

# Kuppelprojektor

Stefan Riehemann, Martin Palme, Gerd Harnisch, Gunther Notni



Stefan Riehemann

## Einleitung

In vielen Applikationen ist die Projektion von Bilddaten in eine Halbkugel notwendig, wie zum Beispiel bei (Flug-) Simulatoren, Planetarien oder ophthalmologischen Untersuchungsgeräten. Aktuelle Anordnungen hierfür sind High-End-Systeme im Hochpreissegment, meistens basierend auf Rückprojektion mit bis zu 60 einzelnen Display-Projektoren /1/ oder Laser-Frontprojektion mit mehreren Projektoren /2/. Diese komplexen Systeme erfordern zwar nur Optiken mittlerer Qualität, ein perfektes Bild hinsichtlich Verzeichnungsfreiheit und Bildhomogenität muss aber über sehr leistungsfähige Rechentechnik aus den einzelnen, projizierten Segmenten elektronisch zusammengesetzt und angepasst werden.

Wir haben einen Kuppelprojektor mittels Frontprojektion realisiert /3/, welcher mit einem einzigen Projektor auskommt. Dieses System wurde für den Einsatz in kleinen Halbkugeln (Durchmesser 60–100 cm) der ophthalmologischen Diagnostik konzipiert. Das Hauptziel dieser Systementwicklung war es, einen 160° Kuppelprojektor mit einer hochwertigen Optik, aber einem Standard Video-Eingangssignal (24 bit Vollfarbe vom PC) zu realisieren.

## Systemrealisierung und Spezifikationen

Vor der Realisierung eines Kuppelprojektionssystems für die ophthalmologische Diagnostik mussten in der Planungsphase einige aus der Anwendung resultierende technische und optische Randbedingungen berücksichtigt werden:

- Projektion in eine Halbkugel, Raumwinkelbereich mindestens  $\pm 80^\circ$ ,
- Echtfarbenprojektion (24 bit Farbraum) mit hoher Leuchtdichte notwendig,
- keine sequentielle Farbgenerierung erlaubt (über Farbrad oder ähnliches).

# Dome projector

Stefan Riehemann, Martin Palme, Gerd Harnisch, Gunther Notni

## Introduction

Dome projection is required for a wide variety of applications, such as (flight) simulators, planetariums, and ophthalmologic diagnostics. Recent systems for simulation domes are high-end and high-cost solutions based on multiple rear projection displays (up to 60 projectors, /1/) or laser front projection with multiple projectors /2/. These complex systems require only medium quality optics, but very high performance image processing equipment to ensure that the image is perfectly matched and to generate a uniform image quality.

We developed a front projection dome display /3/ with only one projector, mainly designed for small spheres in ophthalmologic diagnostics (diameter 60–100 cm). The purpose of this system is to generate a 160° dome projection with full color video input from a standard PC and high quality projection optics.

## System realization and specifications

For the completion of a dome projection system for ophthalmologic diagnostics, some technical and optical restrictions must be taken into account. These constraints had to be considered while realizing this projection system:

- projection inside a dome of at least  $\pm 80^\circ$
- full color, high brightness projection necessary
- no sequential color processing allowed (with color wheel or something similar)



Martin Palme



Gerd Harnisch



Gunther Notni

Entsprechend diesen Systemanforderungen wurde ein entsprechendes Projektionssystem realisiert. Ein Ultra-Weitwinkelobjektiv realisiert die  $\pm 80^\circ$  Kuppelprojektion, ein 3-Chip LCoS-Projektor mit farbteilender Polarisationsoptik die Farbprojektion. Das Layout des vollständigen optischen Systems ist in Abb. 1 zu sehen, der Abbildungsstrahlengang des blauen Farbkanals in Abb. 2. Die Projektion realisiert hierbei auf der Objektseite (LCoS-Display) einen quasi telezentrischen Strahlengang. Vor jedem LCoS-Display ist zudem eine Feldlinse platziert. Im Weitwinkelobjektiv ist eine  $90^\circ$  Strahlumlenkung eingefügt, um die beste Projektionsposition im Gesamtgerät zu erzielen. Ein zusätzlicher Aspekt des Systemdesigns war die Realisierung einer hohen Modularität, um einzelne Komponenten des Systems gegen neue, leistungsfähigere Entwicklungen leicht austauschen zu können.

Die Leistungsdaten des neu entwickelten Kuppelprojektionssystems können wie folgt zusammengefasst werden:

- Beleuchtungsstärke im projizierten Bild ca. 800 lx (Lichtstrom ca. 500 lm),
- Homogenität der Bestrahlungsstärke im projizierten Bild  $> 75\%$ ,
- laterale chromatische Aberration  $< 200\ \mu\text{m}$  ( $< 1/4$  der projizierten Pixelgröße),
- optische Auflösung (spot size)  $< 280\ \mu\text{m}$  ( $< 1/4$  der projizierten Pixelgröße), Modulationstransferfunktion  $> 70\%$  absolut für alle Raumfrequenzen bis hinunter zur Pixelgröße im ganzen Kuppelbereich (siehe Abb. 3).

Da dieses Projektionssystem etliche aus der Anwendung resultierende optische und geometrische Vorgaben erfüllen muss, können die Leistungsdaten nicht 1:1 mit denen kommerziell erhältlicher Multimedia-Beamer verglichen werden, da diese die Randbedingungen nicht erfüllen.

Abb. 1:  
160° Kuppelprojektor mit einer 3-Display LCoS Farbprojektionseinheit: prinzipielles Layout der Optik des Projektors.

Fig. 1:  
160° sphere projector with 3-chip LCoS color projection: principle layout of the projectors optic.

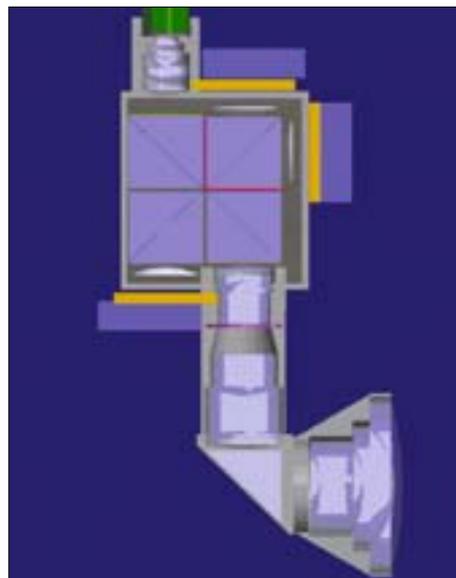
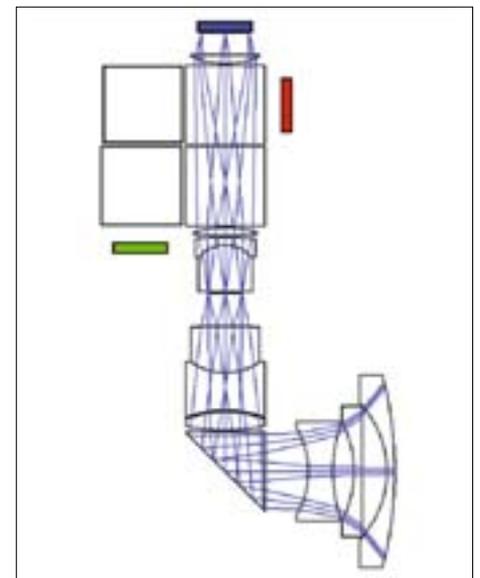


Abb. 2:  
160° Kuppelprojektor mit einer 3-Display LCoS Farbprojektionseinheit: Abbildungsstrahlengang für den blauen Farbkanal.

Fig. 2:  
160° sphere projector with 3-chip LCoS color projection: imaging ray trace for the blue channel.



According to these system requirements, a projection system was realized. An ultra wide-angle projection lens achieves the  $\pm 80^\circ$  dome projection. A three-chip LCoS projector and color splitting polarization optics perform full color projection. The complete optical system is schematically plotted in Fig. 1.

Fig. 2 outlines the imaging ray trace from the blue channel. As can be seen, the projection lens produces a quasi-telecentric ray trace on the LCoS side. In front of the LCoS display, a field lens is placed. A  $90^\circ$  redirection is included in the projection lens to ensure the best projection position of the system within the complete ophthalmologic diagnostic instrument. An additional aspect of the system design was to

ensure modularity so that individual components can easily be exchanged in response to new developments. The newly developed dome projection system can be characterized by the following parameters:

- illuminance within the projected image approximately 800 lx (luminous flux approx. 500 lm)
- illuminance homogeneity within the projected image  $> 75\%$
- lateral chromatic aberration  $< 200\ \mu\text{m}$  ( $< 1/4$  of the projected pixel size)
- optical resolution (spot size)  $< 280\ \mu\text{m}$  ( $< 1/4$  of the projected pixel size), modulation transfer function better than 70 % absolute for all spatial frequencies down to the pixel size for the whole dome (see Fig. 3)

As this new projection system has to fulfill many optical and geometrical restrictions, the optical performance of this system cannot be compared directly with standard multimedia beamers, as these commercially available beamers do not fulfill these constraints.

Abb. 3: Modulationstransferfunktion im projizierten Bild.

Fig. 3: Modulation transfer function in the projected image.

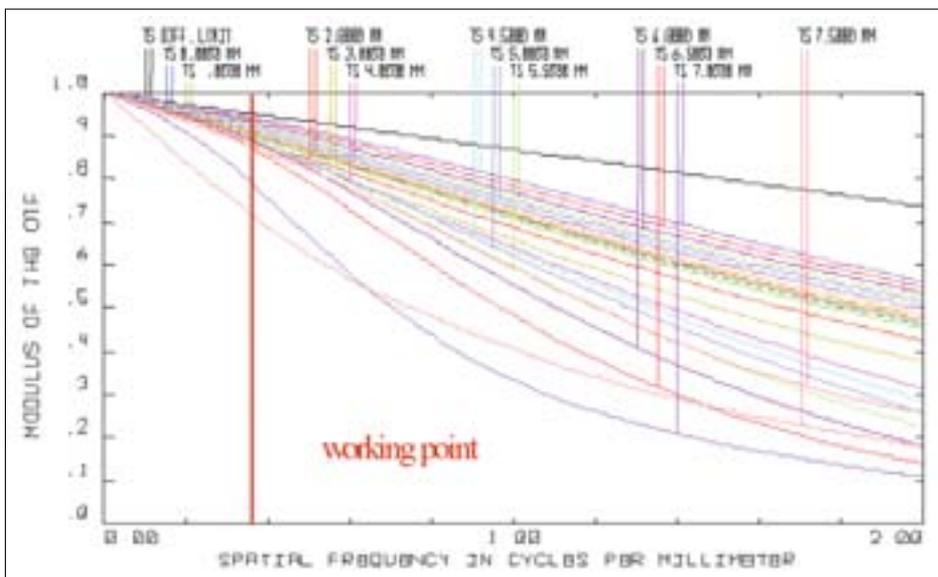
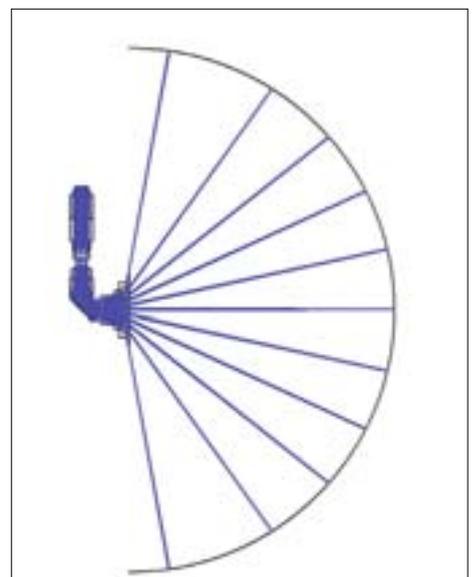


Abb. 4: 160° Kuppelprojektor: Abbildungsstrahlengang in der Halbkugel.

Fig. 4: 160° sphere projector: imaging ray trace inside the sphere.



## Systemintegration

In Abb. 4 ist das Projektionssystem in seiner Arbeitsposition in einer 60 cm-Kugel dargestellt, wobei der Abbildungsstrahlengang wiedergegeben ist.

Das realisierte Projektionssystem mit mechanischen Halterungen und Gehäusebauteilen sowie der Displayelektronik kann in Abb. 5 gesehen werden. Bestimmungen des Medizinproduktegesetzes (thermische und elektrische Aspekte) mussten bei der konstruktiven Umsetzung beachtet werden. Unter Nutzung einer 300 W Cermax Lampe und eines Flüssigkeitslichtleiters wurde mit dem Projektionssystem ein Lichtstrom von mehr als 500 lm erreicht.

Die Anordnung und Montage des Projektionssystems innerhalb einer 60 cm-Halbkugel für die ophthalmologische Diagnostik ist in Abb. 6 wiedergegeben. Der Projektor befindet sich seit-

lich neben dem zu untersuchenden Auge, dessen Sichtfeld mittels objektiver, multifokaler Perimetrie untersucht werden soll. Für die Untersuchung des anderen Auges kann das Projektionssystem 180° um die optische Achse des Gesamtsystems geschwenkt werden.

## Zusammenfassung

Mikrodisplays öffnen in medizinischen Anwendungen interessante Perspektiven für neue Messtechniken, neue Systemkonzepte und erweiterte Anwendungsgebiete. Für die perimetrische Diagnostik wird zur multifokalen Stimulation des Auges erstmals die Projektion beliebiger Muster in eine Kuppel ermöglicht. Die Kombination dieses Stimulationsprinzips mit der Kuppelprojektion eröffnet neue Perspektiven in der medizinischen Diagnostik /4/.

In der Kuppelprojektion sind generell Systeme mit einer Standardschnittstelle zu konventioneller elektronischer Bildatenerstellung (z. B. Standard-PC oder Video) von Interesse.

Systeme mit nur einem Projektor bieten diese Möglichkeit, benötigen aber speziell an die kugelförmige Projektionsfläche adaptierte, hochwertige Objektive. Das präsentierte optische System eröffnet neue Anwendungsgebiete für die Kuppelprojektion, in der bisherige Hochpreissysteme noch nicht Fuß fassen konnten. Kuppelprojektion mit nur einem Projektor sowie medizinische Diagnosesysteme stellen neue Anwendungsgebiete für Mikrodisplays dar – beides Nischenmärkte der Hochtechnologie mit hohem Potential. Für diese Anwendungsfelder sind jedoch immer speziell angepasste optische Systeme notwendig. Das optische Design wird somit in der Entwicklung entsprechender Systeme eine Schlüsselstellung einnehmen.

### Literatur:

- /1/ Blackham, G.: „Recent Advances in Dome Display Systems“, SID 2000 Digest (2000) 968–971.
- /2/ [www.zeiss.de/de/planetarium/home.nsf/78be232b5368b1b2c12566fe003b2602/89628edaacd56872c1256cbf0038e2a3?OpenDocument](http://www.zeiss.de/de/planetarium/home.nsf/78be232b5368b1b2c12566fe003b2602/89628edaacd56872c1256cbf0038e2a3?OpenDocument)
- /3/ Riehemann, S.; Palme, M.; Kuehmstedt, P.; Notni, G.: „LCoS Based Projection Systems for Optical Metrology“, SID 2002 Digest (2002) 256–259.
- /4/ Patente DE19855848A1, DE19961323A1, DE10146330A1, DE10140871A1.

Abb. 5:  
Foto des Kuppelprojektors.

Fig. 5:  
Photo of the dome projector.



## System integration

In Fig. 4, the projection system is arranged in its working position inside a 60cm diameter sphere and the imaging ray trace of a projected image is outlined. The optical system constructed, including mechanical mounting, electronics and housing, can be seen in Fig. 5. Safety regulations for medical products (thermal and electrical constraints) have been considered while constructing the projector. Utilizing a 300 W Cermax lamp and a fiber optic illumination, a luminous flux of more than 500 lm can be achieved. The principle behind the positioning and mounting of the projector inside a 60 cm diameter dome for ophthalmologic diagnostics are outlined in Fig. 6. The projector is located at the temporal side of the eye whose viewing field should be investigated by objective, multifocal perimetric diagnostics. For investigating the other eye, the complete projection system can be rotated by 180°.

## Summary

Micro-displays in medical applications offer interesting perspectives for new measuring devices, new system concepts and extended application areas. For perimetric diagnostics they can provide the projection of any arrangement of patterns for multifocal stimulation of the eye. This stimulation principle in combination with dome projection has not been realized up until now and offers new perspectives in medical diagnostics /4/. For dome projection, systems which can interface with standard electronic image processing equipment (PC or video) are of special interest. Single projector systems offer this interface, but require specially designed optics for projection onto or inside a dome surface. Thus, the optical system presented opens up new application areas for low-cost dome projection systems in medical and non-medical fields. Single projector dome projection and medical diagnostics are both new application areas for micro-

displays. Both of which are high technology niche markets with high potential. But for all these devices, specially adapted optical systems are required. Thus, optical design will play a key role in the development of suitable systems.

### References:

- /1/ Blackham, G.: „Recent Advances in Dome Display Systems“, SID 2000 Digest (2000) 968–971.
- /2/ [www.zeiss.de/de/planetarium/home.nsf/78be232b5368b1b2c12566fe003b2602/89628edaacd56872c1256cbf0038e2a3?OpenDocument](http://www.zeiss.de/de/planetarium/home.nsf/78be232b5368b1b2c12566fe003b2602/89628edaacd56872c1256cbf0038e2a3?OpenDocument)
- /3/ Riehemann, S.; Palme, M.; Kuehmstedt, P.; Notni, G.: „LCoS Based Projection Systems for Optical Metrology“, SID 2002 Digest (2002) 256–259.
- /4/ Patents DE19855848A1, DE19961323A1, DE10146330A1, DE10140871A1

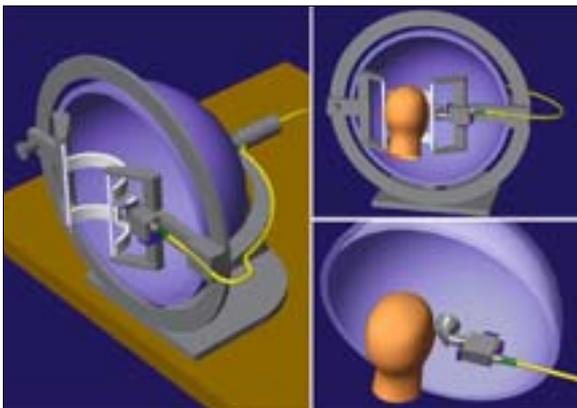


Abb. 6:  
Unterschiedliche Ansichten des Projektors in einer 60 cm-Untersuchungshalbkugel der Ophthalmologie.

Fig. 6:  
Different views of the projector inside a 60 cm diameter dome for ophthalmologic diagnostics.