

# Die Rolle von Bewegungsparallaxe und Stereopsis für die Tiefenwahrnehmung an Stereobildschirmen

B. Bäumle\*, A. von Buol#, M. Menozzi#

\*Institut für Elektronik / #Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie  
ETH Zentrum, 8092 Zürich, Schweiz

## Einleitung

Bewegungsparallaxe und Stereopsis sind zwei visuelle Informationsquellen, die zur Wahrnehmung der Raumtiefe beitragen. In einem gemeinsamen Projekt versuchen das IfE\* und das IHA# die Bedeutung dieser beiden und weiterer Faktoren für die Tiefenwahrnehmung an Stereobildschirmen zu quantifizieren.

Vorliegende Arbeiten [1] ergaben, dass die Stereopsis alleine die wahrgenommene Raummetrik verzerrt und dass die Bewegungsparallaxe (z.B. bei Kopfbewegungen stattfindende Relativbewegungen der auf die Netzhaut abgebildeten Sehobjekte) hilft, diese Verzerrung zu reduzieren. Ziel unseres Forschungsprojektes ist die Bestimmung des Einflusses von Bildauflösung, Bildrate, Latenzzeit (von der Erfassung der Kopfposition bis zur Darstellung des gerechneten Bildpaares) und Bildqualität (Komplexität der Szene, Schattierung etc) auf die Geometrie des wahrgenommenen Raumes.

## 1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Grafiksystem zur Generierung der synthetischen Stereobildpaare.
- Stereobildschirm (mit "Polarizer" und dazu passende, passiv polarisierende Brille).
- Zwei optische 2D-Positionssensoren zur Bestimmung der 3D-Position mehrerer infrarot-LEDs.
- Steuerrechner (PC)

Als Grafikrechner wird der am IfE entwickelte Parallelrechner MUSIC ("Multiprocessor System with Intelligent Communication") eingesetzt [2], wodurch eine hohe Grafikleistung und grösstmögliche Flexibilität gewährleistet ist.

Der verwendete Stereobildschirm von Tektronix arbeitet bei 120 Hz Bildfrequenz wobei die Bilder für das linke und rechte Auge abwechselungsweise dargestellt werden. Synchron dazu wird eine Flüssigkristall-Polarisierungsschicht unmittelbar vor dem Monitor

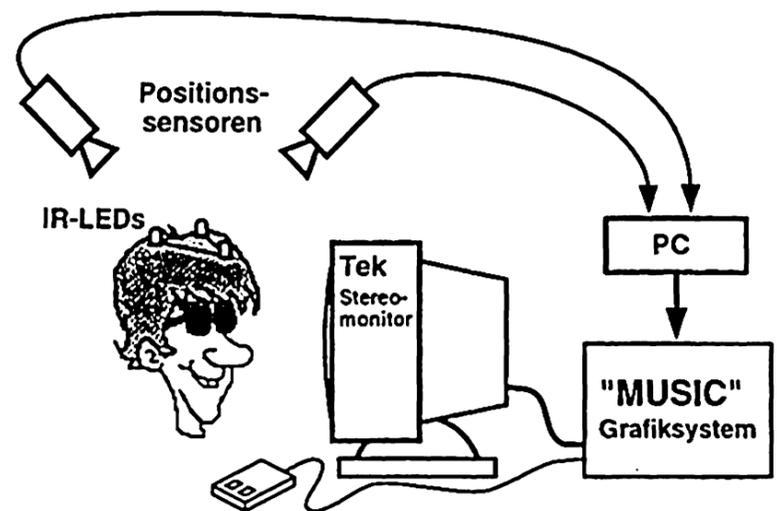


Abbildung 1: Versuchsaufbau: Erfassung des Beobachterstandpunktes mittels IR-LEDs, Positionssensoren und PC. Übertragung der Beobachterkoordinaten an das "MUSIC"-Grafiksystem zur Berechnung des Stereobildpaares.

umgeschaltet, so dass durch die unterschiedlich polarisierenden Brillengläser jedes Auge das für es bestimmte Bild wahrnimmt. Die Vorteile gegenüber den weitverbreiteten Shutter-Brillen besteht im geringeren Übersprechen der Bilder und im geringeren Gewicht der Brille.

Das System zur Bestimmung der Beobachterposition ist eine Eigenentwicklung der beiden Institute für dieses Projekt. Die Positionen mehrerer infrarot-LEDs, die an der Brille (oder einem leichten Helm) befestigt sind, werden optisch von zwei "Kameras" erfasst, so dass durch einfache Triangulation auf ihre 3D-Position geschlossen werden kann. Handelsübliche optische Positionserfassungssysteme arbeiten mit CCD-Kameras mit einer maximalen Samplingrate von ca. 30 Hz. Problematisch ist dabei der Umstand, dass ohne Zeitmultiplexing die Zuordnung der Lichtpunkte nicht immer eindeutig (und/oder mit hohem Rechenaufwand verbunden) ist. Deshalb werden hier anstelle der CCD-Chips analoge 2D-Positionssensoren ("Spot" von United Detector Technology, USA) eingesetzt, die bei einer Samplingfrequenz von 10 kHz arbeiten. Dies erlaubt das Zeitmultiplexing der LEDs und kürzere Latenzzeiten bei der Darstellung des Stereobildpaares.

## Eckdaten:

### Grafiksystem / Parallelrechner MUSIC:

- 10 Prozessoren (MOTOROLA DSP 96000) mit je 60 MFlops. Maximal 63 Proz./3.7 GFlops.
- 20'000 Dreiecke pro Sekunde und Prozessor.
- Nahezu 200'000 Dreiecke/sec bei 10 Prozessoren.
- Auflösung bis 1280×1024 (24-Bit RGB).

### Positionserfassungssystem:

- Positionssensoren "Selspot" von UDT.
- 10 kHz Samplingfrequenz (100  $\mu$ sec pro LED).
- Genauigkeit: 1mm auf 1m<sup>3</sup> Arbeitsvolumen.

## 2 Methoden

Mit dem beschriebenen System, wird der Einfluss von Bildauflösung, Bildrate, Latenzzeit und Detailreichtum von Stereobildern am Bildschirm auf die wahrgenommene Raumgeometrie erforscht. Für dieses Vorhaben wird auf Techniken der Psychophysik [3] zurückgegriffen. Prinzip des Versuches ist die Erfassung systematischer und zufälliger Fehler mittels eines Experimentes, bei dem eine auf dem Stereobildschirm vorgegebene geometrische Grösse an einem beliebigen Ort im stereoskopisch auf dem Bildschirm dargestellten Raum wiederhergestellt wird. Das einfachste Experiment umfasst die Vorgabe eines Abstandes (s. Abb. 2 Referenzabstand) in einer frontoparallelen Ebene und die Nachbildung desselben Abstandes entlang einer beliebig ausgerichteten Gerade im stereoskopischen Raum (s. Abb. 2 Testabstand). Bei Vorversuchen hat sich gezeigt, dass der mit dieser Methode erzeugte Raum nicht euklidisch wahrgenommen wird. Wie gezeigt [1], lässt sich durch Zufügen der Bewegungsparallaxe als Tiefeninformation, die wahrgenommene Raumgeometrie derart verbessern, dass

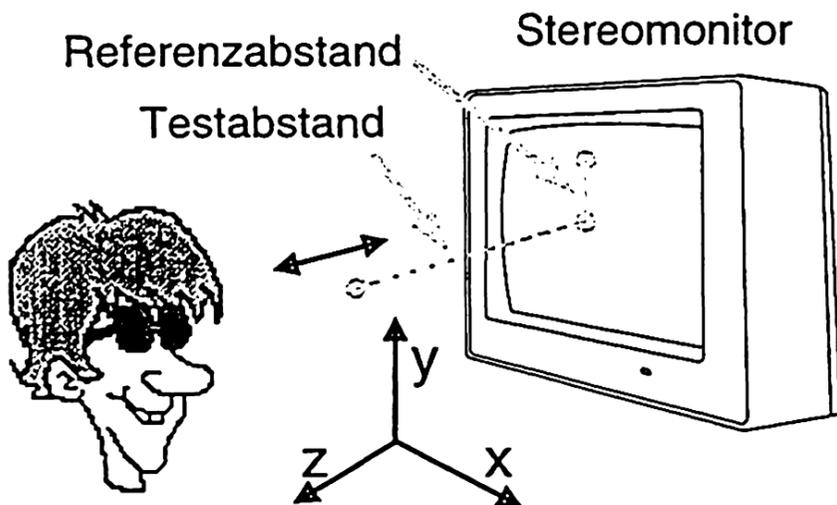


Abbildung 2: Prinzip des Versuches zur Bestimmung der wahrgenommenen Raumgeometrie. Nachbildung eines in der Bildschirmenebene (frontoparallel) vorgegebenen Abstandes (Referenzabstand) entlang einer beliebigen Gerade im stereoskopischen Raum (Testabstand).

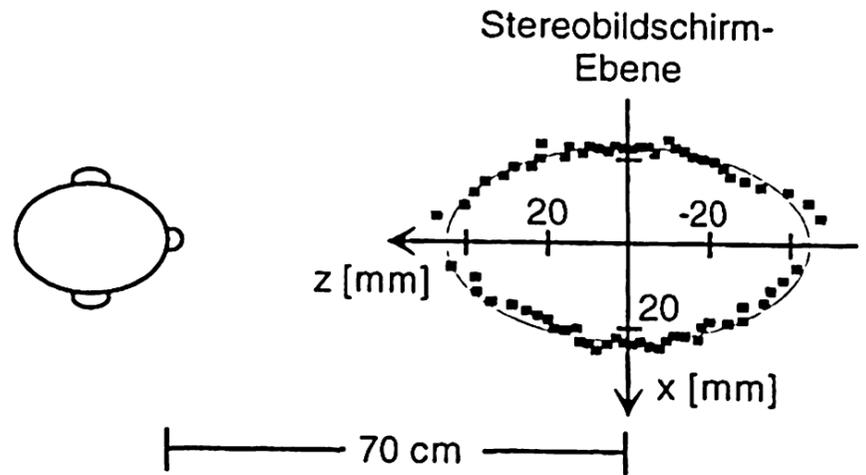


Abbildung 3: Resultate des Versuches aus Abb. 2. Punkte = Endpunkte aller Einstellungen des Testabstandes in der horizontalen Ebene. (Abgeänderte Wiedergabe aus [1]).

sie der euklidischen Geometrie nahe kommt. In Zukunft wird untersucht, wie die obengenannten Einflussgrößen die Geometrie der Resultate aus Abb. 3 zu verändern vermögen. Als erste Parameter werden die Latenzzeit für die Bildgenerierung und die Objektkomplexität variiert. Dank des Einsatzes des MUSIC-Rechners kann die Latenzzeit auf Größenordnungen verkürzt werden, die für die Wahrnehmung nicht mehr erfassbar sind. Die hohe Rechenleistung erlaubt zudem die Durchführung der Versuche mit weitaus komplexeren Objekten.

## 3 Zusammenfassung

Die wahrgenommene Raumgeometrie wird durch Zufügen der Bewegungsparallaxe verbessert. Für die Nutzung dieser Erkenntnis bei der Darstellung von Objekten am Stereobildschirm, muss die dafür erforderliche Rechenleistung zur Verfügung stehen. Diese kann bei Anwendung der Bewegungsparallaxe bis ca. das 100 fache dessen betragen, was eine Darstellung statischer Stereobildpaare erfordert. Durch die quantitative Erfassung des Beitrages verschiedener für die Tiefenwahrnehmung wichtiger Faktoren, werden die Ergebnisse dieses Projektes ermöglichen, die Rechenleistung effizienter zu nutzen, ohne die Arbeitsleistung des Sehsystems des Menschen zu reduzieren.

## Literatur

- [1] A. Geiser: "Ergonomische Grundlagen für das Raumsehen mit 3D Anzeigen". DISS. ETH Nr. 10656, Zürich 1994.
- [2] B. Bäumle, P. Kohler, A. Gunzinger: "Interactive Parallel Rendering on a Multiprocessor System with Intelligent Communication Controllers". 1995 Parallel Rendering Symp., Oct. 30-31, Atlanta, pp. 89-95.
- [3] Gescheider G.G.: *Psychophysics*. Lawrence Erlbaum Assoc., Hillsdale etc. 1985, 2nd Ed.