©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

# Die Rolle der Augenbewegungen in der Wahrnehmungsforschung

Erich Vanecek

(Psychologisches Inst. d. Univ. Wien, Abt. f. Experimentelle und Angewandte Psychologie)

Vortrag, gehalten am 5. November 1975

Die Anfänge der Augenbewegungsforschung reichen vor die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück. Im Jahre 1826 veröffentlichte der Physiologe Johannes MÜLLER eine Studie mit dem Titel „Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Thiere. Nebst einem Versuch über die Bewegungen der Augen und über den menschlichen Blick". Einige Jahrzehnte später folgten bahnbrechende Arbeiten von LAMANSKY (1868) und JAVAL (1879). Trotz der vom heutigen Standpunkt aus recht primitiv anmutenden Beobachtungsmethoden konnten schon damals grundlegende Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen psychischen Prozessen und einigen Charakteristika der Okulomotorik gewonnen werden,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



die im wesentlichen bis heute unwidersprochen geblieben sind.

Die Forschungsarbeit in den ersten Jahrzehnten des zwanzigsten Jahrhunderts brachte zwar eine beträchtliche Bereicherung des Detailwissens, grundsätzlich Neues konnte jedoch nicht hinzugefügt werden.

Erst in letzter Zeit zeigt sich ein deutlicher Aufschwung dieser Forschungsrichtung, dessen Kulminationspunkt noch lange nicht abzusehen ist. Welche Ursache hat das erneute lebhafte Interesse von Psychologen, Physiologen und Medizinern am Blickverhalten bei Menschen und Tieren? Zweifellos läßt es sich einerseits auf die enorme Verbesserung in den Registriermethoden erklären, die es erst jetzt gestatten, ganz neue Fragestellungen sinnvoll in Angriff zu nehmen; andererseits aber wurden in den letzten Jahrzehnten erstmalig weiterführende Einsichten in die Bedeutung der Augenbewegungen für den Sehprozeß als physiologisches und psychologisches Phänomen gewonnen.

So haben beispielsweise ADLER & FLIEGELMAN im Jahre 1934 und später RATLIFF & RIGGS (1950) den Nachweis erbringen können, daß das Abbild auf der Netzhaut (Retina) nie völlig stabil ist und daß ein minimales Oszillieren des Netzhautbildes eine unbedingte Notwendigkeit für eine intakte visuelle Wahrnehmung darstellt.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Appliziert man am Augapfel einen Spiegel so, daß das durch ihn reflektierte Bild eines Objektes immer auf dieselbe Netzhautstelle auftrifft — egal, wohin sich das Auge bewegt — so kommt es bereits nach ein bis zwei Sekunden zu einer Funktionsuntüchtigkeit der betroffenen Netzhautelemente, die Konturen verschwinden, die Auflösungskraft des Auges fällt auf Null, und es kommt zu einem temporären Erblinden der gereizten Netzhautareale. Einen sehr beachtenswerten Befund lieferte PRITCHARD (1966) zu dieser Thematik. Er konnte nämlich nachweisen, daß der Zerfall von stationär auf die Netzhaut projizierten Figuren und Mustern nicht zufällig erfolgt, wie man auf Grund einer reinen „Ermüdungstheorie" der Retina annehmen müßte; es ließ sich vielmehr bei den untersuchten Personen eine bemerkenswerte Tendenz feststellen, durchgehende Konturen zu erhalten und trotz des rapiden Fragmentationsprozesses möglichst lange, sinnvolle Muster zu bewahren. Das kann als Hinweis dafür aufgefaßt werden, daß visuelle Wahrnehmungen nicht allein vom retinalen Erregungsprozeß abhängen, sondern auch von bereits erlernten Schemata bzw. von den Erwartungen des Beobachters. Die Experimente von PRITCHARD decken demnach die konstruktive Natur des Wahrnehmungsprozesses auf.

Die Tremorbewegung der Bulbi mit einer Frequenz von 30—150 Hz und Amplituden von 20—40 Winkelsekunden sorgen dafür, daß die ein-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



fallende Strahlung nicht länger als ca. 11 bis 13 Millisekunden auf ein- und denselben Photorezeptor der Retina auftrifft. Die Schwingungsausschläge betragen ungefähr 1—1,5 Zapfendurchmesser, sodaß immer neue Netzhautelemente gereizt werden.

Neben diesen physiologisch eminent wichtigen Mikrobewegungen der Bulbi kennen wir eine Reihe von Makrobewegungen der Augen, deren Studium einen direkten Zugang zu geistigen Verarbeitungsprozessen geben kann. Mit Recht wird das Kontrollsystem der Okulomotorik als ein biologischer Servomechanismus aufgefaßt, der sensorische Rückmeldungen aus dem retinalen Abbild verwertet.

Die Augäpfel können wie in einem Kugelgelenk um drei Achsen bewegt werden. Die Bewegungen besorgen vier gerade und zwei schräge Muskeln. Die vier geraden Muskeln reichen vom Hintergrund der Augenhöhle bis vor den Augenäquator. Die Wirkungsweise der vier geraden Muskeln entspricht ihrer Anordnung: der obere hebt das Auge, die beiden seitlichen führen es einwärts und auswärts, der untere senkt den Augapfel. Bei der Kontraktion des oberen schrägen Muskels bewegt sich der Hornhautmittelpunkt nach auswärts und abwärts. Der untere schräge rollt das Auge nach auswärts und gleichzeitig nach aufwärts.

Die Innervation des geraden inneren, des unteren geraden, des oberen geraden und des unteren

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



schrägen erfolgt durch den Nervus oculomotorius. Der Nervus abducens innerviert den seitlichen geraden, der Nervus trochlearis innerviert den oberen schrägen Muskel.

Die für die Okulomotorik erforderliche Verschaltung der beteiligten Gehirnteile besorgt das sogenannte Innere Längsbündel. Es stellt im wesentlichen die Verbindung zwischen den motorischen Kernen der Augenmuskeln, dem Pupillenreflexzentrum und der Vierhügelplatte her und dient der Koordinierung von Augen- und Kopfbewegungen. Weiters ermöglicht diese Leitungsbahn die Bewegungskoordination beider Augen: eine Innervation eines Abducenskernes wird gleichzeitig dem Kern des inneren geraden Muskels des anderen Auges mitgeteilt, sodaß es stets zu gleichsinnigen Bewegungen beider Bulbi kommt. Die neuronalen Zusammenhänge zwischen den Rezeptoren der Netzhaut und den zugehörigen Gehirnpartien sind überaus kompliziert. Schon allein die Tatsache, daß die Fasern der nasalen Anteile der Netzhäute in der Sehnervenkreuzung (Chiasma opticum) einander kreuzen, die Fasern der schläfenseitigen Anteile hingegen ungekreuzt verlaufen, bewirkt eine eigenartige Verwürfelung der corticalen Repräsentation des Wahrnehmungsfeldes. Die Retina wird gleichsam mittels einer senkrechten, durch die Netzhautgrube (Fovea centralis) verlaufende Trennlinie in zwei Hälften geteilt. Die linken Hälften beider Netzhäute liefern ihren

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Informationsfluß an die linke Hemisphäre, die rechten Hälften an die rechte Hirnhälfte. Erst über verbindende Kommissurenleitungen kommt die Integration der gesamten visuellen Information zustande.

Die Makrobewegungen der Augen kann man grob in vier Typen unterteilen:

1. Die Saccaden: Es sind dies Sprungbewegungen der Augen beim Blickwechsel von einem Fixationspunkt zum anderen. Sie treten während des Betrachtens von stationären Objekten auf, also etwa beim Ansehen von Bildern, beim Lesen von Schriften oder geographischen Karten. Beim Betrachten von ruhenden Objekten kann das Auge gar keine andere Bewegungsform vollführen, auch wenn subjektiv durchaus der Eindruck einer Gleitbewegung besteht.

Die saccadierenden Bewegungen zeichnen sich durch eine hohe Geschwindigkeit aus. Das Auge benötigt beispielsweise für eine Drehung von 40° cirka 0.1 sec, was einer Rotationsgeschwindigkeit von 400°/sec entspricht. Nach jedem Augensprung erfolgt ein Stillstand von etwa 200—300 Millisekunden. Es gilt heute als erwiesen, daß präzise Wahrnehmungsleistungen nur während der Fixationspause möglich sind. Unmittelbar während der Saccade, sowie 50 msec vor- und nachher ist die Empfindlichkeit des Auges drastisch gesenkt. So fand LATOUR (1962) einen Abfall der Wahr-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



nehmung von punktförmigen Lichtquellen auf 10—20 % während dieser Zeitspanne. Die Reduktion der Erkennbarkeit innerhalb einer Saccade läßt sich durch die hohe Rotationsgeschwindigkeit erklären: die Zeit der Reizung einzelner Rezeptoren ist einfach zu kurz, um eine volle Erregungsproduktion einleiten zu können. Allerdings spricht die Beeinträchtigung der Wahrnehmung vor und nach den Saccaden für eine aktive, zentralnervös gesteuerte Unterdrückung der Seheindrücke. VOLKMAN (1962) stellte eine Erhöhung der Wahrnehmungsschwelle für Helligkeit während der Augensprünge fest. Dies führt zur Annahme, daß der wahrscheinlich sehr störende Eindruck eines „verwischten" Bildes im Laufe einer Saccade durch eine Blockierung des visuellen Systems weitgehend unterbunden wird.

2. Die glatten Folgebewegungen: Diese kommen nur dann zustande, wenn das Auge einem bewegten Gegenstand folgt. Spontan können sie nicht ausgeführt werden. Überschreitet die Winkelgeschwindigkeit des verfolgten Objektes cirka 100°/sec, dann kann das Auge keine perfekte Folgebewegung ausführen. Sollen während dieser glatten Augenbewegung klare Wahrnehmungen zustande kommen, darf die Objektgeschwindigkeit ebenfalls dieses Limit nicht überschreiten.

3. Die vestibulären Bewegungen: Sie treten auf, wenn das Auge einen ruhenden Gegenstand fixiert und der Kopf bewegt wird.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



4. Die Vergenzbewegungen: Sie verändern den Neigungswinkel der Sehachsen zueinander. Die Augen werden stets so bewegt, daß sich die Sehachsen im Fixierungsort kreuzen. Bei Entfernung bzw. Annäherung des fixierten Objektes kommt es dementsprechend zu divergierenden oder konvergierenden Bewegungen.

Unabdingbare Voraussetzung für eine zielführende Augenbewegungsforschung stellen verläßliche und genaue Registrierapparaturen dar. Durch direkte Beobachtung lassen sich die grundsätzlichen Formen der Augenbewegungen gut erkennen. So kann man sich von den Saccaden während des Lesens ein gutes Bild machen, indem man neben das Buch einen Spiegel legt und darin die Augen des Lesenden beobachtet.

Allerdings ist die Genauigkeit der direkten Beobachtung sehr unbefriedigend. Bewegungen unter einem Grad können kaum mehr erkannt werden. Trotz mancher Verbesserungen mit optischen Hilfsmitteln, wie Vergrößerungslinsen udgl., ist die direkte Beobachtung kaum mehr in Verwendung. Die mechanischen Registrierverfahren werden heute ebenfalls nicht mehr angewandt. Bei diesen Techniken wurde die Verbindung zwischen dem Auge und dem Schreibgerät auf mechanischem Wege hergestellt. Das geschah beispielsweise durch einen dünnen Span, der in einer kontaktlinsenartigen Vorrichtung am Augapfel befestigt war und dessen freies Ende die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Bewegungsspuren auf eine rußgeschwärzte Trommel kratzte. Verständlicherweise sind derartige Prozeduren für Versuchspersonen kaum zumutbar, außerdem lassen sich mit diesen Verfahren keine genauen Registrierungen erzielen.

Neben diesen frühen, ziemlich einfachen Methoden kennen wir heute hauptsächlich drei Gruppen moderner Registriermöglichkeiten: photographische Methoden, Reflexmethoden und das Elektrookulogramm (EOG).

Bei den photographischen Methoden werden die Augenbewegungen entweder direkt gefilmt oder mittels einer Spezialkamera aufgenommen. Diese, erst in den letzten Jahren in Japan entwickelte „Eye-mark-camera", liefert laufend Filmaufnahmen dessen, was die Versuchsperson sieht. In das einzelne Filmbild wird eine Marke eingeblendet, die den jeweiligen Fixationsort bezeichnet. Der große Vorteil dieser Technik liegt darin, daß in der Auswertung des Filmmaterials unmittelbar festgestellt werden kann, welche Gegenstände fixiert wurden und mit welcher Frequenz und Dauer dies geschehen war. Obwohl das Gerät in seiner ausgereiften Form erst kurze Zeit eingesetzt wird, liegen doch schon einige sehr interessante Ergebnisse, vornehmlich aus der Verkehrspsychologie vor, auf die später noch kurz eingegangen wird.

Eine häufig angewandte und sehr präzise Form der Blickregistrierung stellt die Gruppe der Reflex-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



methoden dar. Dabei wird in den meisten Fällen auf dem Augapfel ein kleiner Spiegel aufgebracht. Dies geschieht mit Kontaktlinsen oder kleinen Saugnäpfen, wobei letztere den Vorteil aufweisen, in festerem Kontakt mit dem Augapfel zu stehen als die auf der Augenflüssigkeit schwimmenden Haftlinsen. Bei jeder Bulbusbewegung kommt es zu einer Ablenkung eines Lichtstrahles, der von einer punktförmigen Lichtquelle auf den Spiegel projiziert wird. Dieser „Leichtzeiger" wird auf photosensitives Papier geworfen und hinterläßt dort die Spur der Blickbewegung.

Die Elektrookulographie ist zu einem unentbehrlichen Forschungsinstrument für Situationen geworden, in denen Augenbewegungen in Dunkelheit oder bei geschlossenen Lidern beobachtet werden sollen. Sie wird deshalb vorzugsweise in der Nystagmusforschung sowie der Schlaf- und Traumforschung eingesetzt. Diese Technik findet aber auch in Experimenten häufig Verwendung, in denen man die Versuchspersonen nicht allzusehr durch apparative Vorrichtungen belasten will, da möglichst die natürliche Wahrnehmungsbedingung beibehalten werden soll. Das wäre zum Beispiel in Leseexperimenten mit Kindern der Fall.

Die Grundlage der elektrookulographischen Methode liegt in der Tatsache, daß der Augapfel elektrisch nicht neutral ist, sondern einen elektrischen Dipol darstellt. Zwischen der Hornhaut und den retinalen Bereichen des Bulbus besteht ein

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



sog. „stehendes Gleichspannungspotential“ von rund 10 Millivolt, wobei der corneale Anteil den positiven, der retinale den negativen Pol abgibt. Bei jeder Drehung des Auges kommt es zu entsprechenden Verlagerungen beider Pole. Die so entstehenden Potentialschwankungen können von schläfenseitig applizierten Oberflächenelektroden aufgenommen werden. Nach angemessener Verstärkung mittels Gleichspannungsverstärker ist es nun möglich, die elektrischen Signale unmittelbar einem Schreibgerät (Oszillograph) zuzuleiten (Abb. 1).

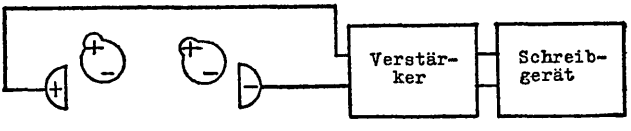


**Abb. 1**
**Schematische Darstellung der Elektrookulographie**

Wenn nun im folgenden einige Anwendungsmöglichkeiten und Forschungsergebnisse beispielhaft angeführt werden sollen, so kann es sich natürlich nur um einen sehr kursorischen Überblick handeln, der in keiner Weise den Anspruch auf auch nur annähernde Vollständigkeit erheben kann.

a) Verkehrspsychologische Untersuchungen

Mit der bereits erwähnten japanischen Blick-Markierungs-Kamera wurden einige wichtige ver-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



kehrspsychologische Fragestellungen in Angriff genommen. Es konnten dadurch wertvolle Einsichten in das Blickverhalten von Kraftfahrern gewonnen werden. Unter anderen hat HOSEMANN (1973) nachgewiesen, daß beim Fahranfänger noch stark fluktuierende Augenbewegungsmuster vorherrschen, während der routinierte Fahrer viel weniger dazu neigt, Stellen zu fixieren, die für das Verkehrsgeschehen irrelevant sind. Generell setzten in dieser Studie die geübten Kraftfahrer ihre Blickführung wesentlich ökonomischer ein; das läßt auf eine bessere Auswertung peripher erfaßter Einzelheiten im Wahrnehmungsfeld schließen. Es konnte auch bemerkt werden, daß ungeübte Fahrer eine Tendenz zu ungebührlich langen Fixierungen aufweisen. Das heißt, daß sie ihre Aufmerksamkeit noch auf Dinge richten, die der geübte Fahrer längst verarbeitet hat. Damit ist aber nachweislich die Gefahr gegeben, erforderliche Fahrmanöver nicht rechtzeitig einleiten zu können. Mit zunehmender Lenkererfahrung wird das interindividuelle Blickverhalten homogener, was zweifellos auf die Ausbildung typischer Sehgewohnheiten zurückgehen dürfte. Es läßt sich also berechtigterweise von einem Erlernen des „Verkehrsblickes" sprechen.

Da der Kraftfahrer vorwiegend auf die optische Informationsaufnahme angewiesen ist — HARTMANN (1970) schätzt auf rund 90 % — und da das richtige Perzipieren erst das Ergebnis

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



eines langen Erfahrungsprozesses ist, stellt sich die Frage, ob es nicht möglich sein könnte, einen Teil der nicht ungefährlichen Lernprozesse aus dem realen Verkehrsgeschehen herauszunehmen und an die Fahrausbildung zu deligieren. In diesem Sinne stellte auch der deutsche Verkehrspsychologe v. HEBENSTREIT (1971) die Forderung auf, daß eine moderne Fahrschule, die den heutigen Verkehrsanforderungen gerecht werden will, zugleich auch eine Sehschule sein müsse.

In einer Grundlagenstudie am Wiener Psychologischen Institut haben VANECEK & WEINGARTEN (1975) nachgewiesen, daß eine Verbesserung der optischen selektiven Wahrnehmung durch gezieltes Trainieren mit Hilfe spezieller Diapositive möglich ist. Dabei wurde auch anläßlich der Überprüfung der Blickbewegung der Trainingspersonen die Erfahrung gemacht, daß ein Einlernen eines starren Fixationsschemas — etwa gerastertes oder z-förmiges Abtasten des Wahrnehmungsfeldes — keinen Erfolg mit sich bringt. Gleichbleibende Fixationsmuster nehmen auf die unterschiedliche Informationsdichte und Informationsgewichtung im Umfeld keine Rücksicht und verhindern dadurch die direkte Blicksteuerung durch die Informationshaltigkeit der Einzelinhalte.

Sehr viel erfolgreicher war eine Schulung der Fahranfänger in der Wichtigkeit von Wahrnehmungsinhalten für das eigene Fahrverhalten.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Durch dieses Training bekamen Objekte und Personen im peripheren Gesichtsfeld eine für die angehenden Kraftfahrer neue Bedeutung. Sie mußten lernen, früher unbeachtete Inhalte zu entdecken und für das zukünftige Fahrverhalten einzukalkulieren. Ein Vergleich zwischen den trainierten und untrainierten Versuchspersonen auf einer 39 km langen Testfahrt zeigte signifikant bessere Wahrnehmungsleistungen der geschulten Gruppe für verkehrsrelevante Inhalte.

Die Erforschung von Einflüssen verschiedenartiger Drogen, des CO-Gehaltes der Luft oder des Alkohols auf die Okulomotorik steht erst in den Anfängen. Eine Arbeit von MORTIMER (1972) zum Effekt des Blutalkoholspiegels hat ergeben, daß sich bei 1 Promille Blutalkoholkonzentration die Blickfixation bis zu 80 % verlängert. Ein Ergebnis, welches sehr eindrucksvoll die Verlangsamung der visuellen Verarbeitungsgeschwindigkeit bei Alkoholisierung — und damit die starke Gefährdung — aufzeigt.

Nicht immer muß eine massive Störung wie durch Medikamente oder Alkohol gegeben sein, um Gefahrenquellen durch Beeinflussung des Sehverhaltens im Straßenverkehr hervorzurufen. Blinkende und bewegte Lichtquellen stellen überaus starke und wirksame visuelle Reize dar. Die große Attraktivität von bewegten Inhalten oder solchen, die Bewegung suggerieren, wie Drehleuchten von Einsatzfahrzeugen oder Lichtreklamen, hängt eng

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



mit einer charakteristischen Eigenschaft der Netzhäute zusammen. Die Wahrnehmungsgenauigkeit der Netzhaut nimmt gegen die Peripherie hin drastisch ab. Schon bei einer Abweichung von 1° neben dem Mittelpunkt der Fovea centralis können nur mehr 50 % der Genauigkeit des fovealen Sehens erzielt werden. Bei einer Verschiebung um 8° erreicht die Erkennungsleistung bloß 15 % vom Maximum.

Obwohl demnach die Retina in den Randzonen zur Detailerfassung nur ungenügend ausgestattet ist, zeigt sie demgegenüber für Bewegungen eine erstaunliche Empfindlichkeit, sodaß sie gleichsam wie ein Weitwinkel-Frühwarnsystem wirkt, welches dafür sorgt, daß das Auge unwillkürlich sofort einem seitlich bewegten Gegenstand zugewendet wird. THOMAS (1975) berichtete von Experimenten, während der manche Lenker noch immer die Leuchte eines Einsatzfahrzeuges fixierten, als es schon längst das eigene Fahrzeug passiert hatte. Zweifellos ist durch dieses Verhalten die Gefahr gegeben, daß wesentliche Inhalte nicht bemerkt werden. THOMAS kommt auf Grund seiner Befunde auch zur Ansicht, daß blinkende Reklamelichter längs der Straßen mit starkem Autoverkehr eine enorme Ablenkungswirkung darstellen und entfernt werden müßten.

Durch eingehende Untersuchungen der Sehgewohnheiten von Piloten vor allem während der Start- und Landemanöver konnten einige Gefah-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



renquellen, die durch unzweckmäßige Anordnung der Instrumente im Cockpit zustandekommen, stark reduziert werden. THOMAS (1975) berichtet von Untersuchungen für die US-Air Force zum Blickverhalten von Militärpiloten beim Ablesen und Überprüfen der Instrumente. Während einer einzigen Blickfixierung fliegt ein modernes Flugzeug einige hundert Meter weit, trotzdem haben die Untersuchungen ergeben, daß die Kontrollinstrumente eher nach rein technischen Gesichtspunkten installiert wurden und nicht nach den menschlichen Anforderungen. Auf Grund dieser Arbeiten wurde schließlich eine standardisierte Anordnung von Instrumenten und Geräten ausgearbeitet, die das Mißdeuten von Skalenstellungen und das Betätigen falscher Geräte erheblich senken konnte.

b) Lesepsychologische Untersuchungen

Grundsätzlich unterscheiden sich die Augenbewegungen während des Lesens nicht wesentlich von den Blickbewegungen beim Betrachten unbewegter Objekte. Hier wie dort ist die Saccade die dominierende Bewegungsform. Die Augensprünge innerhalb der Zeilen dauern 15—25 Millisekunden, der Zeilensprung erfolgt in 40—50 Millisekunden. Die Dauer der Fixationspausen beläuft sich auf 200—400 Millisekunden, wobei schwierige Texte längere Fixationen erfordern. Es ist bemerkenswert, daß rund 92—94 % der Gesamtlesezeit auf

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



die Fixationspausen entfallen und nur 6—8 % auf den Blicktransport. Nicht nur die Fixationsdauer steht in direktem Zusammenhang zur Textschwierigkeit; es kommt auch zu einem starken Ansteigen der Fixationshäufigkeit, wenn der Lesestoff komplizierter wird.

Während des Lesens springen die Augen nicht nur in Links-Rechtsrichtung, es kommt vielmehr auch zu Rücksprüngen zu bereits gelesenen Textstellen. Man spricht von sog. Regressionen. Sie sind für eine vollständige Aufnahme des Textes notwendig, zeugen aber bei gehäuftem Auftreten von geringer Konzentration des Lesers oder von zu hoher Textschwierigkeit. Aus den erwähnten Gründen eignen sich Fixationsfrequenz und die Anzahl regressiver Sprünge als sehr sensible Indikatoren für die Angepaßtheit von Lesetexten an Alter und Sprachniveau des Lesers.

Die Breite der Fixationsspanne, also der Materialumfang, der pro Fixierung aufgenommen werden kann, beeinflußt direkt die Lesegeschwindigkeit, sodaß in Kursen zur Hebung der Leseleistung durch systematisches Training versucht wird, den Leser dazu zu bringen, größere Buchstaben- oder Wortgruppen als bisher mit einer Fixierung zu erfassen.

Abb. 2 zeigt eine Registrierung einer Lesekurve mittels der Elektrookulographie. Die senkrecht verlaufenden Striche zeigen die Augensprünge an,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 2
Beispiel einer Lesekurve (Registrierverfahren: EOG)

die waagrechten Linien repräsentieren die Fixationen.

Praktische Bedeutung gewinnt die Registrierung der Augenbewegungen neben pädagogischen Belangen auch im Zeitungswesen und im Buchdruck. Durch Messung der Fixationen während des Lesens verschiedener Drucktypen lassen sich die optimalen Buchstabenformen sowie die günstigsten typographischen Anordnungen objektiv feststellen.

Die Fixationsspanne wird manchmal auch in Winkelgraden angegeben. Wie Abb. 3 zeigt, ist der Tangens des Winkels A/2 gleich dem Quotienten S/2D. Die Netzhautgrube weist einen Durchmesser von etwa 2° auf. Die Lesewinkel betragen im Durchschnitt 2—3 Grade.

In der folgenden Darstellung wurde normale Druckschrift und Stenographie in den Sehwinkel A projiziert. Aus dieser Skizze läßt sich eine für die menschliche Informationsverarbeitung interessante Fragestellung ableiten: unter der Annahme,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



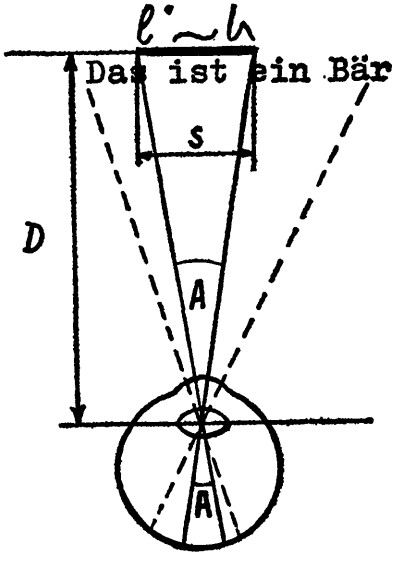


Abb. 3
Schematische Darstellung der Beziehungen zwischen der Objektgröße (S) in einer Entfernung (D) und dem Sehwinkel (A).

daß es beim Lesen von Kurzschrift und Langschrift zu annähernd denselben Blickspannen — ausgedrückt in Winkelgraden — kommt, müßten geübte Leser von Stenographie eine viel raschere Informationsaufnahme zustande bringen, d. h., sie müßten wesentlich rascher Texte in Kurzschrift lesen können. Zweifellos nützt die Kurzschrift den Platz besser aus, sodaß mehrere Wörter in stenographischer Schreibung auf dem Raum eines

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



einzigen Wortes in Langschrift untergebracht werden können. Es stellt sich jedoch in einer diesbezüglichen Arbeit heraus, daß die Blickspannen beim Lesen der zwei Schriftvarianten so stark divergierten, daß nicht einmal annäherungsweise von einer Konstanz der Blickspanne gesprochen werden kann (VANECEK, 1975). Die Augensprünge während des Lesens von Stenographie waren so klein, daß sich die Elektrookulogramme als optisch unauswertbar erwiesen.

Offenkundig hängt die Größe der Fixationsspanne nicht allein von den peripheren retinalen Gegebenheiten ab, sondern in ganz entscheidendem Maß von zentralen Verarbeitungsmechanismen, deren Kapazität streng limitiert und im Fall des flüssigen Lesens ziemlich ausgelastet sein dürfte.

c) Studien zur Bildbetrachtung

Obwohl die Augenbewegungen bei Bildbetrachtungen weitaus weniger gut erforscht sind als beim Lesen, ließen sich doch auf Grund vorhandener Ergebnisse überraschende Ähnlichkeiten als auch wichtige Differenzen dazu feststellen.

Dieser Forschungszweig geht auf BUSWELL zurück, der im Jahre 1935 zahlreiche Daten zur Bildbetrachtung lieferte. In der letzten Zeit hat MACKWORTH umfangreiche Forschungen mit Fernsehaufnahmen der Augen durchgeführt. In

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Rußland legte YARBUS (1967) die Ergebnisse eines zwanzigjährigen Forschungsprogrammes vor.

MACKWORTH & MORANDI (1967) registrierten die Augenfixierungen, während der Betrachter zwei Bilder mit sehr ungeläufigen Inhalten abtastete. Den Versuchspersonen wurde gesagt, daß sie nach Belieben eines von zwei Bildern auswählen durften und daß sie nicht über die Bildinhalte gefragt werden. Die Bilder umfaßten einen Winkel von 16° und wurden 10 sec lang geboten. Um ein Maß der Informationsmenge in den einzelnen Bildteilen zu erhalten, mußten vor dem eigentlichen Versuch einige Personen die in 64 Quadrate gerasterten Bilder nach dem Informationswert jeder einzelnen Zelle beurteilen, im besonderen, wie leicht es sein dürfte, die Quadrate späterhin wiederzuerkennen.

Die Fixationen — im Durchschnitt 300 Millisekunden lang — waren vorwiegend auf die hochinformativen Bildsegmente konzentriert. Dieses typische Verhalten zeigte sich bereits während der ersten zwei Sekunden, was bedeutet, daß das Bild nicht vorerst mit einer globalen Überblicksgewinnung abgetastet werden muß, um Informationen über die Relevanz der Einzelinhalte zu bekommen. Im Gegenteil, von Anfang an müssen periphere Hinweise das Blickgeschehen leiten. MACKWORTH & MORANDI fanden auch, daß einheitliche Flächen weit weniger fixiert werden

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



als Konturen. Allerdings trifft dies nur für Konturen zu, deren Verlauf nicht gut vorhersagbar ist. Es steht fest, daß das Auge eher das Ungewöhnliche und Irreguläre untersucht.

Das eigentlich Überraschende an diesen und anderen Versuchen ist die Tatsache, daß es kein verallgemeinerbares Grundmuster der Augenbewegungen beim Bildbetrachten gibt. Weder kommt es zu einem breiten, informierenden „Schwung" über das Bild, noch läßt sich irgendeine konstante Fixationsabfolge beim Absuchen der Bilder erkennen. Das gilt auch für solche Bilder, deren Einzelteile sehr gut vorhersagbar sind. Das bedeutet, daß es keine vom Bildinhalt her bestimmte und vorhersagbare Reihenfolge in den Fixationssequenzen gibt. Dieser Befund wirft die Frage an die Wahrnehmungstheorie auf, wieso derartig individuell unterschiedliche Inputketten zu doch annähernd gleichen Wahrnehmungen der Menschen führen. Wie stark das Blickverhalten nach der Intention des Betrachtenden variiert, konnte von YARBUS (1967) sehr eindrucksvoll demonstriert werden. Er erreichte die Variation des subjektiven Interesses durch unterschiedliche Ankündigungen darüber, was die Versuchspersonen nach dreiminütiger Betrachtungszeit gefragt würden. Die aufgezeichneten Blickspuren waren derartig unterschiedlich, daß es auch einem Fachmann schwer fallen dürfte, zu erkennen, daß dasselbe Bild betrachtet worden war.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



So sehr die Blickmuster zwischen verschiedenen Personen differieren, so erstaunlich stabil erweist sich das interindividuelle okulomotorische Verhalten in gleichen Situationen. Diese Erkenntnis veranlaßte NOTON & STARK (1971) zur Vermutung, daß die Aufeinanderfolge der Fixationsentscheidungen — sie nennen es den „Blickpfad" — eine Speicherungskomponente für das Bildgedächtnis liefert. Was im Gedächtnis aufbewahrt wird, ist demnach eine Koppelung von Bildteilen und der Sequenz motorischer Kommandos. Nach Ansicht der Autoren stellt der Nachvollzug des ursprünglichen Blickpfades eine entscheidende Rolle für das Wiedererkennen eines vor kurzem gesehenen Bildes dar.

Die Blickpfad-Hypothese dürfte besonders in der Wahrnehmungsentwicklung des Kindes gültig sein. Wahrscheinlich ist die Wiedererkennungsleistung bei Kindern in noch ausgeprägterem Maße von der Blickfolge determiniert, als dies bei Erwachsenen der Fall ist. Je bekannter die Inhalte werden, desto freier kann auch die Abfolge der Fixierungen ausfallen, wenn ein Gegenstand als bekannt identifiziert werden soll.

Die bereits erwähnte Eigenschaft des Auges, eher Konturen als Flächen zu prüfen, kann, wie, THOMAS (1975) referiert, fatale Folgen haben. Es wurden die Augenbewegungen einer Gruppe von Röntgenologiestudenten registriert, als sie

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Röntgenaufnahmen des Brustkorbes kontrollierten. Die Studenten examinierten zwar sorgfältig die Herzkonturen und die Randgebiete der Lunge, ignorierten aber große Lungenflächen. In der nachfolgenden Befragung gaben sie an, fest davon überzeugt zu sein, die gesamte Fläche ausreichend abgesucht zu haben. In einer weiteren Untersuchung an erfahrenen Röntgenologen wurde festgestellt, daß das Übersehen von Krankheitssymptomen auf Röntgenbildern hauptsächlich auf Mängel des visuellen Suchprozesses zurückzuführen ist. Es ist denkbar, den Studenten während ihrer Ausbildung Suchstrategien zu vermitteln, wobei die Registrierung der Augenbewegungen die Möglichkeit einer objektiven Überprüfung des erwünschten Suchverhaltens bieten könnte.

d) Entwicklungspsychologische Untersuchungen

Das Studium der Augenbewegungen wurde ein wichtiges Hilfsmittel für Entwicklungsuntersuchungen im frühesten Kindesalter. Das gilt besonders für Forschungen in Entwicklungsstadien, in denen noch keine verbalen Äußerungen möglich sind. Untersuchungen des Fixationsreflexes bei Kindern im Alter von acht Stunden bis sechs Monaten ließen eine unerwartet rasche Entwicklung der visuellen Genauigkeit in diesem Lebensabschnitt erkennen. FANTZ (1961) fand, daß Säuglinge wesentlich länger auf gesichtsähnliche Zeichnungen blicken als auf Bilder mit Zufalls-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



anordnungen derselben Linien. Dieses Ergebnis veranlaßt ihn zur Meinung, daß das menschliche Gesicht für Säuglinge ein bedeutungsvolles Objekt ist, ohne auf dementsprechende Lernprozesse angewiesen zu sein. Ob es sich hier um ein angeborenes oder sehr früh erlerntes Verhalten handelt, kann jedoch nicht eindeutig entschieden werden. Tatsache ist, daß Säuglinge schon sehr früh dem Gesicht bevorzugte Aufmerksamkeit schenken. BERGMAN, HAITH & MANN (1971) untersuchten das frühkindliche Blickverhalten beim Betrachten des Gesichtes der Mutter und fremder Personen. Sehr junge Kinder richten ihre Blicke noch auf die äußeren Kopfkonturen. Im Alter zwischen sieben und neun Wochen entfallen ungefähr gleich viele Fixierungen auf die äußeren und inneren Konturen der Gesichter. Die Fixationen innerhalb des Gesichtes entfallen größtenteils auf die Augen, daneben gibt es kurze Exkursionen zur Mundpartie. Sobald jedoch die Mutter spricht, fixiert das Kind fast ausnahmslos ihre Augen. Ab etwa zwei Monaten ist das Kind fähig, das gesamte Gesicht als gegliederte Figur wahrzunehmen. Ab diesem Zeitpunkt kommt es zu selektiven Fixierungen, um dem Gesicht die größtmögliche Information zu entnehmen. Meistens werden dabei die Augen fixiert. Es scheint demnach so zu sein, daß die Augen als die wichtigsten informationseinbringenden Organe im Sozialkontakt eine wichtige informationsspendende

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



Funktion ausüben, die bereits im frühesten Alter erlernt und ausgenützt wird.

Wie dieser kurze und unvollständige Überblick demonstriert haben sollte, sind die großen Bemühungen um eine exakte Erforschung des Blickverhaltens durchaus gerechtfertigt. Durch die direkte und objektive Zugangsmöglichkeit zu fremdpsychischen Vorgängen lassen sich sowohl theoretisch hochinteressante Einsichten als auch praktisch wertvolle Ergebnisse erzielen. Jeder wissenschaftlich oder praktisch orientierte Bereich, der mittelbar oder unmittelbar mit visueller Wahrnehmungsleistung befaßt ist, wird aus den einschlägigen Forschungsarbeiten beträchtlichen Gewinn ziehen können.

## Literaturnachweis

ADLER, F. H. & FLIEGELMAN, M. Arch. Ophtalmol., N. Y., 1934, 12, 475.

BERGMAN, T., HAITH, M. M. & MANN, L. Development of eye contact and facial scanning in infants. Paper presented at the meeting of the Society for Research in Child Development, Minneapolis, April, 1971.

BUSWELL, G. T. How people look at pictures. Chicago, Univ. of Chicago Press, 1935.

FANTZ, R. L. The origin of form perception. Scientific American, 1961, 204, 66.

HARTMANN, C. Driver vision requirement. Int. automobil safety conference compendium, 1970, 629—630.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



HEBENSTREIT v., B. Vom Sehen im Straßenverkehr. KD 11/1971, AGAM-Archiv, GG (1.4/1021).

HOSEMANN, A. Untersuchung zur Entwicklung des Blickverhaltens beim Kraftfahrer. Referat gehalten an der Tagung experimentell arbeitender Psychologen, Erlangen, 1973.

JAVAL, E. Sur la Psychologie de la lecture. Annales d'oculistique, 1879, 82, 242.

LAMANSKY, S. Über die Winkelgeschwindigkeit der Blickbewegung. Pflügers Arch. f. Physiologie, 1869, 2, 418.

LATOUR, P. L. Visual threshold during eye movements. Vision Research, 1962, 2, 261—262.

MACKWORTH, N. H. & MORANDI, A. J. The gaze selects informative details within pictures. Perception and Psychophysics, 1967, 2, 547—552.

MORTIMER, R. Eye fixations of drivers as affected by highway traffic characteristics and moderate dosis of alcohol. Highway Safety Research Institute, Univ. Michigan, Ann Arbor, USA, 1972.

MÜLLER, J. Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Thiere. Nebst einem Versuch über die Bewegungen der Augen und über den menschlichen Blick. Cnobloch, Leipzig, 1826.

NOTON, D. & STARK, L. Scanpaths in saccadic eye movements while viewing and recognizing patterns. Vision Research, 1971, 11, 929—942.

PRITCHARD, R. M. Stabilized images on the retina. Scientific American, 1961, 204, 72—78.

RATLIFF, F. A. & RIGGS, L. A. Involuntary motions of the eye during monocular fixation. J. exp. Psychol., 1950, 40, 6, 687.

THOMAS, E. L. Movements of the eye. Scientific American, 1975.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at



VANECEK, E. Augenbewegungen beim Lesen von Stenographie. Jugend & Buch, 1975, 1, 8—13.

VANECEK, E. & WEINGARTEN, P. Entwicklung und Erprobung eines tachistoskopischen Darbietungsverfahrens für die Fahrausbildung. Studie im Auftrag des BMfWuF, 1975.

VOLKMAN, F. C. Vision during voluntary saccadic eye movements. Journ. of the Optical Soc. of America, 1962, 52, 571—578.

YARBUS, A. L. Eye movements and vision. Plenum Press, N. Y., 1967.

# ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: 116

Autor(en)/Author(s): Vanecek Erich

Artikel/Article: Die Rolle der Augenbewegungen in der Wahrnehmungsforschung. 1-28