

Autostereoskopische Bildschirme - 3D ohne Brille

Reinhard Börner

Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH Einsteinufer 37, D-10587 Berlin

Tel.: (030) 310 02-0, FAX.: (030) 310 02-213, E-mail.: boerner@HHI.DE

Dieser Bericht ist eine kurze Übersicht zu autostereoskopischen Linsen- und Streifenraster-Verfahren und deren technischer Anwendung auf Bildschirme, die im Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH (HHI) realisiert worden sind. Theorie, Berechnungskonzepte sowie messtechnische Auswertungen sind in weiteren wissenschaftlichen Berichten des Autors zu finden (siehe Kapitel 7 unter [1] bis [11]).

1. Aufnahme- und Wiedergabe von Raumbildern

Zur Erzeugung stereoskopischer Bildern werden zwei perspektivisch unterschiedliche Ansichten von einer Szene benötigt, die bei Wiedergabe von dem linken und rechten Auge *getrennt* gesehen werden müssen. Die Bilder werden entweder fotografisch oder elektronisch mit einer Stereokamera oder einem Computer erzeugt. Arbeiten hierzu sind unter zu finden [1],[3],[4]. Zur Wiedergabe der Raumbilder sind Betrachtungsgeräte wie optische Hilfen, Monitore oder Projektionssysteme erforderlich. In den **Tabellen 1 und 2** sind die verbreitetsten fotografischen und elektronischen Aufnahme- und Wiedergabeverfahren aufgelistet.

Aufnahmeseite	1 Fotoapparat auf optischer Bank für Stereobild Panoramabild fotografische Stereokamera Spezielle Panoramakamera viele Einzelperspektiven Panorama-Stereogramm
Wiedergabe durch Fotografie (Druck)	2 Stereoteilbilder für Stereobetrachtungsgerät (Linsen, Keile) gemeinsames Rotgrün-Bild für spezielle Farbfilterbrille Rasterbild hinter Linsenraster eine Stereoansicht stereoskopisches Panorama
Wiedergabe durch Projektion	Rotgrün-Brille (Schwarzweiß-Bilder) Polfilterbrille (auch Farbbilder)

Tabelle 1: Die wichtigsten fotografischen Stereo-Aufnahme und -Wiedergabeverfahren

Aufnahmeseite	2 separate Kameras Stereokamera viele Einzelkameras im Array für Panorama (Multikanalsystem)
Wiedergabe auf Monitoren	gemeinsames Rotgrün-Bild für spezielle Farbfilterbrille auf Monitor umschaltbare Polfilter vor Monitor bei Polfilterbrille Zeimultiplex-Bilder mit Shutterbrille auf Monitor elektronisch gerasterte Stereoteilbilder hinter Linsen- oder Streifenrastern Stereoteilbildtrennung durch richtungsselektive Beleuchtungssysteme im Monitor
Wiedergabe bei Front- oder Rück- projektion	Rotgrün-Brille (Schwarzweiß) Polfilterbrille (Farbe) Shutterbrille (Farbe) Linsenraster-Bildschirme (Farbe) Streifenraster-Bildschirme (Farbe)

Tabelle 2: Elektronische Stereo-Aufnahme- und Wiedergabeverfahren

2. Rasterverfahren

Räumliche Bildwiedergabe in zukünftigen Übertragungssystemen - wie z.B. bei einem zukünftigen Multimedia-System - wird eines Tages Standard sein, und die gegenwärtigen Stereobrillen werden dann nicht mehr akzeptiert werden. Bei dem von uns favorisierten Bildtrennungsv erfahren Stereobilder mit Linsen- oder Streifenraster-Bildschirmen wiedergegeben (**Bild 1**). Ein Nachteil dieses brillenfreien Verfahrens ist, daß die Betrachtung nur in kleinen Betrachtungszonen möglich ist. Diese Zonen sind trapezoid in horizontaler Ausrichtung (**Bild 2**). Außerhalb dieser Bereiche treten im Bildschirm Störungen auf. Bei vertikalen Bewegungen treten keine Bildstörungen auf. Der Linsenraster erweist sich dennoch durch spezielle technische Lösungen und bei speziellen Anwendungen als ein durchaus geeignetes optisches Verfahren, um eine für das rechte und linke Auge ausreichende Bildtrennung der mit einer Stereokamera aufgenommenen oder vom Computer erzeugten Stereoteilbilder zu erreichen.

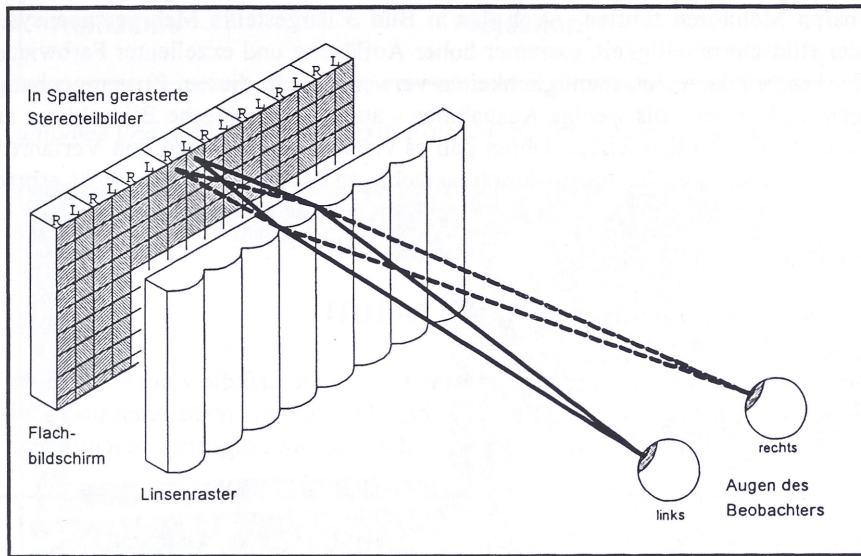


Bild 1: Bildtrennung durch Linsenraster

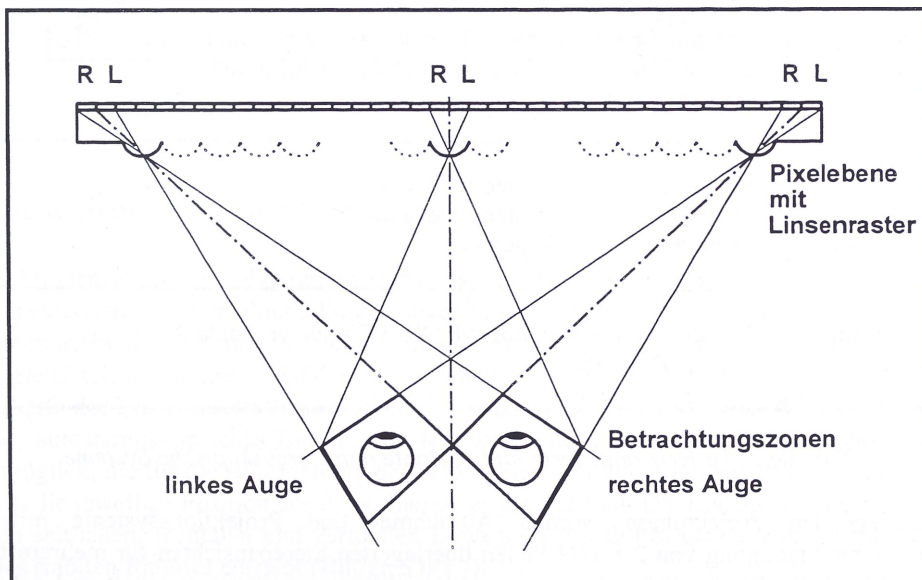


Bild 2: Betrachtungsbereiche für ungestörte Stereobilder beim Linsenraster

Das Hauptaugenmerk der Forschung im HHI richtet sich auf die Entwicklung von Rasterbildschirmen mit hoher Bildauflösung, guter Farbwiedergabe und hohem Kontrast, hoher und gleichmäßiger Bildschirmhelligkeit und geringem Übersprechen zwischen den optischen Stereokanälen (Auswirkungen von Übersprechen sind Doppelbilder). Zur Bildwiedergabe lassen sich konventionelle Display-Techniken verwenden. Einzelpersonen-Bildschirme für kleine bis mittlere Bilddarstellung auf Flachbildgerät lassen sich mit LC-Displays, Plasma-Displays und Elektrolumineszenz-Displays realisieren. Großbilddarstellung durch Front- und Rückprojektionsverfahren sollten Ein- und Mehrpersonen-Bildschirme sein und lassen sich mit CRT-, LC- und DMD-Videoprojektoren und LC-Overheadauflegern aufbauen. Bei Einzelpersonenbildschirmen läßt sich durch die in **Kapitel 4** beschriebenen Trackingverfahren der Bewegungsspielraum vor dem Bildschirm erweitern, bei mehreren Betrachtern müssen sogenannte Multikanalsysteme aufgebaut werden, technisch und von der Datenmenge her sehr aufwendige Systeme. Da zusätzlich die die Auflösung der Projektorpanels für Multikanalverfahren unzureichend sind, sind derartige Systeme nur in der Fotografie sinnvoll.

Als Mehrpersonenbildschirme wurden schon vor Jahren das sogenannte Moving Slid und das Varifokal Mirror Verfahren vorgestellt, die mit Zeitmultiplexen hoher Bildraten arbeiten, aber wegen gravierender Mängel bisher zu keinen brauchbaren Monitoren führten. Auch das in **Bild 3** dargestellte Mehrpersonensystem des HHI ist trotz hervorragender Bildschirmhelligkeit, extremer hoher Auflösung und exzellenter Farbwiedergabe wohl nur für Fotografie unter beschränkten Einsatzmöglichkeiten verwendbar. In diesem Zusammenhang kann wohl generell gesagt werden, daß bisher - bis wenige Ausnahmen - autostereoskopische Bildschirme nur für *einen* Betrachter geeignet sind. Gerade in den letzten Jahren gab es viele Ankündigungen von Verfahren zu Mehrpersonen-Bildschirmen, aber der Beweis zu einem funktionstüchtigen Modell ist bisher nicht erbracht worden. Dauerlicherweise ist bei kritischer Analyse aller vorgestellter Konzepte auch in Zukunft keine Lösung in Sicht.

3. Entwicklung von Raster-Bildschirmtypen im HHI

Das HHI hat in seinen Arbeiten nun eine Entwicklungstand erarbeitet, daß die von uns vorgestellten Bildschirme und Monitore den Stand von Industrie-Prototypen erreichen. Die von uns realisierten und geplanten autostereoskopischen Systeme sind in **Tabelle 3** zusammengefaßt und werden im Folgenden beschrieben.

Flachbildschirme	Einpersonen-Flachbildschirme mit 35cm - 45cm Diagonale LC- und Elektrolumineszenz-Bildschirme Plasmabildschirm mit 50cm - 75cm Diagonale geplant mittlere und hohe Auflösung
Frontprojektionen in Großbildschirme	Ein- und Mehrpersonen-Bildschirme mit 2,5m Diagonale Dia- und Videoprojektion; auch Multikanalsysteme höchste Auflösung
Rückprojektionen auf Einfach- und Doppellinsenraster	Einpersonen-Bildschirme mit 1,25m LC-Overhead- und Videoprojektion mittlere und hohe Auflösung
Rückprojektion auf Streifenraster	Einpersonen-Bildschirm mit 1,25m Diagonale geplant hohe Auflösung

Tabelle 3: *Im HHI realisierte und geplante autostereoskopische Systeme*

In der zurückliegenden Projektphase wurden Aufnahme- und Projektionssysteme mit Linsenraster-Großbildschirmen zur Erzeugung von 2 bis 24 vielen überlagerten Stereoansichten für mehrere Betrachter entwickelt (**Bilder 3 und 4**). Dazu wurden Kamera- und Projektionseinheiten entwickelt und gebaut [2],[3]. Im letzteren nehmen viele nebeneinanderliegende Kameras simultan eine Szene auf und alle Ansichten werden gleichzeitig über viele Projektoren in den Bildschirm projiziert und vom Raster-Bildschirm in den Zuschauer-raum örtlich exakt verteilt. Der Zuschauer ist dann in der Lage, bei seitlicher Bewegung im Raumbild "herumzuwandern" und "um die Ecke zu schauen" [5],[6],[7],[8].

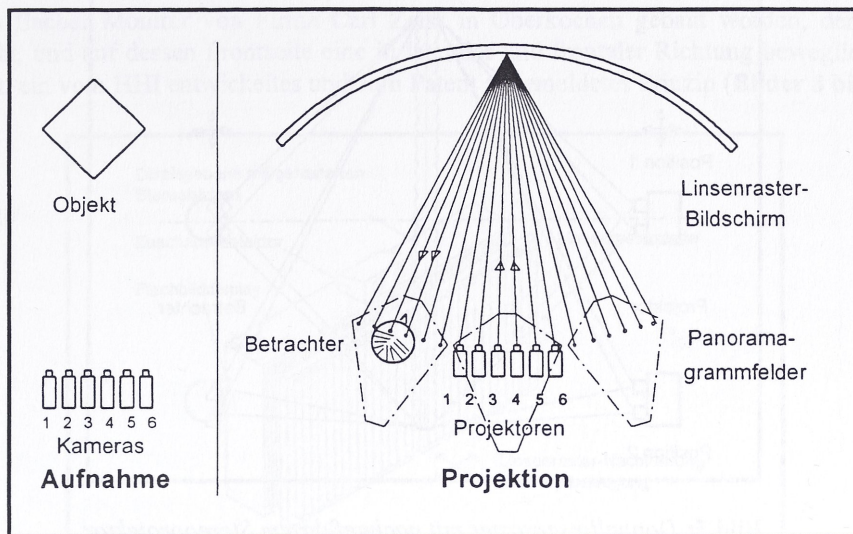


Bild 3: Aufnahme und Aufprojektion eines Parallax-Panorama-Stereogramms (Multikanalsystem)

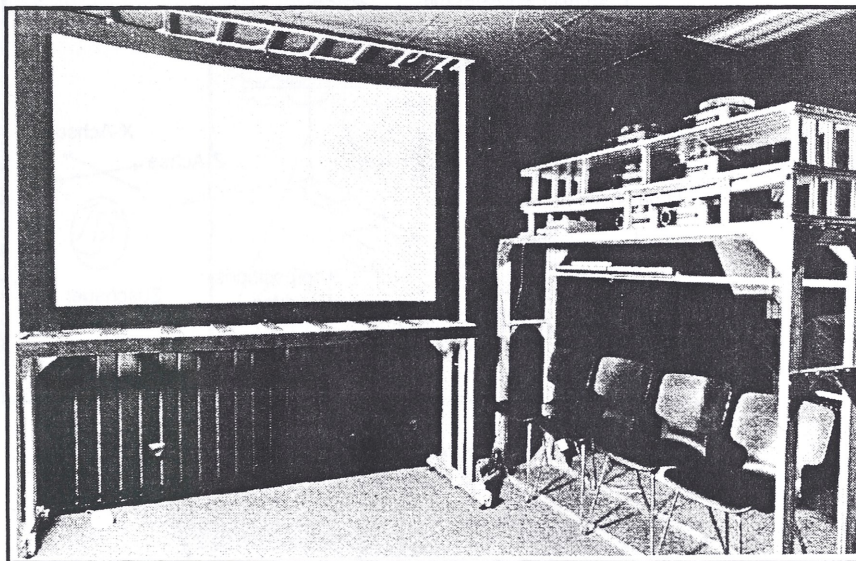


Bild 4: 3D-Frontprojektion (2,5m Diagonale) als Multikanalsystem

4. Rasterbildschirme mit "Head Tracker"

Die oben beschriebenen Multikanalsysteme liefern bei seitlicher und frontaler Kopfbewegung innerhalb großer Bereiche perspektivisch korrekte Raumbilder (Bewegungsparallaxe), die sich jedoch sprungförmig verändern (diskrete Stereoansichten im Panorama). Eine kontinuierliche Bewegungsparallaxe wäre nur mit einer extrem großen Zahl gleichzeitig projizierter Bilder zu erreichen. Der Aufwand an Projektoren und die erforderliche hohe Trennschärfe des Linsenrasterbildschirms stehen dieser Lösung jedoch entgegen. Als Alternative haben wir ein zweikanaliges, autostereoskopisches Linsenraster-Rückprojektionssystem durch ein Trackingsystem erweitert. Damit ist es möglich, die für die Bildtrennung der beiden Stereoteilbilder notwendige, selektive Abstrahlung des Bildschirmes an die jeweilige Position der Betrachteraugen anzupassen. Die Bildsignalquelle muß die veränderten Ansichten den seitlichen, frontalen und vertikalen Bewegung des Betrachters entsprechend liefern, so daß der Eindruck eines stabilen Raumes entsteht (Bilder 5 bis 7).

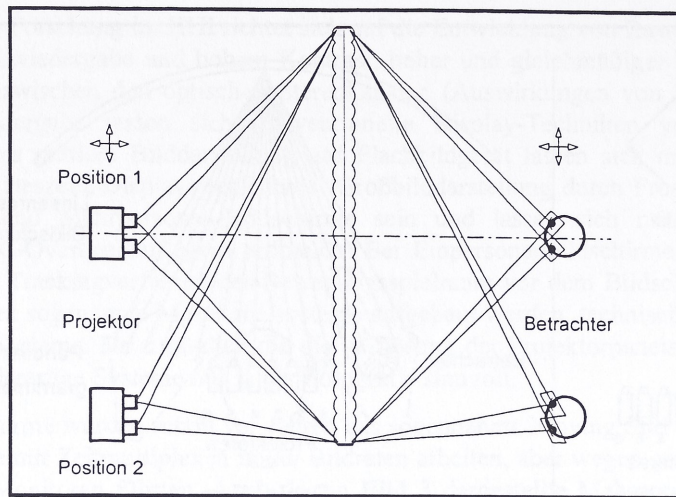


Bild 5: Doppellinsenraster mit nachgeführtem Stereoprojektor

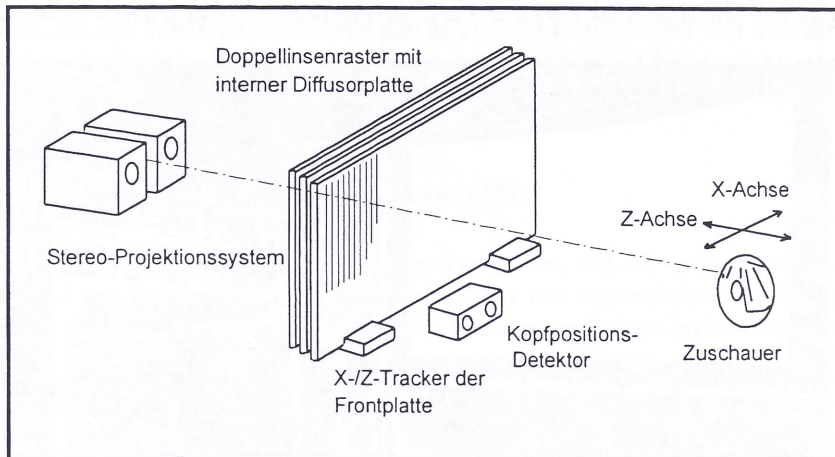


Bild 6 Doppellinsenraster mit Rasterplatten-Tracking

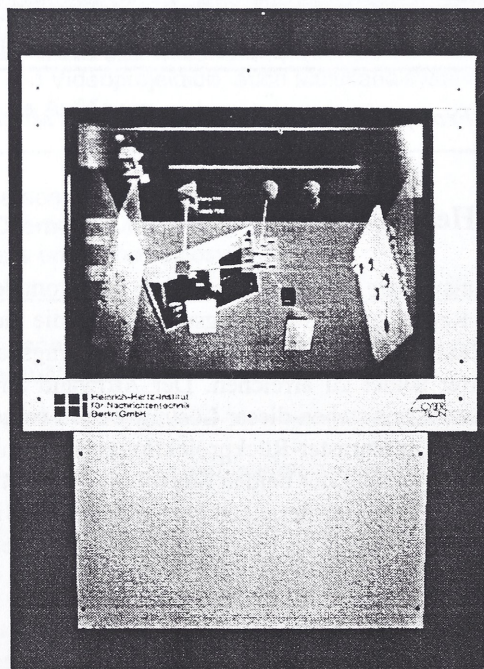


Bild 7: Aufbau eines 3D-Doppellinsenraster-Bildschirms für Rückprojektion mit 1,25m Diagonale

Weiterhin ist ein flacher Monitor von Firma Carl Zeiss in Oberkochen gebaut worden, der aus einem LC-Bildschirm besteht, und auf dessen Frontseite eine in lateraler und frontaler Richtung bewegliche Linsenrasterplatte befestigt ist, ein vom HHI entwickeltes und zum Patent angemeldetes Prinzip (Bilder 8 bis 10).

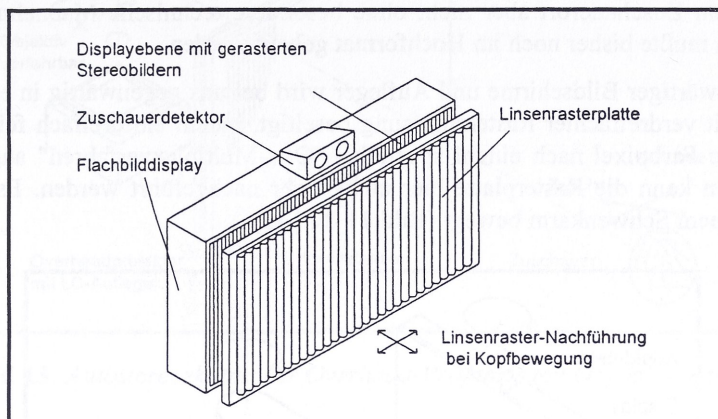


Bild 8: Autostereoskopischer Flachbildschirm mit Linsenraster-Tracking

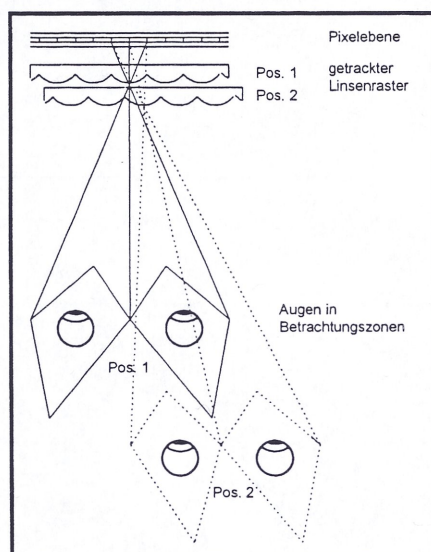


Bild 9: Bewegliche Linsenrasterplatte zur Bildstrahlennachführung

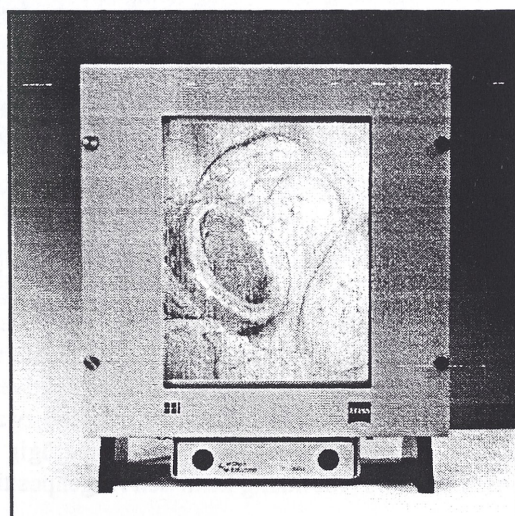


Bild 10: 3D-Flachbildschirm (14in Diagonale) mit Rasterplatten-Tracking für Medizintechnik von Carl Zeiss in Oberkochen

Diese Platte wird von einem auf dem Bildschirm installierten Detektionssystem zur Erfassung der Kopfposition angesteuert und bewegt. Dadurch werden bei Kopfbewegungen alle Bildpunkte (Pixel) der gerasterten Stereoteilbilder - getrennt für das linke und das rechte Auge - nur im Bereich der Augenpupillen sichtbar [10]. Wegen der in Flachbildschirmen und Overhead-Auflegern üblicherweise horizontal angeordneten Farbtripel können mit Rastern die 3 Farben am Zuschauerort aber nicht ohne besondere technische Maßnahmen vereint abgebildet werden. Der Bildschirm mußte bisher noch im Hochformat gebaut werden.

Dieses Handicap gegenwärtiger Bildschirme und Aufleger wird bei uns gegenwärtig in einem nun querformatigen Flachbildschirm mit verdreifachter Rasterauflösung beseitigt, indem ein dreifach feineres Linsenraster fest aufgesetzt wird und die Farbpixel nach einem speziellen "Orts-Multiplexverfahren" angesteuert werden. Aus Gründen der Toleranzen kann die Rasterplatte hier nicht mehr nachgeführt werden. Es wird statt dessen der gesamte Monitor auf einem Schwenkarm bewegt (Bild 11 und 12).

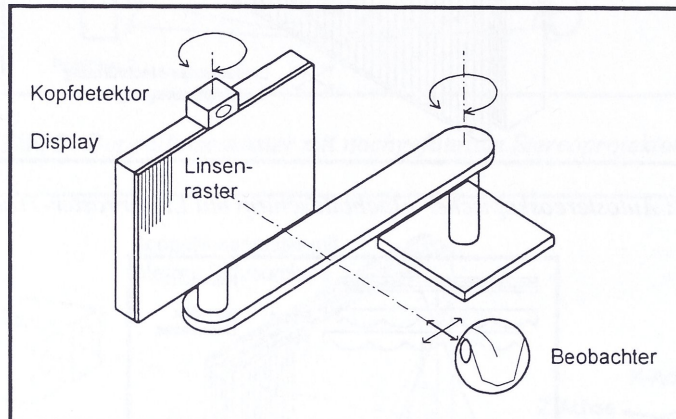


Bild 11: Autostereoskopischer Flachbildschirm auf Robotarm mit Display-Nachführung

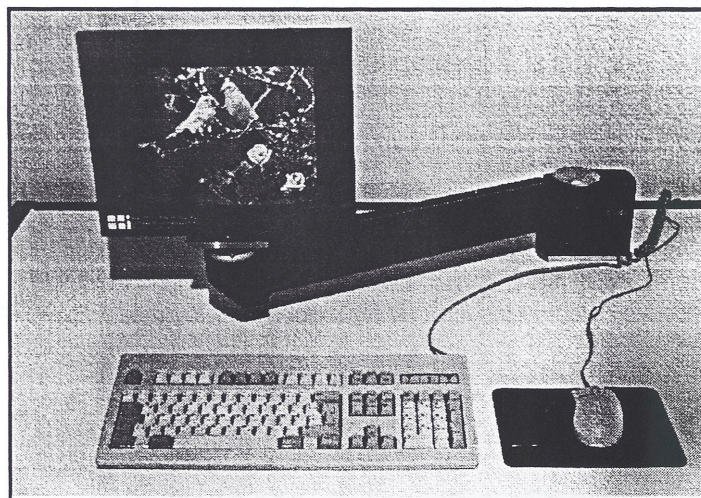


Bild 12: Aufbau eines querformatigen 3D-Bildschirms (14in Diagonale) auf einem Robotarm

Eine weiterer Großbildschirm ist entstanden, bei dem die Komponenten der Rückprojektion in ein großes, geschlossenes Monitorgehäuse eingebaut sind. Ein Overhead-Projektor mit aufgesetztem LC-Farbaufleger projiziert die gerasterten Bildern auf eine Diffusorscheibe und bildet diese vergrößert ab. Vor der Diffusorscheibe ist ein Linsenraster angeordnet, der die gesamte Bildinformation in die Betrachteraugen getrennt richtet. Das Nachführen der Bildstrahlen wird hier durch Verschieben des Projektionsobjektives erreicht, welches ebenfalls von einem Detektionssystem zur Kopfpositionserfassung angesteuert wird. Und zwar wird das Objektiv bei seitlicher Kopfbewegung seitlich, bei frontaler Betrachterbewegung axial geringfügig verfahren. Dadurch verschieben sich die Pixelraster hinter den Linsen und ihre Abbildung kann den Augenpositionen folgen (Bild 13 und 14).

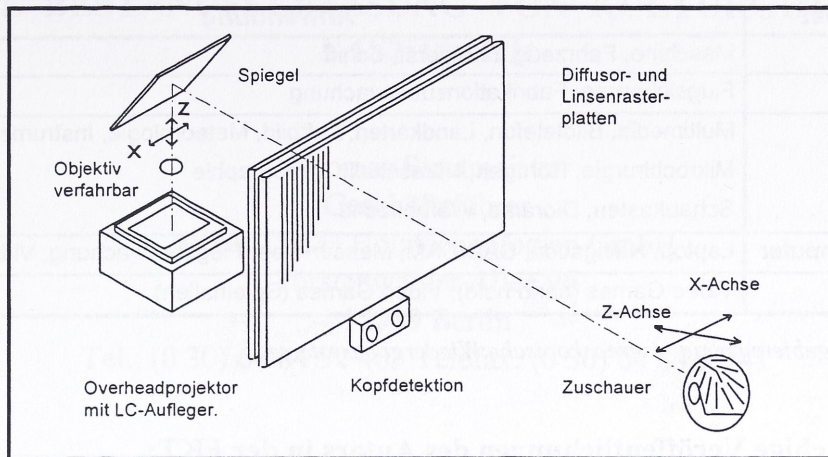


Bild 13: Autostereoskopischer Overhead-Projektor mit Objektiv-Tracking

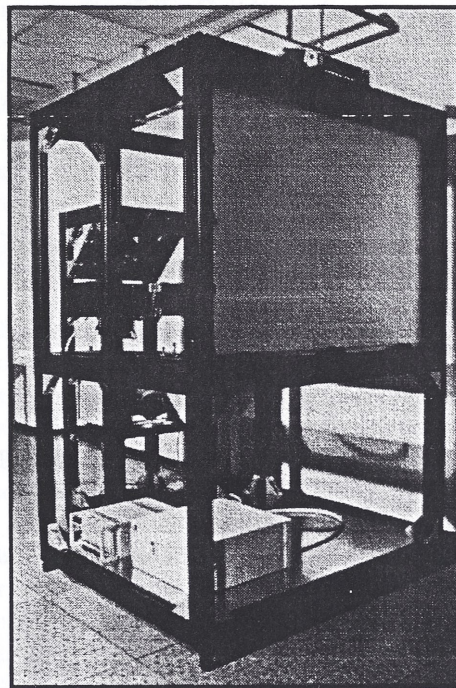


Bild 13: 3D-Großmonitor (1,25m Diagonale) mit Overhead-Auflieger und Rückprojektion (geöffnet)

5. Anwendungen von 3D-Bildschirmen

In **Tabelle 4** ist die ganze Bandbreite der Anwendungsmöglichkeiten aufgelistet. Darüber hinaus soll die Forschung und Entwicklung von 3D-Geräten im HHI aber auch als ein Beitrag zum nächsten Evolutionsschritt in der Entwicklung des Fernsehens verstanden werden, selbst wenn wir das autostereoskopische Fernsehgerät im Heim noch in ferner Zukunft sehen.

<i>Einsatzgebiet</i>	<i>Anwendung</i>
Simulator	Maschine, Fahrzeug, Fluggerät, Schiff
Leitwarte	Flugsicherung, Fabrikationsüberwachung
Kommunikation, Medizin, Werbung	Multimedia, Bildtelefon, Landkarten, Luftbild, Meteorologie, Instrumentenanzeige Mikrochirurgie, Röntgen, Ultraschall, Tomographie Schaukasten, Diorama, Werbefläche
Arbeitsplatz-Computer	Laptop, Navigation, CAD/CAM, Manövrieren, Flugüberwachung, Video Conferencing
Game Machines	Video Games (hand held), Video Games (Spielhallen)

Tabelle 4: Einsatzgebiete für autostereoskopische Wiedergabesysteme

7. Deutschsprachige Veröffentlichungen des Autors in der FKT:

- [1] Börner, R.: 3D-Bildprojektion in Linsenrasterbildschirmen
Teil 1. Die photographischen Aufnahme- und Wiedergabeverfahren von Stereogrammen
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 39. Jahrgang, Nr 8/1985, S. 383-387
- [2] Börner, R.: 3D-Bildprojektion in Linsenrasterbildschirmen
Teil 2. Der Linsenrasterschirm
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 39. Jahrgang, Nr 9/1985, S. 431-435
- [3] Börner, R.: 3D-Aufnahme- und Wiedergabeverfahren in Theorie und praktischer Anwendung, Teil 1
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 41. Jahrgang, 3/1987, S. 81-95
- [4] Börner, R.: 3D-Aufnahme- und Wiedergabeverfahren in Theorie und praktischer Anwendung, Teil 2
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 41. Jahrgang, 4/1987, S. 145-149
- [5] Börner, R. und Dippel, U.: Optische Untersuchungen an Linsenrasterschirmen für 3D-Projektion
Teil 1. Allgemeine Untersuchungen
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 42. Jahrgang, Nr. 8/1988, S. 371-376
- [6] Börner, R. und Dippel, U.: Optische Untersuchungen an Linsenrasterschirmen für 3D-Projektion
Teil 2. Verbesserung der Selektivität von Rasterschirmen für projizierte Parallaxpanoramagramme durch optische Korrektur
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 42. Jahrgang, Nr. 9/1988, S. 428-434
- [7] Börner, R.: Autostereoskopische 3D-Systeme mit Zwischenbildern
Teil 1: Linsenrasterbildschirm und Aufnahme- und Projektionsgerät für autostereoskopische (brillenlose) 3D-Bildwiedergabe
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 44. Jahrgang, Nr. 10/1990, S. 556-564
- [8] Börner, R.: Autostereoskopische 3D-Systeme mit Zwischenbildern
Teil 2: Interokulare Zwischenbilder und das Springen diskreter Stereoperspektiven ("flipping") in Parallax-Panoramastereogrammen
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 44. Jahrgang, Nr. 11/1990, S. 628-639
- [9] Börner, R.: Autostereoskopisches 3DTV nach dem Linsenrasterverfahren
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 45. Jahrgang, Nr. 9/1991, S. 453-455
- [10] Börner, R.: Autostereoskopische Rückprojektions- und Flachbildschirme
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 48. Jahrgang, Nr. 11/1994, S. 594-600
- [11] Börner, R.: Autostereoskopischer Doppellinsenraster-Bildschirm mit getrackten Projektoren
FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, 51. Jahrgang, Nr. 4/1997, S. 249-255

Der Autor bedankt sich hier bei seinen Mitarbeitern B. Duckstein, O. Machui, H. Roeder, T. Sinnig für die erfolgreiche Zusammenarbeit. Besonderer Dank gilt dem BMBF (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie), ohne dessen finanzielle Unterstützung die gesamte Projektarbeit nicht möglich gewesen wäre. Für die Veröffentlichung ist der Autor allein verantwortlich.