

Harald Zwerina, Hans-Walter Bodmann, Peter Knauth,  
Wolffried Stucky

## **Erkennung von Sehzeichen in Strukturvarianten auf dem Bildschirm**

### **Abstract**

Die Arbeit liefert einen Beitrag zu dem Themenkomplex "ergonomische Gestaltung visueller Wahrnehmungsbedingungen". Gegenstand der Betrachtung sind auf dem Bildschirm dargestellte Sehzeichen. Untersucht wird, wie verschiedene Strukturen, die durch bestimmte Anordnungsvarianten von Schriftzeichen entstehen, auf die Wahrnehmungsleistung, die Akzeptanz und andere subjektive Reaktionen sowie das Blickverhalten wirken und welche Wechselwirkungen dabei entstehen. Besondere Berücksichtigung finden dabei gestaltpsychologische Aspekte (vgl. Zwerina 1992).

### **1. Problemfeld**

Die berufliche Tätigkeit ist mittlerweile in sehr vielen Wirtschaftsbereichen durch vorwiegend mentale Arbeit bestimmt. Ein hoher Automatisierungsgrad in Produktion und Verwaltung, verbunden mit dem Einsatz dialogfähiger Arbeitsmittel (Dzida 1980), stellt ein charakteristisches Merkmal moderner Industrienationen dar. Effektivität und Effizienz werden in Zukunft durch den Einsatz von Expertensystemen, Hypermedien, adaptiven und adaptierbaren sowie multimedialen Systemen erhöht werden.

Informationsverarbeitung umfaßt hierbei den gesamten Informationsfluß zwischen dem Menschen und dem Rechner. Betrachtet man diesen Prozeß benutzerorientiert, dann beginnt dieser mit der Informationsaufnahme durch die Sinnesorgane, erstreckt sich über die Verarbeitung im zentralen Nervensystem und reicht hin bis zur Eingabe von Daten in den Computer.

Bei der technischen Realisierung der obengenannten Abläufe sind die physischen und psychischen Eigenschaften und Bedürfnisse des Benutzers zu berücksichtigen. Hierzu gehören z.B. Wahrnehmung, Gedächtnis, Lernverhalten und Problemlösungsverhalten (Benz/Grob/Haubner 1982). Die in diesem Kontext beim Benutzer ablaufenden

Prozesse sind äußerst komplex und vielfach noch unbekannt. Hinzu kommt, daß viele Aspekte aufgabenspezifisch sind, was die Problematik zusätzlich erschwert.

## **2. Zielsetzung**

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, einen Modellrahmen zu schaffen, der einerseits formale Strukturparameter als Reizkenngrößen beinhaltet und andererseits das entsprechende Reaktionsmuster bezüglich Suchergebnis, Blickverhalten und subjektiver Sucheinschätzung sowie deren Wechselwirkungen beschreibt.

Die vorliegende Arbeit soll das Erkenntnisdefizit auf diesem Gebiet verringern. Hierzu werden zunächst Strukturvarianten entwickelt, die in quantitativer und qualitativer Hinsicht umfassend definiert werden. Sie erfüllen einerseits den Anspruch, aktuellen, realtypischen Fragestellungen zu entsprechen und sind andererseits so abstrahiert, daß kontrollierbare Effekte, die der Wirkung der Gestaltgesetze zuzuordnen sind, abgeleitet werden können. Weiterhin wird untersucht, wie sich derartige Strukturen, die durch bestimmte Anordnungsvarianten von Sehzeichen auf Bildschirmen gebildet werden, auf die Wahrnehmungsleistung und das Blickverhalten auswirken.

Neben der Wahrnehmungsleistung und dem Blickverhalten werden ferner die Akzeptanz und andere subjektive Reaktionen sowie deren Wechselwirkungen erfaßt. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind Basis eines Modells zur Bewertung formaler Strukturen auf Bildschirmen.

Die verwendeten Sehzeichen werden überschwellig bezüglich Sehwinkel und Helligkeitskontrast angezeigt, damit von einem hohen "Visibility Level" (Bodmann 1973), also dem Verhältnis von tatsächlichem Kontrast zu Schwellenkontrast, ausgegangen werden kann. Dadurch wird verhindert, daß Struktureffekte durch zu geringe Kontraste im zentralen Sehbereich beeinträchtigt werden.

## **3. Strukturaspekte**

Der Begriff "Struktur" wird sehr vielfältig verwendet. Er wird allgemein benutzt für Elemente, Objekte oder Zustände, die in bestimmter Relation zueinander stehen. Diese Relationen können sich auf Raum und Zeit beziehen (Haubner 1985; Klix 1976).

Im Rahmen dieser Arbeit wird Struktur verstanden als die räumliche, nichtstochastische Anordnung von Sehobjekten. Das bedeutet, daß die Plazierung von Sehobjekten nach bestimmten, noch zu beschreibenden Regeln erfolgt.

### **3.1 Qualitative Strukturmerkmale**

Das Ziel zahlreicher Untersuchungen besteht in der Klärung der Frage, was zu tun ist, damit ein aus mehreren Einzelteilen bestehendes Sehobjekt gut wahrnehmbar ist. So definierten Gestaltpsychologen entsprechende Gesetze der "guten Gestalt" (Geiser 1990; Metzger 1966; Moritz 1983; Neumann/Timpe 1976; Stadler/Seeger/Raeithel 1977):

o **Gesetz der guten Gestalt**

Wenn Reizverteilungen eine Gliederung in einfache, "ordentliche", nach einheitlichen Regeln aufgebaute Teilgestalten zulassen, so setzen sich diese "guten" Gestalten durch.

Neben dieser globalen Regel gibt es vor allen Dingen drei spezifische, besonders bei alphanumerischen Darstellungen wirksame Regeln:

o **Gesetz der Nähe**

Elemente, die nahe beieinander liegen, werden als zu einer Gruppe gehörig empfunden. Näher benachbarte Elemente schließen sich zu einer Gruppe zusammen.

o **Gesetz der Symmetrie**

Elemente, die symmetrisch angeordnet sind, nehmen gegenüber unsymmetrischen Gebieten besonders leicht Figureigenschaft an.

o **Gesetz der Gleichartigkeit**

Gleichartige Elemente streben, auch über größere Entfernungen hinweg, zum Zusammenschluß. Am besten verbindet völlige Gleichheit.

Ergebnisse aus Versuchen, diese Gestaltgesetze bei der Gestaltung von typischen Bildschirmmasken mit alphanumerischen Zeichen anzuwenden, zeigen, daß sich auf diese Weise die Suchzeiten um bis zu 41% verkürzen lassen. Auch im subjektiven Bereich werden sowohl kognitive als auch affektive Aspekte positiv beeinflusst. "Gut" strukturierte Darstellungen werden gegenüber "schlecht" strukturierten beispielsweise als gegliederter und angenehmer empfunden (Benz/Haubner 1982; Haubner 1984).

Ein weiterer Aspekt, der bislang nicht aufgeführt ist, aber speziell in dieser Arbeit betrachtet wird, betrifft die Verzweigungsfreiheit von Figuren. Es ist zu vermuten, daß sich ein komplexes Sehobjekt, welches einen verzweigungsfreien Suchpfad mit eindeutigen Anfang und Ende zuläßt, positiv auf das Suchergebnis auswirkt. Der Gesichtspunkt "Verzweigungsfreiheit" taucht bei der Darstellung der durchgeführten Experimente später noch einmal auf.

### 3.2 Quantitative Strukturmerkmale

Räumliche Strukturen lassen sich auf unterschiedliche Weise quantitativ beschreiben. Bei alphanumerischen Darstellungen, wie z.B. Bildschirmmasken, sind dies Angaben über die Anzahl der Zeichen oder Felder. Andere Ansätze sind vielversprechender, weil sie ein ganzes Bündel von quantitativen Merkmalen aufgreifen mit dem Ziel, deren Zusammenwirken in Form von Aussagen über die zu erwartende Suchzeit für eine

gezielte Detektion und Identifikation von einzelnen Sehobjekten zu beschreiben. Dazu zählt auch der Ansatz von Tullis (Tullis 1986), der mit den Strukturmerkmalen "Gesamtdichte, örtliche Dichte, Gruppenanzahl, Gruppengröße, Feldanzahl und Total-Layoutkomplexität" experimentiert hat. Wegen ihrer Berücksichtigung in den experimentellen Teilen des vorliegenden Beitrags, werden sie nun etwas näher beschrieben:

o **Gesamtdichte**

Die Gesamtdichte ist ein Maß für den Füllgrad des Bildschirms. Sie ergibt sich aus dem Verhältnis von "Anzahl dargestellter Zeichen" zu "Anzahl darstellbarer Zeichen".

o **Örtliche Dichte**

Die örtliche Dichte ergibt sich aus der Anzahl der dargestellten Zeichen, die ausgehend von der Sehachse innerhalb eines Exzentrizitätswinkels von  $2,5^\circ$  liegen; diese Betrachtung wird von jedem einzelnen Zeichen aus vorgenommen, mit anschließender Berechnung des arithmetischen Mittelwerts. Der Winkel von  $2,5^\circ$  orientiert sich an den Untersuchungen, die ergeben haben, daß die relative Sehschärfe gegenüber der Sehachse am Ende dieses Bereichs auf die Hälfte absinkt (Blackwell/Moldauer 1958; Taylor 1961).

o **Gruppenanzahl**

Die Gruppenanzahl beschreibt die Anzahl der durch Zeichen gebildeten Gruppen. Gruppen entstehen durch entsprechend große Abstände benachbarter Zeichen in horizontaler und vertikaler Richtung. Diese Abstände sollen mindestens dreimal so groß sein, wie die aus der üblichen Zeichenteilung resultierenden Abstände.

o **Gruppengröße**

Die Gruppengröße ergibt sich aus dem Mittelwert des horizontalen und vertikalen Sehwinkels der, ausgehend von einem bestimmten Sehabstand, durch die außen liegenden Zeichen gebildet wird.

o **Feldanzahl**

Die Feldanzahl beschreibt die Anzahl von Datenfeldern, wie sie z.B. bei sogenannten "Bildschirmmasken" auftreten. Sie bestehen normalerweise aus einer festen Feldbezeichnung und einem variablen Feldinhalt. Je nach Suchaufgabe können Datenfelder aber auch als Einzelzeichen oder als Zeichengruppen definiert werden.

o **Total-Layoutkomplexität (TLK)**

Die Total-Layoutkomplexität ist ein Maß für die Schwierigkeit, ein bestimmtes Sehobjekt zu erkennen - ausgedrückt in Bits:

Sei "n" eine Menge von Sehobjekten, wobei ein Sehobjekt als Einzelzeichen oder Gruppe von Zeichen definiert sein kann. Diese Items werden auf dem Bildschirm in bestimmten Weiten (=Spalten) bzw. Höhen (=Zeilen) dargestellt. Die Wahrscheinlichkeit einer Weite bzw. Höhe ist die relative Häufigkeit der Items, die in ihr stehen, bezogen auf die Gesamtanzahl der Items. Sie beschreibt also die Wahrscheinlichkeit, mit der ein beliebig herausgegriffenes Item in der betreffenden Weite bzw. Höhe

liegt. Die Total-Layoutkomplexität entspricht der Summe der ideellen Entropien zweier Zufallsquellen, nämlich der Entropie der Zufallsquelle der Höhen "H" und der Weiten "W" (Huhn/Niebert 1987; Topsoe 1974)

Die Parameter "Symmetrieachsenanzahl", "Identität" und "Desorientiertheit" sind im Rahmen dieser Arbeit als quantitative Strukturmerkmale definiert und verwendet worden und stellen eine Erweiterung der von Tullis verwendeten Parameter dar.

o **Symmetrieachsenanzahl**

Als weiterer fester Parameter wird hier die Anzahl der Spiegelsymmetrieachsen berücksichtigt; bei alphanumerischen Bildschirmdarstellungen treten normalerweise nicht mehr als vier Spiegelsymmetrieachsen auf.

o **Identität**

Der eine Struktur in quantitativer Form charakterisierende Parameter "Identität" konvergiert mit dem eine Struktur qualitativ beschreibenden Gestaltfaktor "Gleichartigkeit". Dieser Parameter stellt den Quotienten aus dem Verhältnis "Anzahl aller Gruppen" zu "differenzierter Gruppenanzahl" dar. Die differenzierte Gruppenanzahl beinhaltet ausschließlich verschiedenartige Gruppen.

o **Desorientiertheit**

Der Parameter "Desorientiertheit" beschreibt das Konfliktpotential einer Struktur im Sinne einer sakkadenlängenminimierenden Suchstrategie (Sakkaden sind ruckartige Augenbewegungen). Es wird davon ausgegangen, daß Entscheidungskonflikte dann auftreten, wenn von einem aktuell fixierten Sehobjekt mindestens zwei noch nicht fixierte Sehobjekte den kürzesten Abstand zu dem aktuellen Sehobjekt besitzen. Das aktuelle Sehobjekt muß außerdem unmittelbar zuvor auf dem kürzesten Weg von mindestens einem Sehobjekt aus erreicht worden sein. Ausnahmen bilden Strukturen, deren Sehobjekte so angeordnet sind, daß die jeweils kürzesten Verbindungen zwischen Sehobjekten ein Polygon ohne offene Kanten ergeben. Solche Strukturen sollen nur eine Konfliktsituation besitzen. Es werden nur Konflikte innerhalb von Gruppen gewertet. Desorientiertheit ergibt sich aus dem Quotienten von "Anzahl Konfliktsituationen" zu "Anzahl Gruppen".

### 3.3 Inhaltliche Aspekte

Die visuelle Wahrnehmung wird neben formalen Gesichtspunkten auch durch inhaltliche Bedingungen im Sinne von Semantik und Pragmatik beeinflusst. Dies gilt insbesondere für strategische Aspekte des Suchvorgangs (Klix 1976). So wirkt sich z.B. der Übungsgrad auf das Suchverhalten dahingehend aus, daß bei ungeübten Personen die mittlere Fixationsdauer etwas länger ist als bei geübten Personen. Auch die Aufgabenkomplexität, subjektiv betrachtet, äußert sich im Blickverhalten: mit zunehmender Aufgabenkomplexität steigen mittlere Fixationsdauer und mittlere Sakkadenlänge (Graf 1985). Geringer werdende Aufmerksamkeit und ähnliches, als Folge von

Ermüdung (Knauth/Schmidt 1990), führt beispielsweise zu einer Verringerung der Detektionsleistung (Davies 1979).

Entscheidungen über die Art und Weise, wie in einem komplexen Bild ein einzelnes Schobjekt gesucht wird, können auch durch das Wissen der Versuchsperson über die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins des Suchziels und dessen Häufigkeit beeinflusst sein. Rückmeldungen über die Qualität des Suchergebnisses können zu einer Verhaltensänderung führen (Craig 1979; Koethe 1973). Auch die Konsequenzen für richtige und falsche Entscheidungen, im Sinne von Belohnung und Strafe, können das Suchverhalten beeinflussen (Massaro 1975).

Nicht zuletzt wirkt sich der Aufgabentyp (siehe Rohmert/Rutenfranz 1975) auf den Prozeß der visuellen Wahrnehmung aus (Kageyu 1983; Petersen u.a. 1982). Inhaltliche Aspekte werden im weiteren Verlauf nicht mehr näher betrachtet.

## **4. Schaufgaben in realtypischen Strukturen**

In der Praxis wird bei der Entwicklung von Anwenderprogrammen oft wenig Wert auf gute Gestaltung der Bildschirminformation im Sinne der Gestaltpsychologie gelegt. Dennoch werden eine Reihe von Gestaltungsprinzipien angewendet, deren Wirksamkeit aber bislang nicht exakt geprüft werden konnte.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Wirksamkeit realtypischer Strukturvarianten bewerten zu können. Als Indikatoren werden objektive und subjektive Reaktionen von Versuchspersonen herangezogen. Zu den objektiven Reaktionen zählen Arbeitsergebnisse und das Blickverhalten; subjektive Reaktionen sind Antworten der Versuchspersonen auf einen Fragenkatalog, der sowohl kognitive als auch affektive Aspekte berücksichtigt.

### **4.1 Versuchsaufbau**

Der Versuchsaufbau beinhaltet ein System zur integrierten Auswertung des Blickverhaltens. Der Versuchsraum wird ausschließlich mit Kunstlicht betrieben. Das Beleuchtungsniveau liegt bei etwa 500 Lux. Die Sehzeichen erscheinen auf einem einfarbigen Bildschirm mit einer Diagonalen von 12 Zoll. Es werden helle Zeichen auf dunklem Untergrund dargestellt. Der Untergrund besitzt eine Leuchtdichte von ca. 10 cd/m<sup>2</sup>, die Zeichen selbst eine mittlere Leuchtdichte von 70 cd/m<sup>2</sup>, was einen "Helligkeitskontrast" von 7:1 ergibt.

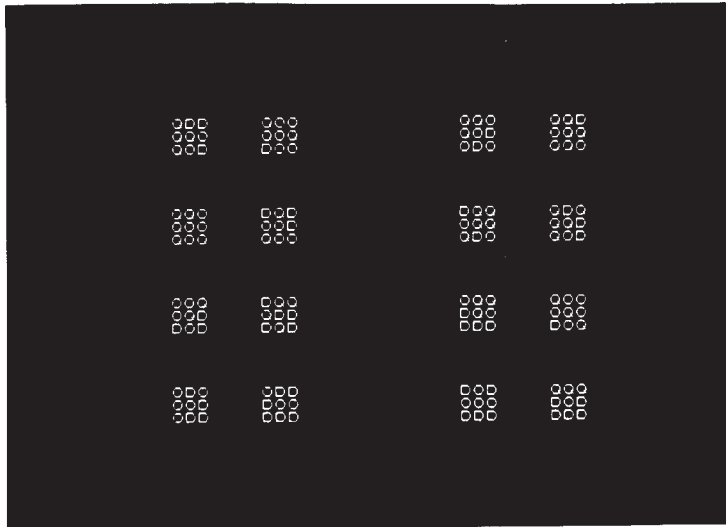
## 4.2 Versuchsparemeter

Basis des Versuchs sind 10 verschiedene Strukturvarianten, die sich an 10 realtypischen Gestaltungsvarianten orientieren. Die untersuchten Strukturvarianten lassen sich, wie folgt, beschreiben:

- o Strukturvariante 1: geringe Blockanzahl
- o Strukturvariante 2: mittlere Blockanzahl
- o Strukturvariante 3: große Blockanzahl
- o Strukturvariante 4: große Blockanzahl, große Gruppen
- o Strukturvariante 5: große Blockanzahl, kleine Gruppen
- o Strukturvariante 6: große Blockanzahl, kleine Gruppen, keine Spiegelsymmetrie
- o Strukturvariante 7: große Blockanzahl, keine Gruppen, keine Spiegelsymmetrie
- o Strukturvariante 8: große Blockanzahl, keine Spiegelsymmetrie, eingerahmte Gruppen (parallel dargebotene Bildschirmfenster)
- o Strukturvariante 9: große Blockanzahl, keine Spiegelsymmetrie, eingerahmte Gruppen (überlappend dargebotene Bildschirmfenster)
- o Strukturvariante 10: große Blockanzahl, keine Spiegelsymmetrie, eingerahmte Gruppen (seriell dargebotene Bildschirmfenster)

Bild 1 zeigt beispielhaft eine der verwendeten Strukturvarianten. Die Zeichen werden in einer speziellen 7 x 9 Matrix dargestellt.

**Bild 1: Realtypische Strukturvariante Nr. 4**



Daraus ergibt sich bei dem im Test verwendeten Sehabstand von 400 mm ein Seh-winkel von ca. 26'. Jede Strukturvariante wird pro Versuchsperson 5 mal hinter-einander dargeboten. Insgesamt wird jede der 10 Versuchspersonen mit 6.345 Seh-zeichen konfrontiert.

### 4.3 Versuchsdurchführung

Den Versuchspersonen werden unterschiedliche Suchbilder auf einem Bildschirm dargeboten. Diese Suchbilder bestehen aus 10 unterschiedlichen Strukturvarianten, wobei jede Strukturvariante wiederum in 5 unterschiedlichen Versionen unter Beibehaltung der Grundstruktur dargeboten wird.

Strukturvarianten werden durch die unterschiedliche Lage von 3x3-Matrizen der Großbuchstaben "Q", "D" und "O" gebildet. Pro Suchbild beträgt der Anteil der drei Buchstaben jeweils 1/3; diese Verteilung wird den Versuchspersonen jedoch nicht mitgeteilt. Die einzelnen 5 Versionen jeder Strukturvariante unterscheiden sich lediglich in der Zufallsverteilung der Buchstaben innerhalb des durch die Strukturvariante vorgegebenen Rasters. Die Aufgabe der Versuchspersonen besteht nun darin, in jedem der 50 Suchbilder die Anzahl des Buchstabens "O" zu ermitteln. Die Aufgabe "Vollständiges visuelles Durchsuchen nach einem bestimmten Sehobjekt" ähnelt vielen in der Praxis vorkommenden Suchaufgaben, z.B. der 100%-Kontrolle in dem Bereich "Qualitätssicherung". Um Effekte zu vermeiden, die sich aus der konstanten Bearbeitungsreihenfolge der 10 Strukturvarianten ergeben könnten, wird sie bei den einzelnen Versuchspersonen so variiert, daß jede Strukturvariante gleich häufig an erster Stelle, zweiter Stelle usw. auftritt.

### 4.4 Subjektive Beurteilungskriterien

Folgende Fragen wurden an die Versuchspersonen gerichtet:

- **Zeichenmenge**

"Wie beurteilen Sie die Zeichenmenge im Hinblick auf die Anstrengung beim Abarbeiten der Suchaufgabe?" 5-stufige Ratingskala von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft);

- **Gruppierung**  
“Wie gut sind die dargestellten Zeichen gruppiert?” 5-stufige Ratingskala von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft);
- **Symmetrie**  
“Wie gut entspricht die vorhandene Symmetrie Ihrem Symmetrie-Anspruch?” 5-stufige Ratingskala von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft);
- **Struktur**  
“Wie gut gefällt Ihnen die Struktur insgesamt?” 5-stufige Ratingskala von 1 (sehr gut) bis 5 (mangelhaft);
- **Beanspruchung**  
“Sie haben 100 Punkte zur Verfügung, um Ihre Beanspruchung zum Ausdruck zu bringen, die Sie beim Durchsuchen der Bilder empfunden haben. Beurteilen Sie immer zwei Bilder gemeinsam und verteilen Sie dann die 100 Punkte auf beide Bilder. Das Bild mit der höheren Beanspruchung erhält die höhere Punktezahl.“
- **Gruppenanzahl**  
“Wieviele Gruppen erkennen Sie in den einzelnen Bildern?”
- **Bevorzugung**  
“In welchem Bild würden Sie am liebsten suchen, wenn Sie dies eine längere Zeit tun müßten? Bringen Sie die Bilder bitte in eine Rangreihe.”

#### 4.5 Ergebnisse

Schaufgaben in realtypischen Strukturen führen zu unterschiedlichen, strukturabhängigen Reaktionen. Dies zeigt sich im Hinblick auf Arbeitsergebnisse, das Blickverhalten und subjektive Impressionen.

Unterschiede bezüglich Arbeitsergebnissen zeigen sich bei der Arbeitsgeschwindigkeit sehr viel deutlicher, als bei der Qualität der Ausführung von Suchaufgaben. Deutliche Auswirkungen rufen Veränderungen in der Anzahl gleichzeitig dargestellter Sehzeichen hervor. Die durchschnittliche Arbeitsgeschwindigkeit nimmt bis zu einer bestimmten Menge kontinuierlich zu. Eine weitere Zunahme führt dann jedoch zu einer Reduzierung der Geschwindigkeit. Symmetrische Strukturen, in Verbindung mit durch Abstände herbeigeführten Gruppierungen, wirken sich ebenso günstig aus wie unsymmetrische, markante Muster.

Analoge Unterschiede zeigen sich teilweise auch im Blickverhalten. Die im Durchschnitt kürzesten Fixationszeiten sind bei den Strukturvarianten festzustellen, die auch die besten Arbeitsergebnisse erbringen. Die durchschnittliche Sakkadenlänge ist abhängig von der Anordnung der Sehzeichen. Die Fixationshäufigkeit ist vermutlich bei durch Abstand gebildeten Gruppen von Sehzeichen besonders gering.

Bei den subjektiven Reaktionen zeigt sich, daß eine geringe Anzahl von gleichzeitig dargestellten Sehobjekten zu geringer Beanspruchung führt. Bei einer hohen Anzahl

von Sehobjekten bewirkt Gruppierung, die durch Abstände oder alternativ dazu auch durch Rahmen herbeigeführt wird, daß die Beanspruchung geringer wird.

## 5. Schaufgaben in abstrakten Strukturen

Der Einfluß gestaltpsychologischer Maßnahmen wurde bislang vorwiegend unter qualitativen Gesichtspunkten analysiert. Der quantitative Einfluß von Gestaltaspekten wie z.B. Nähe, Symmetrie, Gleichartigkeit und Verzweigungsfreiheit ist dagegen noch ziemlich unerforscht.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die Wirksamkeit der Faktoren "Nähe", "Symmetrie", "Gleichartigkeit" und "Verzweigungsfreiheit" anhand entsprechender Strukturvarianten bewerten zu können. Als Indikatoren werden objektive und subjektive Reaktionen von Versuchspersonen herangezogen. Zu den objektiven Reaktionen zählen Suchzeit, Fehlerrate und das Blickverhalten; subjektive Reaktionen stellen Antworten von Versuchspersonen auf einen Fragenkatalog dar, der sowohl kognitive als auch affektive Aspekte berücksichtigt.

### 5.1 Versuchsparameter

Geht man davon aus, daß jeweils bestimmte Kombinationen von Binärzuständen der vier Gestaltaspekte "Nähe, Symmetrie, Gleichartigkeit und Eindeutigkeit" eine bestimmte Strukturvariante bilden, dann ergeben sich theoretisch 24, also 16 Varianten. Strukturvariante 9 (siehe Bild 2) weist z.B. folgende vier Binärzustände auf: "Nähe" erfüllt(+), "Symmetrie" nicht erfüllt(-), "Gleichartigkeit" erfüllt(+), "Eindeutigkeit" erfüllt(+).

Da der Faktor "Gleichartigkeit" den Faktor "Nähe" voraussetzt, sind 4 der 16 Varianten nicht darstellbar. Die mögliche Anzahl reduziert sich damit auf 12 Varianten.

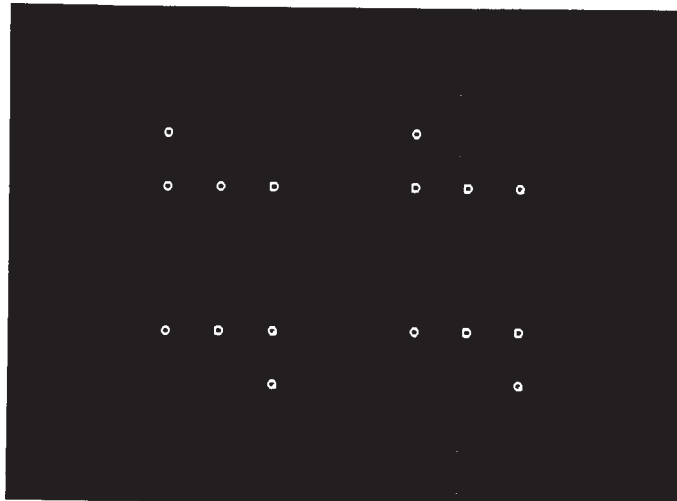
In Anlehnung an die Versuche mit realtypischen Strukturvarianten werden bei diesem Versuch pro Strukturvariante 16 Blöcke verwendet, wobei sich ein einzelner Block jetzt nur noch aus einem einzigen Sehzeichen zusammensetzt. Bei dem Faktor "Gleichartigkeit" wird im allgemeinen nur von partieller Gleichartigkeit von Gruppen ausgegangen. Eine Gruppe wiederum setzt sich aus jeweils 4 Blöcken zusammen. Daraus ergibt sich, daß die Kombination: Nähe(+), Symmetrie(+), Gleichartigkeit(-) und Eindeutigkeit (-) nicht realisierbar ist, weil eine Konstellation bestehend aus 4 völlig ungleichartigen, nicht eindeutigen Gruppen mit jeweils 4 Blöcken pro Gruppe und einer gemeinsamen Symmetrieachse nicht möglich ist. Somit reduziert sich die Anzahl der verwendbaren Varianten um eine auf nunmehr 11 Varianten.

Die Strukturvariante 11 zeichnet sich durch partielle Gleichartigkeit von Gruppen aus. In der Praxis sind aber auch völlig identische Gruppen relevant. Deshalb wird

zusätzlich noch die Strukturvariante 12 in das Versuchsprogramm integriert; sie besitzt diese Eigenschaft "völlig identische Gruppen" (Gleichartigkeit: ++). Die 12 Strukturvarianten (SV), bearbeitet von 12 Versuchspersonen, nun noch einmal im Überblick:.

**Tabelle 1: Merkmale der abstrakten Strukturvarianten**

**Bild 2: Abstrakte Strukturvariante Nr. 9**



SV	Nähe	Symmetrie	Gleichartigkeit	Verzweigungs- freiheit
1	-	-	+	+
2	+	-	-	-
<b>5.2 Subjektive Beurteilungskriterien</b>				
4	-	-	-	+
Die Versuchspersonen sollten folgende Antwortkategorien bearbeiten:				
Übersichtlichkeit	+	-	+	-
1: sehr unübersichtlich bis		5: sehr übersichtlich		
<b>Gliederung</b>	-	+	-	+
1: sehr ungegliedert + bis		5: sehr gegliedert	+	-
<b>Symmetrie</b>	+	-	+	+
1: sehr unsymmetrisch bis		5: sehr symmetrisch	-	+
<b>Zeichenmenge</b>	+	+	+	+
1: sehr viele Zeichen + bis		5: sehr wenig Zeichen	++	+

**Spaß**

1: sehr wenig Spaß bis 5: sehr viel Spaß

**- Beanspruchung**

1: sehr anstrengend bis 5: überhaupt nicht anstrengend

**- Suchergebnis**

1: sehr schlecht bis 5: sehr gut

**- Vollständige Suche**

1: sehr unsicher bis 5: sehr sicher

**- Suchstrategie**

1: sehr unsystematisch bis 5: sehr systematisch

**- Gruppenanzahl**

freie Eingabe: .....

Auch hier diente eine Ratingskala zur Quantifizierung subjektiver Eindrücke.

**5.3 Ergebnisse**

Schaufgaben in abstrakten Strukturen führen zu unterschiedlichen, strukturabhängigen Reaktionen. Dies zeigt sich im Hinblick auf Arbeitsergebnisse, das Blickverhalten und subjektive Impressionen.

Arbeitsergebnisse: Hohe Arbeitsgeschwindigkeit wird dann erzielt, wenn Sehzeichen so angeordnet werden, daß sich eine Struktur mit möglichst vielen Symmetrieach-

sen ergibt. Gruppierung durch größere Abstände zwischen benachbarten Sehzeichen führt eher zu einer Reduzierung der Arbeitsgeschwindigkeit. Geringe Arbeitsgeschwindigkeit tritt bei unstrukturierten Suchbildern auf. Da die Arbeitsgenauigkeit konstant auf einem hohen Niveau bei allen Strukturvarianten lag, gelten die Aussagen für Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsleistung (Produkt aus Arbeitsgeschwindigkeit und Arbeitsgenauigkeit) in gleicher Form.

Die Auswertung des Blickverhaltens zeigt anhand der Fixationshäufigkeit, daß vermutlich mit einer Zunahme zu rechnen ist, wenn die Strukturen zu einer extremen Änderung der Suchrichtung bzw. zu einer uneinheitlichen Suchstrategie zwingen. Geringe Fixationshäufigkeiten treten offenbar dann auf, wenn Sehzeichen Strukturen bilden, die symmetrisch sind und eine geringe Flächenausdehnung besitzen. Gruppierung durch Abstand führt hier nicht in jedem Fall zu einer größeren Fixationshäufigkeit. Die Fixationsdauer ist bei stochastischen Strukturen gering. Dies liegt, nach Aussagen der Versuchspersonen, an der mangelnden Sicherheit beim seriellen Abarbeiten der Sehobjekte. Die durchschnittliche Sakkadenlänge ist bei symmetrisch und kompakt angeordneten Sehobjekten besonders gering. Sie ist dann hoch, wenn Sehobjekte durch Abstand gruppiert werden und die durch die einzelnen Sehzeichen gebildete Form nicht zu einer wegeoptimierten Suchstrategie verleitet.

Subjektiv werden solche Strukturen als besonders übersichtlich bewertet, die entweder symmetrisch und nicht durch Abstand gruppiert sind oder durch Abstand gruppiert sind und außerdem viele Eigenschaften besitzen wie Verzweigungsfreiheit, Gleichartigkeit und Symmetrie. Bei identischer Anzahl von Sehzeichen wird die Zeichenmenge dann als sehr hoch empfunden, wenn diese stochastisch angeordnet sind. Derartige Strukturen werden außerdem als anstrengend empfunden. Übersichtliche Strukturen können, subjektiv betrachtet, sehr systematisch durchsucht werden.

## 6. Bewertungsmodelle für formale Strukturen

Dieser Abschnitt behandelt die Analyse von Interdependenzen zwischen abhängigen Variablen (z.B. Blickverhalten) und unabhängigen Variablen (z.B. Gruppengröße). Sie entstammen den Experimenten mit abstrakten Strukturen (vgl. Abschnitt 5). Anhand von Beispielen sollen nun entsprechende Ergebnisse verdeutlicht werden.

### 6.1 Unabhängige Variable und Arbeitsergebnisse

Es kann tendenziell angenommen werden, daß z.B. geringe Total-Layoutkomplexität und hohe Gesamtsymmetrie mit einer hohen Arbeitsgeschwindigkeit zusammenhängen und daß eventuell eine hohe Gruppensymmetrie mit einer hohen Arbeitsgenauigkeit in Verbindung steht. Indizien für mögliche Interdependenzen liefert der

Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizient Rho-S (Sachs 1984); er dient der Feststellung von Zusammenhängen zwischen nicht normalverteilten Reihen, die einer zweidimensionalen Stichprobe entstammen.

## 6.2 Unabhängige Variable und das Blickverhalten

Die Ergebnisse des Blickverhaltens setzen sich aus der Fixationshäufigkeit, der Fixationsdauer und den Sakkadenlängen zusammen. Mit Hilfen der multiplen Regression (Schwarz 1986) kann aus den untersuchten quantitativen Strukturparametern z.B. eine Prognose für das Blickverhalten am Beispiel der durchschnittlichen Sakkadenlänge abgeleitet werden (siehe Zwerina 1992).

Vergleicht man die tatsächlich aufgetretenen Ergebnisse mit den aus dieser Formel abgeleiteten Resultaten, so ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 25,7%. Die Höhe der Korrelation erlaubt außerdem die Behauptung, daß sich das Maß der Abhängigkeit signifikant (1%-Niveau) von der totalen Unabhängigkeit unterscheidet.

## 6.3 Unabhängige Variable und subjektive Impressionen

Subjektive Impressionen beinhalten: Übersichtlichkeit, Gliederung, Symmetrie, Zeichenmenge, Spaß, Anstrengung, Suchergebnis, Vollständigkeit, Suchstrategie und Gruppenanzahl. Tabelle 2 zeigt ausgewählte Ergebnisse; signifikant von Null verschiedene Abhängigkeiten auf dem 5%-Niveau sind durch "\*" und solche auf dem 1%-Niveau durch "\*\*\*" gekennzeichnet.

Strukturen werden um so übersichtlicher empfunden, je geringer die durchschnittliche Gruppengröße, je höher die durchschnittliche Anzahl von Symmetrieachsen pro Gruppe, je höher die Anzahl der Symmetrieachsen der kompletten Struktur, je höher die Identität, je geringer die Desorientiertheit und je geringer die Total-Layoutkomplexität sind.

Inwiefern im Rahmen der Erfassung subjektiver Eindrücke tatsächlich verschiedene Beurteilungsdimensionen angesprochen wurden, soll eine Faktorenanalyse (Überla 1971) zeigen. Obwohl die Rohdaten, die der Rangkorrelationsanalyse zugrunde liegen, nicht standardisiert im Sinne einer Normalverteilung sind, sollte nach (Überla 1971) trotzdem der Versuch unternommen werden, sie als Ausgangspunkt einer Faktorenanalyse einzusetzen. In diesem Fall ist, wie hier geschehen, auf Rangkorrelationskoeffizienten zurückzugreifen. Die Faktorenanalyse liefert drei Faktoren mit den folgenden Ladungen

### Tabelle 3: Ergebnisse einer Faktorenanalyse

#### Faktor 1

o Übersichtlichkeit 77,3%

- o Gliederung 83,7%
- o Symmetrie 76,4%
- o Spaß 65,2%
- o Anstrengung 78,6%
- o Suchergebnis 81,9%
- o Suchstrategie 68,4%

**Faktor 2**

- o Zeichenmenge 61,6%
- o Gruppenanzahl 79,1%

**Tabelle 2: Übersichtlichkeit-Ergebnisse einer Rangkorrelationsanalyse(%)**

Gruppengröße	- 36,6**
Gruppenanzahl	12,0
Gruppensymmetrie	40,9**
Gesamtsymmetrie	46,6**
Identität	38,1**
Desorientiertheit	-24,5**
Total-Layoutkomplexität	-57,2**

Die Ladungen geben die Größe des Einflusses an, den der jeweilige Faktor auf eine Variable (z.B. Übersichtlichkeit) besitzt. Die Aspekte der ersten Gruppe könnte man unter dem Titel "Akzeptanz" zusammenfassen. Bei der zweiten Gruppe mag die Bezeichnung "Quantität" adäquat sein; Zeichenmenge und Gruppenanzahl haben etwas mit Abzählen bzw. Mengenbeurteilung zu tun. Die dritte Gruppe besteht nur aus einem einzigen Item (Vollständigkeit) und einer relativ geringen Faktorladung (62,5%). Der Oberbegriff "Qualität" mag hierfür passend sein. Die Resultate zeigen also, daß mit gewissen Einschränkungen, die Antworten hinsichtlich Übersichtlichkeit, Gliederung, Symmetrie, Zeichenmenge, Spaß, Anstrengung, Suchergebnis, Vollständigkeit, Suchstrategie und Gruppenanzahl auf die drei Kategorien Akzeptanz, Quantität und Qualität reduziert werden können.

**Faktor 3**

- o Vollständigkeit 62,5%

**6.4 Arbeitsergebnisse und das Blickverhalten**

Die Arbeitsgeschwindigkeit soll für den Vergleich mit dem Blickverhalten herangezogen werden. Die Ergebnisse des Blickverhaltens setzen sich aus der Fixationshäufigkeit, der Fixationsdauer und den Sakkadenlängen zusammen: Offenbar korrespondiert hohe Arbeitsgeschwindigkeit mit geringer Fixationshäufigkeit (Rho-S -64%; Signifikanz 1%), geringer Fixationsdauer (Rho-S -37,2%; Signifikanz 1%) und langen Sakkaden (Rho-S 50,3%; Signifikanz 1%). Das bedeutet, daß die Fähigkeit innerhalb einer großen Exzentrizität, ausgehend von der Sehachse, in kurzer Zeit einen Identifikationsprozeß auszuführen, zu einer hohen visuellen Arbeitsleistung führt.

Nun soll ermittelt werden, wie gut sich aus einem Blickparameter (z.B. Fixationshäufigkeit x) die Arbeitsgeschwindigkeit (Y: Zeichen/Sek.) ableiten läßt. Eine gute Annäherung liefert eine polynomiale Regression 3. Ordnung (siehe Zwerina 1992). Die Korrelation zwischen tatsächlicher und prognostizierter Arbeitsgeschwindigkeit beträgt 66,4% (1%-Signifikanzniveau).

**6.5 Arbeitsergebnisse und subjektive Impressionen**

Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß hohe Arbeitsgeschwindigkeit mit Strukturen verbunden ist, in denen Identifikationsprozesse des Beobachters als anstrengend empfunden werden (Rho-S -18,3%; Signifikanz 5%). Hohe Arbeitsgeschwindigkeit ist offenbar auch ein Indiz für hohe Unsicherheit in der Einschätzung, alle Sehobjekte vollständig identifiziert zu haben (Rho-S 29,2%; Signifikanz 1%).

Nicht signifikant, aber mit einer positiven Korrelation von über 10% ausgestattet, sind die subjektiven Aspekte Gliederung, Symmetrie und Gruppenanzahl in Verbindung mit der Arbeitsgeschwindigkeit. Dieser Umstand könnte Anlaß zu der Vermutung geben, daß die Arbeitsgeschwindigkeit immer dann hoch ist, wenn man der Meinung ist, die Struktur sei gegliedert, habe ein symmetrisches Aussehen und weise eine hohe Gruppenanzahl auf.

**6.6 Blickverhalten und subjektive Impressionen**

Die Fixationsanzahl war immer dann hoch, wenn sich die Probanden sehr sicher waren, eine Struktur vollständig durchsucht zu haben (Rho-S 37,7%; Signifikanz 1%) und der Meinung waren, ein gutes Suchergebnis erzielt zu haben (Rho-S 17,5%; Signifikanz 5%).

Hohe Fixationsdauer war verbunden mit geringer Anstrengung (Rho-S 19%; Signifikanz 1%) und der Meinung, ein positives Suchergebnis erzielt (Rho-S 31,8%; Signifikanz 1%) und eine Suchstrategie angewandt zu haben, die als systematisch bezeichnet werden kann (Rho-S 22,8%; Signifikanz 1%). Außerdem waren sie sich ziemlich sicher, alle Sehobjekte identifiziert zu haben (Rho-S 36,3%; Signifikanz 1%). Strukturen haben immer dann große durchschnittliche Sakkadenlängen gezeigt, wenn Versuchspersonen die Strukturen als unübersichtlich eingestuft haben (Rho-S -22,8%; Signifikanz 1%). Im Zusammenhang mit großen Sakkadenlängen äußerten sich Probanden im Sinne von großer Anstrengung (Rho-S -32,0%; Signifikanz 1%), schlechtem Suchergebnis (Rho-S -25,1%; Signifikanz 1%), Unsicherheit bezüglich einer vollständigen Suche (Rho-S -38,6%; Signifikanz 1%) sowie einer hohen Gruppenanzahl (Rho-S 24,9%; Signifikanz 1%).

## 7. Fazit

Bewertungsmodelle für formale Strukturen, dargestellt auf der Basis bestimmter Reizgrößen (hier: unabhängige Strukturparameter) und entsprechender Reaktionen (Arbeitsergebnisse, Blickverhalten und subjektive Impressionen) zeigen, daß aus unabhängigen Strukturparametern ein typisches Arbeitsergebnis (die Arbeitsgeschwindigkeit) ziemlich ungenau prognostizierbar ist. Es hat sich in diesem Zusammenhang gezeigt, daß Modelle, die Arbeitsergebnisse für ausschließlich punktuelle Suchaufgaben liefern, nicht direkt auf globale Suchaufgaben übertragbar sind. Analoge Aussagen gelten auch für Vorhersagen des Blickverhaltens aus Strukturmerkmalen. Signifikante Resultate zeigt dagegen die Gegenüberstellung von Strukturmerkmalen und subjektiven Reaktionen. So sind quantitative Strukturparameter wie Gruppengröße, Gruppenanzahl, Gruppen und Gesamtsymmetrie sowie Identität, Desorientiertheit und Total-Layoutkomplexität geeignete Indikatoren für die Prognose subjektiver Eindrücke (z.B. Beurteilung der Übersichtlichkeit).

Mit Hilfe der Korrelations- und Regressionsanalyse lassen sich ebenfalls Zusammenhänge zwischen dem Blickverhalten und Arbeitsergebnissen nachweisen und aus dem Blickverhalten Arbeitsergebnisse prognostizieren. Punktuell sind signifikante Zusammenhänge zwischen subjektiven Reaktionen und Arbeitsergebnissen feststellbar. Beziehungen lassen sich auch zwischen subjektiven Reaktionen und dem Blickverhalten ableiten.

Aus den vorliegenden Ergebnissen resultieren wichtige Grundaussagen für die Visualisierung von Information auf elektronischen Medien und Printmedien- im Hinblick auf die Suchleistung und die Akzeptanz. Zusammenfassend ergeben sich folgende Gestaltungsgrundsätze:

- Visuelle dargebotene Information sollte symmetrisch angeordnet sein.
- Wenn Gruppierung durch Abstand vorgenommen wird, dann sollten sowohl die einzelnen Gruppen als auch die Gesamtstruktur eine möglichst hohe Symmetrieachsenanzahl besitzen.
- Wenn Symmetrie nicht erzielt werden kann, dann sollte Verzweigungsfreiheit angestrebt werden.
- Wird Gruppierung durch Abstand so vorgenommen, daß die einzelnen Gruppen Gleichartigkeit aufweisen, dann sollten diese Gruppen außerdem symmetrisch, zumindest aber verzweigungsfrei sein.

Weiterführende Untersuchungen auf diesem Gebiet sollten, auf der Grundlage der hier abgeleiteten Ergebnisse, zusätzlich semantische Aspekte einbeziehen.

## Literatur

- Benz, Claus, Robert Grob, Peer Haubner (1982): Gestaltung von Bildschirmarbeitsplätzen. Köln.
- Blackwell, Henry R., Andrew B. Moldauer (1972): Detection Thresholds for Point Sources in the near periphery. 1958. in W.F. Grether, C.A. Baker, Visual Presentation of Information. American Institutes For Research. Washington D.C.
- Bodmann, Hans-Walter (1973). Visibility Assessment in Lighting Engineering. Journal of the IES 2(4), 437-444
- Craig, Angus (1979): Decision Process in Detection and Revognition: Modells and influencing Variables, in: J.N. Clare M.A. Sinclair (Eds.): Search and the Human Observer. London
- Davies, David R. (1979): Theories of Vigilance and Sustained Attention, in: J.N. Clare M.A. Sinclair (Eds.): Search and the Human Observer, London
- Dzida, Wolfgang (1980): Kognitive Ergonomie für Bildschirmarbeitsplätze, in: Humane Arbeitsplätze 2 (10), 18-19
- Geiser, Georg (1990): Mensch-Maschine-Kommunikation. München, Wien.
- Graf, Wolfgang (1985): The Application of Eye Movement Analysis. in: F. Sigl; G. Heiden; M. Krueger: The Ergonomic Evaluation of Human-Computer-Interaction. Proceedings Of "Work With Display Units". Stockholm, 512-515
- Haubner, Peter (1985): Information Display on Monochrome and Colour Screen, in: E. Gandjean (Hg.): Proceedings of the International Scientific Conference on Ergonomic and Health Aspects in Modern Offices, London, 371-376

- Haubner, Peter (1985): Strukturaspekte der Informationsgestaltung auf Bildschirmen, in: H.-W. Bodmann (Hg.): Aspekte der Informationsverarbeitung. Berlin/Heidelberg/New York/Tokio
- Huhn, Michael, Peer Niebert (1987): Grundzüge der Informatik. FSI Informatik. Erlangen
- Kageyu, Noro (1983): A Descriptive Modell of Visual Search. Human Factors. 25 (1), 93-101
- Knauth, Peter, Karl-Heinz Schmidt (1990): Wache und Freiwache an Bord von Seeschiffen. Seefahrtspsychologie. Werkstattberichte Arbeit und Technik. 5, Bremerhaven, 101-128
- Koethe, Hannelore (1982): Die Signalentdeckungstheorie als methodisches Hilfsmittel für anthropotechnische Untersuchungen. Anthropotechnische Mitteilungen Nr. 1/73, Meckenheim
- Massaro, David W. (1975): Experimental Psychology and Information Processing, Chicago
- Metzger, Wolfgang (1966): Handbuch der Psychologie. 1. Band, 1. Halbband, Göttingen
- Moritz, Hans (1983): Umsetzung wahrnehmungspsychologischer Erkenntnisse für die Informationsgestaltung am Bildschirm, In: H. Balzert (Hg.): Software-Ergonomie, Stuttgart
- Neumann, Jochen, Klaus-Peter Timpe (1982): Psychologische Arbeitsgestaltung, Berlin
- Petersen, Rohn J., Robert L. Smith, Wiliam W. Banks, David I. Gertmann (1982): An Experimental Examination of Evaluation Methods for Computer Generated Displays. Idaho National Engineering Laboratory
- Rohmert, Walter, Joseph Rutenfranz (1975): Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (Hg), Bonn
- Sachs, Lothar (1984): Angewandte Statistik. 6. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York
- Schwarz, Hans Rudolf (1986): Numerische Mathematik. Stuttgart
- Stadler, Michael, Falk Seeger, Arne Raeithel (1977): Psychologie der Wahrnehmung. München
- Taylor, John H. (1972): Contrast Thresholds as a Function of Retinal Position and Target Size for the Light-Adapted Eye. 1961, in: W.F. Grether, C.A. Baker, Visual Presentation of Information. American Institutes For Research. Washington D.C.
- Topsoe, Flemming (1974): Informationstheorie. Stuttgart
- Tullis, Thomas S. (1986): Optimizing the usability of Computer Generated Displays. New York
- Überla, Karl (1971): Faktorenanalyse, Berlin/Heidelberg/New York
- Zwerina, Harald (1992): Erkennung von Sehzeichen in unterschiedlichen Strukturen auf dem Bildschirm. Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

## Anschriften der Verfasser

Dr. Harald Zwerina  
Siemens AG  
Bereich Automatisierungstechnik  
Postfach 4848  
90026 Nürnberg

Prof. Dr. Hans-Walter Bodmann

Universität Karlsruhe (TH)  
Lichttechnisches Institut  
Postfach 6980  
76049 Karlsruhe

Prof. Dr. Peter Knauth  
Universität Karlsruhe (TH)  
Institut für Industriebetriebslehre  
und Industrielle Produktion  
Abteilung Arbeitswissenschaft  
Hertzstraße 16  
76187 Karlsruhe

Prof. Dr. Wolffried Stucky  
Universität Karlsruhe (TH)  
Institut für Angewandte Informatik  
und Formale Beschreibungsv erfahren  
Postfach 6980  
76049 Karlsruhe