

Semesterarbeit: Allgemeine Psychologie II



**BEITRÄGE DER  
AUGENBEWEGUNGSFORSCHUNG  
ZUR KOGNITIVEN PSYCHOLOGIE**

**- Ein Überblick -**



## Inhaltsverzeichnis

Abschnitt	Seite
1 Einleitung.....	3
2 Physiologie der Augenbewegungen - Bedeutung für die Theoriebildung... 4	
2.1. Grundprinzipien des visuellen Systems.....	4
2.2. Übersicht über Augenbewegungsarten.....	5
2.3. Theorien der Augenbewegungssteuerung.....	7
2.4. Orte der Augenbewegungssteuerung.....	10
2.5. Die Evolution des okulomotorischen Systems.....	12
3 Methodik der Augenbewegungsforschung.....	13
3.1. Vergleich mit anderen Methoden der kognitiven Psychologie.....	13
3.2. Möglichkeiten der Augenbewegungsregistrierung.....	18
3.3. Augenbewegungsparameter.....	21
4 Geschichte der Augenbewegungsforschung.....	22
5 Augenbewegungsforschung im Rahmen der allgemeinen Psychologie.....	24
5.1. Wahrnehmung und Aufmerksamkeit.....	25
5.2. Gedächtnis und Lernen.....	31
5.3. Vorstellung und mentale Modelle.....	35
5.4. Denken und Problemlösen.....	39
6 Augenbewegungsforschung in Entwicklungs-, Sozial- und differentieller Psychologie.....	44
6.1. Entwicklungspsychologie.....	44
6.2. Sozialpsychologie.....	48
6.3. Differentielle Psychologie.....	50
7 Augenbewegungen in der angewandten Psychologie.....	53
7.1. Radiologie.....	53
7.2. Sport.....	54
8 Fazit und Ausblick.....	56
9 Literatur.....	57

## 1 Einleitung

Die Analyse von Augenbewegungen stellt in manchen Gebieten der Psychologie mittlerweile das Mittel der Wahl dar. Vor allem in der Erforschung des Lesens, des Schlafes und der Schizophrenie; ebenso obligatorisch kommt diese Methode in der Werbeforschung und der Analyse des Verhaltens von Kraftfahrern im Straßenverkehr zum Einsatz. Diese Bereiche zeichnen sich dadurch aus, daß sie einen starken Anwendungsbezug haben. In der Grundlagenforschung jedoch kommt diese Methode nur sehr spärlich zum Einsatz und ist immer noch ein eher exotischer Zweig der kognitiven Psychologie. Bereits vor über 20 Jahren haben Just und Carpenter (1976b) auf diese beklagenswerte Situation hingewiesen. An dieser hat sich – wenn man davon absieht, daß ein paar Paradigmen dazugekommen sind im wesentlichen bis heute nichts geändert: Während die Forschung zu Themen wie dem Gedächtnis oder dem Problemlösen blüht und jedes Jahr hunderte von Arbeiten dazu veröffentlicht werden, fristet die Untersuchung dieser Themen mittels der Erhebung von Augenbewegungsdaten bislang ein Schattendasein. Dennoch gibt es diese Forschung. Jene, die diese Forschung betreiben, gehen dabei zudem eher eklektizistisch vor, nutzen diese Methode für eine spezifische Fragestellung ohne sich direkt mit den theoretischen Implikationen der Augenbewegungsforschung auseinanderzusetzen und ohne theoretische Bänder zu ähnlicher Forschung auf diesem Gebiet (z.B. Haider & Frensch 1999). Schwerpunktmäßig arbeitet auf diesem Gebiet weltweit nur eine kleine und verstreute Schar von Wissenschaftlern. Die vorliegende Arbeit ist als Überblicksartikel eben diesen Forschungen gewidmet. Ziel ist es, den Nutzen und die Grenzen dieser Methodik in den vielfältigen psychologischen Spezialgebieten aufzuzeigen.

Im zweiten Abschnitt wird die Möglichkeit, Augenbewegungen als Gegenstand der Kognitionswissenschaft zu sehen, aus der Physiologie hergeleitet. Im dritten Abschnitt wird die Notwendigkeit von Augenbewegungsstudien herausgearbeitet und die Methoden, die der Psychologie momentan hierfür zur Verfügung stehen, dargestellt. Im vierten Abschnitt wird die Geschichte der Augenbewegungsforschung nachgezeichnet. Im fünften Abschnitt erfolgt eine Einführung in die Augenbewegungsforschung im Rahmen der allgemeinen Psychologie, analog dazu im Abschnitt 6 deren Einsatz in Differentieller, Entwicklungs- und Sozialpsychologie. Der letzte inhaltliche Abschnitt (7) wendet sich der Nutzung der Augenbewegungsforschung in der angewandten Psychologie zu. Mit Abschnitt 8 folgt ein Fazit, in welchem die bis dahin dargestellten Inhalte diskutiert werden. In Abschnitt 9 befindet sich das Verzeichnis der verwendeten Literatur.

## 2 Physiologie der Augenbewegungen - Bedeutung für die Theoriebildung

Warum sollte man sich mit der Physiologie des visuellen Systems beschäftigen, wenn man sich als vornehmlich phänomenologisch orientierter Psychologie für Augenbewegungen lediglich als Indikator für den Ablauf kognitiver Prozesse interessiert?

Die Antwort ist fast schon trivial: Der Mensch baut sein Weltbild, die Datenbasis für seine kognitiven Prozesse und seine Informationsverarbeitung im wesentlichen, wenn nicht ausschließlich aus seiner Wahrnehmung auf. Und der visuelle Kanal beziehungsweise das visuelle System ist unter den Wahrnehmungssystemen des Menschen wohl das bedeutendste (Grüsser & Grüsser-Cornehls 1997). Aus den physiologischen Gegebenheiten dieses Wahrnehmungssystems lassen sich dessen Funktionen und damit deren Bedeutung für die Erforschung kognitiver Prozesse ableiten. Deshalb gibt dieser Abschnitt einen Einblick in die Physiologie des visuellen Systems, d.h. zumindest in die für die Fragestellungen relevanten Teile. Gegen Ende des Abschnittes werden die Implikationen der physiologischen Fakten für die Theoriebildung aufgezeigt.

### **2.1. Grundprinzipien des visuellen Systems:**

Die Augen, bzw. vor allem Netzhäute, sind physiologisch gesehen ausgestülpte Teile des Gehirns – zumindest haben sie sich in der Phylogenese so entwickelt. Dies allein ist schon Grund genug, sie intuitiv als Indikator kognitiver Prozesse zu sehen. Dies wurde auch von vielen Forschern immer wieder betont. So führt z.B. Yarbus (1967) an, die Augen seien die Fenster zum Gehirn.

Die Aufnahme des physikalischen Reizes (Lichtquanten) erfolgt in den Rezeptorzellen der Retina (Netzhaut). Es gibt zwei Arten von Rezeptorzellen: Die Stäbchen, die sehr lichtempfindlich sind und die Nachtsicht – das Stäbchensehen gewährleisten. Die Stäbchen sind in einem Verhältnis von ca. 100:1 mit den Ganglienzellen und den Nervenzellen des Sehnervs verschaltet. Dieses „Stäbchensehen“ hat deshalb nur eine sehr schlechte Auflösung, ist unscharf und monochrom. Die andere Art von Rezeptoren in der Netzhaut sind die sogenannten Zapfen. Die Zapfen sind in einem besseren Verhältnis mit den Ganglienzellen verschaltet (bis 1:1) und erlauben so eine höhere Auflösung und ein scharfes Sehen. Diese Zapfen sind es auch, die für das Farbsehen zuständig sind (Es gibt drei verschiedene Arten von farbsensitiven Zapfen), allerdings benötigen sie dazu mehr Licht. (Birbaumer & Schmidt

1996). Diese Rezeptorzellen sind ungleichmäßig über die Netzhaut verteilt. (Grüsser & Grüsser-Cornehls 1997). Die Zapfen konzentrieren sich in ihrer überwiegenden Mehrheit auf einer Stelle der Netzhaut, die man gelben Fleck oder auch fovea centralis nennt. Fixiert man einen Gegenstand so fällt dessen Bild auf den gelben Fleck. Dort ist der Ort des schärfsten (fovealen) Sehens: Nur dort ist die Auflösung gut genug, um komplexe Stimuli angemessen scharf wahrzunehmen. Da dieser gelbe Fleck aber nur 1° Sehwinkel ausmacht – das ist nur 1/10000 der Gesamtfläche der Netzhaut (Winterhoff 1980) - ergibt sich daraus schon die erste Implikation: Bei der Aufnahme und Verarbeitung komplexer visueller Stimuli kann man diese nicht mit einem Blick „ganzheitlich“ erfassen, sondern muß die Augen bewegen, um das Bild sukzessive abzutasten.

Vom fovealen Sehen unterscheidet man noch das parafoveale Sehen, welches eine relativ gute Auflösung erlaubt (ca. 30% des fovealen Sehens) und auf den Regionen um den gelben Fleck basiert, in welchen Stäbchen und Zapfen gemeinsam vorkommen, und die bis zu 10° des Sehfeldes ausmachen. Die restliche Sicht nennt man peripher – sie basiert auf dem Stäbchensehen und hat eine sehr schlechte Auflösung. Dort ist die Wahrnehmung monochrom und unscharf. Das periphere Sehen dient vor allem der Wahrnehmung von Bewegungen und der Entdeckung von Stimuli. Man nimmt an (Just & Carpenter 1976b), daß die Reize in parafovealen und peripheren Gebieten sakkadische Augenbewegungen auslösen und somit Ziel und Richtung von Sakkaden bestimmen. Eine strukturierte Analyse dieser so entdeckten Stimuli leistet dann das foveale Sehen (nach einer Augenbewegung hin zum Stimuli).

## 2.2. Übersicht über Augenbewegungsarten

Nachdem nun die Notwendigkeit von Augenbewegungen für die Wahrnehmung angedeutet wurde, stellt sich nun die Frage, welche Arten von Augenbewegungen es gibt. Es gibt mehrere qualitativ verschiedene Arten von Augenbewegungen.

**Sakkadische Bewegungen** sind ruckartige Bewegungen des Augapfels, welche das Auge in einer ungeheuren Schnelligkeit ausführt. Mit einer Winkelgeschwindigkeit von 600-700° pro Sekunde sind diese Augenbewegungen mit die schnellsten Bewegungen, die innerhalb des menschlichen Körpers überhaupt stattfinden. Sakkaden sind ballistische Bewegungen, d.h. Richtung und Weite sind vor dem Beginn festgelegt und wenn sie einmal ausgelöst wurden, können sie nicht mehr abgebrochen werden, bis sie ihr Ziel erreichen. Diese ballistische Natur

ist deshalb notwendig und sinnvoll, weil es bei der enormen Geschwindigkeit der Sakkaden nicht möglich ist, während der Ausführung der Sakkade neue Informationen einzubeziehen um den Kurs evtl. noch zu ändern. Ihre Dauer ist im wesentliche eine Funktion der Distanz, die sie zurücklegen und liegt im Bereich von 20-30ms. Die Sakkadenlatenz, d.h. die Zeit die vergeht, bis eine Sakkade ausgeführt wird, ist einerseits von den Merkmalen des Stimulus abhängig, andererseits von kognitiven Faktoren wie Aufmerksamkeit oder Vorwissen, welche die Sakkadenlatenz verringern. Unter optimalen Bedingungen kommt es zu sogenannten **„Expresßsakkaden“** mit einer Latenz von lediglich 80 ms. Die durchschnittliche Sakkadenlatenz beträgt 200-300ms. Wurde eine Sakkade ausgeführt, so unterschießt diese das Ziel in der Regel, so daß unmittelbar nach einer Sakkade noch eine kleine Sakkade ausgeführt wird, die dann das Ziel erfaßt. Diese kleinere Sakkade nennt man Korrektursakkade. Sollen mehrere Sakkaden hintereinander ausgeführt werden, so addieren sich die Zeiten nicht, sondern sind niedriger als erwartet, was für eine parallele Programmierung multipler Ziele spricht (Deubel 1994). Dies vereinfacht und beschleunigt manche Prozesse der Informationsverarbeitung wie das Lesen. Die Dauer der Sakkadenlatenz ist assoziiert mit der Fixationsdauer, was dazu veranlaßt anzunehmen, daß die Sakkade während der Fixation berechnet wird. (Rayner 1978).

Es gibt zwei Arten sakkadischer Bewegungen:

Die sogenannten **„command movements“**, welche willkürlich von der Person ausgeführt werden und die sogenannten **„attraction movements“**, welche Bewegungen hin zu einem Stimulus aus der Reizumgebung bezeichnen.

Diese Art von Augenbewegungen kann von zwei verschiedenen Systemen ausgelöst werden (Winterhoff 1980, Unema 1995).

Zwischen den Sakkaden finden Fixationen statt, in welcher das Auge in Ruhe ist. Die durchschnittliche Fixationsdauer beträgt 200-300ms.

Eine andere Art von Augenbewegungen sind **Blickfolgebewegungen**. Diese sind nicht sprunghaft wie die Sakkaden sondern kontinuierlich. Auch von ihnen gibt es zwei Arten: Die **„tracking movements“**, welche Auftreten, wenn man einen Stimulus verfolgt, der sich durchs Gesichtsfeld bewegt, wie z.B. ein Insekt, und **„compensatory movements“** (Nystagmen), die dazu dienen, das Netzhautbild zu stabilisieren, wenn man sich selbst oder seinen Kopf bewegt. Diese Bewegungen treten automatisch und unwillkürlich auf.

Außerdem gibt noch die sogenannten „**micromovements**“ (auch Microtremor), die während der Fixation eines Objektes auftreten. Diese Bewegungen sind ebenfalls unwillkürlich. Ihre Funktion ist noch nicht letztendlich geklärt. Man vermutet, daß sie dazu dienen, zu verhindern, daß man an den Stimulus habituiert und dieser verblaßt erscheint.

Die oben genannten Bewegungen sind konjugiert, d.h. beide Augen bewegen sich parallel. Darüber hinaus gibt es auch noch konvergente Augenbewegungen, welche auftreten, wenn man auf einen Nahreiz adaptiert und divergente Augenbewegungen, die auftreten, wenn man die Augen auf einen Fernreiz ausrichtet. (Birbaumer & Schmidt 1996).

### **2.3. Theorien der Augenbewegungssteuerung**

Die Frage, mit welchen Strategien die Reizoberfläche abgetastet wird, ist nach wie vor nicht geklärt. Es gibt mehrere prinzipielle Möglichkeiten, zu denen in der Vergangenheit Theorien ausgearbeitet wurden, und für die es unterschiedlich starke empirische Evidenz gibt. Die Frage, inwiefern Augenbewegungen ein kognitionspsychologischer Forschungsgegenstand sind, steht und fällt mit der Theorie, die wir hier annehmen.

- a) Die „Random-walk“-Hypothese. Diese Hypothese besagt, daß die Augenbewegungen gar keinem ausgeklügelten Programm folgen, sondern das Gesichtsfeld mehr oder weniger zufällig, quasi explorativ abtasten. Dies wäre möglich, da die Augenbewegungen so schnell sind. Diese Hypothese wurde sehr früh formuliert, mittlerweile spricht sehr viel empirische Evidenz gegen diese Hypothese – schon Yarbus (1967) hat gezeigt, daß Augenbewegungsmuster eine zu große Strukturiertheit aufweisen, als es unter Voraussetzung des Zufalls plausibel wäre. Andererseits darf man diese Hypothese nicht vergessen, es wäre zumindest theoretisch denkbar, daß Augenbewegungen keinerlei kognitive Prozesse reflektieren, sondern sich lediglich stochastisch verhalten. Setzt man die Gültigkeit dieser Theorie voraus, sind Augenbewegungen weder ein Gegenstand der kognitiven Psychologie, noch kann man daraus eine Methode für die kognitive Psychologie ableiten, da Augenbewegungen dann von anderen kognitiven Prozessen weitgehend unabhängig sind.

- b) Eine weitere Hypothese ist die der „konstanten Pattern“, d.h. es wird angenommen, daß es ein Grundmuster gibt, mit welchem Menschen grundsätzlich visuelle Stimuli, z.B. Bilder abtasten. Diese Hypothese ist auch schon etwas älter (60er, 70er) und hat ebenfalls Probleme mit der empirischen Evidenz. Diese zeigt, daß es eine große inter- und intraindividuelle Varianz der Augenbewegungsmuster beim Betrachten verschiedener visueller Stimuli gibt. Außerdem führt Winterhoff (1980) an, daß es viel zu lange dauern würde, das gesamte visuelle Feld systematisch abzutasten, da das menschliche Auge nur ca. 5 Fixationen in der Sekunde ausführen kann. Und da nur während Fixationen die Aufnahme strukturierter Information möglich sei, müsse eine starke Selektion vorgenommen werden. Diese Selektion sei kognitiv gesteuert. In Reaktion auf diesen Einwand wurde eine Hypothese der „adaptiven okulomotorischen Kontrolle“ formuliert, die besagt, daß es ein Grundprogramm des Ab tastens eines Stimulus gibt, welches aber durchaus aktuelle Informationen des Reizes integrieren kann. Die Augenbewegungen werden in diesem Modell (im Vergleich zu anderen Modellen) „lax“ programmiert (Just & Carpenter 1976b). Auch bei Annahme der Gültigkeit dieser Theorie könnte man aus Augenbewegungen prinzipiell nur sehr wenig an Erkenntnisgewinn für die kognitive Psychologie ziehen.
- c) Die Hypothese der Stimulus-Kontrolle besagt, daß die Augenbewegungen vor allem von der Reizvorlage determiniert werden. Für diese Hypothese spricht sehr viel, es gibt z.B. einige Evidenz, daß charakteristische Bilder von verschiedenen Personen auf die gleiche Weise betrachtet werden, mit nur einer sehr geringen interindividuellen Varianz. (Schweizer 1998). Außerdem sind die Augenbewegungen in der Tat sehr stark von der jeweiligen Aufgabe abhängig (Rayner 1978).
- d) Die Hypothese der internalen Kontrolle: Diese geht davon aus, daß vor allem kognitive Faktoren wie z.B. Wissen, Aufmerksamkeit und Willen die Augenbewegungen steuern und es gibt dafür auch eine Fülle an empirischer Evidenz (für eine Übersicht siehe Deubel 1994). Eine solche Annahme eröffnet in besonderem Maße die Fruchtbarkeit von Augenbewegungsanalysen zur Beantwortung Kognitionspsychologischer Fragestellungen.

Aus diesen Hypothesen leiten sich zwei Theorien ab, welche beide ihre Befürworter haben. Die Debatte, welche angemessener ist, ist immer noch nicht letztendlich geklärt.

Die **cognitive-lag-Theorie** besagt, daß die kognitive Verarbeitung den Fixationen und Bewegungen der Augen hinterherhinkt, da die Augenbewegungen so außerordentlich schnell sind. Es wird angenommen, daß die Augenbewegungen lediglich eine Art „Puffer“ füllen, aus dem sich die kognitive Informationsverarbeitung speist. Bis aber das Material im Puffer verarbeitet ist, wurden schon wieder viele Augenbewegungen ausgeführt. Diese Theorie ist mit den Random-Walk- und Pattern-Hypothesen eng assoziiert. Danach ist nur eine sehr beschränkte kognitive Beeinflußung von Augenbewegungen möglich. Damit würden sich Augenbewegungsanalysen nur begrenzt als Erkenntnismethoden für kognitive Prozesse eignen. Ein Vertreter dieser Theorie ist z.B. Kolars (siehe Unema 1995 oder Rayner 1978).

Alternativ dazu besagt die **process-monitoring-Theorie**, daß die kognitive Verarbeitung synchron zum jeweils fixierten Objekt ist. Man verarbeitet das gerade fixierte. (Rayner 1977). Auf diese Annahme und Theorie stützen sich implizit oder explizit alle Untersuchungen, die den kognitiven Einfluß auf Augenbewegungen nachzuweisen versuchen und jene, die umgekehrt aus den Augenbewegungen Rückschlüsse über kognitive Prozesse ziehen. Diese Theorie ist mit einer Verknüpfung aus internaler- und Stimuluskontrolle der Augenbewegungen assoziiert. Mittlerweile gibt es für diese Theorie mehr empirische Evidenz als für die andere, was dafür spricht, Augenbewegungsdaten heranzuziehen, wenn man Antworten auf Fragestellungen der kognitiven Psychologie sucht. Allerdings hat sich diese Theorie weder durchgesetzt, noch ist sie im Detail so präzise, daß man von einer hinreichenden Theorie der Augenbewegungen sprechen könnte. Es ist zu berücksichtigen, daß die impliziten Annahmen der Theorie noch nicht bewiesen sind, deren Gültigkeit aber bei allen Schlüssen vorausgesetzt wird, was vor allem von den Gegnern dieser Theorie bislang als besonders schwerwiegend angesehen wird (z.B. Gonzalez & Kolars 1985).

Desweiteren gibt es noch andere Vorstellungen , z.B. von Norman und Rumelhart (in Lüer 1988), die einen Doppelweg der visuellen Reizerkennung vorschlagen, bei welchem top-down und bottom-up-Strategien kombiniert werden. Eine interessante Erweiterung schlägt Lüer (1988) für manche Abtaststrategien vor, so z.B., daß Spezialprogramme, wie das Programm zum Lesen, nicht angeboren sind, sondern erlernt werden. Gale und Findlay (Lüer 1988) schlagen vor, daß es verschiedene Strategien abhängig davon gäbe, ob ein bereits vertrautes Bild abgetastet werden soll, oder ob es darum geht, eine noch unbekannte Reizvorlage zu explorieren. Die Hypothese, daß es eine Theorie der Augenbewegungssteuerung womöglich

gar nicht geben kann, weil die Anforderungen durch die Reize und verschiedenen Motivationen äußerst heterogen sind, und weil es sogar mehrere verschiedene Orte im Gehirn gibt, die dazu beitragen, wird in späteren Teilen auch noch durch weitere empirische Evidenz gestützt werden.

## **2.4. Orte der Augenbewegungssteuerung**

Es ist nunmehr an der Zeit, eine kurze Übersicht über die Orte zu geben, an welchen Augenbewegungen generiert werden. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf andere Bereiche gerichtet ist, muß hier ein Überblick über grundlegende anatomische und funktionelle Gegenbenheiten ausreichen.

Es gibt im menschlichen Gehirn mehrere, teilweise voneinander unabhängige Orte der Steuerung von Augenbewegungen. Dies ist konform mit der Tatsache, daß es mehrere Arten von Augenbewegungen gibt, z.B. solche, die lediglich eine Reaktion auf Außenreize darstellen und andere, die auf den bewußten Willen zurückgehen. Diese Zentren sind teilweise redundant, so konnte in Läsionsstudien gezeigt werden, daß mindestens zwei dieser Zentren ausfallen müssen, um Sakkaden zu unterdrücken. Die weiteren Ausführungen werden zeigen, daß den verschiedenen Verarbeitungswegen unterschiedliche Funktionen zugeordnet sind. Es gibt deutlich getrennte Strukturen für unwillkürliche, bzw. reflexartige Sakkaden einerseits und willkürlich, d.h. attentional gesteuerte Sakkaden andererseits.

**Hirnstamm:** Im Hirnstamm bilden okulomotorische Neuronen einen Sakkadengenerator, welcher die drei Augenmuskelpaare innerviert, die das Auge bewegen. Einige (agonistische Motoneurone) weisen eine proportionale Entladungsrates zur Winkelstellung des Auges bei Fixationen auf. Man nimmt an, daß diese Neurone die Blickrichtung gegen die elastischen Rückstellkräfte aufrechterhalten (Deubel 1994). Sakkaden, die durch diese Region ausgelöst werden, sind von einem Entladungs-„Burst“ dieser Neurone begleitet. Die Motoneurone für horizontale Sakkaden erhalten ihre Innervation von Neuronen, die im Hirnstamm lokalisiert sind. Die Motoneurone für vertikale Sakkaden sind mit Neuronen des Mittelhirns verbunden. Die Entladungsgeschwindigkeit steigt für Sakkaden linear mit der Drehgeschwindigkeit des Auges und erreicht bei größeren Amplituden eine Asymptote (Deubel 1994).

Auch die sogenannten „tonischen Neuronen“ befinden sich im Hirnstamm. Diese sind an der Auslösung und Unterdrückung von Sakkaden (während Fixationen) wesentlich beteiligt.

In den Hirnstammarealen sind Augenbewegungen im wesentlichen zeitlich kodiert, d.h. Geschwindigkeit und Ort der Amplitude sind von der Entladungsrate der jeweiligen Neuronen bestimmt (Deubel 1994).

**Colliculus superior:** Es wird angenommen, daß dieses sensomotorische Zentrum, welches sich hinter der Sehbahnkreuzung befindet, die schnellsten durch Reize ausgelösten Augenbewegungen (Expreßsakkaden) generiert (Unema 1995). Vor allem dient der colliculus superior (SC) der Steuerung von automatischen, reflexhaften Augenbewegungen im Rahmen von Orientierungsreaktionen. Er besteht aus 7 alternierenden Zellschichten mit großen sensorisch-rezeptiven Feldern. Im Gegensatz zum Hirnstamm ist hier die Steuerung der Augenbewegungen topographisch, d.h. ortskodiert, im wesentlichen retinotop, d.h. auch hier wie im V1 ist die fovea centralis relativ zur Oberfläche überrepräsentiert. Jedoch sind die Zellen im Gegensatz zu denen im V1 unspezifisch für Orientierung, Form, Bewegungsrichtung und Bewegungsgeschwindigkeit des Reizes. Der SC steht in Verbindung mit der Substantia nigra pars reticulata formatio, welche verhindert, daß das System reflexhaft Sakkaden zu allem ausführt, was im visuellen Feld auftaucht. (Deubel 1994).

**Frontales Augenfeld:** Das frontale Augenfeld (FEF) ähnelt in Organisation und Aufbau der SC. Jedoch ist das FEF für die Generierung von Sakkaden mit langen Latenzen, gedächtnisgeführten Sakkaden und beim freien Betrachten zuständig. Hier ist die kognitive Komponente bei der Programmierung von Sakkaden sehr deutlich. Patienten mit Läsionen des FEF gelingt es nicht mehr, willkürliche Sakkaden auszuführen, die von salienten Reizen wegführen – ohne FEF wären die okulomotorischen Reaktionen im wesentlichen auf Reflexe beschränkt (Deubel 1994).

**Kortikale Areale:** Unter anderem gehören hierzu der visuelle Cortex 1 bis 4 (Brodmann-Areale 17,18,19), die mittleren temporalen Areale (MT) und die mittleren oberen temporalen Areale (MST), sowie der posteriore Teil des parietalen Cortex (Area 7) (Birbaumer & Schmidt 1996).

Elektrische Reizung führt in allen diesen Arealen zur Auslösung von sakkadischen Augenbewegungen, jedoch sind nicht alle gleichermaßen an der Steuerung von Augenbewegungen beteiligt – so dient der V1 sicherlich eher der Reanalyse als der Programmierung von Augenbewegungen.

Die Areale MT und MST dienen vor allem der Programmierung von Augenfolgebewegungen (Unema 1995).

Area 7 ist vor allem für die Programmierung von willentlichen, bzw. gedächtnisbezogenen Augenbewegungen zuständig. Es wird vermutet, daß diese Region auch dazu dient, die visuelle Information zwischen den Sakkaden zu einem Gesamtbild zu integrieren.

## **2.5. Die Evolution des okulomotorischen Systems**

Der Vollständigkeit halber folgt hier ein kleiner Exkurs zur Evolution von Augenbewegungen.

Ich werde mich allerdings im folgenden auf die Linsenaugen von Wirbeltieren beschränken, die Komplexaugen von Arthropoden oder andere Sinnessysteme von niederen Tieren können nicht berücksichtigt werden.

Wir sehen es als selbstverständlich an, Augenbewegungen auszuführen, sie fallen uns leicht, sie erfordern scheinbar weder Aufmerksamkeit noch Mühe. Dennoch mußte sich diese Funktion erst entwickeln. Der älteste Teil des okulomotorischen Systems ist der vestibulo-okuläre Reflex, der dazu dient, das visuelle Bild auf der Retina zu stabilisieren während man sich selbst bewegt. Dies bedeutet einen enormen evolutionären Vorteil, erlaubt es doch, sich gleichzeitig zu bewegen und zu sehen. (Deubel 1994).

Diese ersten Systeme trugen weniger dazu bei, die Augen relativ zur Umwelt zu bewegen, sondern die Blickrichtung zu stabilisieren.

Ein darüber hinausgehendes Bewegungssystem der Augen wurde insbesondere durch die Entwicklung von Fovea und Frontaläugen zum Stereosehen notwendig. Denn nun mußte ein Objekt nicht nur im Blickfeld, sondern auch noch auf der kleinen Fovea gehalten werden, bzw. die Blickrichtung mußte schnell geändert werden können. Diese Anforderung übte einen großen Druck aus, der zur Entwicklung eines hochleistungsfähigen, schnellen und integrierten Systems zur Augenbewegungssteuerung führte. Dies war jedoch nur bei Tieren der Fall, die auf Frontaläugen angewiesen sind. So sind z.B. Kaninchen offenbar nicht zu willkürlichen Augenbewegungen in der Lage (Deubel 1994).

## 3 Methodik der Augenbewegungsforschung

### 3.1. Vergleich mit anderen Methoden der kognitiven Psychologie

Es stellt sich die Frage, weshalb man überhaupt Augenbewegungen aufzeichnen sollte, um Zugang zu kognitiven Prozessen zu bekommen. Dazu bedarf es eines Vergleichs mit einer Auswahl der gebräuchlichsten Methoden in der kognitiven Psychologie.

An erster Stelle ist hier die Untersuchung von **Reaktionszeiten** zu nennen. Diese Methode erfreut sich bei kognitiven Psychologen nach wie vor größter Beliebtheit. Dies mag darin begründet sein, daß Reaktionszeiten Daten auf einem hohen Skalenniveau liefern und daß sie erstens relativ einfach als auch sehr exakt zu messen sind. Außerdem sind die Daten von einer eleganten Einfachheit: Sie sind eindimensional – es wird eben eine eindimensionale Größe, die Zeit gemessen. Neben diesen Vorteilen, die sicherlich nicht von der Hand zu weisen sind, gibt es jedoch eine Reihe von Nachteilen, die mit der fortschreitenden Entwicklung der kognitiven Psychologie zunehmend gravierender werden: Die Hauptnachteile von Daten, die auf Reaktionszeiten basieren, bestehen einerseits darin, daß in dieser viele Komponenten enthalten sind, ohne daß es immer einfach ist, diese zu differenzieren, selbst wenn dies für die Theorie wichtig wäre. So sind oft allerlei motorische, sensorische, kognitive und andere Komponenten in Reaktionszeiten verborgen, ohne daß irgend jemand mit hinreichender Sicherheit sagen könnte, welche in welchem Ausmaß. Andererseits gibt es einen qualitativen Nachteil: Durch Reaktionszeitmessungen erhält man keine Prozeßdaten. Man erhält nur einzelne Datenpunkte die erst erfaßt werden, wenn das kognitive Geschehen bereits vorbei ist. Benötigt man zur Prüfung seiner Fragestellung jedoch prozedurale Daten kommt man mit reinen Reaktionszeitmessungen meist nicht weiter.

Eine weitere Methode, die in der kognitiven Psychologie immer verbreiteter wird, ist die Ableitung von **EEG-Daten**. Diese haben den Vorteil, daß man die kognitiven Prozesse quasi direkt erfaßt (durch die elektrische Aktivität der Nervenzellen), und nicht irgendwelche Korrelate oder Epiphänomene. Außerdem besitzt das EEG eine sehr feine zeitliche Auflösung, es liefert prozedurale Daten, d.h. Daten über den Ablauf, das WIE des Geschehens. Und die Datenmuster sind im wesentlichen sinusförmig, oszillierend, dies erleichtert die Analyse und Auswertung beträchtlich (Wenn man evtl. auch Fourieranalysen benötigt um die Daten in Sinusförmige Schwingungen zu transformieren) .

Doch neben all diesen zweifellos sehr eindrucksvollen Vorzügen hat das Ableiten von EEG-Daten auch seine Nachteile, was den praktischen Nutzen für den kognitiven Psychologen deutlich einschränkt. Zunächst ist da zu nennen, daß viele Fragestellungen mit dem EEG gar nicht untersucht werden können, da die abgeleiteten Signale so schwach sind, daß jede Bewegung seitens der Versuchsperson eine exakte Ableitung des EEG sofort ruiniert. Man sollte weder die Augen bewegen, noch blinzeln, geschweige denn den Körper bewegen. Ansonsten kommt es zu einer starken Einstreuung von Artefakten in die Daten, die auch ohne Bewegung der Versuchsperson durch Ströme in den Ableitkabeln oder ähnlichem ohnehin häufig genug vorkommen. Dies führt dazu, daß sich viele durch das EEG gewonnene Datensätze nicht verwerten lassen, der Dropout bei EEG-Untersuchungen ist manchmal erschreckend hoch. Was man auch gar nicht genug betonen kann, ist die schlechte räumliche Auflösung des EEG – das EEG erlaubt nur sehr grobe Aussagen über die räumliche Lokation kognitiver Prozesse. Ebenso ungelöst ist das Problem, daß die Daten über den Grundrhythmus hinaus oft gar nicht so valide sind: Oft müssen große Zellensembles gleichzeitig aktiv sein, um überhaupt einen Niederschlag im EEG zu finden. Manchmal heben sich Potentiale aus Tiefenschichten gegenseitig auf oder es gibt Interaktionseffekte mit Hirnhäuten, Dicke des Schädelknochens, Sulci und anderem Gewebe.

All diese Probleme sind im wesentlichen ungelöst und erschweren es außerordentlich, komplexe Fragestellungen wie etwa das Problemlösen mit dem EEG sinnvoll zu untersuchen. Nicht zuletzt stellt sich die Frage, ob der phänomenologisch orientierte Psychologe eine solche Methode überhaupt braucht, oder ob diese weiterhin nur für die elementaristischen Fragen der Biopsychologie geeignet ist. So lange die Forschung mit dem EEG noch in den Kinderschuhen steckt, wird es wohl noch eine ganze Weile dauern, um auf ein Niveau zu kommen, auf dem man emergente psychische Phänomene sinnvoll untersuchen und angemessen interpretieren kann.

Andere bildgebende Verfahren kranken an ähnlichen Problem: Das MEG ist noch viel zu teuer, das PET und das fMRI haben noch eine zu schlechte zeitliche Auflösung um schnell ablaufende kognitive Prozesse zu erfassen. Zudem gelten ähnliche prinzipielle Beschränkungen der „Bewegungsfreiheit“ der Versuchsperson.

Andere psychophysiologische Maße, wie etwa der Hautleitwiderstand oder die Herzrate, sind zu unspezifisch, um die spezifischen Fragen des kognitiven Psychologen in befriedigender Weise zu beantworten – wenn diese Maße auch zunehmende Bedeutung, z.B. bei angewandten Fragestellungen wie der Lügendetektion gewinnen .

Eine weitere Methode, die in letzter Zeit wieder üblicher geworden ist und die vor allem von Ericson und Simon prozogniert (Rayner 1978) wurde, ist das „**lauten Denken**“. Damit will man zu Prozeduralen Daten während komplexer kognitiver Prozesse kommen. Die Versuchsperson berichtet über ihr erleben der Situation. Und das ist auch die Crux dieses Verfahrens. Man darf nicht vergessen, daß es sich hier um Introspektion handelt – und die genügt nur den Kriterien der Hypothesengenerierung, nicht denen der Hypothesentestung. Damit handelt man sich all die alten Probleme ein, mit denen die Introspektion nach wie vor behaftet ist: Die Aussagen sind oft unpräzise, für manche Fragestellungen ist die Methode nicht schnell genug, es kann bezweifelt werden, ob verschiedene Versuchspersonen das gleiche meinen, wenn sie das gleiche sagen (davon abgesehen, daß es für manche Vorgänge wohl nur unzureichende Begriffe gibt), es ist fragwürdig ob das Subjekt überhaupt Zugriff auf die relevanten kognitiven Prozesse hat und außerdem ist nicht auszuschließen, daß es zu einer Interaktion zwischen der Lösung der Aufgabe und dem lauten Denken kommt. Diese Reaktivität gilt bei manchen Aufgaben mittlerweile als nachgewiesen. (vor allem Knoblich & Rhenius 1995). Nicht zuletzt könnte man Bedenken über die Validität äußern, wenn die Probanden Hypothesen über den Versuchszweck haben und sich dadurch in einer bestimmten Weise äußern (Oft versuchen sie, zu rationalisieren). Fraglich ist auch, ob alle Prozesse vollständig und erschöpfend erfaßt werden. Dennoch halten manche Autoren diese Methode weiterhin für durchaus angemessen und valide, so z.B. Williams & Davids (1997), vor allem weil das Material direkt bedeutungshaltig, d.h. semantisch ist – es handelt sich eben um Sprache. Außerdem ist lautes Denken eben sehr preiswert.

Nachdem all diese Methoden sich im Endeffekt als suboptimal erweisen, besteht ein Bedarf an weiteren Methoden. Augenbewegungsmaße könnten diesen Mangel beheben, wie im weiteren gezeigt werden soll.

Augenbewegungen stellen eine sehr ergiebige Quelle von Verhaltensdaten dar. Der Organismus generiert dieses Verhalten ständig und in fast allen Situationen, selbst im Schlaf ruhen die Augen nur in manchen Schlafstadien (In S3 und S4). Damit ist das Augenbewegungsverhalten quasi einer permanenten Beobachtung zugänglich. Dies erlaubt eine Vielzahl verschiedener Zugänge.

Augenbewegungsmessungen haben sowohl eine hohe räumliche als auch eine hohe zeitlich Auflösung. Die zeitliche Auflösung liegt bei den gängigsten modernen Geräten und Methoden zur Augenbewegungsmessung bei 16-20 ms. Dies reicht für die häufigsten Fragestellungen aus, da die schnellsten Sakkadenlatenzen bei 70-80ms liegen, die durchschnittlichen

Fixationsdauern und Sakkadenlatenzen bei 200-300ms. Sie liefern Prozeßdaten und beeinflussen den kognitiven Prozeß nicht so wie das laute Denken. Weitere Vorteile sind, daß man förmlich sieht, ob die Versuchsperson während des Versuches bei der Sache ist oder nicht und man Verhaltensdaten auf einem sehr hohen Skalenniveau erhält. Außerdem erlauben die Augenbewegungsdaten eine Dekomposition des kognitiven Prozesses (vgl. Groner 1988). Zudem kann die Methode an die jeweilige Fragestellung flexibel angepaßt werden, was einen Einsatz für eine enorme Bandbreite an Anwendungsgebieten erlaubt. Die Daten können aggregiert werden oder nicht, man kann Blickbewegungsfolgen oder andere Parameter analysieren. Die Datenerhebung kann flexibel an die Fragestellung angepaßt werden – es ist immer von Vorteil, wenn man die Methoden an die inhaltliche Fragestellung anpassen kann im Gegensatz zum ungünstigen Fall, die inhaltliche Fragestellung von der verfügbaren Methode determinieren zu lassen. Es gibt z.B. eher unspezifische Maße wie die Gesamthäufigkeit der Augenbewegungen oder spezifische Maße, wie etwa die Orte, die von der Versuchsperson fixiert werden. Damit kann man abhängig von der Spezifität der zu testenden Hypothese gezielt und adaptiv vorgehen. Ein weiterer Vorzug besteht darin, daß man spontane Daten erhält, die kaum zu unterdrücken oder zu manipulieren sind und die zudem noch den visuellen Input quasi vollständig erfassen.

Das Skalenniveau der Daten ist sehr gut. Es handelt sich dabei mindestens um Intervallskalenniveau, was anspruchsvolle Methoden wie z.B. Zeitreihenanalysen erlaubt. Allerdings benötigt man diese Methoden ob der Datenflut bei Augenbewegungsmessungen in der Regel auch. Der mathematische Anspruch an geeignete Algorithmen ist sehr hoch. Die Hauptnachteile dieser Methode sind eigentlich Geschichte: Lange Zeit war eine Untersuchung der Augenbewegungen zu aufwendig und zu teuer, da man dafür eine sehr hochtechnisierte Ausrüstung benötigt. Zu lange Zeit wurde auch die untersuchbare Fragestellung von der jeweils verfügbaren Methode bestimmt. Die eigentlich zur Untersuchung der Fragestellung nötige Technik war gar nicht verfügbar. Außerdem sind die Analysen der Daten oft sehr aufwendig und rechenintensiv, bedürfen moderner Verfahren wie etwa der Clusteranalyse, der Poweranalyse oder der Betrachtungsmengenanalyse (entwickelt von Rhenius & Heydemann 1989, Rhenius & Locher 1992). So zeigte Winterhoff (1980), daß vor Einführung der Online-Datenregistrierung durch PCs ca. 90% der für die Untersuchung insgesamt benötigten Zeit für die Datenauswertung verbraucht wurde. Diese Probleme werden durch den technischen Fortschritt in Zukunft weiter abnehmen. Momentan sind sie in der täglichen praktischen Arbeit jedoch durchaus noch ein Hemmschuh: Es bedarf einer speziellen und aufwendigen Meßapparatur, sowie entsprechend ausgebildeten Fachkräften.

Ebenso nimmt der Bedarf an Spezialsoftware zur Datenauswertung und Reduktion stetig zu. Es reicht nicht aus, den Versuchspersonen „einfach in die Augen zu schauen“, man benötigt unabdingbar eine teure Ausrüstung zur Aufnahme und Auswertung der Daten. Deshalb stellen Augenbewegungsuntersuchungen nach wie vor hohe Ansprüche an das ausführende Institut. Was weiterhin stört, ist daß die Analyseeinheit unklar ist. Die großen Kritiker dieser Methode führen immer wieder an, daß letztendlich nicht klar sei, was eine Fixation, was ein Blick überhaupt ist (Gonzalez & Kolers 1985, Schroiff 1987a, Mannan, Ruddock & Wooding 1997). So zeigte Schroiff (1987a), daß es durchaus einen Unterschied macht, ob man den Scanpath der Augen mit einer Fixationsdefinition von 150 oder 250 msec untersucht. Für beide Fälle resultieren stark unterschiedliche Muster, obwohl es sich um die gleichen Augenbewegungen handelt. Diese Analyseeinheit wird vom jeweiligen Forscher praktisch willkürlich gewählt und ist nicht aus der Theorie ableitbar. Es gibt noch keinen Konsens über eine kohärente Theorie der Augenbewegungen. Dies ist der Hauptnachteil der Methode. Ein weiterer Nachteil (vor allem im Vergleich zum lauten Denken) besteht darin, daß Augenbewegungsdaten für sich nicht unmittelbar Bedeutungshaltig sind, sondern der Interpretation bedürfen. Deshalb meinen manche Kritiker, man sollte Augenbewegungsdaten nur im Rahmen bestimmter kognitiver Aufgaben einsetzen, und zwar nur bei solchen, die im Rahmen einer Theorie eindeutig interpretiert werden können (Williams & Davids 1997). Williams und Davids nehmen darüber hinaus an, daß die Validität von Augenbewegungen als Indikator für kognitive Prozesse aufgabenabhängig sei.

Manche Kritiker betonen auch immer wieder die Differenzierung zwischen „Schauen“ und „Blicken“ (Mannan, Ruddock & Wooding 1997). Das Hauptargument beinhaltet, daß man einerseits auf einen Punkt blicken kann, ohne dabei Informationen aufzunehmen und andererseits Informationen verarbeiten kann, ohne auf einen Punkt zu blicken. Der Zusammenhang zwischen kognitiven Prozessen und Augenbewegungen wäre demnach erstens nur korrelativ und zweitens schwach. Dieser Einwand ist aber mit der steigenden Anzahl empirischer Befunde, die auf einen starken Zusammenhang hindeuten, eher theoretischer, bzw. prinzipieller Natur. Weitere Bedenken äußert Schroiff (1987a) bezüglich der Verbindung zwischen Augenbewegungen und kognitiven Prozessen. Diese würde meist entweder implizit vorausgesetzt oder aus logischen Gründen hergeleitet, jedoch kaum einer empirischen Überprüfung unterzogen. Groner & Groner (1988) sehen dies als eine Frage der Versuchsplanung. Wenn sichergestellt sei, daß die Versuchspersonen die Information nur durch eine Augenbewegung erlangen können, wäre der Zusammenhang zwischen Informationsverarbeitung und Augenbewegungen hergestellt. Die Untersuchung von

Augenbewegungen sei dann besonders fruchtbar, wenn die Paradigmen die Versuchsperson dazu zwingen große Augenbewegungen auszuführen. Damit schließe man störende Einflüsse der parafovealen und peripheren Wahrnehmung weitgehend aus.

Letztlich spricht ohnehin nichts dagegen, die Methoden komplementär anstatt alternativ einzusetzen. So wurde z.B. von Rhenius & Heydemann (1984) gezeigt, daß Protokolle des Lauten Denkens und Augenbewegungsregistratur beim Lösen von RAVEN-Aufgaben eine sehr hohe Übereinstimmung aufwiesen. Den Zusammenhang zwischen EEG-Maßen und Augenbewegungsparametern untersuchte z.B. Yun-Qiu (1987) – diese Forschung ist aber noch in einem explorativen Stadium, als erstes Ergebnis kann lediglich zählen, daß die Häufigkeit von Lambda-Wellen im EEG mit der Häufigkeit von Augenbewegungen korrespondiert. Festzustellen ist jedenfalls, daß Augenbewegungsmessungen das Methodeninventar der kognitiven Psychologie in wesentlichem Maße bereichern, wenn sie auch die anderen Methoden wegen inhärenter Nachteile momentan nicht ersetzen können.

### 3.2. Möglichkeiten der Augenbewegungsregistrierung

Nachdem nun geklärt wurde, warum es durchaus sinnvoll sein kann, Augenbewegungsdaten zu erheben, stellt sich die Frage: Wie erfolgt die Erhebung der Daten in der Praxis? Eine erschöpfende Darstellung aller Methoden würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, hierzu verweise ich auf den Übersichtsartikel von Young & Sheena (1975). Dieser ist immer noch aktuell, obwohl er 25 Jahre alt ist, da zu dieser Zeit hinreichend genaue Methoden verfügbar waren, die eine Erhebung aller relevanten Parameter erlaubten. Die weitere

Methodenentwicklung fand seither nicht mehr primär im Bereich der Datenerhebung statt, sondern vor allem im Bereich der Datenauswertung. So erfolgte der weitere Fortschritt nach 1975 vor allem durch die Verfügbarkeit leistungsfähiger Computer zur Online-Auswertung der Daten und zur Verarbeitung großer Datenmengen, die bei der fortlaufenden Augenbewegungsregistrierung in ungeheurer Menge anfallen. In diesem Sinne werden die Beiträge der Mathematik zur Entwicklung geeigneter Algorithmen zur sinnvollen Datenreduktion zunehmend bedeutsamer (z.B. Rhenius und Locher 1992).

Hier kann jedenfalls nur ein kurzer Überblick über die gängigsten prinzipiellen Erfassungsmethoden erfolgen, da es mittlerweile eine Vielzahl apparativer Methoden gibt. Es ist dennoch wichtig, darauf einzugehen, denn die vorhandene Technik determiniert auf diesem Feld massiv die untersuchbare und untersuchte Fragestellung. Um die Kritiker der Methode

zu besänftigen ist es nötig, hinreichend exakte Daten zu erhalten. Da die Validität der Daten ohnehin oft genug angezweifelt wird, benötigt man wenigstens eine möglichst hohe Reliabilität. Diese wird von den neueren Methoden durchaus geleistet.

#### a) Frühe Beobachtungsmethoden

**Die Nachbildanalyse:** Diese Methode ist eine der ältesten und wurde bereits von Helmholtz benutzt. (Winterhoff 1980). Hier wird mit einer hellen Lichtquelle ein Nachbild erzeugt, und die Versuchsperson anschließend aufgefordert, ein anderes Objekt zu betrachten. Aus der bei der Betrachtung des neuen Objektes angegebenen Lage des Nachbildes wurde auf den Verlauf der Augenbewegung geschlossen. Es ist klar, daß diese Methode nur in den Pioniertagen der Augenbewegungsforschung eingesetzt wurde, da sie sehr ungenau ist und sich auf Introspektion verläßt. Mit dieser Methode kann man nur sehr Grundlegende Erkenntnisse über die Funktionsweise des okulomotorischen Systems gewinnen. Sie ist damit vorwiegend von historischem Interesse.

**Fotografie und direkte Beobachtung:** Mit dem Aufkommen der Fotografie wurde diese auch in der Augenbewegungsforschung benutzt. Allerdings ist auch diese Methode ebenfalls nicht sehr genau und hat prinzipielle Einschränkungen, so daß sie längst nicht mehr eingesetzt wird. Diese Methode wurde jedoch z.B. von Dodge und Kline Anfang des 20. Jahrhunderts benutzt, um die verschiedenen Typen von Augenbewegungen zu klassifizieren (Deubel 1994). Feinere Auflösungen sind mit dieser Methode jedoch kaum zu erreichen (Lüer, 1988).

#### b) Elektrophysiologische Methoden

**EOG:** Das Elektrookulogramm nutzt die Dipoleigenschaften des Augapfels und mißt die Veränderungen der elektrischen Potentialdifferenzen zwischen Retina und Cornea. Diese Methode hat eine sehr hohe zeitliche Auflösung und eignet sich somit vor allem für die Lese- und Schlafforschung, wo sie auch eingesetzt wird. Für die meisten anderen Fragestellungen ist das resultierende Datenmuster allerdings zu undifferenziert.

### c) Reflexionsmethoden

**Double Purkinje Eyetracker:** Dieses, in Stanford entwickelte Gerät stellt eine brauchbare nicht-invasive Methode zur Untersuchung einer ganzen Reihe von Fragestellungen, insbesondere jenen der kognitiven Psychologie dar.



**Corneal-Reflection-Methoden:** Diese Methode ist zwar technisch aufwendig, aber sehr vielseitig einsetzbar. Das Auge wird mit einem Lichtstrahl (meist Infrarot) beleuchtet. Aus der Rückspiegelung dieses Lichtstrahles von der Hornhaut des Auges kann auf die Position des Auges geschlossen werden. Zusätzlich dazu reflektiert die Hornhaut den Strahl anders als die Netzhaut. Problematisch ist, daß sich hier die Versuchsperson bei den meisten Apparaten nur beschränkt bewegen kann. Neuere Entwicklungen erlauben der Versuchsperson Kopfbewegungen oder sind tragbar, was diese Methode für weitere Fragestellungen brauchbar macht.

### e) andere Methoden

**Video:** Mittels Überlagerung des Bildes des betrachteten Objektes und der dazugehörigen Blickbewegung, kann man hier die Augenbewegungen bei manchen Fragestellungen recht gut erfassen. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß es tragbare Geräte gibt, und diese Methode relativ preiswert ist.

**Kontaktlinsen und Saugkappen:** Hierbei werden z.B. kleine Spiegel direkt auf dem Auge befestigt, so können die Augenbewegungen in alle Richtungen kontinuierlich und mit einer großen Genauigkeit aufgezeichnet werden. Mit dieser Technik arbeitete auch Yarus (1967), der als einer der größten Augenbewegungsforscher des 20. Jahrhunderts gilt. Der Nachteil dieser Methode ist, daß sie invasiv ist, was die Versuchspersonen unter Umständen in ihrem Blickverhalten beeinflusst.

**Search Coil:** Diese Methode ist eine Weiterentwicklung der Methode von Yarbus auf elektromagnetischer Basis. Der größte Vorteil dieser Methode ist ihre enorme Präzision.

### 3.3. Augenbewegungsparameter

Welche Parameter kann man bei einer Erfassung der Augenbewegungen überhaupt erheben? Der restliche Abschnitt widmet sich den gängigsten und wichtigsten dieser Parameter.

**Sakkadenlatenz:** Es wird gemessen, wie lange das Auge in Ruhe ist, bis eine weitere Sakkade ausgeführt werden kann. Man nimmt an, daß eine gewisse Zeit zur Programmierung und Auslösung der Sakkade nötig ist. Diese Zeit ist sowohl von Eigenschaften des Stimulus, als auch von kognitiven Zuständen abhängig (Deubel 1994).

**Sakkadendauer:** Dies ist die Zeit, in welcher sich das Auge bewegt. Die Sakkadendauer ist im allgemeinen eine Funktion der zurückgelegten Entfernung. Sie ist jedoch von der anschließenden Fixationsdauer vollständig unabhängig, was auf unterschiedliche physiologische Mechanismen schließen läßt (Rayner 1978).

**Fixationsdauer:** In dieser Zeit ist das Auge zwischen den Sakkaden in Ruhe. Die Fixationsdauer entspricht in manchen Fällen der Sakkadenlatenz, jedoch kann die Fixationsdauer sehr viel länger sein als die Sakkadenlatenz. Meistens nimmt an, daß während der Fixation die Informationsaufnahme geschieht, die während der Sakkaden unterdrückt ist. Dies wird allerdings mittlerweile von manchen Forschern in Frage gestellt (Irwin 1998).

**Fixationsort:** Mit den heutigen Methoden kann man hinreichend exakt bestimmen, auf welchen Punkt der Reizvorlage das Auge blickt. Dies ergibt dreidimensionale Daten.

**Fixationsfolge (Scanpath):** Für viele Fragestellungen ist es interessant, den Weg des Auges zu verfolgen. Diese Scanpath-Analyse eignet sich auch für die Untersuchung kontinuierlicher Augenbewegungen. Dies ergibt vierdimensionale Daten.

**Blicke (Dauer):** Ein Blick wird oft definiert als die Zeit zwischen zwei großen Sakkaden, wobei kleinere Korrektursakkaden dazwischen vorkommen dürfen (Rhenius & Heyemann

1989). Der Blick wird von vielen Forschern (z.B. Just & Carpenter 1976a, Pomplun et. al. 1997) als die angemessene Analyseeinheit für Rückschlüsse auf kognitive Prozesse angesehen.

**Pupillengröße:** Die Größe der Pupille ist selbst sehr dynamisch und von vielen weiteren, kognitiven Faktoren neben dem Lichteinfall abhängig (Beatty 1982). So läßt sich z.B. das Interesse für einen Stimulus relativ reliabel durch die Pupillengröße bestimmen (Hermans, Vansteenwegen & Eelen 1999). Für manche Fragestellungen ist deshalb die Reaktion der Pupille selbst die abhängige Variable.

**Anzahl von Sakkaden:** Für globalere Fragestellungen kann auch die Anzahl der Fixationen zum Parameter werden.

**Anzahl der Fixationen:** Ebenso die Anzahl der Fixationen.

**Anzahl der Blicke:** Und ebenso die Anzahl der Blicke.

**Fixationscluster:** Wenn hintereinander viele Fixationen in einen ähnlichen Bereich des Gesichtsfeldes fallen, fassen manche Autoren dies als Cluster auf und nutzen diese als Analyseeinheit (z.B. Nodine et. al. 1988).

#### 4 Geschichte der Augenbewegungsforschung

Diese Arbeit müßte unvollständig bleiben, würde sie nicht wenigstens auf einer elementaren Ebene die Geschichte der Augenbewegungsforschung darstellen. Nur so kann der Leser sich ein vollständiges Bild machen und die anschließenden Abschnitte besser einordnen.

Die Geschichte der Augenbewegungsforschung ist eng mit dem Beginn der modernen Humanwissenschaften verknüpft. Die ersten Forscher auf diesem Gebiet waren Donders und Helmholtz Mitte des 19. Jahrhunderts (vgl. Heller 1988), welche einige der wesentlichen Fragestellungen aufwarfen, die bis heute diskutiert werden. Mit die wichtigsten Pioniere waren sicherlich Dodge und Cline (Winterhoff 1980) und Javal (Putz-Osterloh 1981) zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Diese klassifizierten die unterschiedlichen Typen von Augenbewegungen. Mitte des 20. Jahrhunderts schlug Westheimer vor, Augenbewegungen

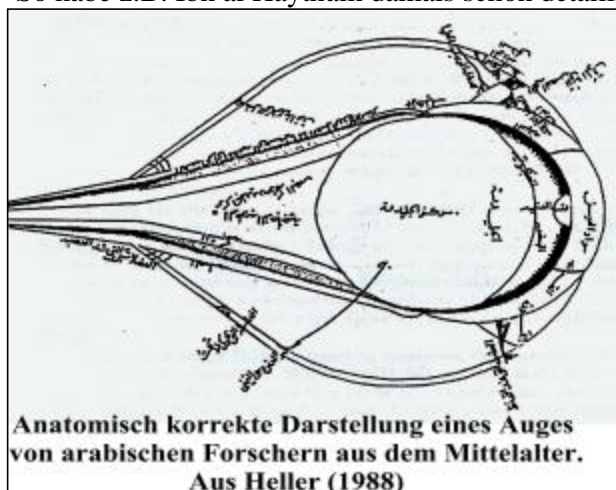
im Rahmen der Regelungstheorie ingenieurwissenschaftlich, servomechanisch zu untersuchen. (Deubel 1994). Kurze Zeit später wurden diese Modelle von systemtheoretischen Überlegungen ergänzt.

Winterhoff (1980) sieht drei große Phasen der Augenbewegungsforschung:

Ende des ausgehenden 19. Jahrhunderts und Anfang des 20. Jahrhunderts war die Zeit der Pioniere, welche die grundlegenden Untersuchungen durchführten, Basiswissen schufen und die prinzipiellen Fragestellungen aufwarfen. Darauf folgte eine Phase, die bis Mitte der 60er Jahre anhielt. Diese ist dadurch charakterisiert, daß vor allem sehr anwendungsnahe und stark ergebnisorientierte Forschung auf diesem Gebiet gemacht wurde. Dies lag zum einen daran, daß der Behaviorismus wenig Interesse an kognitiver Grundlagenforschung hatte, zum anderen auch daran, daß die Inhalte von der Methode bestimmt waren. Mit der Verfügbarkeit neuer Methoden und dem Niedergang des behavioristischen Paradigmas, legte sich diese Beschränkung weitestgehend, und es wurden auch zunehmend Grundlagenfragen mit Augenbewegungsanalysen untersucht. Diese Phase setzte Mitte der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts ein und hält bis heute an (Winterhoff 1980).

Sehr interessant ist, daß Heller (1988) betont, daß wesentliche Beiträge zur Augenbewegungsforschung immer wieder unterschlagen und übersehen wurden. So hat er Belege, daß bereits im Mittelalter Augenbewegungsforschung betrieben wurde. Er meint, daß die Augenbewegungsforschung als Produkt und Kind einer hochtechnisierten Neuzeit eher eine Renaissance, denn eine Neuentwicklung darstellt. Dabei stützt er sich vor allem auf Schriften von arabischen Forschern, die sich im 13. und 14. Jahrhundert mit Augen und Augenbewegungen beschäftigten.

So habe z.B. Ibn al Haytham damals schon detaillierte Kenntnis der anatomischen Details der



Augen und der Nervenbahnen gehabt. Er habe auch bereits über die Augenbewegungen beim Lesen geforscht und eine Optik entwickelt. Heller (1988) bedauert gleichermaßen, daß die Beiträge von Wilhelm Wundt zur Augenbewegungsforschung bisher ebenfalls noch systematisch übersehen wurden. So hätte dieser bereits im 19. Jahrhundert methodische Ideen zu einem

Augenbewegungssimulator gehabt, welcher bis heute nicht realisiert wäre, obwohl dieser dringend nötig sei.

Trotz dieser Einwände kann man sich des Eindruckes nicht erwehren, daß die Augenbewegungsforschung als eigenständiges Feld erst ca. 100 Jahre alt ist, wobei die für die kognitive Psychologie relevanten Aspekte erst seit ca. 50 Jahren behandelt werden (mit dem vermehrten Aufkommen der kognitiven Psychologie).

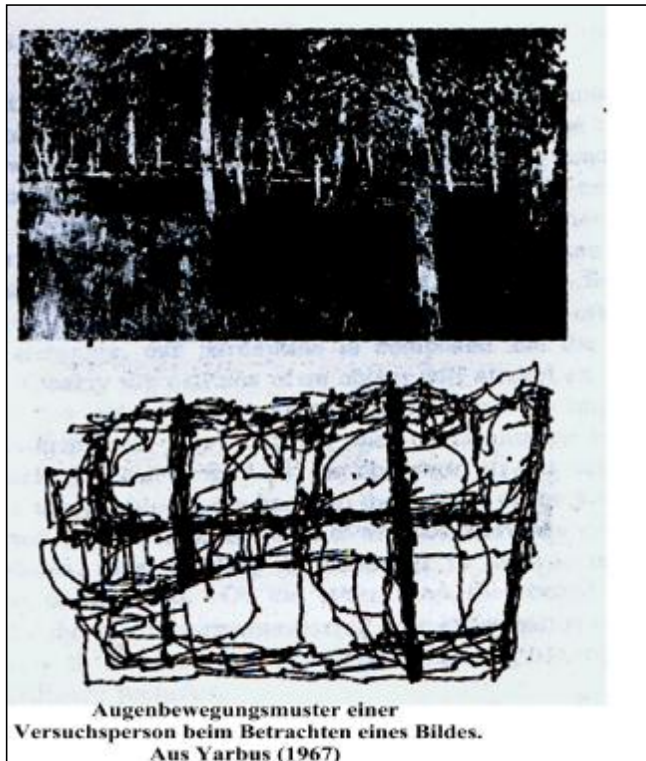
## 5 Augenbewegungsforschung im Rahmen der allgemeinen Psychologie

Es gibt eine Fülle potentieller Anwendungsgebiete der Augenbewegungsforschung in der allgemeinen Psychologie. Manche sagen (z.B. Rayner 1978), daß es einer richtiggehenden Verarmung gleichkommt, wenn man immer nur das Lesen als bedeutendstes Forschungsparadigma für Augenbewegungsparameter in den Vordergrund stellt. Letztendlich ist Lesen in gewissem Sinn nur eine spezielle Art der Informationsverarbeitung (Rayner 1978). In diesem Abschnitt kommen deshalb andere Forschungsansätze zur Darstellung. Da die beschriebenen Phänomene oft nicht klar abzugrenzen sind, ist die Zuordnung zu Unterabschnitten allerdings nicht immer eindeutig vorzunehmen. Daß es diese Phänomene gibt, erkannten viele Autoren, so z.B. Yarbus(1967), der bereits das enorme Potential von Augenbewegungsanalysen für die kognitive Psychologie aufzeigt. Sein viel zitiertes Statement darf auch hier nicht ausbleiben: „People who think differently also see differently“. Er rückt immer wieder in den Vordergrund, daß die Geschwindigkeit z.B. beim Lesen nicht etwa durch die Muskeln begrenzt und bestimmt ist, sondern durch die höhere Nervenaktivität. Ähnliches vertreten z.B. von Weiner & Ehrlichman (1976). Diese führen an, daß sich zwar möglicherweise die Funktion von Augenbewegungen im wesentlichen in der Wahrnehmung erschöpft, Augenbewegungen aber auch oft in Situationen auftreten, in deren Kontext keine neue visuelle Information hinzukommt und keine soziale Interaktion stattfindet, z.B. beim Telefonieren. Weiner & Ehrlichman spekulieren, daß diese Bewegungen in solchen Situationen eher in Verbindung mit internalen kognitiven oder affektiven Prozessen entstehen. Innerhalb der allgemeinen Psychologie gibt es eine Vielzahl äußerst unterschiedlicher Forschungsarbeiten, welche Augenbewegungsmessungen als Methode verwenden. Es ist mir deshalb wohl nicht in jedem Fall gelungen, die Verbindung zwischen den einzelnen Ansätzen herzustellen.

Der Abschnitt beginnt zunächst mit einigen Befunden zur Wahrnehmung.

## a) Wahrnehmung und Aufmerksamkeit

Die Augenbewegungsforschung trägt natürlich zunächst zum Verständnis der Wahrnehmung selbst bei. Die Wahrnehmung ist eine psychische Funktion, deren Erforschung vor allem Gegenstand der allgemeinen Psychologie ist. In der Tat gibt es viele Arbeiten zur Wahrnehmung, die sich auf Augenbewegungen stützen, z.B. Gould & Schaffer (1965). Diese zeigten, daß die Zahl der Fixationen von der Komplexität der Stimulusinformation abhängt. Je komplexer der Stimulus, desto höher die Zahl der Fixationen. Zusätzlich beschrieben sie, daß



Personen im Durchschnitt generell den oberen Teil von Vorlagen häufiger anblicken, als den unteren. Diese Erkenntnisse werden bereits bei der Konstruktion von ergonomischen Displays angewendet. Einen wesentlichen Beitrag zur Erforschung der Wahrnehmung bei komplexen Stimuli erbrachte Yarbus (1967). Dieser zeichnete den Weg auf, den das Auge bei der Wahrnehmung komplexer Stimuli, wie z.B. bei der Wahrnehmung von Gesichtern, nimmt. Er demonstrierte, daß manchen Bildelementen wie den Augen wesentlich mehr Blicke (d.h.

visuelle Aufmerksamkeit) geschenkt wurde, als anderen. Damit wies er nach, daß die visuelle Wahrnehmung nicht etwa zufällig abläuft, sondern strukturiert und adaptiv im Hinblick auf die jeweilige Aufgabe ist, was zur Maximierung der Informationsaufnahme beiträgt. Ihm fiel auch auf, daß die Augenbewegungsmuster und damit die Wahrnehmung stark von der Handlungsabsicht, bzw. der Wahrnehmungsabsicht der Versuchspersonen abhängt. In eine ähnliche Richtung gehen die Forschungen von Schweizer (1998), die er mit dem EOG durchführte.

Er fand, daß sich jene Personen, die eine der Aufgabe angemessene Art der Wahrnehmung zeigten, in der Lage waren, Sakkaden mit größerer Amplitude und schnellerer Frequenz durchzuführen. Wobei dies den Versuchspersonen, die auch sonst überlegene kognitive Fähigkeiten aufwiesen, leichter fiel.

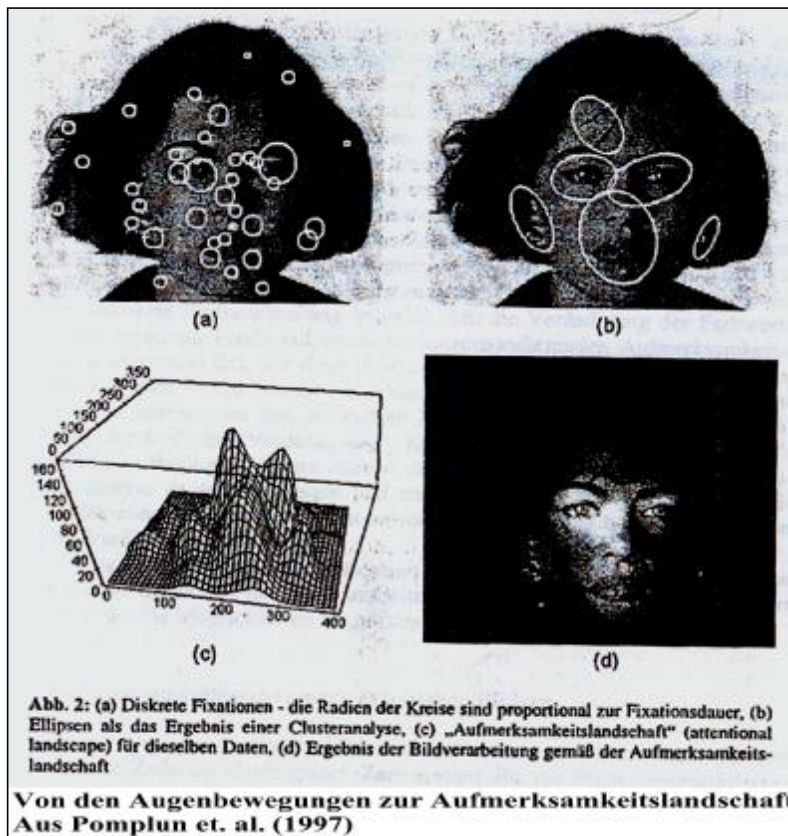
Yarbus untersuchte auch die Auswirkungen von optischen Täuschungen auf die Augenbewegungen. So korrespondierte die Länge der Sakkade bei der Müller-Lyerschen Täuschung mit dem Ausmaß, in welchem sich die Versuchspersonen täuschen ließen und die Länge der Pfeile überschätzten. Yarbus argumentiert, daß aber nicht die Augenbewegungen



die Illusion erzeugen, sondern daß die Augenbewegungen nur die Illusion abbilden, d.h. die Täuschung des kognitiven Apparates, denn die Illusion bleibt, auch wenn die Versuchspersonen keine Augenbewegungen machen, bestehen. Ein äußerst moderner und innovativer Ansatz zur Wahrnehmungsforschung kommt von Pomplun, Ritter und Velichkovsky

(1996). Deren Anliegen besteht darin, zu erforschen, wie die jeweiligen Personen eine Szene subjektiv wahrnehmen. Zu diesem Zweck bedienen sie sich eines Forschungsparadigmas, welches darauf basiert, daß die Versuchspersonen Vexierbilder mit ambigen Figuren wie z.B. dem Necker-Würfel betrachten. Während die Versuchspersonen die ambigen Figuren betrachten, werden deren Augenbewegungen erfaßt und einer Clusteranalyse unterzogen. Diese Daten werden in eine Aufmerksamkeitsverteilung umgerechnet. Auf der Basis dieser Aufmerksamkeitsverteilung kann man praktisch in jedem Fall vorhersagen, welche Version der ambigen Figur die Versuchsperson jeweils gesehen hat, wann die Sicht kippte und wie man diesen Umschlag herbeiführen kann.

Pomplun et. al. (1997) führen an, daß damit der Weg frei wäre, eine intersubjektive



Kommunikationsform persönlicher Ansichten zu entwickeln. Interindividuelle Differenzen liegen oft in den unterschiedlichen Anschauungen begründet, diese waren jedoch bislang nur schwer zu kommunizieren. Pomplun et. al. sehen eine Möglichkeit, auch in natürlichen Umgebungen auf diese Weise die subjektive Sicht der Dinge zu rekonstruieren und anderen zugänglich zu

machen. Außerdem wiesen sie nach, daß sich Menschen bei der visuellen Suche stark



unterschieden, was anhand der Augenbewegungen festgestellt wurde. Ebenso beim Original- und Fälschungs-Paradigma, bei welchem man bei fast identischen Stimuli jeweils einen Unterschied finden muß. Die Fixationsdauer steigt linear mit der Objektdichte. Dieses Vorgehen des Organismus ist höchst ökonomisch, da in Bereichen hoher Informationsdichte in der gleichen Zeit mehr Information foveal aufgenommen und verarbeitet werden kann. Pomplun ist überzeugt,

daß sich weitere Einblicke in die Organisation kognitiver Strukturen und in die Dynamik kognitiver Prozesse durch zukünftige Augenbewegungsforschung ergeben werden. Es besteht



ohnehin eine erwiesene Verbindung zwischen Wahrnehmung und der Physiologie des visuellen Systems, wie Lürer (1988) betont: Der visuell nutzbare Bereich

der Netzhaut (useful field of view), der Bereich aus dem Informationen einbezogen werden, ist nicht statisch, sondern weitet sich aus, wenn das Objekt wenige Informationen trägt und kognitiv wenig anspruchsvoll ist.

Neuere Befunde (Irwin, 1998) zeigen auf, daß es nicht so ist, daß die kognitive Verarbeitung während Sakkaden ruht, wie bisher angenommen wurde, was sich sich im Tagesverlauf auf eine „Denkpause“ von 60-90 Minuten summieren würde. Dies hielt Irwin für unplausibel und wies nach, daß nur höhere kognitive Prozesse während dieser Zeit ausgeschaltet sind, automatische dennoch ablaufen, wie z.B. manche Prozesse visueller Aufmerksamkeit – womöglich müssen aufgrund dieser neuen Erkenntnisse manche abhängigen Variablen, wie z.B. der „Blick“ neu definiert werden. Daraus ist eine Verbesserung der Forschungstätigkeit durch exaktere Begriffe zu erwarten. Irwin interessierte auch, wie das Wahrnehmungsbild überhaupt aufgebaut wird, da unser Weltbild ohne Zweifel aus Einzelfixationen besteht. Hier postuliert Irwin (1992) ein trans-sakkadisches Gedächtnis, welches die Einzeleindrücke integriert. Irwin behauptet, daß uns die Welt deshalb statisch erscheint, weil dieses postulierte trans-sakkadische Gedächtnis nur sehr wenige Informationen wirklich speichert, die anderen Informationen als konstant annimmt und extrapoliert. Der Organismus geht davon aus, daß die Welt zwischen den Fixationen im wesentlichen stabil bleibt. Das Abbild im sakkadischen Gedächtnis ist, wenn es ein solches geben sollte, nach Irwin (1992) sehr abstrakt, da es nur eine stark beschränkte Kapazität von maximal 6 Items aufweist, wobei Funktionsitems leichter aufgenommen werden als Positionenitems. Unser stabiles Weltbild rühre auch daher, daß 90% unserer Zeit mit Fixationen und nur zu 10% aus Sakkaden ausgefüllt ist.

Ein weniger gut erforschtes Gebiet beleuchtet Koga et. al. (1988). Dieser beschäftigte sich anstatt mit Sakkaden eher mit kontinuierlichen Augenbewegungen und deren Funktion bei der Wahrnehmung. Er fand heraus, daß Augenfolgebewegungen wesentlich dazu beitragen, die Geschwindigkeit sich bewegender Objekte zu bestimmen. Koga beschreibt das Phänomen, daß Versuchspersonen die Länge eines sich bewegenden Stimulus systematisch zu kurz einschätzen, wenn keine Augenfolgebewegungen ausgeführt werden.

Mannan, Ruddock & Wooding (1997) beschreiben gegenüber anderen Autoren, die eine große interindividuelle Varianz der Augenbewegungsmuster bei der Betrachtung von Objekten gefunden haben, eine große Homogenität der Blickmuster über verschiedene Personen hinweg. Vor allem wenn die Bilder sehr markante Punkte und besondere Charakteristika aufwiesen, waren die Augenbewegungen der Personen von der Reizvorlage bestimmt und die interindividuelle Varianz gering. Die intraindividuelle Varianz war zwischen den Aufgaben hoch.

Einen interessanten Effekt beschreibt Beatty (1982). Ihm fiel auf, daß die Pupillenvergrößerung eine Funktion der mentalen Beanspruchung darstellt. Diese Pupillenreaktionen koinzidieren mit verstärkter Informationsaufnahme- und Verarbeitung. Somit wären aufgabenevozierte Pupillenreaktionen ein vielversprechendes Instrument zur Untersuchung der Verarbeitungsressourcen bei unterschiedlichen Aufgaben – oder sogar noch darüber hinausgehend in einem psychometrischen Sinne die Aufmerksamkeitsbeanspruchung zwischen Individuen bei der gleicher Aufgabe.

Eine große Debatte in der Augenbewegungsforschung zur Aufmerksamkeit hat zum Gegenstand, ob ein verstärktes, unspezifisches, allgemeines Aufmerksamkeitsniveau (Arousal) sich generell auf die Augenbewegungsparameter auswirkt, wie z.B. durch mehr Fixationen, mehr und schnellere Sakkaden, etc. Diesen Standpunkt vertreten z.B. Unema (1995) oder Venzky-Stalling & Möckel (1987), welche vor allem darauf hinweisen, daß Augenbewegungen nur einer von vielen physiologischen Parametern ist, der durch Arousal beeinflusst wird. Auch die elektrodermale Aktivität und die Frequenz von Puls und Herzschlag würden sich gleichermaßen unspezifisch verändern (in der Regel mit steigendem Arousal erhöhen). Ein Hauptargument dieser Seite besteht darin, daß wesentliche Regionen zur Generierung von Augenbewegungen im Hirnstamm liegen, und nicht davon unberührt bleiben, wenn die Zentren für die Generierung tonischer Aktivität, die ebenfalls im Hirnstamm liegen, stärker feuern. Auf der anderen Seite gibt es jene Forscher, die glauben, Augenbewegungen würden vor allem eine selektive Aufmerksamkeit widerspiegeln und die Reaktionen auf spezifische Aufgaben wären spezifisch und zwar sowohl im auditiven

(Gopher 1973), als auch im visuellen Bereich (Hiscock & Bergstrom 1981). So konnte Gopher beim Paradigma des dichotischen Hörens anhand von Augenbewegungsaufzeichnungen vorhersagen, welchem Ohr die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit widmet. Zu diesem Ohr führte die Versuchsperson unwillkürlich und unbewußt große Sakkaden mit langen Fixationen aus. Die Häufigkeit spontaner Augenbewegungen während des Hörens nahm ab. Wurden die Versuchspersonen auf ihr Verhalten aufmerksam gemacht und angewiesen, diese Augenbewegungen zu unterdrücken, gelang ihnen dies zwar – allerdings hatten sie danach große Schwierigkeiten, sich auf ein Ohr zu konzentrieren. Daraus schloß Gopher, daß Augenbewegungen eine wichtige Rolle bei der Verteilung von Aufmerksamkeit und der Selektion eines Stimulus aus dem Reizangebot spielt und damit ein Teil des Orientierungsverhaltens ist. Ebenso Hiscock & Bergstrom (1981), welche Augenbewegungen als motorische Komponenten kognitiver Tätigkeiten ansehen. Deshalb untersuchen sie Aufgaben- und Aufmerksamkeitskorrelierte Augenbewegungen die nicht nur im Zusammenhang mit visueller Stimuli auftreten. Auch durch verbal-konzeptuelle Aufgaben konnten gezielt Sakkaden ausgelöst werden. Bei visuell-räumlichen Aufgaben nahm die Häufigkeit von Augenbewegungen sogar ab, was die Autoren darauf zurückführen, daß die Versuchspersonen Umgebungseinflüsse, die bei diesen Aufgaben stören würden, reduzieren. Es wurde sogar von manchen Forschern vorgeschlagen (z.B. Kinsbourne in Hiscock & Bergstrom, 1981), daß die Richtung der ersten Augenbewegung zu Beginn einer Aufgabe anzeigt, welche Hirnhälfte von dieser Aufgabe stärker beansprucht und damit aktiviert wird. Dieser Effekt konnte bislang leider nie repliziert werden. Diese spannende Frage bleibt bis heute widersprüchlich und ungeklärt. Stabiler sind nach Hiscock und Bergstrom (1981) die Aktivierungsmuster bei spezifischen Aufgabentypen, z.B. visuell-räumlichen. Hier steigt die Häufigkeit vertikaler Augenbewegungen an, bei verbalen die Häufigkeit horizontaler Augenbewegungen. Dieser Befund kann auch als Indikator dafür genutzt werden, ob die Versuchspersonen imagery benutzen oder nicht.

Eine zentrale Frage im Rahmen der Aufmerksamkeitsforschung bei Augenbewegungen ist die Frage, inwieweit die Augenbewegungen an die Aufmerksamkeitsverlagerung gekoppelt sind. Dieser Frage gingen Shepherd, Findlay & Hockey (1986) nach. Ihr Ergebnis ist eindeutig: Es gibt verschiedene Zentren, die Augenbewegungen und Aufmerksamkeit steuern, allerdings sind diese nicht voneinander unabhängig, sondern stehen in einer engen Beziehung und sind aneinander gekoppelt. So ist es zwar möglich eine Aufmerksamkeitsverlagerung durchzuführen, ohne eine Augenbewegung zu machen, allerdings ist es nicht möglich Augenbewegungen durchzuführen, ohne die Aufmerksamkeit zu verlagern. Außerdem kann

die Sakkadenlatenz durch gezielte Aufmerksamkeit bedeutend gesenkt werden. Dieser Befund betont die enge Verbindung zwischen Augenbewegungen und kognitiven Prozessen, mahnt aber auch zur Vorsicht, da es sich um ein asymmetrisches Verhältnis handelt, was eindeutige Schlüsse oft nicht zuläßt. So könnten Versuchspersonen bei der Lösung einer visuellen Aufgabe z.B. ihre Aufmerksamkeit auf die Peripherie richten und dort Informationen aufnehmen ohne Augenbewegungen zu machen.

Augenbewegungsstudien erwiesen sich auch als nützlich, zur Theoriebildung im Rahmen der Aufmerksamkeitsforschung bei Angstzuständen beizutragen.

Hermans, Vansteenwegen & Eelen (1999) zeigen auf, daß man auf diesem Gebiet mit den gängigen Paradigmen wie dichotischem Hören oder emotionalem Stroop, die hier der Erfassung von Aufmerksamkeitsstörungen dienen, langsam nicht mehr weiter kommt. Sie begründen dies dadurch, daß diese Paradigmen nur die Aufmerksamkeitsverteilungen in wenigen Punkten erfassen können. Hermans, Vansteenwegen & Eelen (1999) finden es sinnvoller, die selektive Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum hinweg aufzuzeichnen.

Die Autoren entwickelten deshalb selbst ein Paradigma, in welchem mehrere Augenbewegungsparameter kontinuierlich erfaßt werden können, während ängstlichen und nicht-ängstlichen Versuchspersonen affektiv besetzte Reize dargeboten wurden. Die ängstlichen Versuchspersonen wiesen im Gegensatz zu den nicht-ängstlichen ein unerwartetes und dynamisches Blickverhalten auf, welches weiter dazu beitragen wird, die Natur der Ängstlichkeit und den Zusammenhang von Ängstlichkeit und Aufmerksamkeitsprozessen zu beleuchten (Hermans, Vansteenwegen & Eelen 1999). So konnte gezeigt werden, daß es jedenfalls nicht daran liegt, daß die ängstlichen den affektiven Reizen zuviel Aufmerksamkeit widmen, daß sie ängstlich sind. Ohne Augenbewegungsmaße sind Daten über dynamische Prozesse bei solchen Fragestellungen momentan praktisch nicht zu erhalten.

## b) Gedächtnis und Lernen

Die Augenbewegungsforschung in Bezug auf Gedächtnis und Lernen ist relativ jung. Es gibt hierzu nur wenige frühe Studien, etwa von Kaplan, Carvellas & Metlay (1966) oder Loftus (1972). Nach Augenbewegungsstudien beschrieben Kaplan, Carvellas & Metlay (1966), daß Versuchspersonen ein gerade gelerntes Subset, welches sie in einem größeren Suchraum suchen sollen, bei der visuellen Suche seriell abarbeiten. Loftus (1972) untersuchte das

Gedächtnis für Bilder. Es ist bekannt, daß das Gedächtnis für Bilder sehr gut ist. Testet man Versuchspersonen, ob ihnen ein Bild vertraut ist oder nicht, so liegen sie in über 90% der Fälle richtig, auch wenn man ihnen hunderte oder tausende verschiedene Bilder präsentiert. Diese extrem gute Wiedererkennensleistung geht nach Loftus auf einen speziellen Gedächtnismodus zurück. Darüber hinaus untersuchte Loftus, inwieweit die Performanz dieses Modus durch Augenbewegungen vorhergesagt werden konnte. Die Wiedererkennensleistung ist nach Loftus funktional davon abhängig, wie viele Fixationen auf dem jeweiligen Bild ausgeführt wurden. Es zeigte ein funktionaler Zusammenhang zwischen Fixationshäufigkeit und Gedächtnisleistung (Nicht etwa Fixationsdauer und Gedächtnisleistung). Je häufiger fixiert wurde, desto besser war die Gedächtnisleistung. Läßt man nur wenige Fixationen zu, sinkt die Wahrscheinlichkeit für einen Treffer auf bis zu 60%, was der Zufallswahrscheinlichkeit nahe kommt. Damit hat er eine bemerkenswerte Verbindung zwischen einem Augenbewegungsparameter (Fixationen) und der Gedächtnisleistung hergestellt. Loftus nimmt an, daß während einer Fixation eine Reihe kognitiver Prozesse abläuft: Eine multimodale Enkodierung des fixierten Stimulus ins Gedächtnis und eine Entscheidung über das Ziel der nächsten Sakkade.

Umgekehrt beschreiben Althoff & Cohen (1999) einen starken Gedächtniseffekt auf Augenbewegungen und Wahrnehmung. Sie nehmen an, daß das Blickverhalten stark gedächtnisgesteuert abläuft. Vor allem bei der Gesichterwahrnehmung konnten sie zeigen, daß sich die Scanpaths qualitativ schon in den ersten fünf Fixationen unterscheiden, abhängig davon, ob das Gesicht der Versuchsperson vertraut ist oder nicht. Die Unterschiede zeigten sich in einer ganzen Reihe von Augenbewegungsparametern, weshalb die Autoren vermuten, daß unterschiedliche kognitive Funktionen für die Analyse von bekannten und unbekanntem Gesichtern zuständig sind. Sie betonen, wie ungenügend Reaktionszeitmaße sind, um aufzuklären, wo die Unterschiede in der Verarbeitung vertrauter im Vergleich zu unvertrauten Stimuli liegen. Die Reaktionszeiten ändern sich zwar auch, dies läßt die Gründe für die Änderung jedoch völlig offen. Die Autoren führen die Unterschiede vor allem auf die Bedeutungshaltigkeit vertrauter Gesichter zurück. Weitere Studien müssen jedoch die genauen Zusammenhänge weiter prüfen (vgl. Althoff & Cohen 1999).

Niemann, Lappe & Hoffmann (1996) untersuchten, wie gut sich Versuchspersonen 3D-Objekte einprägen konnten. Anhand der festgestellten Augenbewegungsparameter konnten sie vorhersagen, wie gut die Versuchspersonen bei weiteren dieser Aufgaben sein würden. Es konnte zudem präskriptiv eine ideale Einprägestrategie erstellt werden (welche bei diesen Versuchen auch intuitiv von zwei Kunststudenten angewandt wurde). Die individuelle

Strategie blieb über die Objekte hinweg gleich, was momentan diskutierten Befunden der Determination der Suchstrategie durch physikalische Reize widerspricht (z.B. Henderson, Weeks & Hollingworth in Althoff & Cohen 1999). Die Fixationen clustern an subjektiv als wichtig empfundenen Stellen. Prädiktor für den Erfolg waren aber hier vor allem kleine Sakkadenamplituden. Es wurden große interindividuelle Unterschiede gefunden, während die intraindividuelle Varianz klein war.

Chun & Jiang (1998) spekulieren, daß ein implizites Kontextgedächtnis vorhanden sein könnte, welches die visuelle Aufmerksamkeit gezielt lenkt und das Bewußtsein effektiv freihält. Natürliche Umgebungen sind oft äußerst komplex. Es gibt der Psychologie Rätsel auf, wie das Bewußtsein mit seiner stark beschränkten Kapazität in einer solchen Umgebung überhaupt arbeiten kann. Diese Leistung ist nach Chun & Jiang nur durch hoch effiziente Selektionsmechanismen zu erklären. So zeigten sie, daß die visuelle Aufmerksamkeit durch einen impliziten Lernmechanismus für Kontext geprimt wird, welcher die Aufgabenrelevanten Aspekte der Szene der Aufmerksamkeit zuführt.

Ebenso Groner & Groner (1983): Diese behaupten, daß der Organismus die Umwelt als einen externalen Speicher nutzt, um die memory-load zu reduzieren, und daß er auf diese Informationen genau dann zurückgreift, wenn es für die Aufgabe günstig ist. Dies konnte empirisch durch eine trickreiche Versuchsanordnung eindrucksvoll demonstriert werden. Dieses Verhalten konnte anschließend durch mathematische Modellierung sehr gut vorhergesagt werden. Wenn der Organismus davon ausgeht, daß die Informationen konstant verfügbar sind, werden diese nicht einmal temporär gespeichert. Gespeichert wird lediglich ein Verweis darauf, wo die Informationen in der Umwelt zu finden sind. Dies bemerkt man, wenn man diese Informationen den Versuchspersonen unerwartet entzieht; obwohl die Versuchspersonen die Informationen schon aufgenommen hatten, konnten sie die Aufgaben nicht mehr lösen, wenn sie davon ausgingen, daß die Information verfügbar bleibt. Groner & Groner argumentieren, daß es für den Organismus nützlich ist, so zu handeln. Das Gedächtnis, vor allem das Arbeitsgedächtnis, unterliegt rigiden Kapazitätsbeschränkungen und verliert dabei ständig Informationen. Da Augenbewegungen so schnell sind, ist es für den Organismus sinnvoller, diese dann einzubeziehen, wenn er sie braucht. Anscheinend sind die Augenbewegungen auch so unabhängig, daß sie den Problemlöseprozeß kaum stören, was ein solches Vorgehen für den Organismus ideal macht. Die Autoren folgern, daß der Informationsverarbeitungsprozeß sehr ausgeklügelt und den jeweiligen Anforderungen gemäß optimal angepaßt ist.

Sie betonen, daß die Arbeitsweise dieses Prozesse durch die Analyse der Augenbewegungen aufgedeckt werden kann. Einen gegensätzlichen Standpunkt vertreten Lürer et. al. (1986).

Diese Arbeitsgruppe fand, daß die Versuchspersonen mit zunehmender Erfahrung gerade den konstanten Teilen der Umgebung keine Blicke mehr schenkten, da diese Information im Gedächtnis gespeichert wurde und keine visuelle Aufmerksamkeit mehr benötigte. Es ist denkbar, daß es sich hier nicht zwangsläufig um einen unauflösbaren Widerspruch handeln muß, um diese Frage zu klären bedarf es ebenfalls weiterer Studien.

Mit der Erfahrung werden Personen bei der Bearbeitung verschiedener Aufgaben sowohl schneller als auch besser. Es gab schon viel theoretische Spekulation, die diesen Effekt zu erklären versuchte. Einer dieser Ansätze ist die Informations-Reduktions-Hypothese. Diese besagt, daß die Erfahrenen deshalb schneller und besser sind, weil sie ihre Aufmerksamkeit besser einsetzen, es gelernt haben sie da einzusetzen, wo es sich besonders lohnt und redundante Teile der Szenerie, bzw. der Stimuli weniger beachten. Diese Hypothese wurde nunmehr einer empirischen Überprüfung durch Augenbewegungsuntersuchungen unterzogen (Haider & Frensch 1999). In der Tat konnten Haider & Frensch bestätigen, daß beim Problemlösen von verbalen Aufgaben vor allem dadurch gelernt wird, daß sich die Blicke auf sehr wenige, relevante Informationsabschnitte konzentrieren. Dadurch können die Experten ihre Blicke ökonomischer einsetzen, was dazu führt, daß die Menge der zu verarbeitenden Information abnimmt. Es macht das Vorgehen von Experten aus, daß sie Redundantes weitgehend ignorieren. Die Aufklärung der Varianz war so groß, daß die Autoren behaupten, die Informationsreduktion wäre der entscheidende Faktor beim Lernen. Der Unterschied zwischen Laien und Experten besteht demnach bereits auf der Wahrnehmungsebene durch eine selektivere Informationsaufnahme, kommt nicht erst bei späteren Verarbeitungsstufen zustande. Auch hier kann die Augenbewegungsforschung bei der Theoriebildung und der Entscheidung zwischen verschiedenen Theorien behilflich sein. Diese Befunde sollten von Theorien zum Fertigkeitserwerb einbezogen werden. Es zeigte sich übrigens auch, daß nicht alle Versuchspersonen gleichermaßen in der Lage waren zu lernen, der Lernerfolg kovarierte stark mit der Reduktion der Fixationszeit redundanter Information. Dies deckt sich mit den Befunden der Expertenforschung. Es ist bekannt, daß Experten mit zunehmender Berufserfahrung „geradliniger“ vorgehen, d.h. weniger innovative Alternativen bei der Problemlösung in Betracht ziehen. Die Befunde von Haider & Frensch (1999) deuten darauf hin daß sich dieses Phänomen bereits auf der Wahrnehmungsebene äußert, womöglich sogar konstituiert.

Ebenfalls verändern Probanden ihr Blickverhalten beim komplexen Problemlösen (Lüer et. al. 1986). Lüer zeigte, wie Problemlöser die mit dem Tailor-shop-Paradigma von Dörner konfrontiert waren, mit der zunehmenden Erfahrung ihr Blickverhalten an die Aufgabe adaptierten. Die Anzahl der Blicke wurde reduziert, die Blickmuster selbst nahmen aber dennoch genügend Information auf, da sie strukturierter und effizienter wurden. Lüer interpretiert diesen Befund als Reflexion des zunehmendes Aufbaus und Ausbaus eines mentalen Modells über die Problemlösesituation.

Itoh & Koga (1982) beobachteten die Augenbewegungen von Versuchspersonen beim Konzeptlernen. Die erfolgreichen Konzeptlerner waren durch ihre freieren, flexibleren und aktiveren Augenbewegungsmuster identifizierbar. Die erfolglosen achteten zu stark auf (für die Konzepte) irrelevante Punkte und verharren dort. Die erfolgreichen Konzeptlerner fixierten mit zunehmender Erfahrung die relevanten Dimensionen der Konzepte. So konnte der Lernerfolg mitverfolgt werden: Die Sakkadendistanzen nahmen mit dem Erfolg zu, die Fixationszeiten ab.

Den zunehmenden Erfolg der Informationsverarbeitungsprozesse beim induktiven Schließen spiegelte sich ebenfalls in den Augenbewegungen der Probanden wieder (Dillon 1985). Dillon gab Probanden beim Lösen von RAVEN-Aufgaben ein verbales Feedback über Erfolg- oder Mißerfolg, was die Suchstrategie der Versuchspersonen nachhaltig verbesserte und sich in einem veränderten Augenbewegungsmuster niederschlug.

Diese Befunde zeigen, daß sich Lerneffekte in der Tat in einer Änderung des Blickverhaltens äußern können.

### c) Vorstellung und mentale Modelle

Ein schwieriges Forschungsfeld der allgemeinen Psychologie ist der Bereich der Vorstellung. Wie will man Vorstellungen, „visual imagery“ intersubjektiv beurteilen? Welche Zugänge hat man zu diesen Vorstellungsbildern? Im Laufe der Zeit hat die Psychologie diese Zugänge entwickelt (z.B. Cooper & Shepard oder Kosslyn, siehe Kaufmann 1990). Empirische Forschung zu Augenbewegungen in Verbindung mit Imagery gibt es schon seit über 80 Jahren. Es wurde die Hypothese aufgestellt, Personen würden vor dem geistigen Auge die jeweiligen Objekte abtasten und dies würde mit echten Augenbewegungen einhergehen (Demarais & Cohen 1998). Die momentane Datenlage zu dieser Frage ist jedoch äußerst widersprüchlich. Manche Arbeitsgruppen konnten zeigen, daß Augenbewegungen notwendig

für visual imagery sind (z.B. Hebb), andere daß sie es nicht sind (z.B. Hale & Simpson – beide Positionen in Demarais & Cohen 1998). Demarais & Cohen selbst vertreten die „Motortheorie“ der Augenbewegungen im Bezug zum Imagery. Demnach sind die Augenbewegungen beim Imagery analog den unbewußten Lippenbewegungen beim stillen Lesen zu deuten. Sie sind die Motorische Komponente der Informationsverarbeitung. Tatsächlich fanden die Autoren aufgabenabhängige Korrelate der Vorstellungstätigkeit in den Augenbewegungen. Sollten die Versuchspersonen sich kleine Objekte vorstellen und Details dieser Objekte nennen, so machten die Versuchspersonen nur kleine Augenbewegungen. Sollten sie sich hingegen ausgedehnte Objekte vorstellen und diese vor dem geistigen Auge in ihrer ganzen Länge betrachten, so waren die Sakkaden wesentlich größer. Erstreckten sich die Objekte von links nach rechts, gab es mehr horizontale Sakkaden, erstreckten sie sich von oben nach unten, so gab es mehr vertikale Sakkaden. Leises Zählen während der Aufgaben beeinflusste die Augenbewegungen zusätzlich, steigerte die Augenbewegungsrate in horizontaler Richtung, was die Autoren neurologisch erklären und als Korrelat der Interaktion beider Gehirnhälften ansehen. Nach der Interferenztheorie sinkt die Häufigkeit von Augenbewegungen beim visuellen Vorstellen ab, da dies die Informationsverarbeitung stören würde, was von den Autoren bestätigt wird. Die Autoren bewerten die Methode als guten Prädiktor, der unmittelbarer und objektiver als Introspektion ist und dazu benutzt werden kann zu objektivieren, ob die Versuchspersonen überhaupt visualisieren oder eine andere Strategie des Problemlösens benutzen.

Weiner & Ehrlichman (1976) widersprechen der Hypothese, daß die Versuchspersonen bei Problemlösen mit Imagery mit visuo-räumlichem Material dieses systematisch abtasten. Sie fanden zeigten, daß die Häufigkeit von Augenbewegungen beim Imagery sogar abnimmt und verbal-konzeptuelles Material mehr Augenbewegungen auslöst, was sie im Rahmen eines Interferenzmodelles interpretieren.

Osaka & Koga (1982) stellten Probleme, die den Versuchspersonen über den auditiven Kanal eingespielt wurden. Dies führte zu interessanten Effekten der Augenaktivität. Manche Aufgaben und Augenbewegungen reflektierten offenbar ein Visualisieren der Versuchspersonen. Ein interessanter Befund war hier, daß „Denkphasen“ mit sehr instabilen Fixationsmustern auftraten, was die Autoren als einen Hinweis auf zentralnervöse Anstrengung oder Überlastung während des Denkens im Sinne der Interferenztheorie interpretieren.

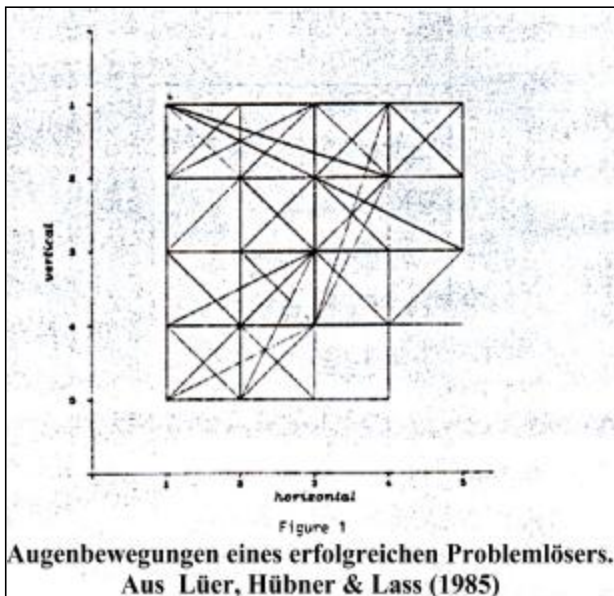
Logie & Baddeley (1990) diskutieren das Verhältnis zwischen Imagery und working memory mit Augenbewegungsuntersuchungen. Sie beschreiben, daß Augenbewegungen das „working

memory“ stören. Daß das Arbeitsgedächtnis leicht stöbar ist, zeigte sich bereits durch frühere Studien mit anderen Körperbewegungen, die mit der Performanz des working memory interferieren, etwa Handbewegungen oder ähnliches. In dieser Studie ergab sich eine selektive Interferenz bei Problemlösen mit räumlichem Material der Brooks Matrix durch willkürliche Augenbewegungen. Keine Interferenz gab es jedoch bei verbalem Material durch unwillkürliche Augenbewegungen.

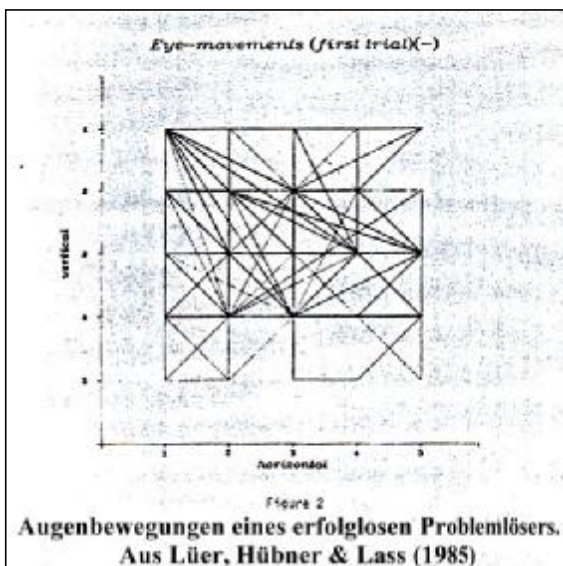
Logie und Baddeley schließen aus, daß es sich um ein Artefakt der Aufmerksamkeitsdistraktion handelt. In einem Folgeexperiment zeigten sie, daß vor allem die Augenbewegung, nicht die Aufmerksamkeitsverlagerung die Performanz beeinträchtigt – obwohl man mit solchen Schlüssen vorsichtig sein muß, da die Aufmerksamkeitssteuerung wie bereits dargestellt nicht unabhängig von der Augenbewegungskontrolle ist. In diesem Sinne beeinträchtigen voluntaristische Augenbewegungen und Imagery möglicherweise bei manchen Aufgaben das Arbeitsgedächtnis.

Zur Beziehung zwischen der internalen Repräsentation von Problemen und der daraus resultierenden Problemlösestrategie gibt es ebenfalls Augenbewegungsforschung (Krause 1981, Krause 1985, Krause 1987, Krause 1988). Krause interessierte sich vor allem dafür, wie man kognitive Strukturen und mentale Modelle durch die Aufzeichnung von Augenbewegungen objektivieren kann und untersuchte dies an einer ganzen Reihe von Paradigmen. Von diesen werden hier exemplarisch einige dargestellt. So untersuchte er den Symbol-Distanz-Effekt beim Lösen von logischen Tripel-Relationen der Form „A ist größer als B und B ist größer als C“. Der Symbol-Distanz-Effekt besteht darin, daß unterschiedliche Relationen unterschiedliche Beantwortungszeiten aufweisen. Diese Unterschiede führt er auf Unterschiede im Blickverhalten zurück und klärt damit sehr viel Varianz auf. Er geht davon aus, daß der Erfolg im Problemlösen von der Güte der aufgebauten kognitiven Struktur abhängig ist. Er behauptet, daß Augenbewegungsmessungen eine nützliche Methode sind, um kognitive Strukturen zu analysieren. Deshalb untersuchte er Augenbewegungen beim Aufbau der mentalen Modelle beim Lösen von linearen Ordnungsproblemen. Die Sätze werden nach Krause bei solchen Problemen von den Versuchspersonen in eine mentale lineare Ordnung gebracht. Augenbewegungen spiegeln nun, welche Strategie die Personen nutzen. Solche Probleme haben z.B. die Form: „F ist größer als B und K ist kleiner als B“. Diesen Satz verstehen Versuchspersonen schneller als den Satz „B ist größer als K und B ist kleiner als F“. Die Schwierigkeiten beim Verständnis dieser Sätze zeigen sich in Augenbewegungen mit mehreren Regressionen. Wobei nach Krause die Regressionen zum Aufbau eines mentalen Modelles nötig sind und als Indikator gelten können. Wurden den

Versuchspersonen reale Relationen vorgelegt, ergaben sich weniger Regressionen und keine steigenden Fixationszeiten bei steigender Anzahl an Elementen. Bei den Versuchsbedingungen mit künstlicher Information traten Regressionen auf und die Fixationszeit stieg mit der Anzahl der Elemente an. So erfolge der Aufbau einer kognitiven Struktur seriell durch mentale Operationen. Bei realer, bedeutungshaltiger Information ist dies nach Krause unabhängig von der Zahl der nötigen Operationen, was auf die parallele kognitive Struktur des semantischen Gedächtnisses hindeutet. Auch Krause vertritt den Standpunkt, daß die Augenfixationssequenz gedächtnisgesteuert ist. Er fand außerdem Hinweise darauf, daß die Lösung solcher Probleme eher die Natur eines Vergleichsprozesses als eines deduktiven Schlußprozesses aufweist. Bei Vorwissen wird nicht der ganze Reiz abgetastet, es kommt zu wenigen Regressionen. Ohne Vorwissen kommt es zu Regressionen. Kognitive Strukturen bauen sich also nach Krause durch Sätze ohne Vorwissen auf. Weiter



beschreibt er, daß gute Repräsentationen sich durch eine minimale Anzahl wesentlicher Merkmale auszeichnen. Essentiell sei die Reduktion der Komplexität des Problems. Lüer, Hübner & Lass (1985) zeigten, daß es beim komplexen Problemlösen wesentlich vom mentalen Modell, welches Personen aufbauen abhängt, ob sie dabei erfolgreich sind oder nicht. Die Autoren gehen davon aus, daß die Veränderung in der Struktur der



Augenbewegungen das mentale Modell der Situation widerspiegelt. Sie nutzten eine Computersimulation einer virtuellen T-Shirt-Produktion als komplexe Problemstellung, um den Erfolg objektiv zu evaluieren. Die guten Problemlöser bauten durch eine „harmonischere Art der Informationsgewinnung“ (Lüer, Hübner & Lass 1985), in welcher sie die wesentlichen Informationsquellen angemessen einbezogen,

ein systematisches und ausbalanciertes mentales Modell auf.

Die Blickbewegungsmuster der nicht erfolgreichen Versuchspersonen weisen eher auf extreme, unbalancierte Informationsgewinnungsmechanismen hin. Die resultierenden Augenbewegungsmuster der erfolgreichen Versuchspersonen muten äußerst unausgewogen an. Antrobus, Antrobus & Singer (1964) untersuchten die Augenbewegungen als Begleiterscheinung von Tagträumen und visueller Vorstellung. Als Tagtraum fassen sie die Phantasietätigkeit mit offenen Augen im Wachzustand auf. Sie entwickelten die Theorie, daß die Häufigkeit der Augenbewegungen mit der Häufigkeit des Wechsels der Bewußtseinsinhalte kovariert: Wenn man sich auf eine bestimmte Idee konzentriert, ruht das Auge lange Zeit auf einem willkürlichen Punkt im Raum. Waren die Bewußtseinsinhalte eher unangenehm, stieg die Häufigkeit der Augenbewegungen an, was die Autoren dahingehend interpretieren, daß man unangenehme Inhalte dadurch aus dem Bewußtsein vertreiben kann. Es wurde auch gefunden, daß beim Tagträumen ohne jede Instruktion die Augenbewegungshäufigkeit niedriger war als bei anderen kognitiven Tätigkeiten, was mit einem Gesamtabsinken des Arousal erklärt wird. Diese eher globalen Maße trachteten die Autoren später zu spezifizieren, dies blieb allerdings bis heute aus.

Just & Carpenter (1976b) zeigten, daß die linguistische Form der Information die Art der kognitiven Repräsentation bestimmt und dies durch Augenbewegungen zu erfassen ist. Sie präsentierten den Versuchspersonen eine Menge von Punkten, davon waren viele schwarz und wenige Punkte rot. Die Aussage „Wenige Punkte sind rot“, führt zur Fixation der kleinen roten Untermenge. Die Aussage „fast keine Punkte sind rot“, führt zur Fixation der großen schwarzen Untermenge. Dies konnte für viele andere Beispiele mit anderem Material ebenfalls gezeigt werden, wobei generell bei affirmativen Sätzen (vom Typ „x sind y“) die korrespondierende Untermenge fixiert wurde, und bei implizit negativen Sätzen (vom Typ „keine x sind y“) deren Gegenteil.

#### d) Denken und Problemlösen

Beim Problemlösen unterscheiden Groner & Groner (1988) zwei Arten von Fixationen: Aufnahme-Fixationen und Verarbeitungsfixationen. Diese Klassifikation wurde empirisch getestet. So fanden die Autoren, daß Aufnahme-Fixationen mit einer Dauer von 100-200 ms wesentlich kürzer sind als Verarbeitungsfixationen mit einer Dauer von 300 ms.

Die Autoren entwickelten ein stochastisches Modell, um das Blickverhalten von Versuchspersonen beim komplexen Problemlösen vorherzusagen, was ihnen tatsächlich hinreichend verlässlich gelang.

De Corte & Verschaffel (1987) untersuchten das Blickverhalten von Kindern beim Lösen von arithmetischen Problemen. Mittels der Augenbewegungsdaten konnte vorhergesagt werden, welche Kinder Schwierigkeiten bei der Lösung dieser Probleme haben würden. Die schlechten Rechner beachtetten relevante Teile der visuell dargebotenen Rechenaufgaben wenig oder gar nicht. Dieses Maß war in der Einschätzung der Performanz bei diesen Aufgaben besser als der Selbstbericht.

Knoblich & Rhenius (1995) nutzten Augenbewegungsdaten, um das Problemlöseverhalten von Probanden beim „Kühlhaus“-Paradigma von Dörner zu erfassen und verglichen es mit den Ergebnissen einer Gruppe von Laut-Denkern. Als Ergebnis ist festzuhalten, daß man bei solchen Aufgaben Augenbewegungen erheben sollte, da es valide Resultate ergibt und die Informationsverarbeitung im Gegensatz zum lauten Denken nicht beeinflusst.

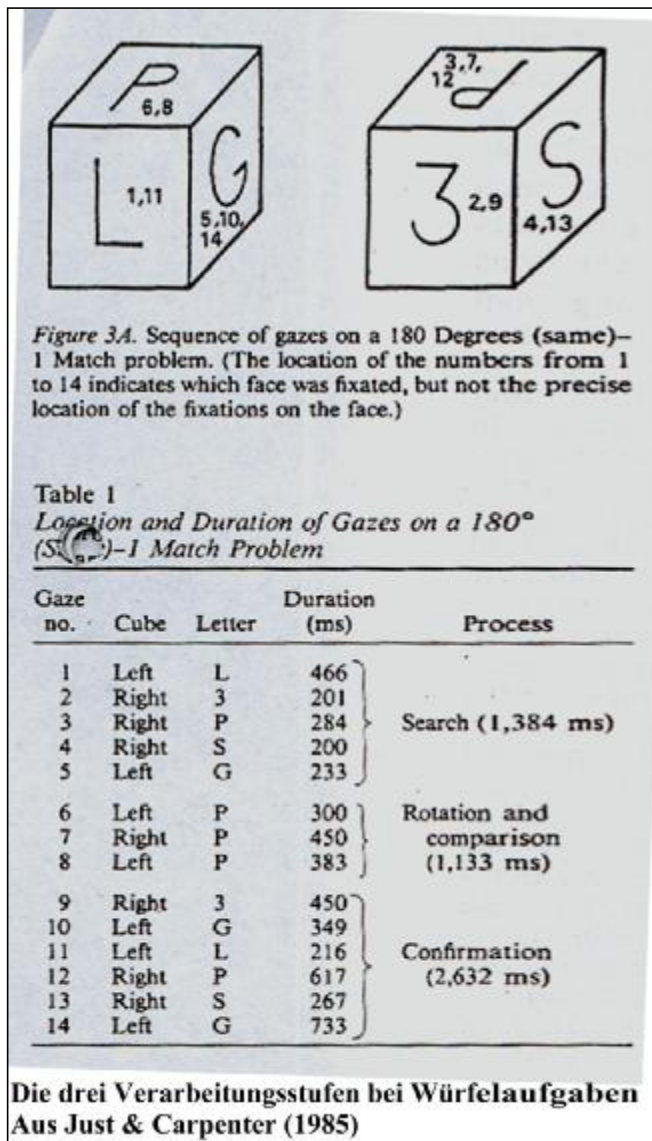
Simon & Barenfeld (1969) untersuchten die Augenbewegungen von Schachspielern und interpretierten dies als Problemlösesituation. Sie fanden, daß Experten im Gegensatz zu Laien ständige Paarvergleiche zwischen Figuren ausführen, die in einer strategischen Beziehung zueinander stehen, z.B. in einem Angriffs-Verteidigungs-Verhältnis. Dieses Blickmuster war sehr ausgeprägt und äußerst robust. Sie entwickelten ein Computerprogramm, welches diese Augenbewegungen während des Schachspiels simuliert und dem Verhalten menschlicher Schachspieler in weiten Teilen entspricht. Simon & Barenfeld sehen dabei die ersten Sekunden, in denen ein Proband mit einem Problem konfrontiert ist, als entscheidend an. Dabei fällt auf, daß der menschliche Problemlöser anders als der Schachcomputer vorgeht. Der Computer ist von der ersten Sekunde an mit dem Suchen nach möglichen und vorteilhaften Zügen beschäftigt, der menschliche Problemlöser denkt in den ersten ca. 15 Sekunden noch gar nicht über Züge nach, sondern er scheint damit beschäftigt zu sein, die essentiellen Charakteristika der Spielsituation aufzunehmen, Information über das Problem zu integrieren, anstatt schon gezielt nach Lösugen zu suchen. Simon & Barenfeld geben zu, daß es nicht einfach ist, Augenbewegungen beim Schach zu messen, weil Spieler mit einer Fixation mehrere Felder einsehen können, bzw. mit der peripheren Sicht noch mehr. Suppes et. al. (1982) untersuchte Augenbewegungen um ein prozedurales kognitives Modell beim Lösen von Algorithmen zu schaffen. So fanden sie, daß die Erfahrung, die die Versuchspersonen mit Algorithmen hatten, sich direkt in qualitativ veränderten Augenbewegungsmustern und Fixationsdauern niederschlug.

Verschaffel, De Corte & Pauwels (1992) unterzogen die Konsistenzhypothese von Lewis und Mayers mittels der Untersuchung von Augenbewegungen bei Vergleichsaufgaben einem Test. Diese Hypothese besagt, daß man mehr Verständnisfehler macht, wenn die Ordnung der Begriffe der bevorzugten Ordnung zuwiderläuft. Vergleichsaufgaben sind von der Art: „x hat 10 Äpfel, er hat 7 Äpfel mehr als y. Wieviele Äpfel hat y.“ Bei der Generierung der Konsistenzhypothese gingen Performanzdaten ein, Daten über den kognitiven Prozeß fehlten bislang. Diesen Mangel zu beheben leisteten Verschaffel, De Corte & Pauwels (1992) mit einer Augenbewegungsstudie. Sie demonstrierten, daß der Effekt nur auftritt, wenn die Aufgaben starke kognitive Anforderungen an die Personen stellen – nur dann stellt die Inkonsistenz eine weitere Komplikation der Aufgabe dar. Auf der Basis der Konsistenzhypothese konnte bei fordernden Aufgaben tatsächlich Vorhersagen für die Dauer der Fixationen gemacht werden, da das Ausmaß, in dem die Versuchspersonen die Sätze zur Lösung umformen müssen, manipulierbar war. Putz-Osterloh und Lüer (1979) untersuchten die Augenbewegungen von Probanden bei verschiedenen räumlich-visuellen Aufgaben, unter anderem den Würfelaufgaben aus dem IST-70. Bei diesen Aufgaben geht es darum, den richtigen von mehreren möglichen gedrehten Würfeln einem Modellwürfel zuzuordnen. Diese Aufgabe kann man durch einfache Zuordnungsstrategien oder durch mentale Rotation und räumliche Vorstellung lösen. Die Autoren konnten anhand von Augenbewegungsdaten entscheiden, welche Strategie die jeweiligen Versuchspersonen benutzen: Steigen die Fixationszeiten erheblich an und nimmt die Häufigkeit von Sakkaden stark ab, so deutet dies auf eine Verwendung von „Visual imagery“ hin. Je nach Art der Aufgabe ist dies unterschiedlich angemessen, so daß man keine Performanzunterschiede als Indikator für die jeweilige Strategie nutzen kann. Erfahrenere Versuchspersonen benutzten jedoch die mentale Rotation eher nicht.

Eine Dekomposition des kognitiven Prozesses beim Problemlösen, bzw. der mentalen Rotation von Würfeln unternahmen Just & Carpenter (1976a) und Putz-Osterloh (1981). Beide Gruppen kamen aufgrund von Augenbewegungsuntersuchen unabhängig voneinander auf das gleiche Ergebnis: Es konnten drei Phasen des Problemlösens durch Augenbewegungen klassifiziert werden. Diese Phasen sind hier nicht nur wie die üblichen „white-box“-models der kognitiven Psychologen zu verstehen, sondern haben klare physiologische Korrelate in Form von Augenbewegungen.

Aus den Blickmustern ergeben sich die Phasen Suche, Rotation und Vergleich, Bestätigung.

Die Augenbewegungen in diesen drei Phasen sind relativ eindeutig interpretierbar und



unterscheiden sich stark. In der ersten Phase, der Such-Phase schauten die Versuchspersonen nach einem Segment der beiden Objekte, welches auf beiden Objekten vorhanden ist, d.h. korrespondiert. In der zweiten Phase, der Rotationsphase erfolgen Augenbewegungen, die zwischen diesen beiden korrespondierenden Segmenten hin und her wandern, wobei diese Deckungsgleich rotiert werden, wobei 50° Unterschied in der Ausgangslage der vorgegebenen Würfel eine weitere Doppelaugenbewegung erforderte. Offenbar hielten die Versuchspersonen jeweils nach 50° Drehung kurz inne, um das Resultat zu prüfen. In der dritten Phase wurde auf die anderen Segmente des Objektes geblickt – überprüft ob auch die anderen Segmente durch die vorgenommene Rotation in die

richtige Position kommen. Diese Ergebnisse sind sehr eindrucksvoll und zeigen, daß sich kognitive Prozesse durchaus im „Scanpath“ des Auges abbilden.

Just & Carpenter (1985) untersuchten auch kognitive Koordinatensysteme, die Versuchspersonen beim Lösen von räumlichen Aufgaben beim Problemlösen bei der mentalen Rotation benutzen. Auch hierzu benutzten sie die Würfelaufgaben des IST-70. Dabei konnten drei Strategien identifiziert werden: invariante Koordinatensysteme, an deren Achsen die Objekte gedreht werden, Koordinatensysteme deren Achsen sich am Aufgabenraum aufspannen und jene, die Objektbezogene Koordinatensysteme verwenden. Es gibt verschieden gute Strategien. Die fähigsten Versuchspersonen nutzten invariante Koordinatensysteme, die schlechten brauchten mehr Fixationen, mußten viele Blickarbeiten

doppelt ausführen, gingen redundant vor und nutzten stark objektbezogene Koordinatensysteme. Diese Verbindung, zwischen der mentalen Repräsentation der Koordinatensysteme und Augenbewegungen wurde von Just & Carpenter (1985) nachgewiesen.

Deffner (1987) untersuchte, ob Augenbewegungen als Indikator dafür taugen, welche Strategie die Personen beim Lösen von Problemen benutzen, bei denen es um Relationen der Art „x sitzt links von y“, und wobei ein großer Problemraum gefüllt wird, viele Relationen vorgegeben werden. Dazu gibt es zwei Lösungsmöglichkeiten, die Serienbildung, bei welcher ein räumliches Bild aufgebaut wird und die Eliminationsstrategie, die ohne Vorstellung auskommt und auf Vergleichsoperationen beruht. Aus Simulationsversuchen wurden ideale Augenbewegungsmuster für die jeweiligen Strategien abgeleitet und die Muster der Versuchspersonen dann mit diesen Idealnormen verglichen. Durch Validierung mittels lauten Denkens konnte Deffner tatsächlich zeigen, daß diese Augenbewegungsmaße ein Indikator für die benutzte Strategie beim Problemlösen sein können. In einem explorativen Stadium befindet sich die Forschung von Schroiff (1987b). Dieser gibt an, daß Versuchspersonen beim Lösen von Vergleichsaufgaben offenbar verschiedene Strategien anwenden, die linguistische oder bildhafte Repräsentationen widerspiegeln. Außerdem würden sich die Versuchspersonen selbst bei der Durchführung einfacher Aufgaben stark unterscheiden, was die Reihenfolge elementarer kognitiver Operationen angeht. Diese großen Interindividuellen Unterschiede würden bei der Messung von Reaktionszeiten unterschlagen, nur Methoden die in er Lage sind, den Verlauf des Prozesses aufzuzeichnen wären adäquat, diese entscheidenden Unterschiede zu erfassen.

In diesem Abschnitt wurde dargestellt, in welchem Ausmaß die Augenbewegungsforschung zur allgemeinen Psychologie beiträgt. Leider wurden dafür noch nicht viele Paradigmen entwickelt, die jeweiligen Forschergruppen gehen eher eklektizistisch und weitgehend unabhängig voneinander vor. Manchmal ergibt sich ein kohärentes Bild, manchmal nicht. Einige Effekte sind gut gesichert und repliziert, z.B. die Reduktion von Augenbewegungen bei der visuellen Vorstellung, andere sind äußerst umstritten, die Datenlage unklar. Dies liegt sicherlich auch daran, daß einige der vorgestellten Studien noch nicht einmal repliziert wurden. Dabei kann die Untersuchung von Augenbewegungen sicherlich auch in Zukunft zur Theoriebildung in der allgemeinen Psychologie beitragen. Bei all den hier vorgestellten Beiträgen, sollte man nicht all jene Gebiete und Paradigmen der allgemeinen Psychologie vergessen, zu denen es noch keine Augenbewegungsstudien gibt – die allgemeine

Psychologie ist ein weites Feld. Auch Forschungsfelder, die bisher nicht von dieser Methode profitierten, könnten möglicherweise durch sie befruchtet werden. Ein spekulativer Vorschlag meinerseits wäre z.B. eine Untersuchung des „mere-exposure“-Effektes im Zusammenhang mit der Erfassung des Blickverhaltens. Wie in diesem Abschnitt dargestellt, geht Vertrautheit mit den Stimuli meist mit einer Beschränkung der visuellen Aufmerksamkeit einher. Wird die Darbietungszeit stark beschränkt, kann man in dieser Zeit nur wenige, d.h. drei bis vier Fixationen ausführen. Wenn bevorzugt angenehme Stellen der dargebotenen Objekte fixiert würden, würde dies den Effekt möglicherweise erklären. Auch wäre dadurch erklärt, warum der Effekt mit einer Steigerung der Darbietungszeit abnimmt: In dieser Zeit kann man das dargebotene Objekt vollständig abtasten – ob man es kennt oder nicht. Natürlich ist mir bewußt, wie spekulativ dieser Vorschlag ist, andererseits gibt es meines Wissens noch keine solche Studie, außerdem ist die Theoriebildung zu diesem Phänomen noch nicht weit fortgeschritten – manche bezeichnen den momentanen Stand der Theoriebildung als geradezu tautologisch (Westmeyer, persönliche Mitteilung).

## 6 Augenbewegungsforschung in Entwicklungs-, Sozial- und differentieller Psychologie

### a) Entwicklungspsychologie

Da die Entwicklungspsychologie mit einem äußerst schwierigen Gegenstand zu tun hat, ist sie immer auf der Suche nach geeigneten, möglichst objektiven Methoden. Da es oft um Untersuchungen an Kindern geht, hat man das Problem, daß diese äußerst leicht durch den jeweiligen Versuchsleiter zu beeinflussen sind, so daß man am besten nur so wenig verbale Interaktion zulassen sollte, wie unbedingt nötig. Hierbei gab es durchaus bereits sinnvolle Anwendungen der Erfassung des Blickverhaltens. Im folgenden werden einige dieser Anwendungen vorgestellt.

Menschen müssen die Fähigkeit, die reale Umgebung zu erkennen, sie zu klassifizieren (z.B. Formen, Farben oder Funktionen) erst lernen. Bei solchen Klassifikationsaufgaben zeigte sich, daß neben der fast schon trivialen Erkenntnis, daß Erwachsene dies durchweg schneller können (Reaktionszeit), noch andere Unterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern

hinsichtlich des Lösens dieser Aufgaben bestehen. Die Frage ist, was man mit diesem Unterschied in der Reaktionszeit anfangen kann. Es ist jeder Interpretation offen, an was dies liegen könnte, es ist sehr schwierig (und aufwendig), darauf aufbauende Experimente zu ersinnen, welche die verschiedenen Komponenten aufzeigen, die darin enthalten sind. So spekulieren Farnham-Diggory & Gregg (1975) über eine Denkkomponente, eine Strategiekomponente und eine motorische Komponente. Alternativ dazu wurden Augenbewegungsmaße erhoben. Hier zeigte sich, wie Kinder verschiedener Altersstufen strategisch bei solchen Klassifizierungsaufgaben vorgehen. (Farnham-Diggory & Gregg 1975). Es konnte differentiell gezeigt werden, bei welchen Prozessen sich die Hauptentwicklungsunterschiede zwischen Erwachsenen und Kindern verschiedenen Alters zeigen. Als Ergebnis kann festgehalten werden, daß die Kinder an manchen Stellen der Informationsaufnahme unsystematischere und ineffektivere Scan-Strategien verwandten als Erwachsene. So brauchten die Kinder vor allem deshalb mehr Zeit, weil sie zu redundant vorgingen, d.h. sie blickten zu oft an Stellen, die sie schon gesehen hatten. Dadurch dauerte es länger, bis sie genügend Information zur Lösung der Aufgabe aufgenommen hatten. Farnham-Diggory & Gregg gehen davon aus, daß mit dieser Methode in Zukunft spezifischere Entwicklungstheorien aufgestellt werden können als die bisherigen. Es wurde gezeigt, daß Kinder bei diesen Aufgaben und evtl. der Wahrnehmung der Umwelt generell qualitativ anders und weniger zielgerichtet vorgehen als Erwachsene, wobei sie auch eine größere Varianz aufweisen als diese. Dieses Verhalten wird mit zunehmendem Alter zielgerichteter.

Eine trennscharfe Klassifikation von verschiedenen kognitiven Stilen bei Kindern durch die Erfassung von Blickbewegungen, gelingt auch Wagner & Cimiotti (1975). Diese teilten Kindern in die Kategorien „Impulsive“, bzw. „Reflexive“ Personen ein. Die Kinder sollten visuelle Suchprobleme lösen, d.h. in diesem Fall Aufgaben aus dem MFF-Test, wobei die „Reflexiven“ Kinder aufgabenbezogen angemessen systematisch vorgingen, viel Zeit benötigten und wenige Fehler machten, sowie interindividuell stabile Suchstrategien zeigten - während die „Impulsiven“ Kinder wenig Zeit beanspruchten, viele Fehler machten und ein unsystematisches, aufgabenunspezifisches Blickverhalten zeigten und gar nicht alle zur Lösung der Aufgabe nötigen Objekte anblickten.

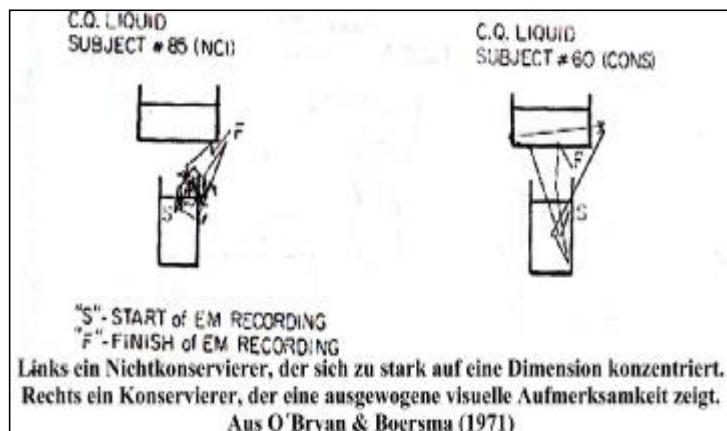
In die gleiche Richtung gehen bereits frühere Studien von Vurpillot (1968). In diesen Studien sollen Kinder in einer „matching to sample“- task entscheiden, ob zwei komplexe Stimuli (z.B. Bilder von stilisierten Häusern), die ihnen gleichzeitig präsentiert werden, identisch oder unterschiedlich sind. Es ist ein bekanntes Ergebnis, daß Kinder, vor allem kleine, bei diesen

Aufgaben erstaunlich schlecht sind. Es gab bereits viele Versuche und Theorien, diesen Befund zu erklären, so z.B. von Piaget (Vurpillot 1968), der dies einer Koordinationsstörung zwischen Wahrnehmung und Informationsintegration zuschrieb. Es wurde gerätselt, ob sich die Kinder nicht konzentrieren können, ob sie einfach raten, ob ihnen die Aufgabe nicht klar ist, ob sie abgelenkt werden oder ob sie einfach nicht richtig hinschauen. Mit konventionellen Methoden war dies nicht aufzuklären, da sich die Reaktionszeiten von erfolgreichen und nicht erfolgreichen Problemlösern nicht systematisch unterschieden. Lautes Denken wird bei kleinen Kindern als nicht sonderlich valide angesehen und das EEG ist noch nicht so weit, bei dieser Fragestellung sinnvoll interpretiert werden zu können. Vurpillot griff auf die Registration von Augenbewegungen zurück und konnte zeigen, daß die schlechte Performanz der Kinder durch einen Mangel an Informationen bedingt ist. Die Kinder treffen ihre Entscheidungen, ob das Stimuli-Paar identisch ist oder nicht, aufgrund mangelnder Informationen über die Stimuli. Zum entscheiden, ob zwei Objekte gleich oder verschieden sind, muß man nach Unterschieden suchen. Dies impliziert, daß man das ganze Objekt systematisch und vollständig abtastet, am besten jedes Element des einen Objekts im Paarvergleich mit dem korrespondierenden Element des anderen Objektes abgleicht. Mathematisch gesehen kann man einen idealen „Scanpath“ errechnen. Je kleiner die Kinder waren, desto stärker wichen sie von diesem idealen Scanpath ab. Sie benutzten eine relativ unsystematische, willkürliche (nahe am „Random-walk“) Abtaststrategie, welche sich von jener, die Erwachsene benutzen, radikal unterscheidet. Die Fehler unterliefen den Kindern, weil sie nicht die gesamte Information für ihre Entscheidung nutzten, was aber für die erfolgreiche Bewältigung dieser Aufgabe zentral ist. Dies erklärt auch, weshalb sich die Reaktionszeiten nicht unterschieden: Die erfolgreichen waren nicht schneller, sondern nahmen mehr Informationen pro Zeiteinheit auf, weil sie gezielter und weniger redundant vorgingen. Mit zunehmendem Alter nähern sich die Kinder der theoretisch idealen Scanstrategie an, d.h. sie können in der gleichen Zeit mehr Informationen einbeziehen, auf welche sie ihre Urteil stützen. Neben diesen spezifischen, für die weitere Theoriebildung hilfreichen Befunden, geben solche Experimente Hinweise auf die generelle Entwicklung des kognitiven Apparates.

Die kognitive Entwicklung bei Kindern untersuchte auch O'Bryan (1971). In der Entwicklungspsychologie sind die verschiedenen Stufen kognitiver Entwicklung nach Piaget wohlbekannt. So unterscheidet man z.B. in der berühmten „Umschüttaufgabe“, die so bekannt ist, daß sie hier nicht näher erläutert zu werden braucht, die erfolgreichen Konservierer, welche alle relevanten Dimensionen beachten und die nicht erfolgreichen Nichtkonservierer,

die oft nur eine Dimension beachten. O´Bryan untersuchte, ob dies bereits am Blickverhalten erkennbar ist. In der Tat fand O´Bryan , daß der qualitative Umschwung im Problemlöseverhalten zwischen Nichtkonservierern und Konservierern mit einem qualitativen Wandel des Blickverhaltens korrespondiert. O´Bryan bemängelte an anderen Studien zu diesem Thema, daß die Versuchsleiter in der Interaktion mit den Kindern oft ohne dies zu beabsichtigen verbale Hinweise gaben, welche die Ergebnisse der Studien möglicherweise verfälschten. Demgegenüber untersuchte O´Bryan den Scanpath der Problemlöser. Die Ergebnisse sind so eindeutig wie selten in der Psychologie. Man kann förmlich sehen, wer ein Konservierer ist, und wer nicht. Man kann auch sehen, warum. So widmeten die Nichtkonservierer der dominanten Dimension des jeweiligen Objektes zu viel Aufmerksamkeit und beachteten die anderen kaum.

Offenbar fehlte ihnen dann die Information, die zusätzlichen Dimensionen im kognitiven



Situationsmodell zu integrieren.

Die Konservierer hingegen lassen sich nicht von einer dominanten Dimension ablenken, gehen unabhängig vom jeweiligen konkreten Objekt eher nach einem inhärenten Blickmuster, einem

spezifischen Pattern vor. Ob nun die Kognition der Wahrnehmung folgt, oder ob eine unzureichende Wahrnehmungsleistung nur den unausgereiften kognitiven Apparat reflektiert, ist durch diese Studie nicht zu entscheiden. Jedenfalls sind diese Augenbewegungsdaten ein sehr reliabler und valider Prädiktor der Problemlöseleistung in diesen Aufgaben. Auf der Grundlage solcher Daten kann man Konservierer und Nichtkonservierer verlässlich trennen und die Ergebnisse solcher Umschüttaufgaben vorhersagen.

In diesem Abschnitt wurde gezeigt, daß die Erfassung des Blickverhaltens sowohl bei der Theoriebildung als auch bei der Generierung empirischer Befunde zur Entwicklungspsychologie beitragen kann. Die angeführten Studien sind schon älter, neuere scheint es auf dem Feld der Entwicklungspsychologie aber nicht zu geben. Zumindest für manche Fragestellungen ist die Aussicht, Erkenntnisse durch die Analyse des Blickverhaltens zu finden, nicht schlecht und könnte in Zukunft durchaus auch noch verstärkt genutzt werden.

## b) Sozialpsychologie

Schon seit längerer Zeit ist in der Sozialpsychologie klar, daß der visuelle Kanal, vor allem das Blickverhalten anderer, als wesentliche Informationsquelle von Menschen über andere Menschen genutzt wird (Flade 1979). Blickbewegungen und Blickrichtung sind äußerst bedeutsame Prädiktoren für Sympathie- oder Antipathie (Wallbott 1998) oder Stimmung (Flade 1979). Auch ist das jeweilige Blickverhalten nach Levy ein guter und reliabler Prädiktor der sexuellen Orientierung (Bente, Donaghy & Suwelack 1998). Diese Studie zum Zusammenhang zwischen sexuellen Präferenzen und dem Blickverhalten steht in der Tradition der Studien von Hess, die in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts durchgeführt wurden. Dieser wies nach, daß die Präferenz für ein Objekt direkt mit der Größe der Pupille kovariiert. Wird die Pupille nach der Stimuluspräsentation kleiner, so zeugt dies von einer Aversion gegenüber dem Stimulus, wird sie größer, so deutet dies generell auf eine Präferenz für den Stimulus hin. (Hess & Polt 1966). Dieser Befund wurde schon vor diesen generellen Befunden zur Diagnostik von Homosexualität genutzt (Hess, Seltzer & Shlien 1965). In dieser Studie konnte mit einer Trennschärfe von 100% eindeutig, durch die Messung der Pupillenreaktion, zwischen Homosexuellen und Heterosexuellen differenziert werden, wobei man den Versuchspersonen Fotografien von Männern und Frauen präsentierte. Diese Untersuchungen erregten die Kritik anderer Forscher (z.B. Koff & Hawkes 1968). Koff & Hawkes bemängeln, daß die Ergebnisse durch vielfältige Störeinflüsse konfundiert sein können, z.B. wie vertraut der Stimulus den Versuchspersonen ist, oder wie die jeweiligen Versuchspersonen auf Helligkeit reagieren. Letztendlich sind die Ergebnisse bei einer durchdachten Versuchsplanung jedoch so eindeutig und stabil, daß sie trotz dieser Kritik in einer Vielzahl von sozialpsychologischen Fragestellungen Anwendung finden kann, z.B. in der Einstellungsmessung. So kann mittels der Erfassung der Pupillenreaktion in einer relativ objektiven Weise die Einstellung von Personen gegenüber Freunden, Lehrern oder anderen Gegenständen gemessen werden.

Auf einen anderen interessanten sozialpsychologisch relevanten Effekt weist Behne hin: Offenbar besteht eine erhebliche Interaktion zwischen visuellem und auditivem Kanal (Behne 1990). Sollten Versuchspersonen die musikalische Leistung von Klavierspielern beurteilen, so war es durchaus nicht egal, ob sie dabei auf die Musiker blickten oder nicht. Dabei war die auditive Information immer gleich: Die Musik wurde durch Playback eingespielt. Die Musiker wechselten jedoch. Sowohl Laien, als auch Musiklehrer, Studenten einer Kunsthochschule und Musikkritiker ließen sich hierbei manipulieren. Sie äußerten drastisch

unterschiedliche Urteile über die verschiedenen „Interpreten“, wenn sie diese während des Spiels betrachteten. Der visuelle Kanal spielt also im sozialen Geschehen, bei der Bildung von Urteilen eine wesentliche Rolle. Deshalb ist es auch nur folgerichtig, daß es durchaus auch Augenbewegungsstudien in der Sozialpsychologie gibt. So konnten z.B. Bente, Donaghy & Suwelack (1998) zeigen, daß es geschlechtsspezifische Unterschiede im Blickverhalten bei der sozialen Interaktion gibt. Es zeigte sich eine Fülle von Effekten, die den Autoren zufolge prinzipielle Unterschiede in der Qualität der jeweiligen Interaktion reflektieren. Im Durchschnitt waren die Frauen an die Situation angepaßter, was aus der Tatsache geschlossen wurde, daß die Augenbewegungsmuster bei Frauen stärker davon beeinflußt waren, ob die andere Person ihnen vertraut war oder nicht. Männer mieden den Blickkontakt, wenn andere sprachen, Frauen waren reaktiver, erwiderten Blickkontakt häufiger. Spiegelt sich die erhöhte soziale Kompetenz der Frauen in ihrem Blickverhalten? Leider gibt es noch zu wenige Studien zu diesem interessanten Thema, um diese Frage guten Gewissens entscheiden zu können.

Auf jeden Fall sind die Augen eine wichtige Region in sozialen Situationen. Die Feststellung des Blickkontakts kann viele Reaktionen auslösen. (Lord & Haith 1974). Versuchspersonen zeigten eine sehr gute Kompetenz zu entscheiden, wann Augenkontakt besteht und wann nicht, allerdings war die Güte der Entscheidung kontextabhängig (Lord & Haith 1974).

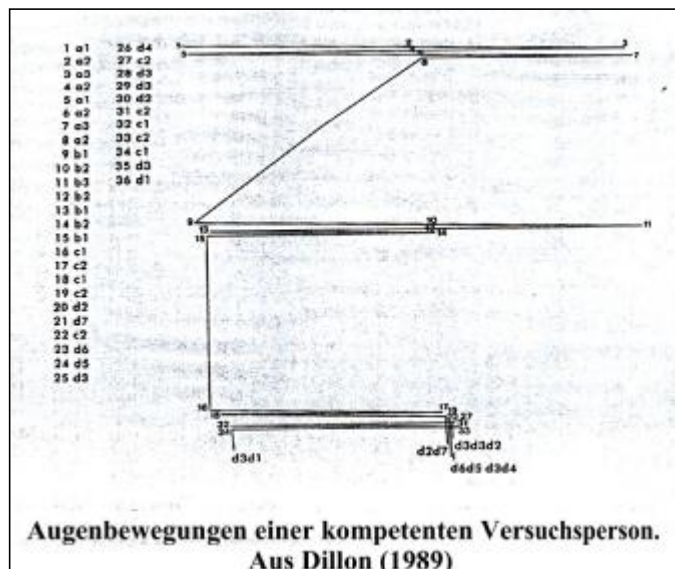
Zusammenfassend kann man sagen, daß die Methoden zur Augenbewegungsregistration in der Sozialpsychologie noch zu wenig genutzt werden. Es spricht nichts prinzipielles dagegen, z.B. Einstellungen oder deren Korrelate mittels Augenbewegungsmaßen zu erfassen. Da der Einfluß des visuellen Kanals auf die soziale Interaktion ohnehin so stark ist, könnte man diese Methode durchaus explorativ nutzen. Immerhin sind Augenbewegungen Teil des ganzen Orientierungsverhaltens, und dies gilt auch in sozialen Situationen. Auch die Sozialpsychologen sollten danach trachten, ihr Methodenarsenal zu ergänzen, da es auch in diesem Bereich an relativ objektiven Methoden mangelt. Immerhin sind die üblichen Instrumente zur Datenerhebung in der Sozialpsychologie von vielen Problemen behaftet, von Versuchsleitereffekten bis hin zu massiven Verfälschungen der Daten durch Effekte der sozialen Erwünschtheit.

### c) Differentielle Psychologie

Auch hier gab es erfolgreiche Anwendungen von Untersuchungen zu Augenbewegungen. Zusätzlich zur Nutzung als Forschungsmethode können Augenbewegungsmessungen in der differentiellen Psychologie auch als Diagnosemethode genutzt werden.

In der differentiellen Diagnostik, vor allem bei der Vorhersage von Berufserfolg aufgrund der jeweiligen Testergebnisse, gibt es immer noch große Probleme. Die meisten dieser Tests haben nur eine sehr geringe Vorhersagegüte, klären nur zwischen 20 und 30 % der Varianz des späteren Berufserfolges auf. Mit aus diesen Überlegungen heraus wurde z.B. der sogenannte „Medizintest“ vor einigen Jahren wieder abgeschafft.

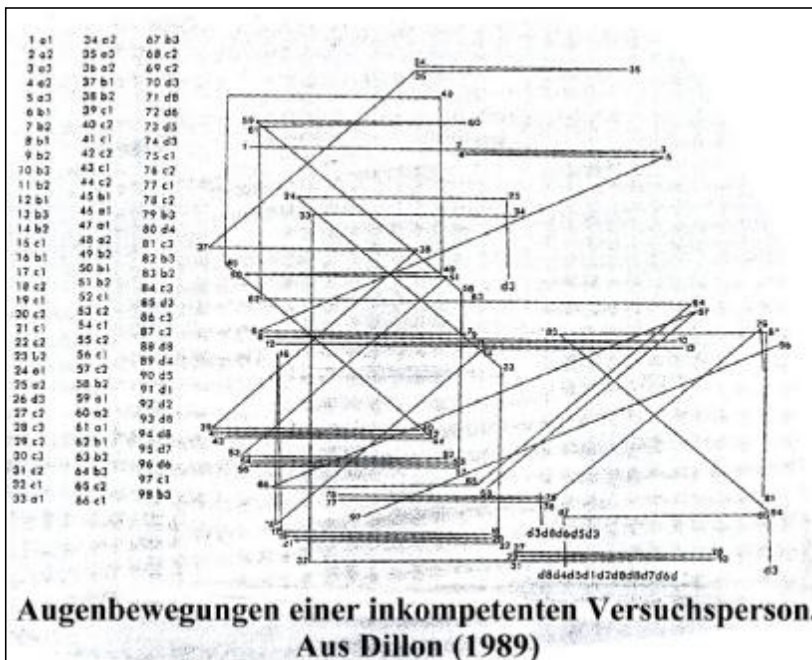
Diese schlechte Vorhersageleistung diagnostischer Instrumente nahm Dillon (1989) zum Anlaß, neue Wege zu gehen. Sie führt die schlechten Prognosefähigkeiten konventioneller



Verfahren darauf zurück, daß es möglich ist, mit äußerst unterschiedlichen kognitiven Stilen und Strategien ,den gleichen Testscore zu erreichen, diese unterschiedlichen kognitiven Stile jedoch unterschiedlich gut zur späteren Tätigkeit passen. Sie argumentiert, daß die Personen immer die gleichen kognitiven Elementar-Schritte in ihren

Strategien bei verschiedenen Arten des Problemlösens und der Informationsverarbeitung nutzen würden. Deshalb wären solch elementaren Maße robuster als ein Endscore, da sie etwas über die Art des Vorgehens der Personen aussagen, d.h. zusätzliche Information enthalten. Aus diesem Grund erhob Dillon in ihren Studien zum akademischen Erfolg im wesentlichen Augenbewegungsmaße. Sie geht davon aus, daß Augenbewegungsmuster diese kleinen Informationsverarbeitungseinheiten gut widerspiegeln.

Die Resultate ihrer Studien sind bemerkenswert. Sie behauptet, sensationelle 70% der Varianz im späteren akademischen, bzw. Berufserfolg dadurch erklären zu können. Inwieweit solch



hohe Vorhersageerfolge glaubhaft sind, sei dahingestellt, jedenfalls sind dies die Ergebnisse Dillons, die auf jeden Fall repliziert werden sollten. Dillon erklärt die besondere Güte ihres Verfahrens dadurch, daß es mehr über die Natur interindividueller Unterschiede aussagt, zu wissen, wie Menschen

Probleme lösen, als lediglich das Resultat des Prozesses zu kennen. Dillon geht sogar soweit zu behaupten, man könne durch die Erfassung von Augenbewegungsparametern Theorien entwickeln, die interindividuelle Unterschiede erklären, anstatt sie nur festzustellen. Ein schlechter Testscore ist keine Erklärung für eine schlechte Leistung, er bedarf selbst einer Erklärung (Deskriptoren sind eben keine Explanatoren). Dillon untersuchte unter anderem die Leistung beim komplexen Schlußfolgern. Hierbei konnten Leute mit verschiedenen, qualitativ unterschiedlichen Fähigkeiten unterschieden werden. So erklärt sie die hohe Leistung mancher Versuchspersonen in diesen Aufgaben durch deren hochsystematisches und wenig redundantes Vorgehen, diese Versuchspersonen kamen mit wenigen Fixationen und Sakkaden aus.

In der Tat sind auch die resultierenden Augenbewegungsmuster äußerst beeindruckend. Auch hier kann man die Unterschiede zwischen den jeweiligen Personen förmlich sehen.

In einem ähnlichen Feld arbeitete Putz-Osterloh (1981). Diese untersuchte die Augenbewegungen während des Bearbeitens von Intelligenztests, vor allem bei der Bearbeitung von RAVEN-Aufgaben. Dabei zeigte sie, daß man aus den Augenbewegungsmustern den Erfolg reliabel vorhersagen kann. Außerdem versuchte sie zu zeigen, warum jene, die bei diesen Aufgaben Schwierigkeiten hatten, schlecht waren. Deren Probleme begannen schon bei der Informationsaufnahme. Die schlechten Problemlöser beachteten Lösungsalternativen bei den RAVEN-Aufgaben zu wenig und zu unsystematisch.

Daraus ergibt sich die Möglichkeit, ein Trainingsprogramm für solche Aufgaben auf der Grundlage der Vermittlung geeigneter Blickstrategien zu entwickeln. (Putz-Osterloh 1981). Putz-Osterloh verglich auch die Bearbeitungszeiten. Hierin unterschieden sich die Richtiglöser kaum von den Falschlösern. Nur wurde diese Zeit unterschiedlich gut genutzt. Die Richtiglöser zeigten sich als der jeweiligen Aufgabenstellung entsprechend flexibler, während die Falschlöser oft unangemessene, aber eingefahrene heuristische Blickmuster verwendeten, die zu oft versagten. Wiederum konnte man durch die Online-Registration der Augenbewegungen in Echtzeit förmlich dabei zusehen, wie die Richtiglöser die Lösung konstruierten, und wie die Falschlöser dabei versagten.

Neben diesen Studien im reinen Leistungs- und Intelligenzbereich untersuchten Boersma et al. (1969) das Verhältnis zwischen Persönlichkeit und Blickverhalten. Sie taten dies anhand des Embedded-Figure-Tests (EFT). Hierbei zeigten sich nach Boersma neben der Leistung die unterschiedlichen kognitiven Stile im Blickverhalten. So waren die feldunabhängigen Versuchspersonen dadurch schneller, daß sie ein wesentlich aktiveres Suchverhalten zeigten und öfters Target und Alternative verglichen als die Feldabhängigen. Dieses aktivere Suchverhalten war teilweise bei Männern stärker ausgeprägt als bei Frauen, was von Boersma als Erklärung dafür gesehen wird, warum Männer hierbei schneller sind als Frauen. Ebenso wurden Augenbewegungen während des Rod-and-frame-Tests untersucht. Hierbei eigneten sich die Augenbewegungen einerseits als Prädiktor, andererseits zur Konstruktvalidierung von Persönlichkeitsdeskriptoren (Haley 1973).

In der differentiellen Psychologie sagen Augenbewegungsmaße etwas darüber aus, wie interindividuelle Unterschiede zustande kommen. Die meisten Studien, die es dazu gibt, wurden im Leistungsbereich unternommen. Weniger üblich ist es, diese Augenbewegungsmuster mit Persönlichkeitsunterschieden zu korrelieren (z.B. mit den fünf Faktoren aus dem BIG-5-Ansatz). Es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, daß man systematische und stabile Unterschiede im Blickverhalten der jeweiligen Persönlichkeiten findet. Immerhin hat sich in den vorherigen Abschnitten gezeigt, daß das Blickverhalten oft sehr stark mit dem Gesamtverhalten des Organismus im Einklang steht, bzw. dieses abbildet. Dies würde weiten Teilen der differentiellen Psychologie auch helfen, einen weiteren Schritt in Richtung Wissenschaftlichkeit zu tun und die ewigen Persönlichkeitsfragebögen endlich zu überwinden.

## 7 Augenbewegungsforschung in der angewandten Psychologie

Neben den bereits in der Einleitung erwähnten „klassischen“ Anwendungsgebieten der Augenbewegungsforschung, wie der Schlafforschung oder der Werbeindustrie, gibt es noch weitere, jedoch nicht so bekannte Gebiete, wie z.B. die Radiologie und den Sport, die hier kurz vorgestellt werden sollen. Darüberhinaus findet die Augenbewegungsforschung zunehmend auch in der Ergonomie Verbreitung. So behauptet Unema (1995), man könne die mentale Beanspruchung am Arbeitsplatz durch einige Augenbewegungsparameter messen und so gezielt verbessern.

### a) Radiologie

In der Radiologie geht es oft um die Durchführung einer komplexen visuellen Suche. Diese visuelle Suche dient dazu, Tumorgewebe inmitten des gesunden Gewebes zu identifizieren, z.B. bei der Mammographie oder der Suche nach Lungenkrebs. Daß die Ärzte diese Suche so effizient wie möglich durchzuführen, ist absolut lebenswichtig für die behandelten Patienten. Es geht darum, die Zahl der Falsch-Negativen (d.h. übersehenes Krebsgewebe) und die Zahl der Falsch-Positiven (d.h. als Krebsgewebe erkanntes gesundes Gewebe) möglichst gering zu halten, um die Patienten angemessen behandeln zu können. Allerdings ist die Fehlerrate des menschlichen Entscheiders bei solchen Aufgaben auch unter Experten erschreckend hoch – trotz moderner Geräte liegt sie bei 20-30% (Gale & Worthington 1983), mitunter mit fatalen Folgen für die Patienten. Dies liegt daran, daß die Diskrimination zwischen Gesundem und krankhaftem Gewebe aus mehreren Gründen nicht einfach ist. Zum einen liegt es daran, daß dreidimensionale Gewebe des Patienten auf zwei Dimensionen abgebildet wird, was dazu führt, daß manchmal Strukturen sich überlappen und gegenseitig verdecken; zum anderen liegt es an der großen phänotypischen Varianz in den Erscheinungsformen von Körpergewebe. Dennoch sind hier verlässliche Methoden lebensnotwendig für die Patienten. Hier setzte Nodine et. al. (1988) an. Sie untersuchten das Entscheidungsverhalten von Radiologen bei der Interpretation von Lungenradiogrammen durch die Erhebung von Augenbewegungsparametern. Die empirischen Befunde stimmen optimistisch: Das wesentliche Ergebnis der Studie war, daß Radiologen bei der Betrachtung von Gewebe, welches sie später als Falsch-Negativ klassifizierten, die gleichen Augenbewegungsmuster (z.B. längere Fixationszeiten) aufwiesen wie bei der Betrachtung von Gewebe, welches sie

richtig als krankhaft identifizierten, ohne daß sie sich dessen bewußt waren.

Augenbewegungen bei der Klassifizierung von Falsch-Positiven Gewebeteilen waren unauffällig. Es wäre zwar besser, auch diese Gruppe anhand der Augenbewegungen erkennen zu können, in diesem speziellen Fall ist aber die verlässliche Erkennung existierender Tumore wichtiger, als die Diagnose eines nicht vorhandenen Tumors, da bei einem entdeckten Tumor weitere diagnostische Mittel zum Einsatz kommen und so weitere Chancen bestehen diesen Fehler zu bemerken. Die Augenbewegungsmuster der Experten können also etwas über deren implizite Informationsverarbeitung aussagen und erlauben so oftmals eine bessere Zuordnung von krankem und gesundem Gewebe als das explizite Urteil des Experten (zumindest in den von Nodine untersuchten Fällen).

Ebenfalls an der Verbesserung der Trefferquote von Radiologen arbeitete Gale et. al. (1987).

In der 80ern gab es in der Radiologie eine Kontroverse, wie man Radiologen am besten ausbildet, damit sie möglichst viel Gewebe möglichst genau erkennen. Anhand von mehreren Augenbewegungsuntersuchungen und dem Vergleich mit der jeweiligen Erfolgsquote schloß er, daß es sinnvoll ist, den Radiologen einige wenige Kriterien an die Hand zu geben, mittels derer sie in einer freien Suche krankes Gewebe klassifizieren können. Der Alternativvorschlag, der auch in manchen radiologischen Lehrbüchern propagiert wurde, man solle den Radiologen eine ideale „Suchstrategie“ lehren, mit welcher sie auf jeden Fall den ganzen Suchraum optimal abdecken, bewertete er als ungünstig. Das freie, adaptive Suchen erwies sich hier als überlegen. Gale räumte aber ein, daß dies evtl. eine Besonderheit der Aufgabe ist und daß dieses Ergebnis nicht generalisiert werden kann.

## b) Sport

Eines der Hauptanwendungsfelder von Augenbewegungsuntersuchungen im Sport findet momentan im Rahmen der Expertenforschung statt. Die Frage, was einen Profi ausmacht und in welcher Hinsicht er sich von einem Laien unterscheidet, beschäftigt die Forschung schon seit längerer Zeit. Eine wesentliche Kontroverse geht dabei um den Anteil von kognitiven gegenüber motorischen Fähigkeiten. Insbesondere zur Klärung dieser Frage kann die Augenbewegungsforschung beitragen (Helsen & Starkes 1999). Helsen & Starkes untersuchten die Augenbewegungsmuster von professionellen Fußballspielern unterschiedlichen Leistungsstandes beim Betrachten von Fußballszenen. Sie schlossen aus ihren Ergebnissen, daß die kognitiven Anforderungen bereits bei relativ simplen Spiele wie

etwa Fußball enorm sind. Der bessere Leistungsstand, vor allem erfahrener Spieler geht in einem wesentlichen Maß auch auf ein der Spielsituation angemessenes Blickverhalten zurück. So haben erfahrene Spieler einen weiteren „Focus“ als unerfahrene, sie nutzen die Informationen aus parafovealen und peripheren Regionen besser. Da das angepasste Blickverhalten stark mit der gesammelten Erfahrung der Sportler kovarierte, sehen Helsen und Starkes dies als weiteren Hinweis dafür, daß Expertentum im Sport mehr auf gelernten (und auch im wesentlichen Maße kognitiven) Faktoren beruht als auf angeborenen. Ebenfalls zu diesem Schluß kommt bereits Neumaier (1983), der die Beobachtungsstrategien von Volleyballern untersuchte. Aufgrund des hohen Tempos im Volleyball ist es besonders in dieser Sportart nötig, gegnerische Angriffe bereits antizipatorisch wahrzunehmen. Er konnte zeigen, daß die Mannschaft, die besser darin war, Hinweisreize (cues) aus der peripheren Wahrnehmung zu nutzen, im wesentlichen auch die siegreichere Mannschaft war – ungeachtet anderer motorischer Fertigkeiten der Athleten. Sie konnte die gegnerischen Angriffsversuche rechtzeitig vorwegnehmen. Schon damals bemerkte Neumaier, daß es sinnvoll sein könnte, diese Befunde gezielt und häufiger in den Trainingsinhalten zu berücksichtigen. Ebenso könnten auf der Basis dieser Befunde neue Trainingsmethoden entwickelt werden, die das Blickverhalten in den Vordergrund rücken.

Neben diesen konsistenten Befunden in den Mannschaftssportarten fanden sich auch bei anderen Sportarten Unterschiede im Blickverhalten von Profis und Laien. So untersuchte Vickers (1992) das Blickverhalten beim Putten im Golf. Sie zeigte, daß die guten Golfer mit steigender Erfahrung eine spezielle Blickstrategie entwickeln. So schauen sie länger auf Ball und Ziel, andere auf sonstige Objekte. Sie zeigten generell eine bessere Zeitökonomie und zwischen Blicken schnelle Sakkaden. Auch einzelne Treffer, bzw. Fehlschläge konnten verlässlich vorhergesagt werden: Bei Treffern erfolgten verstärkt Expreßsakkaden zum Schläger und eine ständige Fixierung des Balles während des Schwingens. Auch hier ergeben sich vor allem Perspektiven für eine Verbesserung des Trainings und ein besseres Verständnis der Abläufe im Leistungssport.

## 8 Fazit und Ausblick

Es wurde gezeigt, daß die Analyse von Augenbewegungsdaten in einer ganzen Fülle von Feldern zu fruchtbarer, nützlicher und interessanter Forschung geführt hat. Was auf jeden Fall noch zu tun bleibt, ist eine „Theorie der Augenbewegungen“ zu entwickeln – sofern dies überhaupt prinzipiell möglich ist. Eine weitere Herausforderung der psychologischen Erforschung von Augenbewegungen ist die klare Zuordnung der verschiedenen Augenbewegungen zu kognitiven oder affektiven Zuständen. Es gibt im Gehirn mehrere Zentren, die aus verschiedenen Gründen Augenbewegungen auslösen und mit unterschiedlichen anderen Zentren in Verbindung stehen. Diese Mehrdeutigkeit macht dieses Gebiet so schwierig, aber auch so interessant. Momentan benutzt man diese Methode hauptsächlich für spezifische, unzusammenhängende Fragestellungen, aber um wirklich auf diesem Gebiet voranzukommen, bedarf es einer kohärenten Benutzung von Begriffen sowie einem theoretischen Konsens über die Natur der Augenbewegungen. Erst dann wird die Forschung über die einzelnen Forscher hinweg wirklich nützlich werden, da dadurch auch der Austausch der Ergebnisse erleichtert und ein theoriegeleitetes Vorgehen möglich wird. Zudem ist von diesem Feld noch viel zu erwarten, da in dem Maß, in dem die Theoriebildung in der kognitiven Psychologie voranschreitet, die kognitiven Modelle zunehmend komplexer und anspruchsvoller werden. Dadurch entsteht ein Bedarf für hochwertige Methoden, die qualitativ andere Daten als z.B. Reaktionszeiten liefern, um dem Anspruch der Modelle gerecht zu werden. Da die Möglichkeiten der Augenbewegungsregistration sehr stark vom Stand der Technik determiniert sind, wird dies auch zunehmend geschehen. Man darf also gespannt sein, welche Beiträge von dieser Seite noch kommen mögen, vor allem, wenn man der scientific community kommunizieren kann, welche potente Forschungsmethode hier noch weitgehend brach liegt. Wenn die kognitive Psychologie nicht stagnieren will, müssen hinreichend differenzierte Methoden zur Verfügung gestellt werden, um neue Modelle zu entwickeln und diese empirisch zu überprüfen. Mittlerweile liefern Augenbewegungsmaße diese genauen und sowohl zeitlich als auch räumlich hoch aufgelösten Daten. Es ist der Psychologie also nur zu wünschen, wenn von dieser Technik in Zukunft noch mehr Gebrauch gemacht wird. Wie gezeigt wurde, könnten praktisch alle Bereiche der modernen Psychologie in gewisser Weise davon profitieren. Sind die Augen die Fenster zum Gehirns? Die Zukunft wird zeigen, ob die Blickbewegungen den „Königsweg zur Kognition“ darstellen (Winterhoff 1980) oder ob es dazu doch nicht reicht – einen möglichen und wichtigen Weg stellen sie jetzt schon dar.

## 9 Literatur

- ALTHOFF, R.R., & COHEN, N.J. (1999). Eye-Movement-Based Memory Effect: A Reprocessing Effect in Face Perception. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 997-1010.
- ANTROBUS, J.S., ANTROBUS, J.S., & SINGER, J.L. (1964). Eye movements accompanying daydreaming, visual imagery, and thought suppression. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 69, 244-252.
- BEATTY, J. (1982). Task-Evoked Pupillary Responses, Processing Load, and the Structure of Processing Resources. *Psychological Bulletin*, 91, 276-292.
- BEHNE, K.E. (1990). „Blicken Sie auf die Pianisten?!“ – Zur bildbeeinflussten Beurteilung von Klaviermusik im Fernsehen. *Medienpsychologie*, 2, 115-130.
- BENTE, G., DONAGHY, W.C., & SUWELACK, D. (1998). Sex differences in body movement and visual attention: An integrated analysis of movement and gaze in mixed-sex dyads. *Journal of Nonverbal Behavior*, 22, 31-58.
- BOERSMA, F.J., ET. AL., (1969). Eye movements during embedded figure tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 28, 271-274.
- BIRBAUMER, N. & SCHMIDT R. F. (1996). Das visuelle System. In: *Biologische Psychologie*. Berlin Heidelberg: Springer.
- CHUN, M.M., & JIANG, Y. (1998). Contextual Cueing: Implicit Learning and Memory of Visual Context Guides Spatial Attention. *Cognitive Psychology*, 36, 28-71.
- DE CORTE, E., & VERSCHAFFEL, L. (1987). First Graders' Eye movements during elementary addition and subtraction word problem solving. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *European Conference on Eye Movements*. Göttingen: Hogrefe.

DEFFNER, G. (1987). Eye Movement patterns as an indicator of solution strategy in solving n-term series task. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *European Conference on Eye Movements*. Göttingen: Hogrefe.

DEMARAIS, A.M., & COHEN, B.H. (1998). Evidence for image-scanning eye movements during transitive inference. *Biological Psychology*, 49, 229-247.

DEUBEL, H. (1994). Visuelle Verarbeitung und kognitive Faktoren bei der Generierung sakkadischer Augenbewegungen. In: Prinz, W., & Brigdeman, B., (Eds). *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Band 1: Wahrnehmung*. Göttingen: Hogrefe.

DILLON, R.F., (1985). Eye Movement Analysis of Information Processing under Different Testing Conditions. *Contemporary Educational Psychology*, 10, 387-395.

DILLON, R.F. (1989). Information Processing and Intelligence. In: Sternberg, R.J. (Ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.

FARNHAM-DIGGORY, S., & GREGG, L.W., (1975). Color, Form, and Function as Dimensions of Natural Classification: Developmental Changes in Eye Movements, Reaction Time, and Response Strategies. *Child Development*, 46, 101-114.

FLADE, A., & LINDNER, G. (1979). Die Rolle der Pupillengröße bei der Wahrnehmung von Personen. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 26, 436-447.

GALE, A.G., & WORTHINGTON, B.S. (1983). The Utility of Scanning Strategies in Radiology. In: Groner, R., Menz, C., Fisher, D.F., Monty, R.A. (Eds.), *Eye Movements and Psychological Functions: International Views*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

GALE, A.G., ET. AL. (1987). Visual search training in Mammography. In: Lüer, G., Lass, U. (Eds.), *European Conference on Eye Movements*. Göttingen: Hogrefe.

GONZALEZ, E.G., & KOLERS, P.A. (1985). On the interpretation of Eye fixations. In: Groner, R., McConkie, G.W., & Menz, C. (Eds), *Eye Movements and Human Information Processing*. North-Holland: Elsevier Science Publishers B.V.

GOPHER, D. (1973). Eye-movement patterns in selective listening tasks of focused attention. *Perception & Psychophysics*, 14, 259-264.

GOULD, J.D., & SCHAFFER, A. (1965). Eye-movement patterns in scanning numeric displays. *Perceptual and Motor Skills*, 20, 521-535.

GRONER, R., & GRONER, M. (1983). A Stochastic Hypothesis Testing Model for Multi-term Series Problems, Based on Eye fixations. In: Groner, R., Menz, C., Fisher, D.F., Monty, R.A. (Eds.), *Eye Movements and Psychological Functions: International Views*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

GRONER, R. (1988). Eye movements, attention and visual information processing: Some experimental results and methodological considerations. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *Eye movement research: physiological and psychological aspects*. Göttingen: Hogrefe.

GRÜSSER, O.J., & GRÜSSER-CORNEHLS, U. (1997). Gesichtssinn und Okulomotorik. In: Schmidt R.F., & Thews, G. *Die Physiologie des Menschen*. Berlin Heidelberg: Springer.

HAIDER, H., & FRENCH, P.A. (1999). Eye Movement During Skill Acquisition: More Evidence for the Information-Reduction Hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 172-190.

HALEY, G.A. (1973). Eye Movements during Rod-and-Frame Performance. *Perceptual and Motor Skills*, 37, 956-958.

HELLER, D. (1988). On the history of eye movement recording. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *Eye movement research: physiological and psychological aspects*. Göttingen: Hogrefe.

HELSEN, W.F., & STARKES J.L. (1999). A Multidimensional Approach to Skilled Perception and Performance in Sport. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 1-27.

HERMANS, D., VANSTEENWEEGEN, D., & EELEN, P. (1999). Eye Movement Registration as a Continuous Index of Attention Deployment: Data from a Group of Spider Anxious Students. *Cognition and Emotion*, 13, 419-434.

HESS, E. H., SELTZER, A. L. & SHLIEN, J. M. (1965). Pupil response of hetero- and homosexual males to pictures of men and women: A pilot study. *Journal of Abnormal Psychology*, 70, 165-168.

HESS, E.H., & POLT, J. M. (1966). Changes in pupil size as a measure of taste difference. *Perceptual and Motor Skills*, 23, 451-455.

HISCOCK, M., & BERGSTROM, K.J. (1981). Ocular motility as an indicator of verbal and visuospatial processing. *Memory and Cognition*, 9, 332-338.

IRWIN, D.E. (1992). Memory for Position and Identity Across Eye Movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 307-317.

IRWIN, D.E. (1998). Lexical Processing during Saccadic Eye Movements. *Cognitive Psychology*, 36, 1-27.

ITOH, H., & FUJITA, K. (1982). An Analysis of Eye Movements During Observational Concept Learning: Characterization of Individual Scanning Patterns of Successes and Failures. In: Groner, R., & Fraisse, P. (Eds.), *Cognition and Eye Movements*. New York: Elsevier North-Holland Inc.

JUST, M.A. & CARPENTER, P.A. (1976a). Eye Fixations and Cognitive Processes. *Cognitive Psychology*, 8, 441-480.

JUST, M.A., & CARPENTER, P.A. (1976b). The role of eye-fixation research in cognitive psychology. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 8, 139-143.

JUST, M.A., & CARPENTER, P.A. (1985). Cognitive Coordinate Systems: Accounts of Mental Rotation and Individual Differences in Spatial Ability. *Psychological Review*, 92, 137-172.

- KAPLAN, I.T., CARVELLAS, T., & METLAY, W. (1966). Visual Search and Immediate Memory. *Journal of Experimental Psychology*, 71, 488-493.
- KAUFMANN, G. (1990). Imagery effects on problem solving. In Hampson, P.J., Marks, D.F., & Richardson, J.T.E. (Eds.), *Imagery: current developments*. London: Routledge.
- KOGA, K., ET. AL. (1988). How can we know the veridical velocity of a moving object? In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *Eye movement research: physiological and psychological aspects*. Göttingen: Hogrefe.
- KNOBLICH, G., & RHENIUS, D. (1995). Zur Reaktivität Lauten Denkes beim komplexen Problemlösen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42, 419-454.
- KOFF, R.H., & HAWKES, T.H. (1968). Sociometric choice: A study in pupillary response. *Perceptual and Motor Skills*, 27, 395-402.
- KRAUSE, W. (1981). Internal representation and eye fixation. *Zeitschrift für Psychologie*, 189, 1-13.
- KRAUSE, W. (1985). Komponentenanalyse des Symbol-Distanz-Effektes mit Hilfe von Augenbewegungsmessungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 193, 259-272.
- KRAUSE, W. (1987). Identification of cognitive structures by means of eye movements based on the symbolic-distance effect. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *European Conference on Eye Movements*. Göttingen: Hogrefe.
- KRAUSE, W. (1988). Identifying cognitive structures through eye movements. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *Eye movement research: physiological and psychological aspects*. Göttingen: Hogrefe.
- LOFTUS, G.R. (1972). Eye Fixations and Recognition Memory for Pictures. *Cognitive Psychology*, 3, 525-551.

LOGIE, R.H., & BADDELEY, A.D. (1990). Imagery and working memory. In Hampson, P.J., Marks, D.F., & Richardson, J.T.E. (Eds.), *Imagery: current developments*. London: Routledge.

LORD, C., & HAITH, M.M. (1974). The perception of eye contact. *Perception & Psychophysics*, 16, 413-416.

LÜER, G., HÜBNER, R., & LASS, U. (1985). Sequences of Eye-Movements in a Problem Solving Situation. In: Groner, R., McConkie, G.W., & Menz, C. (Eds), *Eye Movements and Human Information Processing*. North-Holland: Elsevier Science Publishers B.V.

LÜER, G., ET. AL. (1986). Changes in Eye Movement Behavior in complex Problem solving. In: Klix, F., & Hagendorf, H. (Eds.), *Human Memory and cognitive capabilities*. North-Holland: Elsevier Science Publishers B.V.

LÜER, G. (1988). Kognitive Prozesse und Augenbewegungen. In: Mandl, H., & Spada, H. *Wissenspsychologie*. Muenchen: Psychologie Verlags Union.

MANNAN, S.K., RUDDOCK, K.H., & WOODING, D.S. (1997). Fixation patterns made during brief examination of two-dimensional images. *Perception*, 26, 1059-1072.

NEUMAIER, A. (1983). Beobachtungsstrategien und Antizipation bei der Abwehr von Volleyballangriffen. *Leistungssport*, 4/83, 5-10.

NIEMANN, T., LAPPE, M., & HOFFMANN, K.P. (1996). Visual inspection of three-dimensional objects by human observers. *Perception*, 25, 1027-1042.

NODINE, C.F., ET. AL. (1988). Using eye movements to study decision making of radiologists. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *Eye movement research: physiological and psychological aspects*. Göttingen: Hogrefe.

O'BRYAN, K.G., & BOERSMA, F.J. (1971). Eye Movements, Perceptual Activity, and Conservation Development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 12, 157-169.

- OSAKA, R., & KOGA, K. (1982). Variations of Voluntary Fixations During Mental Tasks. In: Groner, R., & Fraisse, P. (Eds.), *Cognition and Eye Movements*. New York: Elsevier North-Holland Inc.
- POMPLUN, M., RITTER, H., & VELICHKOVSKY, B. (1996). Disambiguating complex visual information: Towards communication of personal views of a scene. *Perception*, 25, 931-948.
- POMPLUN, M., ET. AL. (1997). Augenbewegungen als kognitionswissenschaftlicher Forschungsgegenstand. In: Kluwe, R.H. (Ed.), *Strukturen und Prozesse intelligenter Systeme*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- PUTZ-OSTERLOH, W. & LÜER, G. (1979). Wann produzieren Probanden räumliche Vorstellungen beim Lösen von Raumvorstellungsaufgaben? *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 26, 138-156.
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1981). *Problemlöseprozesse und Intelligenzleistung*. Bern: Huber.
- RAYNER, K. (1977). Visual attention in reading: Eye movements reflect cognitive processes. *Memory and Cognition*, 5, 443-448.
- RAYNER, K. (1978). Eye Movements in Reading and Information Processing. *Psychological Bulletin*, 85, 618-660.
- RHENIUS, D., & HEYDEMANN, M. (1984). Lautes Denken beim Bearbeiten von RAVEN-Aufgaben. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 31, 308-327.
- RHENIUS, D., & HEYEMANN, M. (1989). Ein Verfahren zur Auswertung von Blickbewegungen bei Problemlöseprozessen. *Psychologische Beiträge*, 31, 319-340.
- RHENIUS, D., & LOCHER, J. (1992). Auswertungsalgorithmus für Folgen von Augenbewegungen während eines Problemlöseprozesses. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 39, 646-661.

SCHROIFF, H.W. (1987a). Zum Stellenwert von Blickbewegungsdaten bei der Mikroanalyse kognitiver Prozesse. *Zeitschrift für Psychologie*, 195, 189-208.

SCHROIFF, H.W. (1987b). Performance strategies in comparing pictorial and linguistic information: An eye-movement analysis. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *European Conference on Eye Movements*. Göttingen: Hogrefe.

SCHWEIZER, K. (1998). Visual Search, Reaction time and cognitive ability. *Perceptual and Motor Skills*, 86, 79-84.

SHEPHERD, M., FINDLAY, J.M. & HOCKEY, R.J. (1986). The Relationship between Eye Movements and Spatial Attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, 475-491.

SIMON, H.A., & BARENFELD, M., (1969). Information-Processing Analysis of Perceptual Processes in Problem solving. *Psychological Review*, 76, 473-483.

SUPPES, P. ET. AL. (1982). Research on Eye Movements in Arithmetic Performance. In: Groner, R., & Fraisse, P. (Eds.), *Cognition and Eye Movements*. New York: Elsevier North-Holland Inc.

UNEMA, P. (1995). *Eye Movements and Mental Effort*. Aachen: Shaker.

VENZKY-STALLING, I., & MÖCKEL, W. (1987). Associations between heart rate responses and features of Eye Movement patterns in solving mental ability tasks with different instructions. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *European Conference on Eye Movements*. Göttingen: Hogrefe.

VERSCHAFFEL, L., DE CORTE, E., & PAUWELS, A. (1992). Solving Compare Problems: An Eye Movement Test of Lewis and Mayer's Consistency Hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 84, 85-94.

VICKERS, J.N. (1992). Gaze control in putting. *Perception*, 21, 117-132.

VURPILLOT, E. (1968). The Development of Scanning Strategies and Their Relation to Visual Differentiation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 6, 632-650.

WAGNER, I., & CIMIOTTI, E. (1975). Impulsive und reflexive Kinder prüfen Hypothesen: Strategien beim Problemlösen, aufgezeigt an Blickbewegungen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 7, 1-15.

WALLBOTT, H.G. (1998). The Influence of Head Position and Gaze Direction as Depicted on Photographs on Personality Evaluation. *Medienpsychologie*, 10, 40-50.

WEINER, S.L., & EHRLICHMAN, H. (1976). Ocular motility and cognitive process. *Cognition*, 4, 31-43.

WILLIAMS, A.M. & DAVIDS, K. (1997). Assessing cue usage in performance contexts: A comparison between eye-movement and concurrent verbal report methods. *Behaviour Research Methods, Instruments, & Computers*, 29, 364-375.

WINTERHOFF, P. (1980). Zum Zusammenhang von Blickbewegungen und sprachlich-kognitiven Prozessen – ein Überblick. *Psychologische Rundschau*, 31, 261-276.

YARBUS, A.L., (1967). *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press.

YOUNG, L. R., & SHEENA, D. (1975). Eye-Movement Measurement Techniques. *American Psychologist*, 30, 315-330.

YUN-QIU, F. (1987). EOG and EEG during problem solving related to visual perception. In: Lüer, G., & Lass, U. (Eds.), *European Conference on Eye Movements*. Göttingen: Hogrefe.

### **Metadaten zur zitierten Literatur:**

Anzahl der zitierten Arbeiten: 87

Aus Zeitschriften: 56

Aus Büchern: 31

Durchschnittliche Seitenzahl der zitierten Artikel (ohne Bücher): 16,0

Artikel aus den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts: 10

Artikel aus den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts: 15

Artikel aus den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts: 35

Artikel aus den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts: 27

Ältester Artikel: 1964

Neuester Artikel: 1999

Für Interessenten sind alle zitierten Arbeiten bei mir einsehbar.

Berlin, den 20.01.2000

Pascal Wallisch