern, konnte die Voraussetzung 2 bestätigt werden. Die Variation der Schwierigkeit der Lokisationsaufgabe führte dazu, dass die Fehler vom großen bis hin zum kleinen Tiefenabstand kontinuierlich anstiegen.

Hypothese 2a konnte ebenfalls verifiziert werden. Unter der 3D-Bedingung wurden signifikant weniger Fehler gemacht als unter der 2D-Bedingung. Dieses Ergebnis spiegelte sich auch in den einzelnen Schwierigkeitsstufen wieder. An dieser Stelle soll noch einmal herausgestellt werden, dass Versuchspersonen mit Hilfe der Linsenrasterscheibe im Mittel 11,39% weniger Fehler begangen als unter der 2D-Bedingung. Auf die daraus ableitbaren Konsequenzen wird in der abschließenden Diskussion noch einmal Bezug genommen.

Obwohl die Hypothese 2b statistisch nicht abgesichert wurde, konnte deskriptiv doch ein Trend in Richtung der Hypothese festgestellt werden. Während vom großen bis zum mittleren Tiefenabstand die Differenz der Fehler zwischen den beiden Dimensionen zunimmt, bleibt der Unterschied in den Fehlern vom mittleren bis zum kleinen Tiefenabstand konstant. Betrachtet man hingegen den großen und den kleinen Abstand, so wird statistisch signifikant, dass die Fehleranzahl mit der Schwierigkeit der Aufgabe in der 2D-Bedingung schneller ansteigt als in der 3D-Bedingung. Da dieses



Muster sich aber nicht vom großen über den mittleren bis hin zum kleinen Abstand fortsetzt, gilt die Hypothese 2b als nicht bestätigt.

Um den Vorwurf auszuschließen, die Probanden hätten unter der 2D-Bedingung nur geraten, da sie mit dem bloßen Auge nicht mehr erkennen konnten, welche Kugel am weitesten vorne war, können die Fehlerprozentwerte herangezogen werden. Der Fehlerprozentwert betrug bei der zweidimensionalen Betrachtung 18,61%. Hätten die Probanden aber rein nach dem Prinzip des Zufalls geantwortet, läge der Fehlerprozentwert bei 50%. Diese deutliche Differenz lässt darauf schließen, dass die Probanden in den meisten Fällen die richtige Kugel markierten und nicht nach dem Zufall antworteten.

### ***Diskussion des Nachbefragungsbogens***

Wie beim ersten Experiment gaben die Versuchspersonen auch beim zweiten an, dass es ihnen unter der 3D-Bedingung leichter fiel, die vorderste Kugel zu markieren. Das Ergebnis, dass die Probanden mit Hilfe der Linsenrasterscheibe die Lokalisationsaufgabe als leichter empfanden, stimmt hier auch mit den objektiven Ergebnissen überein. Die Versuchspersonen konnten unter der 3D-Bedingung nicht nur wesentlich schneller die Aufgabe lösen, sondern sie machten auch signifikant weniger Fehler.

Ein interessanter Wechsel vom ersten zum zweiten Experiment stellte sich hingegen bei der zweiten Frage des Nachbefragungsbogens ein. Diesmal empfanden sie das Experiment unter der 3D-Bedingung auch angenehmer für ihre Augen als unter der 2D-Bedingung. Der Wechsel der psychologischen Befindlichkeit vom ersten zum zweiten Experiment kann durch zwei Aspekte ausgelöst worden sein. Zum einen kann die Konstruktion, die eine Anlehnmöglichkeit für die Stirn bot und somit die Kopfbewegungen verringerte, dafür verantwortlich sein, dass das zweite Experiment mit der Linsenrasterscheibe als angenehmer für die Augen eingestuft wurde als das erste Experiment. Ohne sich auf seine eigene Körperhaltung konzentrieren zu müssen, konnte immer die optimale Position eingehalten werden. Auf der anderen Seite kann auch die

geringere binokulare Disparität dafür verantwortlich sein, dass im zweiten Experiment die 3D-Bedingung als angenehmer empfunden wurde. Dadurch, dass die dargestellte Querdissipation beim zweiten Experiment geringer ist als beim ersten, fällt auch der Konflikt zwischen Akkomodation und Konvergenz geringer aus. Somit können die Probanden die Einzelbilder besser zu einem Bild fusionieren (vgl. Bach, 1999). Leider sind diese beiden Aspekte konfundiert, so dass man nicht genau sagen kann, welcher für die Veränderung der Befindlichkeit zuständig ist. Aufgrund der Literatur (siehe zum Beispiel Bach, 1999; Falter et al. 1994; Holliman, 2003) deutet aber vieles darauf hin, dass das angenehmere Empfinden eher auf die geringere Entkopplung der beiden physiologischen Mechanismen zurückzuführen ist als auf die Anlehnmöglichkeit für die Stirn.

Die dritte Frage des Nachbefragungsbogens bezog sich auf den räumlichen Eindruck der dargebotenen Bilder während des Experiments. Hier wurde ganz deutlich, dass der räumliche Eindruck unter der 3D-Bedingung wesentlich höher eingeschätzt wurde als unter der 2D-Bedingung.

Da bei der 3D-Bedingung im Gegensatz zur 2D-Bedingung eine weitere Dimension hinzugekommen ist, entsprechen die Ergebnisse den Erwartungen. Durch die dritte Dimension soll es den Versuchspersonen erleichtert werden, sich im Raum zu orientieren. Da diese Art der Wahrnehmung auch der natürlichen Wahrnehmung sehr nahe kommt und mehr Tiefeninformationen enthält als die reine zweidimensionale Darstellung, wird somit auch der räumliche Eindruck verbessert.

Vergleicht man den räumlichen Eindruck, der während des Experiments bei einem Mittelwert von 7,65 lag, mit den Ergebnissen von Falter et al. (1994), bei denen diese Frage mit 7,7 beantwortet wurde, so wird deutlich, dass zwischen der Linsenrasterscheibe und der bei Falter et al. (1994) benutzten Shutterbrille, bezüglich der räumlichen Wahrnehmung, keine gravierenden Unterschiede zu bestehen scheinen.

Die letzte Frage, die sich darauf bezog, ob man sich vorstellen könne, mehrere Stunden pro Tag mit der Scheibe zu arbeiten, wurde im Mittel mit 4,65 beantwortet. Obwohl das Ergebnis nicht sonderlich hoch erscheint, ist es doch mehr als doppelt so hoch wie das Ergebnis, das Falter et al. 1994 in einer Untersuchung mit einer Shutterbrille erreichte. Aus diesem Ergebnis kann man nicht schlussfolgern, dass die

Linsenrasterscheibe besser als die Shutterbrille ist, da die durchgeführten Experimente nicht miteinander vergleichbar sind. Allerdings lässt sich daraus ableiten, dass eventuell gravierende Unterschiede zwischen den verschiedenen dreidimensionalen Systemen bestehen. Dies könnte sich zum Beispiel im Komfort äußern. Aus diesem Grund sollten bei zukünftigen Untersuchungen auch die Unterschiede zwischen den 3D-Systemen nicht vernachlässigt werden.

## **5. Empirischer Teil: Experiment 3**

## 5.1 Methode

Im dritten Experiment stand die Messung der subjektiven Befindlichkeiten im Vordergrund. Dieses Experiment stellte keine eigenständige Untersuchung dar, sondern bezog sich auf eine Variation, die im zweiten Experiment aus darstellungstechnischen Gründen noch nicht erwähnt wurde. Die getesteten Versuchspersonen waren somit in Experiment zwei und drei die gleichen.

### *Versuchsdurchführung*

Zu Beginn von Experiment 2 füllten die Versuchspersonen die Befindlichkeitsskalen (BFS) von Abele-Brehm und Brehm (1986) aus. Die Bearbeitungszeit des zweiseitigen Fragebogens lag ungefähr bei 3-5 Minuten. Anschließend schauten sich die Probanden eine 10-minütige Bilderserie entweder in 2D oder in 3D an. Nach der Bilderserie wurden die Versuchspersonen noch einmal gebeten, die BFS auszufüllen. Insgesamt dauerte dieser Teil des Experiments circa 20 Minuten.

### *Reizmaterial*

Das Bildmaterial, das den Probanden präsentiert wurde, bestand hauptsächlich aus farbenfrohen Unterwasseraufnahmen und abwechslungsreichen Landschaftsbilder. Die Abfolge der Bilder war unter der 2D- und unter der 3D-Bedingung identisch. Der einzige Unterschied bestand somit in der Dimensionalität der Darstellung.

### *Versuchsplan*

Da die Veränderungen, die sich aus der Differenz zwischen der ersten und der zweiten Messung ergeben, auch durch die wiederholte Erhebung zustande gekommen sein können, ist es wichtig, das Experiment nicht nur unter der 3D-Bedingung

durchzuführen, sondern mit der 2D-Bedingung eine Art Kontrollgruppe zu haben. Durch die zufällige Zuordnung zu den beiden experimentellen Bedingungen ist auch eine hinreichende Vergleichbarkeit der Gruppen gegeben. Insgesamt bestand somit das Untersuchungsdesign aus einem Pretest- Posttest- Plan mit randomisierter Experimental- und Kontrollgruppe.

### ***Eingesetzter Fragebogen***

Zur Erfassung des aktuellen psychophysischen Befindens wurde die standardisierte Befindlichkeitsskala von Abele-Brehm und Brehm (1986) eingesetzt, die eine ökonomische Erhebung der erlebten Beanspruchung einer Person ermöglicht.

Die BFS ist ein mehrdimensionales Verfahren zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit, auf der Basis der zwei bipolaren Grunddimensionen „Spannung“ und „Bewertung“. Im folgenden Ergebnisteil wird die Faktorenstruktur des Fragebogens nicht noch einmal überprüft, da die Grundvoraussetzung für eine Faktorenanalyse nach Bortz und Döring (2002) lautet, dass die Anzahl der Versuchspersonen deutlich größer sein sollte als die Anzahl der Variablen. Nach Guadagnoli und Velicer (1988) sollte für eine generalisierende Interpretation einer Faktorenstruktur ein Stichprobenumfang von 150 Personen vorhanden sein, wenn auf jeden zu erwartenden Faktor 10 oder mehr Variablen entfallen. Da die BFS aus 40 Adjektiven zur Selbstbeschreibung des augenblicklichen psychophysischen Zustandes besteht, die sich auf die beiden Grunddimensionen verteilen und die Stichprobe sich bei diesem Experiment aus 40 Probanden zusammensetzt, ist somit die geforderte Bedingung nicht erfüllt. Aus diesem Grund stützen sich die Auswertung und die Interpretation des Fragebogens auf die bestehenden Faktorenanalysen von Abele-Brehm und Brehm (1986)<sup>1</sup>.

Die Adjektive der BFS erfassen acht Dimensionen. Dabei lassen sich die Dimensionen Ruhe, Aktiviertheit und gehobene Stimmung dem positiven Pol und die Dimensionen Ärger, Deprimiertheit, Erregtheit und Energielosigkeit dem negativen Pol zuordnen. Die Skala Besinnlichkeit ist laut Abele-Brehm und Brehm (1986) als Neutralskala anzusehen, die aber im Vergleich zur theoretischen Konzeptualisierung eher im negativen Bewertungsbereich lokalisiert ist.

<sup>1</sup> Durchgeführte Itemanalysen sind dem Anhang H zu entnehmen.

Bei der hier durchgeführten Untersuchung wurde nicht die zweistufige, sondern die fünfstufige Likertskala von 1 „trifft überhaupt nicht zu“ bis 5 „trifft voll und ganz zu“ eingesetzt. Der verwendete Fragebogen ist im Anhang G aufzufinden.

Kreuzt eine Versuchsperson überwiegend positiv besetzte Items mit „gut“ oder „sehr gut“ an, so entsteht graphisch bei geeigneter Sortierung, ein so genanntes Eisbergprofil. Die Idee, die Ergebnisse mithilfe eines Eisbergprofils darzustellen, gab es auch schon bei dem Befindlichkeitstest „Profile of Mood States“ (POMS) von McNair, Lorr und Droppelman (1971). Allerdings nutzte erst Morgen (1985) als erster Forscher die Darstellung von Befindlichkeitsveränderungen mit Hilfe des Eisbergprofils.

Beim Ausfüllen des Fragebogens vor und nach der Intervention, kann so gut dargestellt werden, ob sich das Befinden verändert hat. Positive Befindlichkeitsveränderungen müssten sich demnach in der Weise zeigen, dass nach Betrachten der Bilderserie höhere Skalenwerte auf den drei Dimensionen der Ruhe, Aktiviertheit und der gehobenen Stimmung eintreten. Auf der anderen Seite müssten die Werte auf den negativen Befindlichkeitsdimensionen sinken.

## 5.2 Hypothesen

Vor dem Hintergrund, dass die 10-minütige Intervention bei beiden Bedingungen aus neutral bis positiv besetztem Bildmaterial besteht und sich die Gruppen nur durch die Dimensionalität der Darstellung unterscheiden, lassen sich folgende Hypothesen ableiten.

**Hypothese 3:** a. Aufgrund des Bildmaterials wird erwartet, dass sich bei beiden Bedingungen die Werte in den positiv besetzten Skalen verbessern und die der negativ besetzten Skalen verringern.

Die Gruppe, die die Bilderserie in 3D sieht, hat gegenüber der anderen Gruppe den Vorteil, dass in den präsentierten Bildern nicht nur zusätzlich die Information der binokularen Disparität enthalten ist, sondern das Bildmaterial auch eine höhere visuelle Natürlichkeit aufweist. Durch diese zusätzlichen Tiefeninformationen, die höhere visuelle Natürlichkeit der Bilder und auch die Neuartigkeit der Präsentation, wird folgender Unterschied zwischen den beiden Gruppen erwartet.

**Hypothese 3:** b. Die postulierten Veränderungen sind unter der 3D-Bedingung stärker ausgeprägt als unter der 2D-Bedingung.

Bevor allerdings die Hypothesen überprüft werden können, muss sichergestellt werden, ob von gleichen Anfangsbedingungen ausgegangen werden kann. Die Erfüllung der folgenden Voraussetzung ist dafür notwendig.

**Voraussetzung 3:** Die Vortestergebnisse der Fragebogenuntersuchung für die beiden Gruppen, die anschließend die Bilderserie in 2D oder in 3D gesehen haben, weichen nicht signifikant voneinander ab.



### 5.3 Ergebnisse

#### *Ergebnisse der Befindlichkeitsskalen*

Da in dieser Untersuchung mit zwei unabhängigen Gruppen (Bilderserie in 3D gesehen vs. Bilderserie in 2D betrachtet) gearbeitet wurde, muss zunächst überprüft werden, ob die Fragebogenergebnisse der ersten Messung dieser Gruppen nicht signifikant voneinander abweichen (Voraussetzung 3). Um diesen Sachverhalt zu überprüfen, wurde eine Varianzanalyse für unabhängige Gruppen durchgeführt. Das Ergebnis der Varianzanalyse zeigt, dass sich die Ausprägungen auf den einzelnen Subskalen in den beiden Versuchsbedingungen nicht signifikant voneinander unterscheiden. Bis auf die Skala Besinnlichkeit [ $F(1, 38) = 2.521, p = .121$ ] sind alle  $F < 1.75$  und alle  $p > .19$ . Diese Ergebnisse zeigen auf, dass die beiden Vortestergebnisse der Fragebogenuntersuchung nicht signifikant voneinander abweichen.

Um festzustellen, ob sich aufgrund des präsentierten Bildmaterials die Werte in den positiven Skalen verbessern und die der negativen Skalen verringern (Hypothese 3a), wurden zuerst, getrennt für beide Gruppen, „Vorher-Nachher-Vergleiche“ dargestellt.

Auf der Ordinate sind die mittleren Summenwerte pro Befindlichkeitsdimension in Prozent vom maximalen Skalenwert, der jeweils 20 beträgt, abgetragen und auf der Abszisse sind die einzelnen Befindlichkeitsskalen dargestellt (siehe Abbildung 5-1).

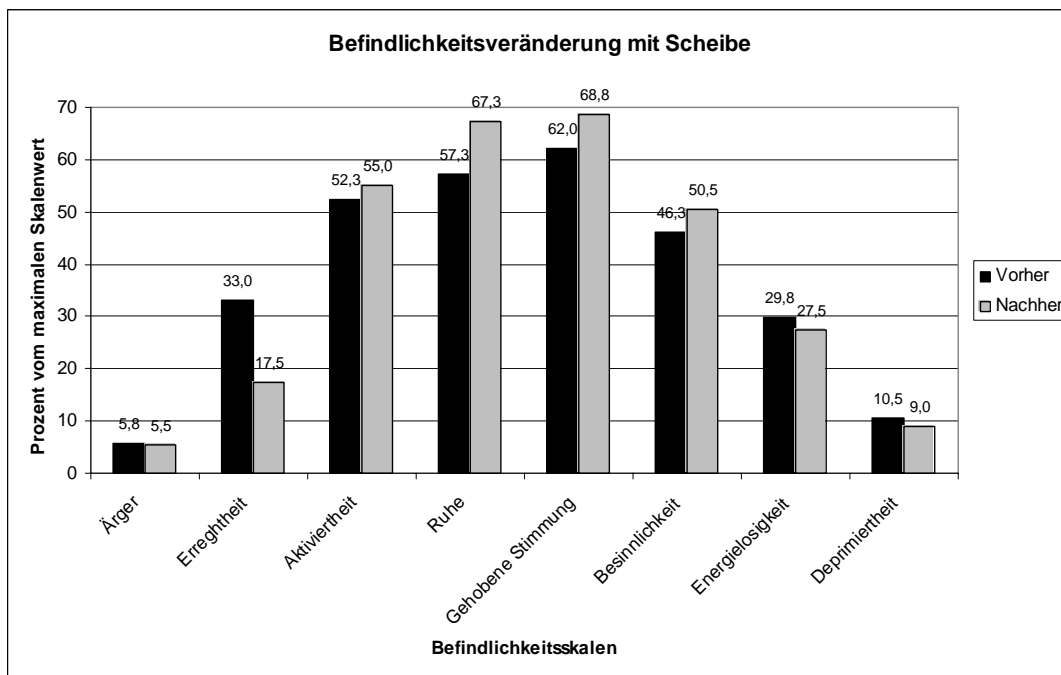


Abbildung 5-1: Durchschnittliche Veränderungen der Befindlichkeiten vor und nach der Betrachtung der Bilderserie in 3D.

Bei den Versuchspersonen, die die Bilderserie in 3D gesehen haben fällt auf, dass sich die positiven Dimensionen Aktiviertheit, Ruhe und gehobene Stimmung nach der Intervention ausnahmslos verbessert haben. Bei den negativen Befindlichkeitsdimensionen Ärger, Erregtheit, Energielosigkeit und Deprimiertheit ist hingegen ein Absinken zu erkennen, welches bei der Skala Erregtheit am deutlichsten sichtbar wird. Bei der Skala Besinnlichkeit, die keinem der beiden Pole zugeordnet werden kann, kann eine positive Veränderung verzeichnet werden.

Bei den Probanden, die sich die Bilderserie hingegen in 2D angesehen haben, sieht das Datenmuster anders aus (Abbildung 5-2).

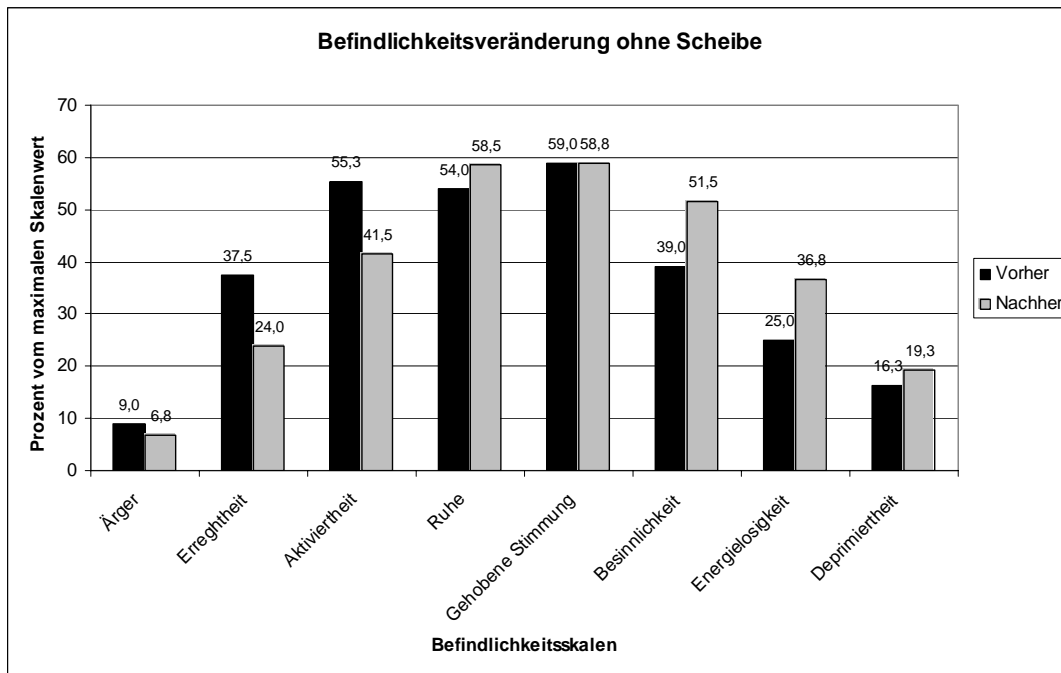


Abbildung 5-2: Durchschnittliche Veränderungen der Befindlichkeiten vor und nach der Betrachtung der Bilderserie in 2D.

Bei den positiven Dimensionen gibt es nur bei der Skala Ruhe einen Anstieg. Bei der Skala gehobene Stimmung ist eine geringe Veränderung sichtbar und bei der Aktiviertheit ist sogar eine negative Veränderung eingetreten. Bei den negativen Dimensionen ist bei den Skalen Ärger und Erregtheit die erwünschte Senkung der Befindlichkeit eingetreten. Die Skalen Energielosigkeit und Deprimiertheit haben sogar einen Anstieg zu verzeichnen. Die Skala Besinnlichkeit weist auch hier einen Anstieg auf.

Im Anschluss daran wurde eine  $2 \times 2 \times 8$  – faktorielle Varianzanalyse durchgeführt, bei der die Faktoren Dimensionalität der Betrachtung (2D vs. 3D), Messzeitpunkt (vorher vs. nachher) und die acht Befindlichkeitsskalen Berücksichtigung fanden.

Der Hauptfaktor Messzeitpunkt erlangt keine statistische Signifikanz [ $F(1, 38) = 0.416$ ,  $p = .523$ ,  $\eta^2 = .011$ ]. Demnach gibt es über die Bedingungen hinweg keine generellen Unterschiede zwischen der ersten und der zweiten Messung. Die Veränderungen in den Subskalen über die zwei Messzeitpunkte hinweg erreichen hingegen eine statistische Bedeutsamkeit [ $F(7, 266) = 8.855$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .189$ ].

Interessant ist an dieser Stelle, dass diese Interaktion auch durch die Dimensionalität der Betrachtung variiert wird [ $F(7, 266) = 3.584, p = .012, \eta^2 = .086$ ]. Das heißt, die Subskalen verändern sich nicht nur von der ersten zur zweiten Messung, sondern sie verändern sich auch in Abhängigkeit von der Dimensionalität der Betrachtung unterschiedlich.

Um die Unterschiede auf Gruppenebene genauer zu betrachten, werden im Folgenden die Differenzen der Befindlichkeitsdimensionen zwischen erster und zweiter Messung graphisch veranschaulicht und  $t$ -Tests für die einzelnen Subskalen berechnet. In Abbildung 5-3 sind auf der x-Achse die Befindlichkeitsdimensionen dargestellt und auf der y-Achse ist die Differenz der Prozentpunkte zwischen dem Nachtest und dem Vortest abgetragen. Veränderungen die in den positiven Bereich gehen, stehen somit für eine Zunahme der Befindlichkeit auf der jeweiligen Dimension und Veränderungen in den negativen Bereich stehen für eine Abnahme.

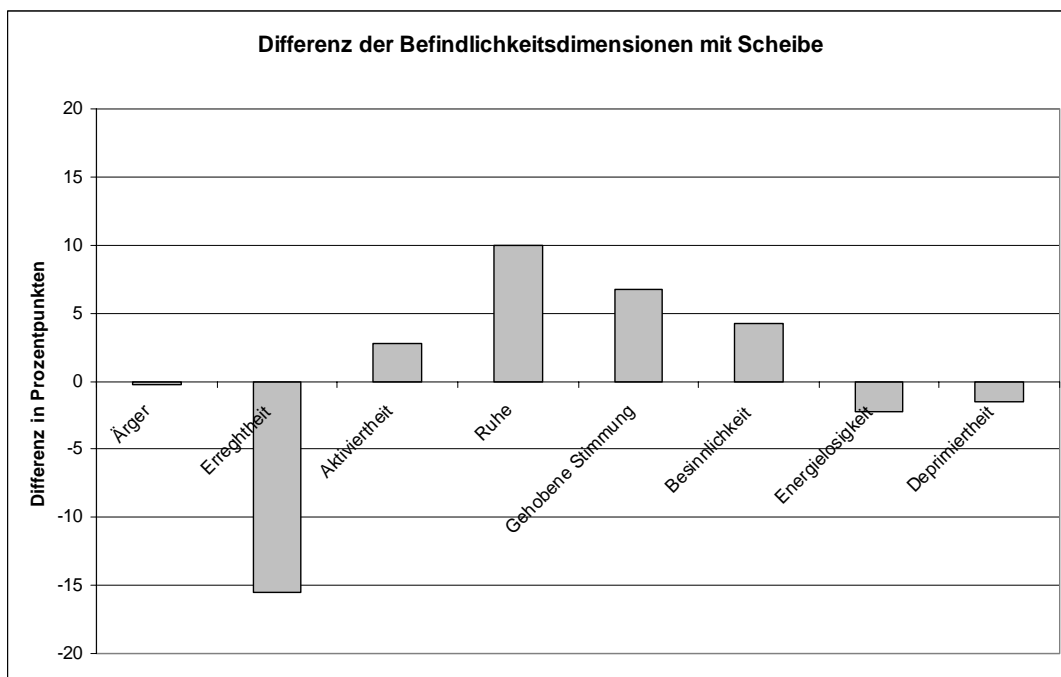


Abbildung 5-3: Differenz der Befindlichkeitsdimensionen, bei der Gruppe, die die Bilderserie in 3D gesehen hat.

In der Gruppe, in der die Versuchspersonen die Bilderserie in 3D gesehen haben, steigen die positiven Dimensionen Ruhe [ $t(19) = -2.617, p = .017, \eta^2 = .265$ ] und gehobene Stimmung [ $t(19) = -2.052, p = .054, \eta^2 = .181$ ] signifikant an und die

negative Dimension Erregtheit sinkt signifikant ab [ $t(19) = 3.538, p = .002, \eta^2 = .397$ ]. Alle anderen Veränderungen entsprechen den Erwartungen, sind aber nicht signifikant geworden. Nach Durchführung der Bonferroni Korrektur, bei der sich das  $\alpha$ -Risiko auf 0,006 verkleinert, wird kein Vergleich mehr signifikant. Allerdings sei an dieser Stelle angemerkt, dass der Bonferroni Test bei acht Paarvergleichen ein sehr konservatives Verfahren ist (Bortz, 1999, S. 261).

Bei den Probanden, die die Bilderserie in 2D gesehen haben (Abbildung 5-4), gibt es bezüglich der positiven Dimensionen nicht nur keine signifikanten Verbesserungen, sondern die positive Skala Aktiviertheit sinkt nach Betrachtung der Bilderserie auch noch signifikant ab [ $t(19) = 5.164, p < .001, \eta^2 = .584$ ].

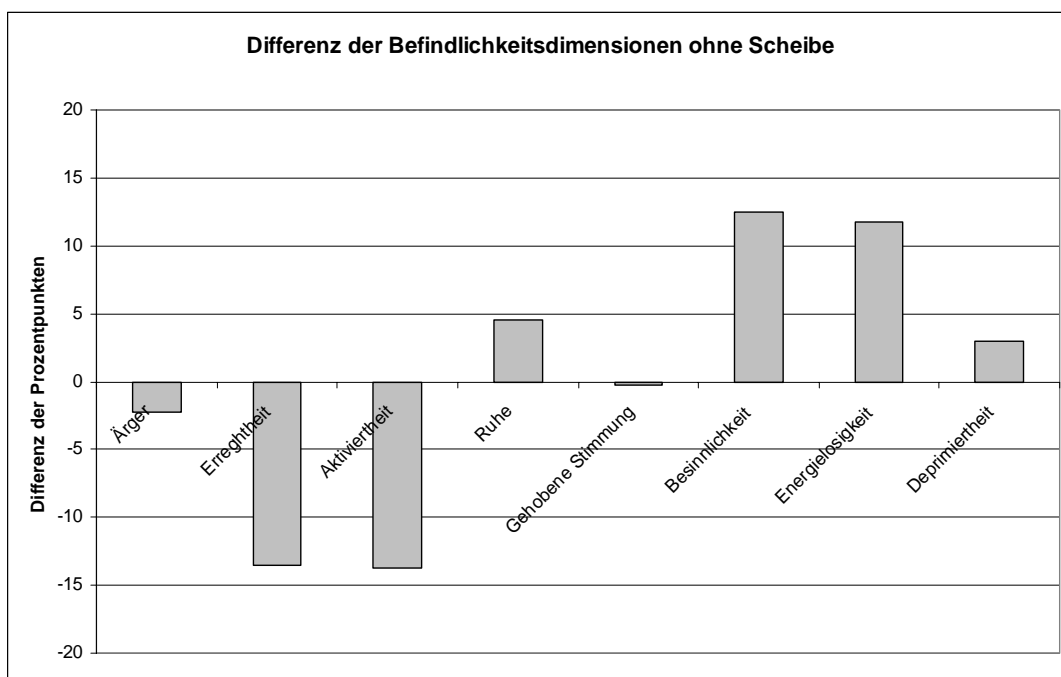


Abbildung 5-4: Differenz der Befindlichkeitsdimensionen, bei der Gruppe, die die Bilderserie in 2D gesehen hat.

Bei den negativen Dimensionen sinkt die Skala Erregtheit statistisch bedeutsam ab [ $t(19) = 2.914, p = .009, \eta^2 = .309$ ]. Auf der anderen Seite verzeichnet die negative Skala Energielosigkeit sogar eine signifikante Zunahme [ $t(19) = -2.208, p = .040, \eta^2 = .204$ ]. Auch die neutrale Skala Besinnlichkeit ist signifikant [ $t(19) = -4.756, p < .001, \eta^2 = .543$ ]. Alle anderen Veränderungen erlangen keine statistische Bedeutsamkeit.

Nach Korrektur der  $\alpha$ -Fehler Inflation auf  $\alpha = 0,006$  erreichen nur noch die Skalen Aktiviertheit und Besinnlichkeit eine statistische Relevanz.

Um die Hypothese 3b zu überprüfen, dass die Veränderungen unter der 3D-Bedingung stärker ausgeprägt sind als unter der 2D-Bedingung, wurden zuerst die Einzelskalen für den positiven und den negativen Pol zusammengefasst und anschließend Mittelwerte berechnet. Die Skalen reduzieren sich somit auf zwei verschiedene Pole. Dabei setzt sich der positive Pol aus den Dimensionen Ruhe, Aktiviertheit und gehobene Stimmung zusammen und der negative Pol basiert auf den Dimensionen Ärger, Erregtheit, Energielosigkeit und Deprimiertheit. Während beim positiven Pol eine Zunahme von der ersten zur zweiten Messung erwünscht ist, sollte beim negativen Pol eine Abnahme der negativen Befindlichkeiten zu verzeichnen sein. Die Ergebnisse werden in Abbildung 5-5 graphisch veranschaulicht.

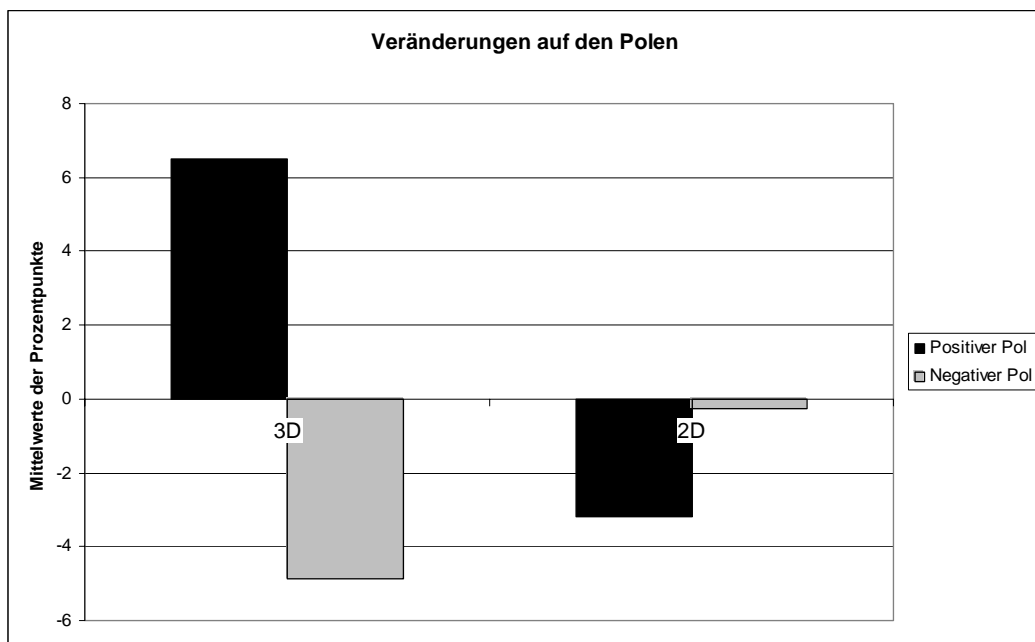


Abbildung 5-5: Darstellung der Veränderungen auf dem positiven und dem negativen Pol für die 3D- und die 2D-Bedingung.

Betrachtet man die Ergebnisse, so wird deutlich, dass bei den Versuchspersonen, die die Bilderserie in 3D gesehen haben, eine deutliche Steigerung von im Mittel 6,5%

auf dem positiven Pol von der ersten zur zweiten Messung zu erkennen ist. Auf dem negativen Pol kommt es bei diesen Probanden zu einer Abnahme von -4,88%.

Bei den Probanden, die die Bilderserie in 2D gesehen haben, kommt es hingegen sowohl beim positiven Pol (Mittelwert: -3,17), als auch beim negativen Pol (Mittelwert: -0,25) zu einer Abnahme in den Befindlichkeitsdimensionen. An dieser Stelle soll noch erwähnt werden, dass die Abnahme beim positiven Pol wesentlich größer ausgeprägt ist als die beim negativen Pol.

In anschließenden *t*-Tests konnte festgestellt werden, dass sich die Veränderungen beim positiven Pol zwischen den beiden Gruppen signifikant unterscheiden [ $t(38) = 2.734, p = .009$ ]. Demnach haben die Probanden, die das Bildmaterial dreidimensional betrachtet haben, bei der zweiten Messung eine wesentlich höhere Ausprägung auf den positiven Befindlichkeitsdimensionen als die Versuchspersonen, die die Bilder zweidimensional gesehen haben. Beim negativen Pol ist zwar deskriptiv auch eine Differenzierung zu erkennen, die aber statistisch nicht signifikant ist [ $t(38) = -1,439, p = .158$ ]. Auch nach der Bonferroni Korrektur bleibt das Ergebnis beim positiven Pol signifikant.

## 5.4 Diskussion

### *Diskussion der Befindlichkeitsveränderungen*

Die Überprüfung der Voraussetzung 3 ergab, dass es keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in der Beantwortung der Fragebögen vor der Intervention gab. In Anbetracht dieses Ergebnisses kann davon ausgegangen werden, dass Veränderungen zwischen den beiden Gruppen, die sich die Bilderserie entweder in 2D oder in 3D angesehen haben, nur auf die Dimensionalität der Betrachtung zurückgeführt werden kann. Wenn sich die Ergebnisse der Gruppen schon zum ersten Messzeitpunkt unterschieden hätten, dürfte diese Schlussfolgerung nicht gezogen werden.

Die Hypothese 3a, dass sich allein durch die Betrachtung des Bildmaterials die Werte in den positiven Befindlichkeitsskalen erhöhen und sich die Werte in den negativen Skalen verringern, konnte nicht bestätigt werden. Diese postulierten Veränderungen traten nämlich nicht in beiden Bedingungen auf, sondern nur bei der 3D-Bildbetrachtung. Hier konnte nachgewiesen werden, dass sich zwei der drei positiven Skalen deutlich verbesserten und sich eine negativ besetzte Skala wesentlich verringerte. Obwohl die anderen Skalen keine markanten Veränderungen aufwiesen, gingen auch diese in Richtung der formulierten Hypothese. Die positiven Veränderungen auf der Skala Ruhe und gehobene Stimmung sprechen somit dafür, dass sich die Versuchspersonen nach der 3D-Bilderserie auf der einen Seite entspannter und gelassener fühlten und auf der anderen Seite ihre Stimmung als freudiger und angenehmer beschrieben. Darüber hinaus fühlten sie sich nach der Intervention weniger nervös und verkrampt, welches aus der negativen Veränderung der Skala Erregtheit abgeleitet werden kann.

Die gleiche Veränderung auf der Skala Erregtheit wurde auch bei der 2D-Bilderserie signifikant. Da diese Variation bei beiden Bedingungen auftrat, kann sie auch durch die allgemeine Versuchsbedingung erklärt werden. Die Probanden könnten vor der Durchführung des Experiments relativ aufgeregt gewesen sein, da sie nicht



genau wussten, was sie erwarten würde und zum zweiten Messzeitpunkt erleichtert sein, da der Versuch weder eine körperliche noch geistige Herausforderung darstellte.

Die signifikant negativen Veränderungen, nach Betrachten der 2D-Bilderserie, auf der positiven Skala Aktiviertheit, geht mit dem Empfinden von weniger Energie und Aktiviertheit einher. Die positive Veränderung auf der negativen Skala Energielosigkeit drückt sich hingegen dadurch aus, dass sich die Probanden nach der Intervention als lascher und energieloser beschreiben als vor der Betrachtung.

Um nicht nur auf Skalenebene zu überprüfen, ob die Veränderungen unter der 3D-Bedingung stärker ausgeprägt sind als unter der 2D-Bedingung (Hypothese 3b), wurden die einzelnen Skalen zu einem arithmetischen Mittel des positiven und des negativen Pols aggregiert.

Der positive Pol, der sich aus den Dimensionen Ruhe, Aktiviertheit und gehobene Stimmung zusammensetzt, konnte nach der 3D-Bilderserie eine deutliche Steigerung von 6,5% verzeichnen. Im Gegensatz dazu kam es bei den Probanden, die die Bilderserie in 2D gesehen haben, zu einer Abnahme von im Mittel -3,17%. Diese signifikante, unterschiedliche Veränderung in den beiden Gruppen, vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt, weist ganz eindeutig einen Vorteil zugunsten der dreidimensionalen Betrachtung auf. Nachdem die Bilderserie in 3D gesehen wurde, fühlten sich die Versuchspersonen im Durchschnitt frischer, entspannter und besser gelaunt.

Bezüglich des negativen Pols, der sich aus den Skalen Ärger, Erregtheit, Energielosigkeit und Deprimiertheit zusammensetzt, kam es bei beiden Probandengruppen zu der postulierten Abnahme der Befindlichkeit. Allerdings konnte unter der 3D-Bedingung eine stärkere Abnahme aufgezeigt werden, als unter der 2D-Bedingung. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten wurde statistisch aber nicht signifikant.

Angesichts der Tatsache, dass beide Interventionen aus den gleichen Bildern bestanden und sich nur durch die Dimensionalität der Betrachtung unterschieden, bleibt als Erklärungsgrundlage für das Datenmuster nur die unterschiedliche Dimensionalität.

Da bei der 2D-Bilderserie die zusätzliche Information der binokularen Disparität fehlt, könnte dies ein wesentliches Merkmal sein, warum die 10-minütige Betrachtung unterschiedlicher Bilder von den Versuchspersonen eher als langweilig und energieraubend betrachtet wird. Präsentiert man die gleichen Bilder mit der Linsenrasterscheibe, so können sie dreidimensional dargestellt werden. Somit tauchen die Objekte vor, beziehungsweise hinter der Darstellungsebene auf und erscheinen für den Betrachter wesentlich lebendiger. Durch die dadurch entstehende höhere visuelle Natürlichkeit, und auch nicht zu vernachlässigen, die Neuartigkeit der Bildpräsentation, konnte das Wohlbefinden der Betrachter deutlich verbessert werden.

Um den Sachverhalt zu klären, ob die Verbesserung der aktuellen Befindlichkeit der Probanden wirklich auf der höheren visuellen Natürlichkeit, der Neuartigkeit der Betrachtung oder auf einem Zusammenspiel von beiden Aspekten beruht, müssen weitere Untersuchungen folgen. Meiner Meinung nach bieten sich hier entweder Langzeituntersuchungen an, oder um die Zeitperspektive zu verkürzen, könnte auch ein Nachbefragungsbogen konstruiert werden. Würde in Langzeituntersuchungen aufgezeigt werden können, dass das aktuelle Wohlbefinden bei der 3D-Betrachtung trotz bereits eingetretener Normalität dieser Bildschirmpräsentation über der 2D-Betrachtung liegen, dann spräche das für das Argument der höheren visuellen Natürlichkeit. Würden hier aber keine Unterschiede mehr sichtbar sein, dann läge die Erhöhung der aktuellen Befindlichkeit eher an der Neuartigkeit der Darstellung.

## **6. Abschließende Diskussion**

Das Ziel dieser Dissertation war es, mit Hilfe von drei Experimenten herauszufinden, ob es quantifizierbare Unterschiede zwischen der zweidimensionalen Wahrnehmung am konventionellen Computerdisplay und der dreidimensionalen Wahrnehmung mittels Linsenrasterscheibe gibt. Die Evaluationskriterien, anhand derer die Bewertung vorgenommen wurde, bezogen sich auf die Wahrnehmungsgenauigkeit, die Schnelligkeit und die subjektive Befindlichkeit der Probanden.

Mit Hilfe der ersten beiden Experimente konnte herausgestellt werden, dass durch die Betrachtung von Bildmaterial mittels Linsenrasterscheibe gegenüber konventionellen Displays, grundlegende Wahrnehmungsleistungen positiv beeinflusst werden. Die Unterschiede zwischen den Systemen wurden dabei gerade beim kleineren Tiefenabstand zwischen den zu beurteilenden Objekten deutlich. In diesen schwierigeren Wahrnehmungssituationen führt die zusätzliche Information der binokularen Disparität zu deutlich besseren Wahrnehmungsleistungen. Die Probanden benötigten unter der 3D-Bedingung nicht nur weniger Zeit, um die Aufgabe zu lösen, sondern sie machten auch wesentlich weniger Fehler. Darüber hinaus konnte beim dritten Experiment festgestellt werden, dass sich die dreidimensionale Wahrnehmung auch auf die subjektive Befindlichkeit der Probanden positiv auswirkt.

Um allerdings in den Genuss der Vorteile der Linsenrasterscheibe zu gelangen, ist es unabdingbar, sehr sorgfältig bei der Kalibrierung der Scheibe vorzugehen, da schon kleinste Abweichungen zu Verzerrungen führen können (Sun & Forrest, 1992). Hierzu sollten gute Testbilder eingesetzt werden, die eine einfache und genaue Einstellung der Scheibe ermöglichen. Darüber hinaus sollte darauf geachtet werden, dass die binokulare Disparität laut Bach (1999) bei einer Monitorentfernung von 50cm, einen Zentimeter nicht wesentlich überschreitet, um eventuell auftretenden Kopf- und Augenschmerzen vorzubeugen. Damit wird der Bereich des dreidimensionalen Sehens auf einen gewissen Bereich vor und hinter der Bildelebene beschränkt (vgl. Holliman, 2003). Das ist besonders dann wichtig, wenn man pro Tag mehrere Stunden mit der Scheibe arbeiten möchte. Diese ergonomische Anpassung sollte ein vorzeitiges Ermüden der Augen verhindern. Der Mensch ist zwar in der Lage auch Bilder mit einer größeren Disparität wahrzunehmen, da aber auch beim normalen Bildschirmarbeitsplatz vor allem die Augen beansprucht werden, sollte hier keine Überforderung der Augen ausgelöst

werden. Der Akkomodations- Konvergenzkonflikt, der sich dadurch ergibt, dass bei der technisch erzeugten Tiefenwahrnehmung das Auge darüber hinweg getäuscht wird, dass es auf der Monitorfläche fixiert bleibt, kann durch die geringere binokulare Disparität deutlich abgemildert werden. Somit kann sich der Betrachter leichter an die Trennung von Akkomodations- und Konvergenzebene gewöhnen. Wird die Linsenrasterscheibe hingegen nur partiell eingesetzt, um zum Beispiel einzelne Objekte dreidimensional darzustellen, kann die binokulare Disparität vergrößert werden. Laut Jones et al. (2001) haben die meisten Probanden bei einer wahrgenommenen Tiefe von 2cm vor oder 5cm hinter dem Bildschirm eine komfortable 3D-Sicht.

Aufgrund der Eigenschaft, dass die Linsenrasterscheibe eine Möglichkeit der Informationsaufnahme bietet, die der natürlichen menschlichen Wahrnehmung sehr nahe kommt und sie zusätzlich mehr Informationen enthält als ein herkömmliches 2D-Display, sollen im Folgenden konkrete Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, die sich diese Vorteile zunutze machen könnten.

## **6.1 Anwendungsbereiche**

Das Ziel jeder Visualisierung ist die Erzeugung wirksamer und ausdrucksstarker Bilder, die dem Betrachter eine leichtere und genauere Interpretation der Daten erlaubt (Vollbracht, 1997). Obwohl auch monokulare Tiefeninformationen die Wahrnehmung von räumlicher Tiefe ermöglichen, gibt es viele praktische Fälle, wie zum Beispiel bei der Betrachtung von Röntgenbildern, bei denen die monokularen Informationen sehr gering oder sogar abwesend sind (Hsu et al., 1996). Da die monokularen Tiefeninformationen wie die relative Höhe im Gesichtsfeld, gewohnte Größe, atmosphärische Perspektive, lineare Perspektive und der Texturgradient auf einem Röntgenbild fast nicht dargestellt werden können, reduzieren sich die Tiefeninformation auf das Verdecken von Objekten. Die Tiefeninformation, die ein Arzt aus einem normalen Röntgenbild erhält, zeigt nur, dass sich ein Objekt vor einem anderen befindet. Informationen über die Entfernung zwischen diesen Objekten können somit nur geschätzt werden. Bei Röntgenbildern geht somit der plastische Eindruck fast

vollständig verloren. Würde man die Bilder jedoch dreidimensional darstellen, indem auf die Tiefeninformation der binokularen Disparität zurückgegriffen wird, so könnte der verlorene räumliche Eindruck wieder rekonstruiert werden. Da bei einer normalen Röntgenuntersuchung meist mehrere Röntgenaufnahmen aus verschiedenen Einfallswinkeln benötigt werden (Kirchgeorg, 2003), ist das dreidimensionale Bildmaterial, welches sich mindestens aus zwei Perspektiven zusammensetzt, somit auch nicht mit einer erhöhten Strahlenbelastung verbunden. Durch die dreidimensionale Darstellung von Röntgenbildern mit Hilfe der Linsenrasterscheibe treten die dargestellten Objekte aus der flachen Ebene des Bildschirmmonitors heraus und eine plastische Wahrnehmung wird ermöglicht. Diese Visualisierung gestattet dem Arzt eine wesentlich bessere räumliche Orientierung im Körper des Patienten. Gerade auch die Mammographie, die eine spezielle Röntgenuntersuchung der Brust darstellt und der Brustkrebs- Früherkennung dient, könnte dreidimensional dargestellt werden. Da die Heilungschancen umso höher sind, je früher Brustkrebs erkannt wird, sehe ich gerade im Bereich der Tumorfrüherkennung große Potentiale für die Linsenrasterscheibe. An dieser Stelle soll noch einmal herausgestellt werden, dass Versuchspersonen mit Hilfe der Linsenrasterscheibe beim zweiten Experiment im Mittel 11,39% weniger Fehler begangen, als unter der 2D-Bedingung. Diese Ergebnisse können zwar nicht eins zu eins auf die Begutachtung von Röntgenbildern übertragen werden, zeigen aber deutlich auf, dass es den Probanden unter der 3D-Bedingung leichter fiel, sich in dem Bild räumlich zu orientieren.

Da die Systeme, die auf der Linsenrasterscheibe basieren, ohne zusätzliche Betrachtungshilfsmittel auskommen, liegen auch besonders auf dem Gebiet der chirurgischen Eingriffe interessante Einsatzgebiete, da hier nicht noch zusätzlich auf die Keimfreihaltung der Stereobrillen im sterilen OP geachtet werden muss (de lá Barré, 1999). Darüber hinaus werden die bereits existierenden 3D-Brillen von den Anwendern in der Medizin nicht akzeptiert (Krätzschar, 1995). Da bei der Endoskopie oder der minimal invasiven Chirurgie dem Operateur die normale offene räumliche Sicht verloren geht (Van Bergen, Kunert, Bessell & Bueß, 1998; Van Bergen, Kunert & Bueß, 1997), kann mit Hilfe der Linsenrasterscheibe die räumliche Sicht auf Organe und Instrumente wiedergegeben werden. Ein Computerdisplay mit Linsenrasterscheibe und Head Tracker würde die Visualisierung des Operationsgebietes im Gegensatz zur

herkömmlich verwendeten Stereo-Mikroskopie wesentlich vergrößern, ein übersichtlicheres Arbeiten für den Chirurgen ermöglichen und somit die Verletzungsgefahr von Organen für den Patienten verringern. Erste Untersuchungen mit Shutter- oder Polarisationsbrillen haben gezeigt, dass die dreidimensionale Darstellung, insbesondere bei schwierigen Eingriffen, den Umgang mit den dem direkten Blick entzogenen Instrumenten verbessert und die für den Eingriff benötigte Zeit verringert (Becker, 1995; Van Bergen et al., 1997).

Auch in der Medizindidaktik ist es ein zentrales Thema, räumliche Vorstellungen des menschlichen Körpers und seiner Organe bei den zukünftigen Ärzten herauszubilden. Da dies mit zweidimensionalen Atlanten, Hirnschnitten oder selbst seriellen computertomographischen oder MR-Aufnahmen nur mit Mühe gelingt, kommt dem 3D-Display gerade im medizinischen Bereich eine besondere Rolle zu.

Ein weiterer Einsatzbereich liegt in der Kartografie von Landschaftsräumen. Mit Hilfe der Linsenrasterscheibe können diese Landschaftsräume dreidimensional präsentiert werden. Durch die dritte Dimension entsteht ein räumlicher Eindruck, der ein allgemein besseres Verständnis für die dargestellten Landschaften liefern kann. Größenverhältnisse und räumliche Ausdehnungen werden viel deutlicher als auf normalen Karten, da die visuelle Natürlichkeit bei der dreidimensionalen Präsentation wesentlich größer ist als bei der zweidimensionalen.

Im Bereich der Architektur könnten Simulationen oder Visualisationen von geplanten Gebäuden dreidimensional dargestellt werden. Durch den Einsatz der Linsenrasterscheibe kann somit erst die Tiefe der unterschiedlichen Objekte realitätsnah wahrgenommen werden. Der dadurch entstehende räumlich plastische Eindruck kann den Interpretationsprozess enorm erleichtern. Infolgedessen können sich die Kunden zum Beispiel ihr neues Eigenheim wesentlich besser vorstellen.

Auch den Aspekt, dass bei Nutzung der Linsenrasterscheibe eine höhere subjektive Befindlichkeit resultiert (siehe Experiment 3), könnte man sich zum Beispiel im Bereich der Computerspiele und der Werbung zu Nutze machen. Durch die Neuartigkeit der 3D-Darstellung, den höheren Informationsgehalt und die höhere visuelle Natürlichkeit, kann ein gesteigertes aktuelles Wohlbefinden eventuell zu einem vermehrten Interesse beziehungsweise zu einer besseren Identifikation mit dem Produkt beitragen.

Weitere Einsatzgebiete liegen bei der Fahr- und Flugsimulation oder -navigation. Aber auch in anderen Bereichen, wie zum Beispiel der Flugraumüberwachung, Manipulation und Robotik in gefährlichen Umgebungen, Visualisierung wissenschaftlicher Daten, z.B. beim Moleküldesign oder in der Raumfahrt liegen interessante Anwendungsmöglichkeiten.

## 6.2 Weiterentwicklungsmöglichkeiten

Obwohl die hier durchgeführte Evaluation ausschließlich auf statischen Bildpräsentationen beruht, die mittels Linsenrasterscheibe dargeboten wurden, sollen den späteren Anwendern auch die Weiterentwicklungsmöglichkeiten dieses Systems vorgestellt werden.

Um den verschiedenen Anwendern den Schritt zum dreidimensionalen Sehen am Computer zu erleichtern, bietet das System vom Institut für periphere Mikroelektronik, welches auf der Linsenrasterscheibe beruht, die Möglichkeit, vorhandene kommerzielle PCs oder Laptops mit TFT Display in verschiedenen Stufen kostengünstig schrittweise aufzurüsten. Der Einstieg kann für den Endverbraucher kostenlos erfolgen, indem er sich eine nicht adaptive Demo-3D Software und Informationen über die zu seinem System passenden Rastermasken aus dem Internet herunterlädt. Die Barrierestreifen-Raster-Maske kann der Verbraucher sich dann selbst auf einer durchsichtigen Folie ausdrucken oder schicken lassen. Nachdem die Folie vor dem Bildschirm montiert wurde, kann die Experimentierphase in einer niedrigen autostereoskopischen 3D-Qualität erfolgen. In der nächsten Ausbaustufe kann die 3D-Bildqualität wesentlich verbessert werden, indem die provisorische Streifenfolie, die die Helligkeit des Displays verringert (bis zu 60%) und Streifen im Bild verursacht, durch eine hochwertige Linsenrasterscheibe ausgetauscht wird. Des Weiteren kann auch die 3D-Demo Software durch eine hochwertigere ersetzt werden. Um in der dritten Stufe die bestimmte Position, die der Betrachter vor dem Monitor bis jetzt einnehmen musste, aufzulockern, kann ein externer Head- oder Eye- Tracker erworben werden. Mittels Head Tracker können 3D-Szenen aus geringfügig veränderten Blickperspektiven betrachtet werden. Der Head Tracker hat hierbei die Aufgabe, die genaue Kopfposition und



Kopfbewegungen zu verfolgen. Nach einer kurzen Eichprozedur kann das System adaptiv betrieben werden, das heißt, der Anwender kann seine Position im Abstand und seitlich verändern. Der Computer kann somit die bekannte Position des Betrachters nutzen, um die entsprechenden Perspektiven in Echtzeit zu generieren. In der vierten und letzten Stufe können 3D-Bilder auch auf 2-3 nebeneinander stehenden, autostereoskopischen Bildschirmen betrachtet werden. Dieses 3D-System stellt dann ein professionelles, adaptives Multi-Monitor System dar (Andiel, Hentschke, Elle & Fuchs, 2003). Diese dargestellten Variationen eröffnen somit dem Anwender eine breite Angebotspalette.

Genau in diesem Bereich liegen meiner Meinung nach noch weitreichende Untersuchungsmöglichkeiten. Einerseits könnte ein Vergleich zwischen den unterschiedlichen Weiterentwicklungsmöglichkeiten durchgeführt werden, andererseits halte ich hier vor allem den Vergleich mit anderen dreidimensionalen Systemen für sehr relevant. Um dem Anwender die Orientierung auf dem Markt der dreidimensionalen Systeme zu erleichtern, hätten hier vor allem vergleichende Studien einen sehr hohen Stellenwert.

### **6.3 Ausblick**

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die hier durchgeführten Untersuchungen erst den Anfang der Evaluation des dreidimensionalen Visualisierungssystems mittels Linsenrasterscheibe darstellen und auf keinen Fall den Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

Aufbauend auf dem hier vorgestellten Ansatz, zuerst grundlegende Lokalisationsleistungen und die subjektiven Befindlichkeiten zu untersuchen, würde ich den zukünftigen Evaluationsprozess auf weitere Wahrnehmungsphänomene ausweiten. Hier bieten sich Untersuchungen zu Entfernungsschätzungen, Schätzungen von Proportionen, Volumenschätzungen oder das Manövrieren im zwei- und dreidimensionalen Raum an. Darüber hinaus liegen im Bereich der subjektiven Befindlichkeiten und gefühlten Beanspruchung weitere Untersuchungsmöglichkeiten. Hier sollte vor allem nicht nur die kurzfristige Beanspruchung, sondern auch

Langzeitwirkungen experimentell analysiert werden, um dem Aspekt der Technikfolgenabschätzung gerecht zu werden.

Diese verschiedenen psychologischen Kriterien könnten dann in eine Art Evaluationspaket für dreidimensionale Systeme zusammengestellt werden. Dieses Paket könnte auch dafür genutzt werden, systemvergleichende Studien durchzuführen.

Um allerdings den Einsatz in der Praxis voranzutreiben, muss noch einen Schritt weiter gegangen werden. Hier halte ich es für sinnvoll die fiktiv konstruierten Laborexperimente speziell auf die einzelnen Anwendungsbereiche anzupassen. Im Bereich der Medizin könnte man zum Beispiel an konkreten Röntgenbildern die Identifikationsgenauigkeit oder die Volumenschätzungen von Tumoren mittels der zwei- und dreidimensionalen Displays untersuchen. Nur so kann der Einsatz der Linsenrasterscheibe in den verschiedenen Anwendungsgebieten legitimiert werden.

Wenn in Zukunft die Evaluation von statischen Bildern auf bewegte Bilder ausgeweitet wird und darüber hinaus auch noch die Interaktion mit dem Bildmaterial ermöglicht wird, dann darf nicht die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine vernachlässigt werden. Da die Linsenrasterscheibe nicht nur von technischen Experten genutzt, sondern auch in vielen Lebens- und Arbeitsbereichen eingesetzt werden soll, wird die Anpassung an die Bedürfnisse und die Fähigkeiten der Benutzer immer zentraler. Gerade die Gestaltung der Schnittstelle zwischen Computerprogrammen und dem Benutzer, auch als Interface bezeichnet, muss dann mit berücksichtigt werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass diese interdisziplinäre Arbeit erste Erkenntnisse über die quantifizierbaren Vorteile des 3D-Systems gegenüber einem konventionellen 2D-Display liefert und darüber hinaus konkrete Anwendungsmöglichkeiten offeriert.

## **7. Zusammenfassung**

In der vorliegenden Arbeit wird eine autostereoskope Linsenrasterscheibe wahrnehmungspsychologisch evaluiert. Im Vordergrund steht dabei die Überprüfung der Hypothese, ob es quantifizierbare Unterschiede zwischen der zweidimensionalen und der dreidimensionalen Wahrnehmung mittels der Linsenrasterscheibe gibt.

In den ersten beiden Experimenten wird untersucht, ob Unterschiede bezüglich der Reaktionszeiten und der Fehlerhäufigkeit, in Abhängigkeit von der Lage und der Distanz der Objekte im Raum, zwischen den beiden Systemen existieren.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ergeben einen ganz deutlichen Nachweis, dass die Dimensionalität der Darstellung die Lösung von Lokalisationssaufgaben beeinflusst. Beim ersten Experiment liefert die zusätzliche Tiefeninformation der binokularen Disparität bei der dreidimensionalen Darstellung allerdings noch keine signifikanten Vorteile, da die Aufgabe so einfach war, dass sie auch unter der zweidimensionalen Bedingung problemlos bearbeitet werden konnte. Wird allerdings, wie im zweiten Experiment, die Lokalisationsaufgabe erschwert, stellt sich ein deutlicher Vorteil zugunsten der dreidimensionalen Darstellung ein. Die Versuchspersonen, die sich in der 3D-Bedingung befanden, konnten wesentlich schneller auf die Zielreize reagieren, als die Probanden unter der 2D-Bedingung. Darüber hinaus begingen sie auch wesentlich weniger Fehler.

Beim dritten Experiment steht hingegen die Befindlichkeit der Probanden im Fokus der Untersuchung. Sowohl vor als auch nach der Betrachtung einer 10-minütigen Bilderserie füllten die Versuchspersonen die Befindlichkeitsskalen von Abele-Brehm und Brehm (1986) aus. Die Gruppen unterschieden sich wieder nur durch die Dimensionalität der Darstellung. Auch die Ergebnisse dieses Experiments zeigen ganz deutliche Vorteile der Befindlichkeitsveränderung zugunsten der Linsenrasterscheibe auf. Probanden, die sich die Bilderserie mit Hilfe der Scheibe angesehen haben, zeigten danach wesentlich stärkere Veränderungen in Richtung des positiven Befindlichkeitspols auf als die andere Gruppe. Auch die negativen Befindlichkeiten haben unter der 3D-Bedingung stärker abgenommen als unter der 2D-Bedingung.

Abschließend werden aus den Ergebnissen konkrete Einsatzmöglichkeiten für die Linsenrasterscheibe abgeleitet und denkbare nachfolgende experimentelle Vorgehensweisen skizziert.

## **8. Literaturverzeichnis**

- Abele, A. & Becker, P. (Hrsg.). (1991). *Wohlbefinden: Theorie – Empirie – Diagnostik*. Weinheim und München: Juventa-Verlag.
- Abele, A. & Brehm, W. (1984). Befindlichkeitsveränderungen im Sport. Hypothesen, Modellbildung und empirische Befunde. *Sportwissenschaft*, 14, 252-275.
- Abele, A. & Brehm, W. (1989). Changes in the state of being in physical education through the variation of work load and rhythm. *International Journal of Physical Education*, 26, (2), 11-18.
- Abele, A. & Brehm, W. (1994). Welcher Sport für welche Stimmung? Differentielle Effekte von Fitness- versus Sportsportaktivitäten auf das aktuelle Befinden. In J. R. Nitsch und R. Seiler (Hrsg.), *Gesundheitssport- Bewegungstherapie* (S. 133-149). Sankt Augustin.
- Abele-Brehm, A. & Brehm, W. (1986). Zur Konzeptualisierung und Messung von Befindlichkeit. Die Entwicklung der „Befindlichkeitsskalen“ (BFS). *Diagnostica*, 32, 209-228.
- Ahlers, E. (1998). Beinahe räumlich. *Magazin für Computertechnik*, 21, 91.
- Alfermann, D. & Stoll, O. (1996). Befindlichkeitsveränderung nach sportlicher Aktivität. *Sportwissenschaft*, 26, (4), 406-422.
- Anderson, J. R. (2001). *Kognitive Psychologie* (3. Aufl.). Heidelberg [u.a.]: Spektrum Akademischer Verlag.
- Andiel, M., Hentschke, S., Elle, T. & Fuchs, E. (2003). Stufenkonzept für ein echtzeitfähiges autostereoskopisches Display. Retrieved April, 6, 2004 from <http://www.uni-kassel.de/fb16/ipm/dt/de/forschung-lehre/index.gkh>
- Andiel, M., Hentschke, S. & Herrfeld, A. (2001). Autostereoskopische 3D-Displays. *Electronic Displays*, 16, 154-158.
- Asendorpf, J. (1984). Lassen sich emotionale Qualitäten im Verhalten unterscheiden? Empirische Befunde und ein Dilemma. *Psychologische Rundschau*, 35, 125-135.
- Azarbayejani, A., Starner, T., Horowitz, B. & Pentland, A. (1993). Visually controlled graphics. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 15, (6), 602-605.
- Bach, M. (1999). Räumlich durchs Auge. *Magazin für Computertechnik*, 7, 158-167.
- Barlow, H. B., Blakemore, C. & Pettigrew, J. D. (1967). The neural mechanism of binocular depth discrimination. *Journal of Physiology*, 193, 327-342.

- Barré, R. de lá (1999). Autostereoskope Visualisierung für die Medizintechnik. Retrieved April 7, 2004 from [http://www.visureal.de/3d\\_medizin.html](http://www.visureal.de/3d_medizin.html)
- Becker, H. M. (1995). 3D Video Endoskop. *Management und Krankenhaus*, 12-14.
- Becker, P. (1991). Theoretische Grundlagen. In A. Abele & P. Becker (Hrsg.), *Wohlbefinden: Theorie – Empirie - Diagnostik* (S. 13-49). Weinheim & München: Juventa-Verlag.
- Becker-Carus, C. (2004). *Allgemeine Psychologie*. München: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bergen, P. van, Kunert, W., Bessell, J. & Bueß, G. F. (1998). Comparative study of two-dimensional and three-dimensional vision systems for minimally invasive surgery. *Surgical Endoscopy*, 12, (7), 948-954.
- Bergen, P. van, Kunert, W. & Bueß, G. F. (1997). *Vergleichsstudie endoskopischer 2D- und 3D- Sichtsysteme*. *Medizin im Bild*, 5/1997.
- Blake, R. & Hirsch, H. V. B. (1975). Deficits in binocular depth perception in cats after alternating monocular deprivation. *Science*, 190, 1114-1116.
- Blake, R. & Wilson, H. R. (1991). Neural models of stereoscopic vision. *Trends in Neuroscience*, 14, 445-452.
- Bohner, G., Hormuth, S. E. & Schwarz, N. (1991). Die Stimmungs-Skala: Vorstellung und Validierung einer deutschen Version des „Mood Survey“. *Diagnostica*, 37, 135-148.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler* (5. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation* (3. Aufl.). Berlin: Springer.
- Bös, K. & Brehm, W. (1999). Gesundheitssport – Abgrenzung und Ziele. *Dvs Informationen. Schwerpunktthema Gesundheitssport*, 14, (2), 9-17.
- Brockmeyer, B. & Ulrich, G. (1993). Asymmetries of expressive facial movements during experimentally induced positive vs. negative mood states: A video-analytical study. *Cognition and Emotion*, 7, 393-405.
- Bruno, N. & Cutting, J. E. (1988). Minimodularity and the perception of layout. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 161-170.

- Bullinger, M., Heinisch, M., Ludwig, M. & Geier, S. (1990). Skalen zur Erfassung des Wohlbefindens: Psychometrische Analysen zum „Profile of Mood States“ (POMS) und zum „ Psychological General Wellbeing Index“ (PGWI). *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 11, 53-61.
- Clarke, A. (1999). *Evaluation research: An introduction to principles, methods and practice*. London: Sage.
- Cohen, J. (1969). *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. New York: Academic Press.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Hillsdale, New York: Erlbaum.
- Coltheart, M. (1970). The effect of verbal size information upon visual judgments of absolute distance. *Perception and Psychophysics*, 9, 222-223.
- Cumming, B. G. & DeAngelis, G. C. (2001). The physiology of stereopsis. *Annu. Rev. Neuroscience.*, 24, 303-238.
- Cumming, B. G. & Parker, A. J. (1999). Binocular neurons in V1 of awake monkeys are selective for absolute, not relative, disparity. *Journal of Neuroscience*, 19, 5602-5618.
- Cutting, J. E. & Vishton, P. M. (1995). Perceiving layout and knowing distances: The integration, relative potency, and contextual use of different information about depth. In W. Epstein & S. Rogers (Hrsg.), *Handbook of perception and cognition: Perception of space and motion* (S. 69-117). New York: Academic Press.
- Dalbert, C. (1992). Subjektives Wohlbefinden junger Erwachsener: Theoretische und empirische Analysen der Struktur und Stabilität. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 13, 207-220.
- DeAngelis, G. C. (2000). Seeing in the three dimensions: the neurophysiology of stereopsis. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, (3), 80-90.
- DeAngelis, G. C., Cumming, B. G. & Newsome, W. T. (2000). A new role for cortical area MT: The perception of stereoscopic depth. In M. Gazzangia (Hrsg.), *The new cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press, 305-314.
- Deering, M. (1992). High resolution virtual reality. *Comput. Graph.*, 26, (2), 195-202.



- Diener, E., Suh, E. M., Lucas, R. E. & Smith, H. L. (1999). Subjective well-being: Three decades of progress. *Psychological Bulletin*, 125, 276-302.
- Diner, D. B. & Fender, D. H. (1993). *Human engineering in stereoscopic display devices*. Plenum Press.
- Dodwell, P. C. (1970). Binocular vision and pattern coding. *Visual Pattern Recognition*. New York: Holt, Rinehart, and Winston, 120-136.
- Dzida, W. (1994). Qualitätssicherung durch software-ergonomische Normen. In E. Eberleh, H. Oberquelle & R. Oppermann (Hrsg.), *Einführung in die Software-Ergonomie* (S. 373-406). Berlin: de Gruyter.
- Eichenlaub, J. (1995). A novel low cost 2D/3D switchable autostereoscopic system for notebook computers and other portable devices. *In: Proc. SPIE*, 2409, 113-117.
- Ekman, P. (1981). Universale emotionale Gesichtsausdrücke. In G. Kahle (Hrsg.), *Logik des Herzens. Die soziale Dimension der Gefühle* (S. 177-186). Frankfurt: Suhrkamp.
- Ekman, P. (1988). *Gesichtsausdruck und Gefühl*. Paderborn: Jungfermann.
- Emmert, E. (1881). Größenverhältnisse der Nachbilder. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 19, 443-450.
- Emrich, G. W. (2003). *Passive 3D-Projektion*. Retrieved April 28, 2004 from <http://www.3d-special.de/3dprojek.htm>
- Epstein, W. (1965). Nonrelational judgment of size and distance. *American Journal of Psychology*, 78, 120-123.
- Epstein, W. (1966). Perceived depth as a function of relative height under three background conditions. *Journal of Experimental Psychology*, 72, 335-338.
- Ertel, M., Junghans, G., Pech, E. & Ullsperger, P. (1997) *Auswirkungen der Bildschirmarbeit auf Gesundheit und Wohlbefinden*. Dortmund, Berlin.
- Essen, D. C. van. & DeYoe, E. A. (1995). Concurrent processing in primary visual cortex. In M. S. Gazzangia (Hrsg.), *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press, 383-400.
- Falter, H., Rötting, M. & Springer, J. (1994). Zur Problematik der Verwendung von Displays zur dreidimensionalen Wahrnehmung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften*, 47, 198-205.

- Fazio, R. H. (1990). A practical guide to the use of response latency in social psychological research. In: Hendrick C., & Clarh M.S. (Eds). Research methods in personality and social psychology. (pp. 74-79). Newsbury Park, CA: Sage Publications.
- Gediga, G. & Hamborg, K. C. (2002). Evaluation in der Software-Ergonomie: Methoden und Modelle im Software-Entwicklungsprozess. *Zeitschrift für Psychologie*, 210, (1), 40-57.
- Gerrards-Hesse, A., Spies, K. & Hesse, F. W. (1994). Experimental inductions of emotional states and their effectiveness: A review. *British Journal of Psychology*, 85, 55-78.
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin. Deutsch: (1973). *Die Wahrnehmung der visuellen Welt*. Weinheim: Beltz.
- Gillam, B. (1995). The perception of spatial layout from static optical information. In W. Epstein & S. Rogers (Hrsg.), *Handbook of perception and cognition: Perception of space and motion* (S. 23-67). New York: Academic Press.
- Glassner, A. (1995). Principles of digital image synthesis. Morgen Kaufmann.
- Goldstein, E. B. (2002). *Wahrnehmungspsychologie*. Hrsg. von Manfred Ritter. (2.dt. Aufl.) Heidelberg; Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Gombrich, E. H. (1960). *Art and illusion*. Princeton, NJ: Princeton University Press. Deutsch: (1967). *Kunst und Illusion. Zur Psychologie der bildlichen Darstellung*. Stuttgart: Belser.
- Greenhouse, S. W. & Geisser, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24, 95-112.
- Grob, A., Luethi, R., Kaiser, F. G., Flammer, A., Mackinnon, A. & Wearing, A. J. (1991). Berner Fragebogen zum Wohlbefinden Jugendlicher (BWF). *Diagnostica*, 37, 66-75.
- Guadagnoli, E. & Velicer, W. F. (1988). Relation of sample size to the stability of component patterns. *Psychological Bulletin*, 103, 265-275.
- Guski, R. (1996). *Wahrnehmen – ein Lehrbuch*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Haber, R. N. & Hershenson, M. (1980). *The psychology of visual perception*. (2<sup>nd</sup> ed.) New York: Holt, Rinehart and Winston.

- Hagen, M. A. (Hrsg.) (1979). *The perception of pictures* (Bd. 1, 2). New York: Academic Press.
- Hagen, M. A. (1986). *Varieties of Realism*. New York: Cambridge University Press.
- Hager, W. (1992). *Jenseits von Experiment und Quasi-Experiment. Zur Struktur psychologischer Versuche und zur Ableitung von Vorhersagen*. Göttingen: Hogrefe.
- Hampel, R. (1977). Adjektiv-Skalen zur Einschätzung der Stimmung (SES). *Diagnostica*, 23, 43-60.
- Heinemann, E. G., Tulving, E. & Nachmias, J. (1959). The effect of oculomotor adjustments on apparent size. *American Journal of Psychology*, 72, 32-45.
- Helmholz, H. (2000) *Treatise on physiological optics*, 1867, 1924 edition reprinted Thoemmes Press, 2000.
- Hentschke, S. (1996). Personenadaptiver autostereoskopischer Monitor (PAAS) – eine Option für den Fernseher? *Fernseh- und Kinotechnik*, 50, (5), 242-248.
- Hentschke, S. & Börcsök, J. (2002). Upgrade Concept for Position-Adaptive 3D PCs. Retrieved August 4, 2003 from <http://www.uni-kassel.de/fb16/ipm/dt/de/forschung-lehre/index.ghk>
- Hinsche, E. (1988). Das Darstellungs- und Projektionssystem: Fiber Optic Helmet Mounted Display (FOHMD) – ein Novum in der computergenerierten Umfelddarstellung. In: Ameling, W. (Hrsg.): *Simulationstechnik – Proceedings des 5. Symposiums Simulationstechnik*, Aachen, 28. bis 30. Sep.1988, Springer Verlag, Berlin, 184-189.
- Hobi, V. (1985). *Basler Befindlichkeitsskalen – Ein Self-Rating zur Verlaufsmessung der Befindlichkeit*. Weinheim: Beltz.
- Hodges, L. F. & Davis E. T. (1993). Geometric considerations for Stereoscopic Virtual Environments. *Presence*, 2, (1).
- Holliman, N. S. (2003). *3D Display Systems*, Institute of Physics Press. Retrieved March 19, 2004 from <http://www.dur.ac.uk/n.s.holliman>
- Hölsken, G. (2003). Zwiesichtig. Stereofotografie mit der Digitalkamera. *Magazin für Computertechnik*, 21, 204-207.

- Hsu, J., Pizlo, Z., Babbs, C. F., Chelberg, D. M. & Delp, E. J. (1994). Design of studies to test the effectiveness of stereo imaging, truth or dare: is stereo viewing really better? *Proc. SPIE*, 2177, 211-220.
- Hsu, J., Pizlo, Z., Chelberg, D. M., Babbs C. F. & Delp, E. J. (1996). Issues in the design of studies to test the effectiveness of stereo imaging. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 26, (6), 810-818.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1970). Cells sensitive to binocular depth in area 18 of the macaque monkey cortex. *Nature*, 225, 41-42.
- Isen, A. M. & Gorgoglione, J. M. (1983). Some specific effects of four affect induction procedures. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 9, 136-143.
- Janke, W. & Debus, G. (1978). *Die Eigenschaftswortliste EWL*. Göttingen: Hogrefe.
- Joint Committee on Standards for Educational Evaluation & Sanders, J. R. Hrsg. (2000). *Handbuch der Evaluationsstandards*. Opladen: Leske und Budrich.
- Jones, G., Lee, D., Holliman, N. & Ezra D. (2001). Controlling perceived depth in stereoscopic images. *Proceedings of the SPIE*, 4297A.
- Julesz, B. (1971). *Foundations of Cyclopean Perception*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kaplan, G. (1969). Kinetic disruption of optical texture: The perception of depth at an edge. *Perception and Psychophysics*, 6, 193-198.
- Kaufman, L. (1974). *Sight and mind: An introduction to visual perception*. Oxford University Press. New York.
- Kellmann, M. & Golenia, M. (2003). Skalen zur Erfassung der aktuellen Befindlichkeit im Sport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54, (11), 329-330.
- Kirchgeorg, M. (2003). Retrieved May 5, 2004 from <http://www.netdokter.de/ratschlaege/untersuchungen/roentgenuntersuchung>
- Krätzschar, J. (1995). Brille vergessen. 3D-Displays für Raumillusion ohne Sehhilfe. *Magazin für Computertechnik*, 11, 210-214.
- Kromrey, H. (2001). Evaluation – ein vielschichtiges Konzept. *Sozialwissenschaft und Berufspraxis*, 24, 105-131.
- Kubeck, G. (1994). *Wahrnehmung: Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie*. Weinheim; München: Juventa-Verlag.

- Kubovy, M. (1986). *The psychology of perspective and Renaissance art*. Cambridge University Press.
- Landy, M. S., Maloney, L. T., Johnston, E. B. & Young, M. (1995). Measurement and modeling of depth cue combination: In defense of weak fusion. *Vision Research*, 35, 389-412.
- Lane, B. (1982) Stereoscopic displays. *Proceedings of the SPIE*, 0367.
- Lappin, J. S. & Craft, W. D. (2000). Foundations of spatial vision: From retinal images to perceived shapes. *Psychological Review*, 107, (1), 6-38.
- LeVay, S. & Voigt, T. (1988). Ocular dominance and disparity coding in cat visual cortex. *Visual Neuroscience*, 1, 395-414.
- Lipton, L. (1982). *Foundation of stereoscopic cinema: a study in depth*. Van Nostrand Reinhold. USA.
- Livingstone, M. & Hubel, D. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 1457, 322-326.
- Mayring, P. (1991). Die Erfassung subjektiven Wohlbefindens. In A. Abele & P. Becker, *Wohlbefinden: Empirie, Diagnostik*. (S. 51-70). Juventa-Verlag.
- McAllister, D. (1992). 3D-Displays. *BYTE* 17, 5, 183-188.
- McKay, H. C. (1953). *Three-Dimensional Photography; Principles of Stereoscopy*. New York: American Photography Book Department.
- McNair, D. M., Loo, M. & Droppelman, L. F. (1971). *Manual for the profile of mood states*. San Diego: Educational and Industrial Testing Service.
- Milgram, P. & Van der Horst, R. (1986). Alternating-field stereoscopic displays using light-scattering liquid crystal spectacles. *Displays: Technology & Application*, 7 (2), 67-72.
- Mittag, W. & Hager, W. (2000). Ein Rahmenkonzept zur Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen. In W. Hager, J.-L. Patry & H. Brezing (Hrsg.), *Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen: Standards und Kriterien* (S. 102-128). Bern: Huber.
- Mon-Williams, M. & Tresilian, J. R. (1999). A review of some recent studies on the extraretinal contribution to distance perception. *Perception*, 28, 167-181.
- Morgen, W. P. (1985). Affective beneficence of vigorous physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 94-100.

- Nielsen, J. (1993). *Usability Engineering*. Boston: AP Professional.
- Ogle, K. N. (1964). *Researches in Binocular Vision*. Hafner Publishing Co. Ltd.
- Ohzawa, I. (1998). Mechanisms of stereoscopic vision: The disparity energy model. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 509-515.
- Ohzawa, I., DeAngelis, G. C. & Freeman, R. D. (1996). Encoding of binocular disparity by simple cells in the cat's visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 75, 1779-1805.
- Okoshi, T. (1976). *Three-dimensional imaging techniques*. Academic Press, New York.
- Owczarczyk, J. & Owczarczyk, B. (1990). Evaluation of true 3D display systems for visualizing medical volume data. *The Visual Computer*, 6, (4), 219-226.
- Pastoor, S. (1991). 3D-television: a survey of recent research results on subjective requirements. *Signal Processing: Image Communication*, 4.
- Patton, M. Q. (1997). *Utilization-focused evaluation: The new century text* (3<sup>rd</sup> ed.). London: Sage.
- Pizlo, Z. (1994). A theory of shape constancy based on perspective invariants. *Vision Research*, 34 (12), 1637-1658.
- Pizlo, Z. & Rosenfeld, A. (1992). Recognition of planar shapes from perspective images using contour-bases invariants. *Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding*, 56, (3), 330-350.
- Poggio, G. F. (1995). Mechanisms of stereopsis in monkey visual cortex. *Cerebral Cortex*, 5, 193-204.
- Poggio, G. F. & Fischer, B. (1997). Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology*, 40, 1392.
- Robinet, W. & Rolland, J. P. (1992). A computational model for the stereoscopic optics of a head-mounted display. *Presence*, 1, (1), 45-62.
- Rossi, P. H. & Freeman, H. E. (1993). *Evaluation. A systematic approach*. Newbury Park: Sage.
- Rossi, P. H., Freeman, H. E. & Hofmann, G. (1988). *Programm-Evaluation. Einführung in die Methoden angewandter Sozialforschung*. Stuttgart: Enke.
- Rossi, P. H., Freeman, H. E. & Lipsey, M. (1999). *Evaluation* (6<sup>th</sup> ed.). London: Sage.

- Rost, J. (2000). Allgemeine Standards für die Evaluationsforschung. In W. Hager, J.-L. Patry & H. Brezing (Hrsg.), *Evaluation psychologischer Interventionsmaßnahmen: Standards und Kriterien* (S. 129-140). Bern: Huber.
- Sakata, H., Taire, M., Kususnoki, M., Murata, A. & Tanaka, K. (1997). The parietal association cortex in depth perception and visual control of hand action. *Trends in Neurosciences*, 20, 350-357.
- Schiffman, H. R. (1967). Size-estimation of familiar objects under informative and reduced conditions of viewing. *American Journal of Psychology*, 80, 229-235.
- Schimmack, U. (1997). Das Berliner Alltagssprachliche Stimmungs Inventar (BASTI): Ein Vorschlag zur kontentvaliden Erfassung von Stimmungen. *Diagnostica*, 43, 15-173.
- Schlüter, K. (1991). Stereo-Visionen – ausgewählte Verfahren zur 3D-Darstellung. *mc*, 7, 66-68.
- Scriven, M. (1991). *Evaluation thesaurus* (4<sup>th</sup> ed.). London: Sage.
- Silbereisen, R. K. (2003). Zur Lage der Psychologie – neue Herausforderungen für Internationalität und Interdisziplinarität. *Psychologische Rundschau*, 54, 1, 2-11.
- Sinai, H. J., Ooi, T. L. & He, Z. J. (1998). Terrain influences the accurate judgement of distance. *Nature*, 395, 497-500.
- Staudinger, U. M. (2000). Viele Gründe sprechen dagegen, und trotzdem geht es vielen Menschen gut: Das Paradox des subjektiven Wohlbefindens. *Psychologische Rundschau*, 51, 4, 185-197.
- Steyer, R., Schwenkmezger, P., Notz, P. & Eid, M. (1994). Testtheoretische Analysen des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens (MDBF). *Diagnostica*, 40, 320-328.
- Suchman, E. A. (1967). *Evaluation research: Principles and practice in public service and social action programs*. New York: Russell Sage.
- Sun, C M. & Forrest, A. K. (1992). Depth reversal in binocular vision with symmetrical convergence. *Proc. SPIE Conf. Intell. Robots Cmptr Vision XI, vol. 1825*, 207-214.
- Thomas, B. (1993). *Magic eye*. Kansas City: Andrews & McMeel.
- Tittle, J. S. & Braunstein, M. L. (1993). Recovery of depth from binocular disparity and structure from motion. *Perception and Psychophysics*, 54, 509-523.

- Todd, J. T. & Akerstrom, R. A. (1987). Perception of three-dimensional form from patterns of optical texture. *Journal of Experimental Psychology*, 13, 242-255.
- Tresilian, J. R., Mon-Williams, M. & Kelly, B. (1999). Increasing confidence in vergence as a cue to distance. *Proceedings of the Royal Society of London*, 266B, 39-44.
- Tyler, C. W. (1983). Sensory processing of binocular disparity (Kapitel 4). In: C. M. Schor & K. J. Cinffreda (Hrsg.), *Vergence eye movements: Basic and clinical aspects*. London: Butterworths.
- Tyler, C. W. & Clarke, M. B. (1990). The autostereogram. In: J. O. Merrit & S. S. Fischer (Hrsg.), *Stereoscopic display and applications* (S. 182-197). Bellingham, W. A.: International society for optical engineering.
- Underwood, B. & Froming, W. J. (1980). The mood survey: A personality measure of happy and sad moods. *Journal of Personality Assessment*, 44, 404-414.
- Valyus, N. A. (1966). *Stereoscopy*. The focal Press.
- Vollbracht, S. (1997). Empirische Evaluierung dreidimensionaler Darstellungsmodi. *Geoinformatik\_online*, Ausgabe 1/97, <http://gio.uni-muenster.de>
- Walberg, H. J. & Haertel, G. D. Eds. (1990). *The international encyclopedia of educational evaluation*. Oxford: Pergamon.
- Weiss, C. H. (1974). *Evaluierungsforschung*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Westermann, R. (2002). Merkmale und Varianten von Evaluationen: Überblick und Klassifikation. *Zeitschrift für Psychologie*, 210, (1), 4-26.
- Wheatstone, C. (1838). Contributions to the physiology of vision I: On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of vision. *Phil Trans R Soc (Biol)*, 18 (13), 371-395.
- White, J. (1968). *The birth and rebirth of pictorial space* (2. Aufl.) London: Faber & Faber.
- Wittmann, W. W. (1985). *Evaluationsforschung. Aufgaben, Probleme und Anwendungen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Wittmann, W. W. (1990). Brunswik-Symmetrie und die Konzeption der Fünf-Datenboxen. Ein Rahmenkonzept für umfassende Evaluationsforschung. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 4, 241-251.



- Wolf, B. (2001). Effektstärkemaße. In D. H. Rost, *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2., überarbeitete und erweiterte Aufl.), (S. 96-102). Weinheim: Beltz.
- Woods, A., Docherty, T. & Koch, R. (1993). Image distortions in stereoscopic video systems. *Proceedings of the SPIE, 1915*, 36-48.
- Wottawa, H. (2001). Evaluation. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (2., überarbeitete und erweiterte Aufl.), (S. 152-158). Weinheim: Beltz.
- Wottawa, H. & Thierau, H. (1998). *Lehrbuch Evaluation* (2., vollst. überarb. Aufl.). Bern: Huber.
- Zerssen, D. v. (1976). *Die Befindlichkeits-Skalen*. In: Klinische Selbstbeurteilungsskalen (KSb-S) aus dem Münchener Psychiatrischen Informations-System (PSYCHIS München). Weinheim: Beltz.

# **Anhang**

## **Instruktion von Experiment 1**

Liebe Versuchsperson!

Im Rahmen dieses Experiments werden auf dem Bildschirm jeweils drei **gleich große** Kugeln präsentiert, die an unterschiedlichen Positionen im Raum dargeboten werden.

Deine Aufgabe ist es, während der Darbietung, jeweils die vorderste Kugel auszuwählen.

Zur Auswahl stehen dir die drei Pfeiltasten zur Verfügung. Während des Experiments legst du bitte drei Finger auf die vorgeschriebenen Tasten.

Drücke bitte den linken Pfeil, wenn die linke Kugel am weitesten vorne ist, die mittlere Taste, wenn die mittlere Kugel am weitesten vorne erscheint und die rechte Taste, wenn die rechte Kugel am weitesten vorne ist.

Drücke bitte so schnell wie möglich, aber versuche dabei so wenig Fehler wie möglich zu begehen.

Zwischen den Kugelbildern wird der Bildschirm immer für drei Sekunden schwarz.

Bei Fragen wende dich bitte an die Versuchsleiterin!

## Nachbefragungsbogen von Experiment 1

Wir möchten Dich nun bitten, zum Abschluss noch ein paar kurze Fragen zu beantworten.

Geschlecht :                     weiblich  
    männlich

Alter:                            \_\_\_\_\_ Jahre

1. Fiel es dir unter der 2D- oder unter der 3D-Bedingung **schwerer** den vordersten

Kreis zu erkennen?         2D-Bedingung

3D-Bedingung

2. War es für deine Augen unter der 2D- oder unter der 3D-Bedingung **angenehmer**?

2D-Bedingung

3D-Bedingung

**Vielen Dank für deine Teilnahme!**

**Reizabfolge von Experiment 1**

Reihenfolge		Position			
		Trial	Links	Zentral	Rechts
Vortraining	G 1	1	h	m	v
	G 2	2	v	m	h
	M 3	3	m	v	h
	M 4	4	m	h	v
	K 5	5	h	v	m
	K 6	6	v	h	m
Testphase	G 6	7	v	h	m
	K 3	8	m	v	h
	M 3	9	m	v	h
	K 2	10	v	m	h
	G 5	11	h	v	m
	M 1	12	h	m	v
	G 3	13	m	v	h
	K 6	14	v	h	m
	G 4	15	m	h	v
	M 6	16	v	h	m
	M 2	17	v	m	h
	K 4	18	m	h	v
	G 2	19	v	m	h
	M 4	20	m	h	v
	K 5	21	h	v	m
	M 5	22	h	v	m
	K 1	23	h	m	v
	G 1	24	h	m	v

- G = großer Abstand zwischen den Kugeln  
 M = mittlerer Abstand zwischen den Kugeln  
 K = kleiner Abstand zwischen den Kugeln  
 h = Kugel befindet sich hinten  
 m = Kugel befindet sich in der Mitte  
 v = Kugel befindet sich vorne

## Instruktion von Experiment 2

### Liebe Versuchsperson

Im Rahmen dieses Experiments werden auf dem Bildschirm jeweils drei **gleich große** Kugeln präsentiert, die an unterschiedlichen Positionen im Raum dargeboten werden.

Deine Aufgabe ist es, während der Darbietung, jeweils die vorderste Kugel auszuwählen.

Zur Auswahl stehen dir die drei Pfeiltasten zur Verfügung. Während des Experiments legst du bitte drei Finger auf die vorgeschriebenen Tasten.

Drücke bitte den linken Pfeil, wenn die linke Kugel am weitesten vorne ist, die mittlere Taste, wenn die mittlere Kugel am weitesten vorne erscheint und die rechte Taste, wenn die rechte Kugel am weitesten vorne ist.

Drücke bitte so schnell wie möglich, aber versuche dabei so wenig Fehler wie möglich zu begehen. Wenn du dir nicht sicher bist, dann entscheide dich trotzdem für eine Alternative.

Zwischen den Kugelbildern wird der Bildschirm immer für drei Sekunden schwarz.

Bei Fragen wende dich bitte an die Versuchsleiterin!

## Nachbefragungsbogen von Experiment 2

Wir möchten Dich nun bitten, zum Abschluss noch ein paar kurze Fragen zu beantworten.

Geschlecht :  weiblich  männlich

Alter: \_\_\_\_\_ Jahre

1. Fiel es dir unter der 2D- oder unter der 3D-Bedingung **schwerer** den vordersten Kreis zu erkennen?  2D-Bedingung

3D-Bedingung

2. War es für deine Augen unter der 2D- oder unter der 3D-Bedingung **angenehmer**?

2D-Bedingung

3D-Bedingung

3. Wie stark war der **räumliche Eindruck** unter der **3D**-Bedingung?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kein räumlicher Eindruck										Sehr starker räumlicher Eindruck

4. Wie stark war der **räumliche Eindruck** unter der **2D**-Bedingung?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kein räumlicher Eindruck										Sehr starker räumlicher Eindruck

4. Kannst Du dir vorstellen, pro Tag mehrere Stunden mit der Scheibe zu arbeiten?

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gar nicht										Kein Problem

**Vielen Dank für deine Teilnahme!**

**Reizabfolge von Experiment 2**

Reihenfolge		Position			
		Trial	Links	Zentral	Rechts
Vortraining	K 6	1	v	h	m
	KKK 3	2	m	v	h
	KK 3	3	m	v	h
	KKK 2	4	v	m	h
	K 5	5	h	v	m
	KK 1	6	h	m	v
	K 3	7	m	v	h
	KKK 6	8	v	h	m
	K 4	9	m	h	v
	KK 6	10	v	h	m
	KK 2	11	v	m	h
	KKK 4	12	m	h	v
	K 2	13	v	m	h
	KK 4	14	m	h	v
	KKK 5	15	h	v	m
	KK 5	16	h	v	m
	KKK 1	17	h	m	v
	K 1	18	h	m	v
Testphase	KKK 4	19	m	h	v
	KK 1	20	v	m	h
	KKK 6	21	v	h	m
	K 1	22	h	m	v
	KK 6	23	v	h	m
	K 4	24	m	h	v
	KKK 3	25	m	v	h
	K 6	26	v	h	m
	KK 3	27	m	v	h
	KKK 2	28	v	m	h
	KK 5	29	h	v	m
	K 5	30	h	v	m
	KK 2	31	v	m	h
	KKK 1	32	h	m	v
	KK 4	33	m	h	v
	K 2	34	v	m	h
	K 3	35	m	v	h
	KKK 5	36	h	v	m

K = kleiner Abstand, KK = noch kleinerer Abstand, KKK = Abstand ist am kleinsten



**Befindlichkeitsskalen**

Datum: \_\_\_\_\_

Alter: \_\_\_\_\_ Jahre

Geschlecht: weiblich  männlich 

Dies ist eine Liste von Wörtern, mit denen man beschreiben kann, wie man sich augenblicklich fühlt. Bitte gehen Sie die Wörter der Liste nacheinander durch und entscheiden Sie sofort bei jedem Wort, ob es für Ihr augenblickliches Befinden zutrifft oder nicht.

**Wichtig:**

- Beurteilen Sie nur, wie Sie sich augenblicklich fühlen.
- Geben Sie die Antwort, die Ihnen unmittelbar in den Sinn kommt.
- Bitte kreuzen Sie bei jedem Wort eine Antwort an und lassen Sie keines der Wörter aus.

		trifft voll und ganz zu				trifft überhau pt nicht zu
		++	+	0	-	--
1.	gedrückt	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
2.	ruhelos	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
3.	unbeschwert	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
4.	betrübt	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
5.	nachdenklich	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
6.	frisch	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
7.	passiv	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
8.	missmutig	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
9.	traurig	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
10.	beschaulich	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
11.	ärgerlich	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
12.	nach innen gekehrt	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
13.	angeregt	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
14.	locker	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
15.	nervös	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
16.	niedergeschlagen	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)

		trifft voll und ganz zu				trifft überhaupt nicht zu	
		++	+	0	-	--	
17.	gelöst	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
18.	träumerisch	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
19.	angenehm	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
20.	verkrampft	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
21.	energielos	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
22.	lasch	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
23.	unglücklich	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
24.	sauer	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
25.	träge	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
26.	angespannt	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
27.	gereizt	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
28.	ausgezeichnet	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
29.	entspannt	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
30.	voller Energie	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
31.	besinnlich	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
32.	ruhig	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
33.	tatkräftig	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
34.	aktiv	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
35.	kribbelig	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
36.	gut gelaunt	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
37.	mürrisch	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
38.	gelassen	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
39.	freudig	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	
40.	lahm	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	

### Ergebnisse der Itemanalyse der Befindlichkeitsskalen

Das Datenmaterial bestand hier aus den 40 Fragebögen, die jeweils vor der Intervention ausgefüllt wurden.

Skala, Items	Mittelwert	Trennschärfe	Skala, Items	Mittelwert	Trennschärfe
<b>Ärger</b>	1.48		<b>Gehobene Stimmung</b>	12.10	
missmutig	.38	.41	unbeschwert	2.33	.45
ärgerlich	.15	.66	angenehm	2.55	.56
sauer	.23	.66	ausgezeichnet	1.93	.77
gereizt	.40	.40	gut gelaunt	2.93	.61
mürrisch	.33	.48	freudig	2.38	.58
	Cronbach alpha = .73			Cronbach alpha = .81	
<b>Erregtheit</b>	7.05		<b>Besinnlichkeit</b>	8.53	
ruhelos	1.40	.33	nachdenklich	2.03	-.06
nervös	1.68	.72	beschaulich	1.65	.14
verkrampft	.80	.53	nach innen gekehrt	1.70	.15
angespannt	1.48	.56	träumerisch	1.45	.23
kribbelig	1.70	.51	besinnlich	1.70	.10
	Cronbach alpha = .76			Cronbach alpha = .45	
<b>Aktiviertheit</b>	10.75		<b>Energielosigkeit</b>	5.48	
frisch	2.18	.55	passiv	1.35	.23
angeregt	2.18	.43	energielos	1.35	.65
voller Energie	1.80	.78	lasch	.98	.76
tatkräftig	2.23	.66	träge	1.05	.61
aktiv	2.38	.80	lahm	.75	.62
	Cronbach alpha = .84			Cronbach alpha = .78	
<b>Ruhe</b>	11.13		<b>Deprimiertheit</b>	2.68	
locker	2.40	.41	gedrückt	.83	.35
gelöst	1.85	.29	betrübt	.58	.61
entspannt	2.18	.65	traurig	.30	.47
ruhig	2.30	.28	niedergeschlagen	.43	.67
gelassen	2.40	.44	unglücklich	.55	.62
	Cronbach alpha = .65			Cronbach alpha = .76	

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt und andere als die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Kein Teil dieser Arbeit ist in einem anderen Promotions- oder Habilitationsverfahren verwendet worden.

---

Nina Cours