

# Meßbrille zur Erfassung von Augen- und Kopfbewegungen sowie des Pupillendurchmessers.

A. von Buol, M. Menozzi, H. Krueger

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie  
ETH Zürich, CH 8092 Zürich, Schweiz

## EINLEITUNG

Unter natürlichen Sehbedingungen wird die visuelle Umwelt durch kombinierte Kopf- und Augenbewegungen erfaßt. Aus der Analyse dieser Bewegungen können Schlüsse über die Ausrichtung der Aufmerksamkeit und über die Verteilung der visuellen Information im Raum gewonnen werden [1]. Veränderungen des Pupillendurchmessers widerspiegeln Eigenschaften wie Helligkeit [2], Sehentfernung [3] und mentale Belastung [4]. In der Ergonomie dienen Augen-, Kopfbewegungen und Pupillendurchmesser zur Beurteilung der Anpassung der visuellen Umwelt an die physischen und psychischen Bedürfnisse des Menschen.

Das gleichzeitige Registrieren von Augen- und Kopfbewegungen sowie des Pupillendurchmessers war bislang mit der kombinierten Anwendung mehrerer Apparaturen verbunden. Der daraus entstehende apparative Aufwand führt zu Meßanordnungen, welche den Blickraum und die Bewegungsfreiheit der Versuchsperson empfindlich einschränken kann und somit die Aussagekraft der Resultate solcher Messungen insbesondere für Fragen der Ergonomie in Frage stellt.

Um den Einfluß der Messapparatur zur Bestimmung von Augen-, Kopfbewegungen und des Pupillendurchmessers auf die Versuchsperson zu verkleinern, wurde eine Apparatur zur simultanen Erfassung dieser Parameter entwickelt.

## METHODE

Bei der realisierten Apparatur basiert die Messung der Augenbewegungen auf dem Prinzip der hellen Pupille (Abbildung 1). Hierzu wird eine infrarote Leuchtdiode auf die Netzhaut abgebildet und von dieser reflektiert, um die Pupille von hinten zu beleuchten. In der Messbrille integrierte Kameras erfassen die hellen Pupillen und eine nachfolgende Elektronik berechnet aus den Pupillenbildern die Mittelpunkte (Schwerpunkte) und Größe der Pupillenflächen. Gleichzeitig erfassen die Kameras über Strahlteiler eine im Raum fixierte Leuchtdiode. Aus dem Bild dieser Leuchtdiode, welche sich in ihrer Intensität von den Pupillenbildern unterscheidet, wird die Kopfposition bestimmt.

Die Apparatur besteht aus einer 215 Gramm schweren Messbrille, einem 19 Zoll - Gehäuse mit Elektronik und einem PC zur Speicherung und Analyse der registrierten Daten. Die Messbrille weist im Vergleich zu Systemen mit ähnlichen Möglichkeiten kleinere Dimensionen und ein geringeres Gewicht auf. Dadurch ist auch die Beeinflussung der Versuchspersonen durch die Messung geringer. Meßbereiche und Auflösung für Augen- und

Kopfbewegungen können aus Tabelle 1 entnommen werden.

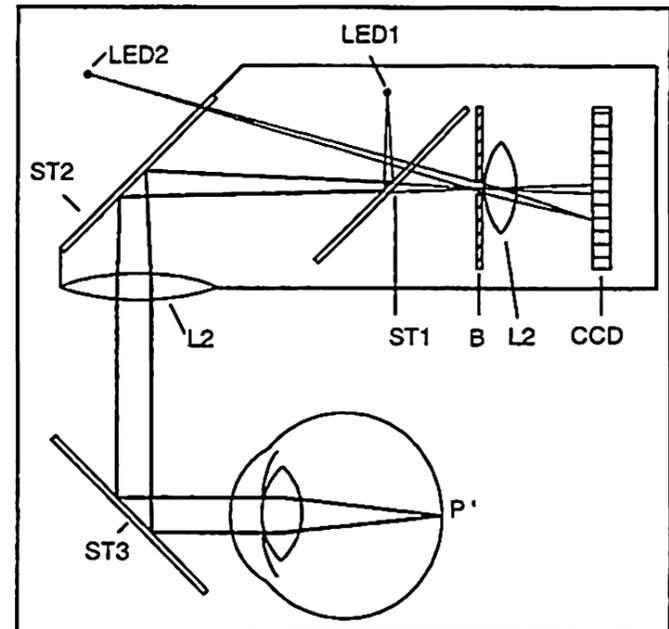


Abbildung 1: Optischer Aufbau einer Einheit zur Erfassung von Augen- und Kopfbewegungen. Die infrarote Leuchtdiode LED1 wird über die Strahlteiler (halbdurchlässige Spiegel) ST1, ST2, die Linse L2, den Strahlteiler ST3 und die Optik des Auges auf die Netzhaut in P' abgebildet. Das von P' reflektierte Licht gelangt wiederum über die Optik des Auges, ST3, L2, ST2, ST1 und ein Objektiv, bestehend aus der Blende B und der Linse L1 auf einen CCD - Chip (Halbleiter - Bild - Sensor einer Videokamera). Die Geometrie der Anordnung und die Brechkraft der Linsen sind so gewählt, daß sowohl die Pupillenebene als auch die externe Leuchtdiode LED2 scharf auf den CCD - Chip abgebildet werden.

Allgemeines	
Abtastrate :	50 Hz
Gewicht der Messbrille:	215g
Auswerteeinheit:	11 kg / 19"
Datenübertragung zu PC :	RS 232 Schnittstelle
benötigter PC :	min. 386 33 MHz
Augenbewegungen	
minimale Pupillengröße :	3 mm
Bereich (Auflösung) horizontal :	+/- 20° (max. 2')
Bereich (Auflösung) vertikal :	+/- 20° (max. 2')
Kopfbewegungen	
Bereich (Auflösung) horizontal :	+/- 20° (6')
Bereich (Auflösung) vertikal :	+/- 15° (4')

Tabelle 1: Technische Daten der Messbrille

## Resultate

Als Beispiele unterschiedlicher Darstellungen von Kopf- und Augenbewegungen sind in Abbildung 2 bis 4 einige Meßresultate dargestellt. Die Aufgabe des Probanden aus Abbildung 2 und 3 bestand darin, einen um  $60^\circ$  gegenüber der Horizontalen geneigten Text zu lesen. In Abbildung 2 sind die Augen- und Kopfbewegungen für die horizontale und vertikale Richtung im Zeitbereich, in Abbildung 3 ist die Blickrichtung in der frontoparallelen Ebene aufgetragen.

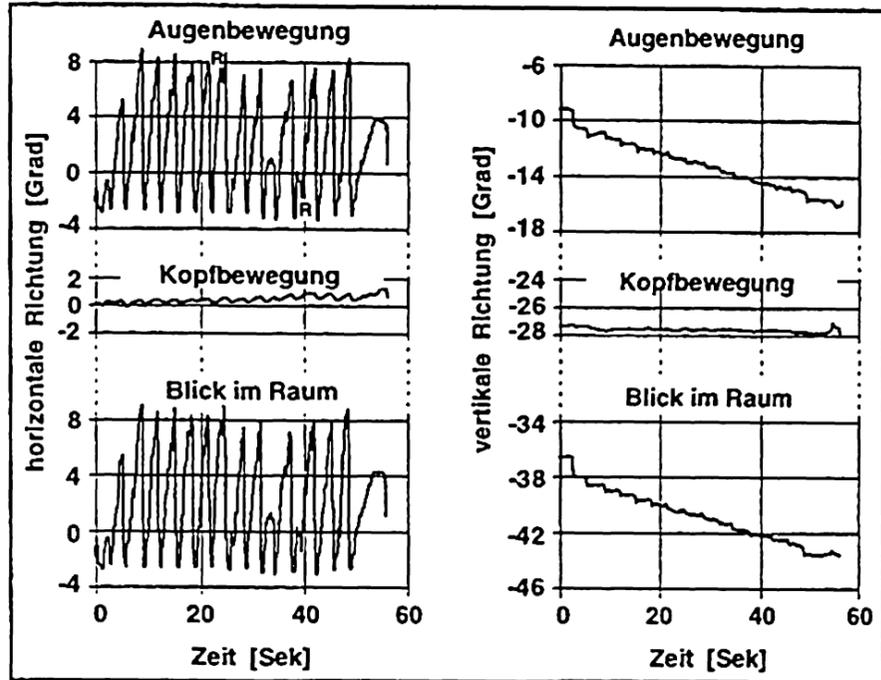


Abbildung 2: Kopf- und Augenbewegungen sowie ihre Summe (die Blickrichtung im Raum) in horizontaler und vertikaler Richtung in Abhängigkeit der Zeit. An den R bezeichneten Stellen erkennt man Rücksprung - Sakkaden (Augenbewegungen welche einen Unterbruch des Leseflusses signalisieren).

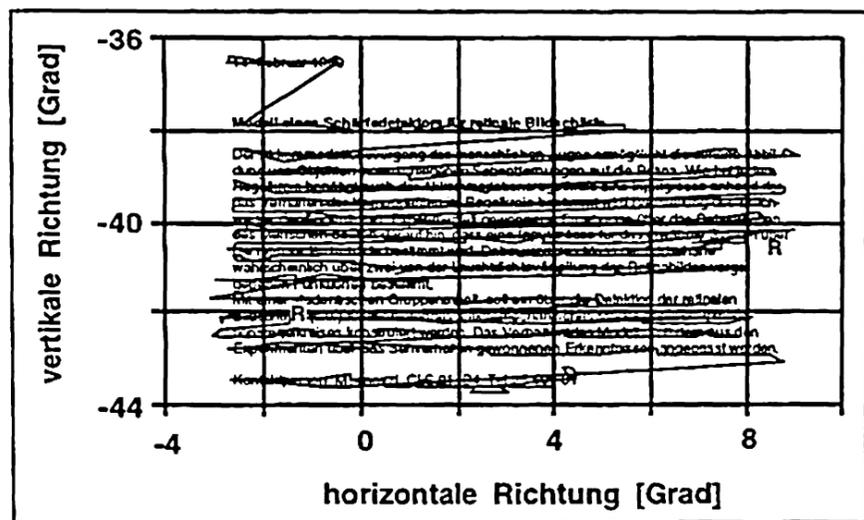


Abbildung 3: Indem man die horizontale und vertikale Blickrichtung im Raum für jeden Zeitpunkt zusammenfasst, erkennt man unter Berücksichtigung der Perspektive die Sehziele. Auch hier sind die Rücksprung - Sakkaden mit R gekennzeichnet.

Eine weitere Möglichkeit der Darstellung von Kopf- und Augenbewegungen ist die Darstellung der Aufenthaltsdauer in Flächenelementen einer raum- bzw. kopffesten Ebene. Zur Visualisierung wurden in Abbildung 4 Equipotentiallinien gewählt, welche durch Orte gleicher zeitlicher Häufigkeit beschrieben werden und Bereiche mit einem bestimmten Anteil (im dargestellten Fall 10%, 50% und 90%) an der Gesamtzeit der Messung umschließen. Abszisse und Ordinate stellen die horizontale und vertikale Richtung eines ebenen Koordinatensystemes dar. Diese Darstellungsart ist z.B. bei der Entwicklung von

Gleitsichtbrillen (Brillen für Alterssichtige mit sich in vertikaler Richtung stetig ändernder Brechkraft und dadurch bedingten optischen Fehlern) hilfreich.

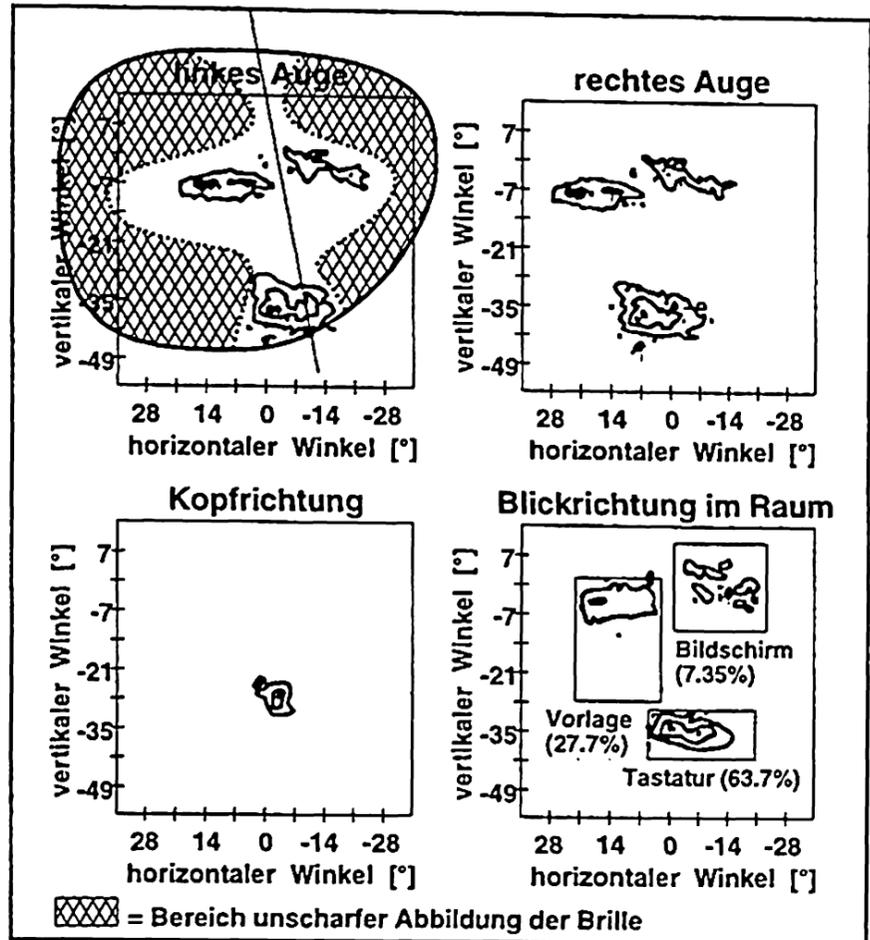


Abbildung 4: Verteilungen der Aufenthaltsdauer für die Blicklinie des linken und des rechten Auges in Brillenkoordinaten, der Kopfrichtung in Raumkoordinaten und der Blickrichtung im Raum. Die Aufgabe der Testperson, welche im hier gezeigten Fall die Tastatur nicht ohne Blickkontakt bedienen konnte, war es einen Text von einer Vorlage abzutippen. In der Graphik der Blickrichtung in Raumkoordinaten sind zusätzlich der Ort der Vorlage, der Tastatur und des Bildschirms mit der prozentualen Aufenthaltsdauer auf diesen Elementen eingetragen. Der Aufenthaltsdauer des linken Auges ist ein der Bildschirmarbeit angepasstes Gleitsichtbrillenglas überlagert.

## Diskussion

Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, daß mit der beschriebenen Apparatur und der dazu gehörenden Software zur Analyse von Kopf- Augenbewegungen, für unterschiedliche Fragestellungen der Ergonomie nützliche Resultate erzielt werden konnten. Der Nachteil, daß externe Infrarotquellen die Messung verunmöglichen können, beschränkt den Einsatz in erster Linie auf mit Leuchtstoffröhren beleuchtete Arbeitsplätze.

## Literatur

- [1] Posner, M. I.: Chronometric exploration of mind. Lawrence Erlbaum Associates, NJ, 1987.
- [2] de Groot, S. G., J. W. Gebhard: Pupil Size as Determined by Adapting Luminance, JOSA, Vol. 42, 1952, 492-495.
- [3] Lowenstein, O., I.E. Loewenfeld: The Pupil. In Davson, H.: The Eye. Band 3, 2. Auflage, NJ SF, London, Academic Press, 1969.
- [4] Kahnemann, D., J. Beatty: Pupil diameter and Load on Memory. Science Vol. 154, 1966, 1583-1585.