

# Der Augenblick des Verstehens

## Motorische Indikatoren unmittelbarer semantischer Verarbeitung

*Lorenz Sichelschmidt*

*Dr. Lorenz Sichelschmidt, Psychologe, Jahrgang 1954, hat seinen Forschungsschwerpunkt im Bereich Psycholinguistik. Seine Arbeit richtet sich auf die Untersuchung menschlicher Informationsverarbeitung, wobei syntaktisch-semantische Aspekte des Textverstehens im Mittelpunkt stehen. Er ist an der Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft der Universität Bielefeld tätig und ist Mitglied im Sonderforschungsbereich 'Situierete Künstliche Kommunikatoren'. EMail: msichels@nov1.lili.uni-bielefeld.de*

*Der vorliegende Text ist die überarbeitete deutschsprachige Fassung eines Vortrags bei einem Arbeitstreffen der Forschungsgruppe 'Mental Models in Discourse Processing' im ZIF (14. Juli 1995). Das Projekt wird aus Mitteln der Universität Bielefeld finanziert.*

*Der Autor dankt Marc Pomplun und Kyung-Won Jang für ihre Hilfe bei der Vorbereitung und Durchführung des Experiments.*

Augen, sagt man, sind Spiegel der Seele... Ein Satz, der aus der Sicht experimentalpsychologischer Forschung in verschiedener Hinsicht zum Nachdenken anregt. Das darin angesprochene Verhältnis von Physis zu Psyche, der Zusammenhang von Beobachtbarem und zu Erschließendem ist Gegenstand des Projekts, das ich hier skizzieren möchte.

In diesem Projekt - nur ein Detail aus dem umfangreichen Forschungsprogramm der Kognitionswissenschaft - geht es um Augenbewegungen. Genauer gesagt geht es um die Frage, was uns, die wir an menschlicher Informationsverarbeitung interessiert sind, die Augenblicke eines Menschen über dessen Umgang mit Information verraten. Denn Augen sind insofern Spiegel der Seele, als sich in Blickbewegungen kognitive Prozesse widerspiegeln können - kognitive Prozesse allgemein, und Sprachverarbeitungsprozesse im besonderen.

Ansatzpunkt für diese recht neue Überlegung ist ein gar nicht so neues Postulat aus der Leseforschung: das 'immediacy'- oder Unmittelbarkeits-Postulat. In seiner ursprünglichen Form von Marcel Just und Patricia Carpenter propagiert, lautet es (Just & Carpenter, 1980, p. 330): "A reader tries to interpret each content word of a text as it is encountered... The interpretations at all levels of processing occur as soon as possible". Noch etwas rigorosier wurde dieses Postulat durch die Verbindung mit der sogenannten 'eye-mind'-Annahme (Just & Carpenter, 1980, p. 331): "There is no appreciable lag between what is being fixated and what is being processed. Readers interpret a word while they are fixating it."

Strenggenommen besagt das, daß die Zeit, die Leserinnen und Leser auf ein bestimmtes Wort verwenden, ein exaktes Maß des kognitiven Aufwands darstellt, der zum Verstehen dieses Wortes notwendig ist. In einem etwas liberaleren Sinne impliziert das Unmittelbarkeitspostulat, daß Leserinnen und Leser unmittelbar im Anschluß an die Wahrnehmung eines Wortes beginnen, dieses semantisch zu interpretieren - was sich in entsprechendem Blickbewegungsverhalten manifestieren sollte.

Ich möchte dem Gedanken unmittelbarer Verarbeitung in zwei Punkten ein wenig weiter nachgehen. Der erste Punkt betrifft den Allgemeinheitsgrad: Unmittelbarkeit muß nicht auf die Verarbeitung geschriebener Sprache beschränkt sein; es könnte sich vielmehr um ein allgemeines ökonomisches Prinzip der Informationsverarbeitung handeln.

Der zweite Punkt betrifft die Überprüfbarkeit: Die Annahme, daß Leserinnen und Lesern unmittelbar im Anschluß an die Wahrnehmung eines Wortes entsprechende semantische Information zur Verfügung steht, ist empirisch unterdeterminiert.

Der Gedanke unmittelbarer Verarbeitung gehört inzwischen zu den Standardannahmen der Psycholinguistik. Niemand zweifelt ernsthaft daran, daß Rezipienten schon während - oder jedenfalls sehr bald nach - der Wahrnehmung eines Wortes dessen Bedeutung erfassen. Empirische Indizien dafür liegen mittlerweile in großer Zahl vor. In Experimenten zum wortweisen Lesen (z.B. Sanford & Garrod, 1989; Rickheit, Günther & Sichelschmidt, 1992), aber auch und vor allem in Reaktionszeit-Studien hat sich gezeigt, daß das Hören oder Lesen eines Wortes schon nach wenigen hundert Millisekunden meßbare Effekte auf die folgende Informationsverarbeitung hat (z.B. Tabossi, 1988; McNamara, 1992).

Allerdings: Experimente, die sich dabei auf Augenbewegungen stützen, sind rar (z.B. Everatt & Underwood, 1992; Morris, 1994). Und direkt ist unmittelbare semantische Interpretation auf diese Weise

wohl überhaupt noch nicht nachgewiesen worden. Die Schwierigkeit besteht nämlich darin, anhand der Augenmotorik nicht nur zu zeigen, daß ein Wort verarbeitet wird, sondern zu zeigen, wie das Wort verstanden wird.

Ich versuche also nachzuweisen, daß das menschliche Blickbewegungsverhalten sensitiv gegenüber linguistischen Faktoren wie der Bedeutung von Wörtern ist. Ähnliche Überlegungen verfolgen zur Zeit Mike Tanenhaus und sein Team an der University of Rochester (Sedivy, Carlson, Tanenhaus, Spivey-Knowlton & Eberhard, 1994; Spivey-Knowlton, Sedivy, Eberhard & Tanenhaus, 1994). In ihren Experimenten sollten Versuchspersonen so schnell wie möglich herausfinden, welches Objekt aus einer Menge verschiedener Objekte mit einem Ausdruck wie "the small blue circle" gemeint war. Sie konnten zeigen, daß das Blickbewegungsverhalten ihrer Versuchsteilnehmerinnen und -teilnehmer beim Lösen derartiger Aufgaben...

von phonologischen Faktoren abhängt: Nach kontrastiver Betonung eines Wortes ("the SMALL blue circle" bzw. "the small BLUE circle") kommt es früher zu zielgerichteten Augenbewegungen als nach neutraler Betonung ("the small blue circle").

von referentiellen Faktoren abhängt: Je eher ein Wort vorkommt, das eine eindeutige Identifikation des gemeinten Objekts ermöglicht, desto früher erfolgen zielgerichtete Augenbewegungen. Hört jemand beispielsweise "the plain red square", dann schaut er schneller in Richtung des Zielobjekts, wenn "plain" das vereindeutigende Wort ist (weil alle anderen Objekte schraffiert sind), als wenn "red" das vereindeutigende Wort ist (weil es nur ein rotes Objekt gibt).

Aus solchen Untersuchungen wird nicht nur deutlich, daß Rezipienten - also Hörer oder Leser eines sprachlichen Ausdrucks - visuelle und verbale Information sehr schnell integrieren, sondern auch, daß sprachliche Information Wort für Wort inkrementell abgearbeitet wird.

Erfaßt man - wie in den aufgeführten Studien - jedoch lediglich die Zeit, die verstreicht, bis das Auge des Betrachters sich gezielt zu bewegen beginnt, so nutzt man die Daten, die das Aufzeichnen von Blickbewegungen liefert, nicht vollständig aus. Denn interessant ist ja nicht nur die Zeit bis zum 'Augenblick', sondern der Bewegungsverlauf selbst. Dazu muß man wissen, daß Blicke nicht etwa schweifen, sondern eher springen: Die Pupille bewegt sich in sogenannten Sakkadensprüngen von einem Punkt zum nächsten, wobei der Blick auf diesen sogenannten Fixationspunkten immer für Bruchteile von Sekunden verweilt (vgl. d'Ydewalle & van Rensbergen, 1993; Rayner & Sereno, 1994). Die bei der Aufzeichnung von Blickbewegungen anfallenden Daten sind somit auswertbar im Hinblick auf Ort: Wohin blickt ein Rezipient zu einem bestimmten Zeitpunkt (x- und y-Koordinaten der Fixationen)? Zeit: Wie lange schaut ein Rezipient auf die betreffenden Koordinaten (Dauer d der Fixationen)? Richtung: Wie verlaufen aufeinanderfolgende Sakkadensprünge (Winkel der Sakkadenstrecken)? Und wie zeichnet man Blickbewegungen auf? Das hier verwendete 'Omnitrack'-System basiert auf zwei Industriestandard-Computern mit einem CCD-Interface; es arbeitet mit Infrarot-Videoaufzeichnung (Stampe, 1993; Pomplun, Ritter & Velichkovsky, 1995): Die Versuchsperson schaut auf einen Computermonitor, auf dem das zu betrachtende Bildmaterial dargeboten wird. Die Versuchsperson trägt währenddessen einen Visierbügel auf dem Kopf, an dem zwei Miniatur-Kameras so befestigt sind, daß ihre Position zueinander konstant und berechenbar ist (Abbildung 1).

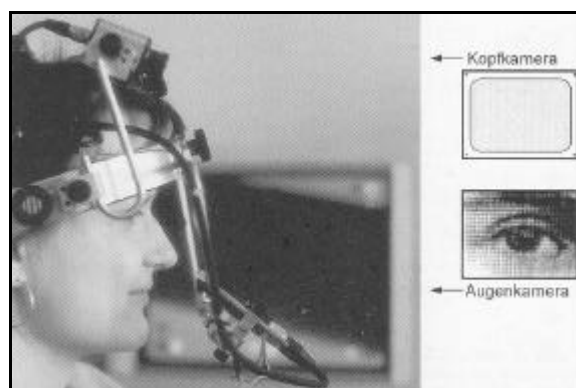


Abb.1: Versuchsanordnung zur Augenbewegungsmessung

Kamera A (die 'Kopfkamera') ist auf den Computermonitor gerichtet; sie erfährt die Position des Kopfes relativ zu dem auf dem Bildschirm sichtbaren Bildmaterial. Kamera B (die 'Augenkamera') ist auf das

Auge der Versuchsperson gerichtet; sie erfaßt die Position der Pupille relativ zum Kopf. Mit dieser Anordnung kann - sorgfältige Kalibrierung vorausgesetzt - die Position der Pupille relativ zum Bildschirm bestimmt werden. Während die räumliche Meßgenauigkeit sehr hoch ist und durch ein nachgeschaltetes neuronales Netz noch verbessert wird (sie beträgt für Normalsichtige ca. 0.4 Blickwinkel; das entspricht bei normalem Betrachtungsabstand etwa einem Buchstaben), ist die zeitliche Auflösung noch verbesserungsbedürftig (registriert werden, technisch bedingt, ausschließlich Fixationen über 83 ms, und zwar mit einer Meßtakt von 17 ms).

Mit dieser Anordnung habe ich also versucht, nachzuweisen, daß Menschen schon während oder kurz nach der Wahrnehmung eines Wortes dessen Bedeutung richtig erkennen können. Bei dem Experiment handelt es sich um eine Sprachrezeptions-Studie, die auf den Umstand aufbaut, daß räumlich-visuelle Aufmerksamkeit mit linguistischen Mitteln kontrolliert werden kann (Hayward & Tarr, 1995; Logan, 1995).

Logik und Vorgehensweise des Experiments sind denkbar einfach: Zwölf Versuchspersonen sehen auf einem Bildschirm nacheinander je 64 Bilder. Auf jedem Bild sind 20 farbige Objekte zu sehen. Gleichzeitig hört die Versuchsperson einen sprachlichen Ausdruck, mit dem eines der Objekte spezifiziert wird. Die Aufgabe besteht nun darin, die Farbe dieses Objekts möglichst schnell und richtig anzugeben.

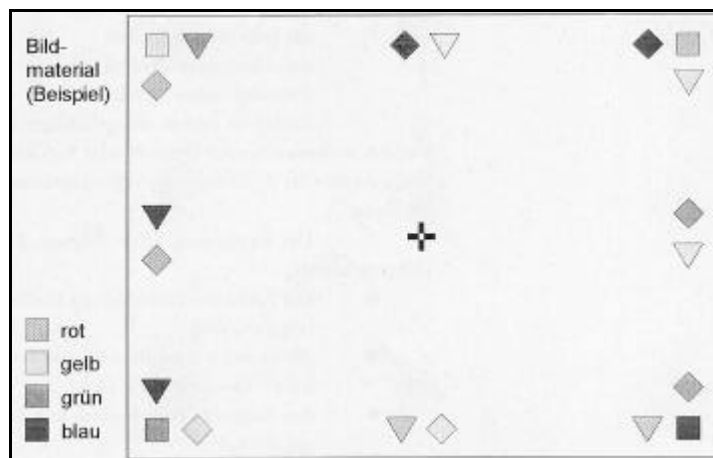


Abb.2: Beispiel des Bildmaterials

Bei den Objekten auf den Bildern handelt es sich um einfache geometrische Formen in verschiedenen Farben (rote, gelbe, grüne oder blaue Quadrate, Dreiecke oder Rauten). Um auffällige Form- oder Farbhäufungen zu vermeiden, sind die Objekte an den Bildrändern verteilt. In der Mitte ist ein Kreuz zu sehen; es dient als Fixationsmarke. Im Experiment sind vier Bildvarianten verwendet worden, die sich nur in der Farbe der Objekte unterscheiden (Abbildung 2). - Bei den sprachlichen Ausdrücken handelt es sich um Nominalphrasen von der Art "das linke obere Quadrat". Jede Nominalphrase dauert 2900 ms; sie enthält eine Horizontal- und eine Vertikalangabe. Die Sprachmaterialien, unter Vermeidung besonderer Betonung aufgenommen, liegen als digitalisierte Sound-Dateien vor. Im Experiment sind verschiedene Varianten solcher Nominalphrasen verwendet worden, die durch Editieren aus einer einzigen Master-Sound-Datei entstanden sind. Aus "das linke obere Quadrat" ist durch Vertauschen zweier Passagen beispielsweise die Variante "das obere linke Quadrat" geworden (Abbildung 3).



Abb.3: Beispiel des Sprachmaterials

Nimmt man das Unmittelbarkeitsprinzip ernst, so ist zu erwarten, daß eine Hörerin oder ein Hörer von "das linke obere Quadrat" beim Hören von "linke" sofort nach links schaut und bei "obere" sofort nach oben schaut. Die Blickrichtung sollte also der sprachlichen Spezifikation eng folgen. Umgekehrt sollten Rezipienten beim Hören von "das obere linke Quadrat" erst nach oben und dann nach links blicken.

Ein Faktor in diesem Experiment ist also die Reihenfolge der sprachlichen Spezifikation: Die Reihenfolgen 'horizontal-vertikal' und 'vertikal-horizontal' werden systematisch variiert (vgl. Sichelschmidt, 1989). Zwei weitere Faktoren betreffen die konkrete Realisierung von Horizontal- und Vertikalangabe: Als Horizontalangaben werden "linke" und "rechte", als Vertikalangaben "obere" und "untere" systematisch variiert. Ein vierter Faktor dient der Kontrolle: Die Farbe des jeweiligen Zielobjekts ist abwechselnd rot, gelb, grün oder blau. Technisch gesprochen, liegt dem Experiment damit ein vierfaktorieller  $2 \times 2 \times 2 \times 4$ - 'within cases'-Versuchsplan zugrunde. Durch orthogonale Kombination sind so insgesamt 32 Bedingungskombinationen mit folgenden acht Sprachmaterial-Varianten entstanden:

"das linke obere Quadrat" "das obere linke Quadrat"  
 "das linke untere Quadrat" "das untere linke Quadrat"  
 "das rechte obere Quadrat" "das obere rechte Quadrat"  
 "das rechte untere Quadrat" "das untere rechte Quadrat"

Zusätzlich sind in unregelmäßiger Folge noch 32 Durchgänge eingefügt worden, in denen eines der Dreiecke oder Karos (Rauten) Zielobjekt war; diese Durchgänge dienten der Ablenkung der Versuchspersonen und sind in die Analyse nicht eingegangen.

Das Experiment liefert folgende Größen zur Analyse des Blickbewegungsverhaltens:

Die Zahl  $n$  der Fixationen im Darbietungsintervall (das Bild war 3500 ms lang zu sehen);  
 die  $x$ - und  $y$ -Koordinaten jeder Fixation (gemessen in Bildpunkten, mit  $0 < x < 640$  und  $0 < y < 480$ );  
 den Zeitpunkt  $t$  des Beginns und die Dauer  $d$  jeder Fixation ( $t$  und  $d$  in ms;  $d > 83$  ms).

Entsprechend dem Unmittelbarkeits-Prinzip ist, wie gesagt, zu erwarten, daß sich in den Blickbewegungsverläufen die Reihenfolge der Wörter widerspiegelt und daß zielgerichtete Sakkaden unmittelbar, also während oder sehr bald nach dem betreffenden Wort auftreten. Aber ist diese 'immediacy'-Hypothese nicht trivial? Kann man denn auch anders? Freilich kann man - und es gibt auch Gründe, die gegen die 'immediacy'-Hypothese sprechen. In der Leseforschung zeigt sich nämlich immer wieder, daß Leserinnen und Leser am Ende eines Satzes und am Ende einer Phrase zögern. Dieser sogenannte 'sentence wrap-up'-Effekt wird allgemein damit erklärt, daß am Phrasen- und Satzende eine semantische Integration erfolgt. Von daher wäre denkbar, daß die Teilnehmerinnen und Teilnehmer an unserem Experiment abwarten, bis sie genügend Informationen gesammelt haben, um das Zielobjekt eindeutig identifizieren zu können (das legen die Beobachtungen zu Blickbewegungen bei referentieller Mehrdeutigkeit nahe). Im Sinne dieser 'wait and see'-Hypothese sollten die Versuchspersonen ihre Blicke relativ spät, aber dafür quasi in Luftlinie auf das Zielobjekt richten.

Hier sind die Ergebnisse im Überblick (Abbildung 4): Bei insgesamt 384 Farbbenennungen mit nur vier Fehlern (1 %) haben die Versuchsteilnehmerinnen und -teilnehmer 2347 Punkte auf dem Bildschirm fixiert. Um die Farbe des Zielobjekts richtig zu nennen, haben sie im Schnitt 6.1 Fixationen benötigt (mindestens 2 und höchstens 13).

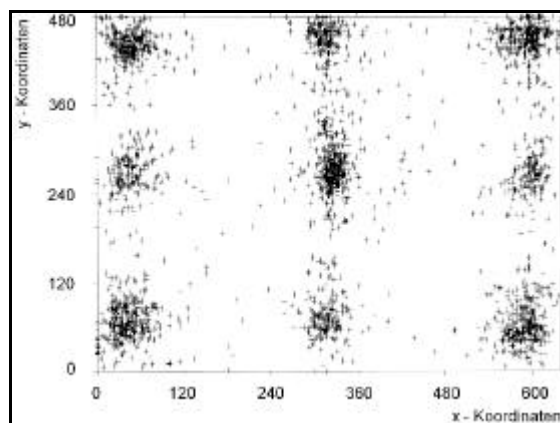


Abb.4: Fixationspunkte im Überblick

Welche Faktoren sind für die Verteilung der Fixationspunkte ausschlaggebend? Zusammengefaßt zeigen die Ergebnisse der Varianzanalysen viererlei: Erstens ist trotz individueller Unterschiede weder die Anzahl noch die Dauer der pro Durchgang benötigten Fixationen von den experimentellen Bedingungen abhängig. Zweitens spielt die Farbe des Zielobjekts keine Rolle. Drittens blicken die Versuchspersonen bevorzugt in die angegebene Richtung - die Varianten "links" (166) und "rechts" (473) unterscheiden sich

in den mittleren x-Koordinaten ( $F_{1,2315} = 2505.13$ ;  $< 0.001$ ); die Varianten "oben" (380) und "unten" (142) dagegen unterscheiden sich in den mittleren y-Koordinaten ( $F_{1,2315} = 3576.86$ ;  $< 0.001$ ). Viertens ist die Auslenkung dann besonders groß, wenn das betreffende Wort in der Nominalphrase vorne steht - man bewegt den Blick stärker nach links (bzw. nach rechts), wenn die Horizontalangabe "links" (bzw. "rechts") als erste kommt ( $F_{1,2315} = 231.26$ ;  $< 0.001$ ); man blickt weiter nach oben (bzw. nach unten), wenn die Vertikalangabe "oben" (bzw. "unten") am Anfang steht ( $F_{1,2315} = 172.54$ ;  $< 0.001$ ). Dieser vierte Befund deutet schon auf eine gewisse verarbeitungsleitende Rolle des ersten Lokalausdrucks hin. Nun noch etwas mehr ins Detail. Es interessiert ja vor allem, ob Ausdrücke wie "das linke obere Quadrat" und "das obere linke Quadrat" zu verschiedenem Blickbewegungsverhalten führen. Da sich die Befundlage als ausgesprochen symmetrisch erwiesen hat, möchte ich meine Überlegungen exemplarisch an einem einzigen Quadranten des Displays veranschaulichen; die Ausführungen gelten sinngemäß natürlich für alle vier Quadranten (Abbildung 5, obere Hälfte).

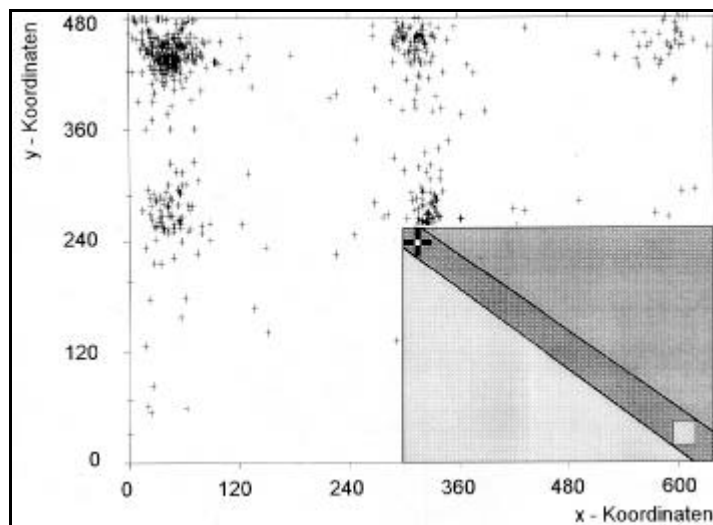


Abb.5: Fixationen für Quadrant IV

Schon dem Augenschein nach spricht die Verteilung der Fixationspunkte gegen die 'wait and see'- und für die 'immediacy'-Hypothese. Eine exakte statistische Auswertung ist zwar nicht ganz einfach. Sie ist aber möglich aufgrund der Überlegung, daß gemäß der 'immediacy'-Hypothese die Fixationshäufungen für "das linke obere Quadrat" und "das obere linke Quadrat" in verschiedenen Zonen des Quadranten liegen sollten. Man könnte also schlicht die Häufigkeiten in der Zone oberhalb der Diagonalen mit der in der Zone unterhalb der Diagonalen vergleichen. Das wäre allerdings wohl ein allzu striktes Vorgehen, da schon geringste Fehlkalibrierungen dazu führen würden, daß eine Fixation in der 'falschen' Zone landet. Deswegen habe ich mit erweiterten Zonen gearbeitet, deren Grenzen durch lineare Funktionen so berechnet sind, daß Fixationskreuz und Zielobjekt ganz in den Zonen enthalten sind (Abbildung 5, untere Hälfte). Ich kann nun - getrennt für jede der acht Sprachausdruck-Varianten - die Fixationshäufigkeiten in den beiden erweiterten Zonen des betreffenden Quadranten statistisch miteinander vergleichen (wobei die Fixationen im Überlappungsbereich sowohl pro wie contra zählen und daher nicht entscheidungsrelevant sind). Für "das linke obere Quadrat" beträgt das Häufigkeitsverhältnis 186:155 ( $\chi^2 = 1.414$ ;  $< 0.235$ ); für "das obere linke Quadrat" hypothesengemäß 109:222 ( $\chi^2 = 19.896$ ;  $< 0.001$ ). Für die anderen Quadranten gilt: In der oberen Hälfte des Displays sind unter den Bedingungen mit vorangestellter Vertikalangabe, in der unteren Hälfte unter Bedingungen mit vorangestellter Horizontalangabe die Fixationshäufigkeiten in den erweiterten Zonen signifikant verschieden. Dieses symmetrische Befundmuster ist vermutlich auf Ungenauigkeiten der Kalibrierung zurückzuführen. Alles in allem ist die Ergebnislage bei den  $\chi^2$ -Analysen jedenfalls hypothesengemäß ( $\chi^2 = 38.588$ ;  $< 0.001$ ): Die Mehrzahl der Fixationen liegt tatsächlich in der Zone, in der sie laut 'immediacy'-Hypothese liegen sollte.

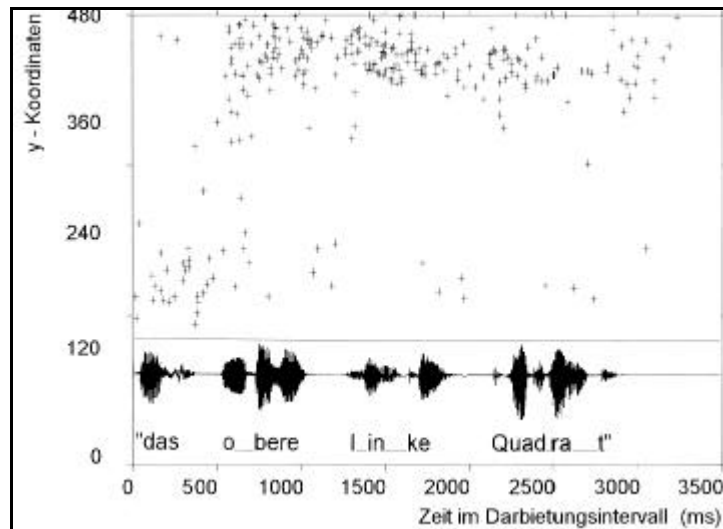


Abb.6: y-Koordinaten im Darbietungsintervall: das obere linke Quadrat

Soviel zu der Frage, wohin die Hörerinnen und Hörer blicken. Nun zu temporalen Aspekten: Wann blicken sie dorthin?

Wiederum möchte ich mich exemplarisch auf den Quadranten 'links oben' beschränken. Betrachten wir zunächst die vertikale Dimension. Trägt man die y-Koordinaten der Fixationspunkte gegen die seit Beginn der Darbietung verstrichene Zeit  $t$  ab, so sieht man, daß die Fixationen zunächst etwa in Höhe des Fixationskreuzes liegen, bevor sie dann irgendwann abrupt höhere Werte annehmen. Die Versuchspersonen blicken also ab einem bestimmten Zeitpunkt plötzlich nach oben.

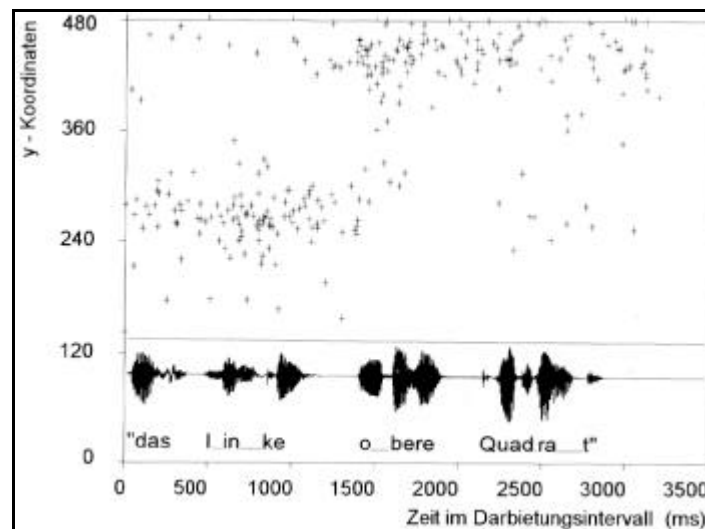


Abb.7: y-Koordinaten im Darbietungsintervall: das linke obere Quadrat

Im Vergleich zeigen die Nominalphrasen "das obere linke Quadrat" (Abbildung 6) und "das linke obere Quadrat" (Abbildung 7) einen auffallenden Unterschied: Bei der Variante "das obere linke Quadrat" scheinen Hörerinnen und Hörer früher nach oben zu blicken als bei der Variante "das linke obere Quadrat". Entsprechendes gilt für die übrigen Quadranten: Steht die Vertikalangabe "obere" bzw. "untere") vor der Horizontalangabe, so bewegen sich die Pupillen der Versuchspersonen offenbar früher nach oben bzw. nach unten als wenn die Vertikalangabe nach der Horizontalangabe steht. Das Gegenteil ist in bezug auf horizontale Blickbewegungen der Fall. Hier gilt für alle Quadranten: Steht vor der Horizontalangabe ("linke" bzw. "rechte") eine Vertikalangabe, so wandert der Blick der Versuchspersonen offenbar später nach links bzw. nach rechts als wenn die Horizontalangabe vorne steht. Diese Befundlage entspricht in gewisser Weise bereits erwähnten Beobachtungen von Spivey-Knowlton, Sedivy, Eberhard & Tanenhaus (1994), denen zufolge die Position eines vereindeutigenden Wortes in einer Nominalphrase die Zeit bis zum Beginn einer gezielten Augenbewegung bestimmt. Im vorliegenden

Experiment liegt das relevante Moment wohl in der Tatsache begründet, daß die verwendeten Lokalangaben partielle Entscheidungen über die auszuführende Blickbewegungen zulassen: Die Hörerinnen und Hörer können aufgrund einer Vertikalangabe unmittelbar eine Entscheidung über die Richtung der vertikalen und aufgrund einer Horizontalangabe unmittelbar eine Entscheidung über die Richtung der horizontalen Blickbewegung treffen.

Genau das tun sie. Untersucht man nämlich genauer, zu welchem Zeitpunkt die vertikale oder horizontale Bewegung stattfindet, so werden Zusammenhänge mit der diese Bewegung motivierenden Nominalphrase deutlich.

Ein direkter Vergleich von Blickbewegung und Sprachsignal ist allerdings nicht ohne weiteres möglich. Denn erstens gibt es natürlich individuelle Unterschiede im exakten Zeitpunkt der Augenbewegungen nach oben bzw. unten und nach links bzw. rechts, was die Berechnung eines adäquaten Mittelwerts notwendig macht. Und zweitens sind - infolge der geringen zeitlichen Auflösung der zur Augenbewegungsmessung eingesetzten Apparatur - Blick- und Sprachsignal nicht exakt synchronisiert, so daß leichte Verschiebungen des einen gegenüber dem anderen nicht auszuschließen sind. Die Argumentation kann sich von daher nur auf den Vergleich von Zeitdifferenzen  $t$ , nicht aber auf den Vergleich von Zeitpunkten  $t$  stützen.

Um den Zeitpunkt der vertikalen und horizontalen Augenbewegungen genauer zu ermitteln, habe ich - getrennt für jede Nominalphrasen-Variante und jede Dimension - berechnet, wie eine Kurve aussehen muß, die die Punkteschar optimal beschreibt. Die optimale Funktion ist von der Form

$$f(t) = \frac{a}{1 + e^{b(t-c)}} + d$$

wobei  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$  die zu schätzenden Parameter sind.

Parameterschätzung mittels nichtlinearer Regression führt zu einer Lösung, die insofern optimal ist, als die Summe der Abweichungen zwischen beobachteten und geschätzten Punkten minimal ist. Die  $t$ -Werte der Wendepunkte der so ermittelten optimalen Kurven können als mittlere Augenbewegungs-Zeitpunkte angesehen werden.

Für die Nominalphrase "das obere linke Quadrat" ergibt diese Analyseprozedur folgende Werte: 510 ms nach Beginn der Bilddarbietung blicken die Versuchspersonen nach oben, 1360 ms nach Beginn der Bilddarbietung nach links. Im Vergleich dazu "das linke obere Quadrat": Hier blicken die Versuchspersonen 630 ms nach Beginn der Bilddarbietung nach links und 1330 ms nach Bilddarbietungsbeginn nach oben. Die entsprechenden Werte für die übrigen Varianten stimmen in ihrer Größenordnung mit den exemplarisch angegebenen Werten überein.

Die Verzögerung der vertikalen Blickbewegung im Fall von "das linke obere Quadrat" (im Beispiel:  $t = 820$  ms) ist darauf zurückzuführen, daß die Versuchspersonen zuerst "linke" hörten, bevor sie "obere" verstehen konnten. Und eine Analyse der tatsächlichen Dauer von "linke" anhand der Sound-Dateien zeigt, daß der Beginn des gesprochenen Wortes "obere" bei "das linke obere Quadrat" gegenüber "das obere linke Quadrat" um 870 ms verzögert ist. Umgekehrt richten die Versuchspersonen ihre Blicke im Fall von "das linke obere Quadrat" 730 ms früher nach links als im Fall von "das obere linke Quadrat". Die anhand der Sound-Dateien ermittelte tatsächliche Zeitdifferenz zwischen den Anfängen des gesprochenen "linke" beträgt hier 760 ms. Obwohl die Auswertungen noch nicht ganz abgeschlossen sind, läßt sich bereits jetzt sagen, daß ähnliche Korrespondenzen zwischen Sprachsignal und Blickbewegung auch bei den übrigen Quadranten zu beobachten sein werden.

Alle diese Befunde stimmen mit den Vorhersagen der 'immediacy'-Hypothese überein: Sobald Hörerinnen und Hörer ein Wort wahrnehmen, steht ihnen entsprechende semantische Information zur Verfügung. Die Augenbewegungen zeigen, daß die Rezipienten von der verfügbaren Information unmittelbar Gebrauch machen. Wenngleich ich aufgrund der vorliegenden Daten noch nicht mit letzter Sicherheit sagen kann, ob die entscheidenden Blickbewegungen während oder nach der zweiten Silbe des betreffenden Wortes erfolgen - feststehen dürfte jedenfalls, daß die syntaktisch-semantische Struktur einer sprachlichen Äußerung unter den Bedingungen des vorliegenden Experiments eine entscheidende Determinante des menschlichen Blickbewegungsverhaltens ist.

Das von Just & Carpenter (1980) für Leseprozesse postulierte Unmittelbarkeitsprinzip hat mit dieser Untersuchung erstmals eine direkte empirische Bestätigung in einem weiteren Gegenstandsbereich erfahren.

Allgemeiner zeigt die vorliegende Studie, daß die Analyse von Blickbewegungen ein geeigneter Weg sein kann, um kognitive Prozesse bei der menschlichen Informationsverarbeitung zu untersuchen. Vor allem im Hinblick auf die Frage, wie Menschen zu einer internen Repräsentation eines bestimmten Realitätsausschnitts gelangen, dürfte das beschriebene Verfahren von Interesse sein. Denn eine solche Repräsentation der in einer Situation relevanten Objekte und Sachverhalte - ein 'mentales Modell', um einen von Philip Johnson-Laird propagierten Begriff zu verwenden (Johnson-Laird, 1989) - entsteht nicht aus dem Nichts; ein mentales Modell ist das Ergebnis komplexer kognitiver Operationen.

Blickbewegungsanalyse ist eine äußerst interessante und fruchtbare Methode zum Studium derartiger Prozesse. Zum einen wegen der Möglichkeit, Kontexteffekte im Prozess der Entwicklung mentaler Modelle zu entdecken, die in der Struktur der 'fertigen' Repräsentation nicht mehr erkennbar sind. Zum anderen wegen des Einbezugs sprachlicher und außersprachlicher Gegebenheiten, über deren Integration derzeit noch allzuwenig bekannt ist.

Ein solcher Blick über den engeren Bereich der Linguistik, der Wahrnehmungspsychologie oder der technischen Signalverarbeitung hinaus, ein solcher Blick über die Disziplinen hinweg ist zugleich Chance, Kennzeichen und 'conditio sine qua non' moderner Kognitionswissenschaft. Denn er trägt zu einem umfassenderen Verständnis des Umgangs mit Information bei.

Lassen Sie mich mit einer Feststellung meines akademischen Lehrers, des 1983 verstorbenen Sprachpsychologen Hans Hörmann, schließen. Diese Feststellung (Hörmann, 1976, p. 210) gilt nicht nur für Sprachbenutzerinnen und Sprachbenutzer. Sie gilt ebenso für Sprachforscherinnen und -forscher im Bereich der Kognitionswissenschaft: "Man kann Sprache nur verstehen, wenn man mehr als Sprache versteht."

### Literatur

- d'Ydewalle G. & van Rensbergen J. (1993). *Perception and Cognition: Advances in Eye Movement Research*. Amsterdam: North-Holland.
- Everatt J. & Underwood G. (1992). Parafoveal guidance and priming effects during reading: A special case of the mind being ahead of the eyes. *Consciousness and Cognition*, 1, 186-197.
- Hayward W.G. & Tarr M.J. (1995). Spatial language and spatial representation. *Cognition*, 55, 39-84.
- Hörmann H. (1976). *Meinen und Verstehen. Grundzüge einer psychologischen Semantik*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Johnson-Laird P.N. (1989). Mental models. In: M.I. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science* (pp. 469-499). Cambridge: Cambridge University Press.
- Just M.A. & Carpenter P.A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Logan G.D. (1995). Linguistic and conceptual control of visual spatial attention. *Cognitive Psychology*, 28, 103-174.
- McNamara T.P. (1994). Theories of priming: Types of primes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 507-520.
- Morris R.K. (1994). Lexical and message-level sentence context effects on fixation times in reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 92-103.
- Rayner K. & Sereno S.C. (1994). Eye movements in reading: Psycholinguistic studies. In: M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics* (pp. 57-81). San Diego: Academic Press.
- Rickheit G., Günther U. & Sichelschmidt L. (1992). Coherence and coordination in written text: Reading time studies. In: D. Stein (Ed.), *Cooperating with Written Texts* (pp. 103-127). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Sanford A.J. & Garrod S.C. (1989). What, when, and how? Questions of immediacy in anaphoric reference resolution. *Language and Cognitive Processes*, 4, 235-262.
- Sedivy J.C., Carlson G.N., Tanenhaus M.K., Spivey-Knowlton M. & Eberhard K. (1994). The cognitive function of contrast sets in processing focus constructions. In: P. Bosch & R. van der Sandt (Eds.), *Focus and Natural Language Processing. Vol. 3: Discourse* (pp. 611-619). Heidelberg: IBM Deutschland GmbH.
- Sichelschmidt L. (1989). *Adjektivfolgen. Eine Untersuchung zum Verstehen komplexer Nominalphrasen*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Spivey-Knowlton M., Sedivy J.C., Eberhard K. & Tanenhaus M.K. (1994). Psycholinguistic study of the interaction between language and vision. *AAAI Workshop 'Integration of Natural Language and Vision Processing'*, 189-192.
- Pomplun M., Ritter H. & Velichkovsky B.M. (1995). An artificial neural network for high precision eye movement tracking. *SFB 'Situierete Künstliche Kommunikatoren', Report 95/1*. Bielefeld: Universität Bielefeld.
- Stampe D. (1993). Heuristic filtering and reliable calibration methods for video-based pupil-tracking systems. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 25, 137-142.
- Tabossi P. (1988). Effects of context on the immediate interpretation of unambiguous nouns. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14, 153-162.