

AUFBAU UND INTEGRATION EINER LEISTUNGSFÄHIGEN SICHTSIMULATION MIT COMMERCIAL OFF THE SHELF - TECHNOLOGIE

T. Gerlach

Institut für Flugsystemtechnik

Abteilung für Flugdynamik und Simulation

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V.

Lilienthalplatz 7, 38106 Braunschweig

Deutschland

Zusammenfassung

Die realistische visuelle Repräsentation der Umwelt stellt aufgrund ihrer Komplexität sehr hohe Anforderungen an die zu verwendende Hard- und Software. Besonders in der Flugsimulation wird die Akzeptanz eines Simulators maßgeblich durch den Sichteindruck geprägt. Die hochauflöste Darstellung dreidimensionaler Objekte hat im Bereich der Helikoptersimulation eine große Bedeutung. Zur Erreichung einer hohen Simulationsgüte führt das Institut für Flugsystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt e.V. eine Erneuerung des Sichtsystems des *Flying Helicopter Simulator*-Bodensimulators durch. Durch die Verwendung von *Commercial Off The Shelf*-Komponenten wird ein hoher technologischer Standard zu akzeptablen Kosten erreicht. Dies umfasst u. a. den Einsatz von professionellen Heimkinoprojektoren und Image Generatoren mit Komponenten aus der Computerspielindustrie. Diese Arbeit gibt einen Einblick in die Konzepte, Möglichkeiten und Umsetzung bei der technischen Erneuerung dieses Sichtsystems.

1. EINLEITUNG

Flugsimulation stellt besonders hohe Anforderungen an die virtuelle Außendarstellung. Seit die moderne Technik immer leistungsfähigere Hardware für den Endkunden herstellt, vollzieht sich ein technologischer Wandel auch im Bereich der professionellen Simulation. Aktuelle Grafikkarten sind in der Lage riesige Polygongruppen und Texturen mit konstant hoher Frame rate zu verarbeiten. Auch die Projektionstechnologie findet einen stärker werdenden Absatzmarkt bei den Heimkinosystemen. Projektoren mit FullHD-Auflösung (1920x1080 Pixel) sind bereits im dreistelligen Preissegment zu finden. Um den technologischen Vorteil auch in den vorhandenen Simulatoren des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt e.V. (DLR) zu nutzen, wird eine permanente Erneuerung der Komponenten angestrebt. Besondere Anforderungen stellt der Systemsimulator des *Flying Helicopter Simulator* (FHS) dar. Der FHS ist ein modifizierter Eurocopter EC-135, mit der Fähigkeit als fliegender Simulator

zu agieren. Er wurde mit speziellen Rechnergemeinschaften für Modellfolgeregelung [1], neuartigen haptischen Geräten, z. B. aktive Sidesticks [2], und experimentellen Displays ausgerüstet [3]. Zur kosteneffektiven Nutzung dieses Fluggerätes ist ein spezieller Simulator aufgebaut worden. Er stellt ein bodengebundenes Duplikat dar und simuliert die natürliche Umgebung des Hubschraubers virtuell. Dazu gehören ein DLR eigenes dynamisches Modell, elektrische und aktive Steuerkraftsysteme, ein identisches Experimentalsystem und ein Projektionssystem mit eigener Sichtsimulation.

Im Rahmen einer Großinvestition besteht im Jahr 2009 die Möglichkeit das Projektionssystem einschließlich der Image Generator zu erneuern. Bild 1 zeigt den Simulator mit dem bisherigen Sichtsystem. Der Pilot erhält die visuelle Repräsentation durch eine Zweikanalrückprojektion. Da der Experimentalpilot auf der rechten Seite im Cockpit sitzt, war ein solcher Aufbau ausreichend. Zwei CRT-Projektoren mit je 1280x1024 Pixel Auflösung werfen ihr Bild über Spiegel auf eine diffus transparente Kunststoff-

leinwand. Die Bilderzeugung übernimmt ein Intel Dual Xeon PC mit einer Nvidia Geforce Quadro FX 4500 Grafikkarte. Die Render Engine zur Darstellung der virtuellen Welt ist der *RealTime Image Generator* (RTIG). Diese DLR eigene Software ermöglicht eine performante und flexible Darstellung.



BILD 1. FHS-Systemsimulator Ende 2008

Beim Upgrade des Projektionssystems steht vor allem die Leistungsfähigkeit und Immersion im Vordergrund. Allerdings muss auch die kostengünstige Realisierung beachtet werden. Aus diesem Grund wird vornehmlich *Commercial Off The Shelf* (COTS)-Hardware und Software verwendet.

2. ANFORDERUNGEN

Der Umbau des Projektionssystems hat mehrere stark beeinflussende Faktoren. Dies sind zum einen der finanzielle Aspekt, der auf der technologischen Seite berücksichtigt werden muss und zum anderen die infrastrukturelle Komponente des Gebäudes, welche sich direkt auf das einzusetzende Konzept auswirkt. Grundsätzlich ergeben sich folgende Anforderungen die sich aus gemeinsamen Diskussionen mit den Entwicklern und Nutzer ergaben.

- Ca. 180° horizontales Field of View (FOV)
- 70° - 80° vertikales FOV
- Ca. 3,50m Durchmesser
- Mind. 2,00m Projektionshöhe
- Möglichst hohen vertikalen Auflösung (≥ 2000 Pixel)
- Ausreichende Lichtstärke
- Hoher Kontrast
- Projektion über Spiegel möglich

Bild 2 zeigt den ursprünglichen Aufbau in einer Draufsicht.

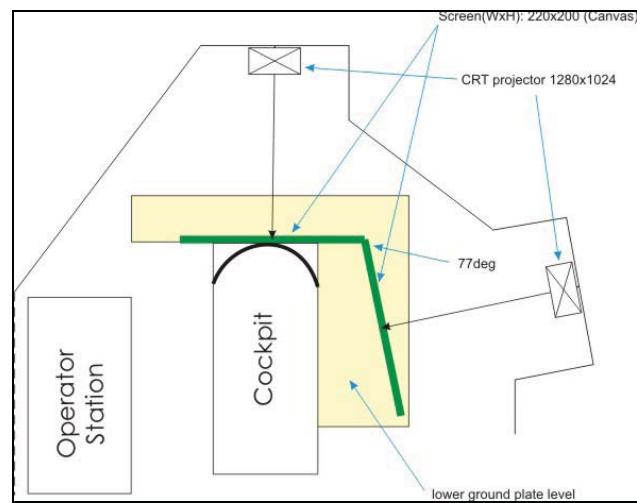


BILD 2. Originaler Aufbau

Die bestehende Aluminiumverkleidung der alten Projektion ist Bestandteil der räumlichen Aufteilung und kann nur minimal verändert werden. Daraus ergeben sich unterschiedliche Abstände zum Projektsmedium. Das Cockpit kann nicht bewegt werden. Die datentechnische Versorgung ist durch einen begehbaren Druckboden gesichert.

Um eine optimale Darstellungsqualität zu erhalten gelten folgende projektionsspezifische Anforderungen.

- Vermeidung eines zu starken Hotspots der Projektoren
- Vermeidung eines sichtbaren Blendingbereichs in dunklen Szenarien
- Minimierung von Helligkeitsverschiebung an den Rändern eines Kanals
- Verwendung eines

Der hohe vertikale sichtbare Bereich wird durch einen sehr kurzen Betrachtungsabstand erreicht. Aus diesem Grund wird die Leinwand direkt vor dem Cockpit platziert. Somit ist nur eine Rückprojektion möglich.

3. KONZEPTE

3.1. 12-Kanal Zylindrisch SXGA+

Diese Möglichkeit nutzt zwei übereinander angeordnete, vertikal gedrehte SXGA+ Projektoren (1440x1050 Pixel) die einen horizontalen Überblendungsbereich besitzen. Man erreicht

ca. 2500 Pixel Vertikalauflösung. Die Projektorenpaare werden entsprechend nebeneinander angeordnet und bilden in Abhängigkeit vom Blendbereich 6-7 Streifen. Vorteilhaft ist die erreichte sehr hohe Auflösung und hohe Lichtstärke. Nachteilig wirken sich die große Projektorenzahl aus. Es entsteht ein erheblicher Wartungsaufwand und Energieverbrauch. Zusätzlich entstehen vierfach Überblendungsbereiche in der Leinwandmitte.

Nachfolgendes Bild 3 zeigt den möglichen Konstruktionsbereich einer zylindrischen Leinwand.

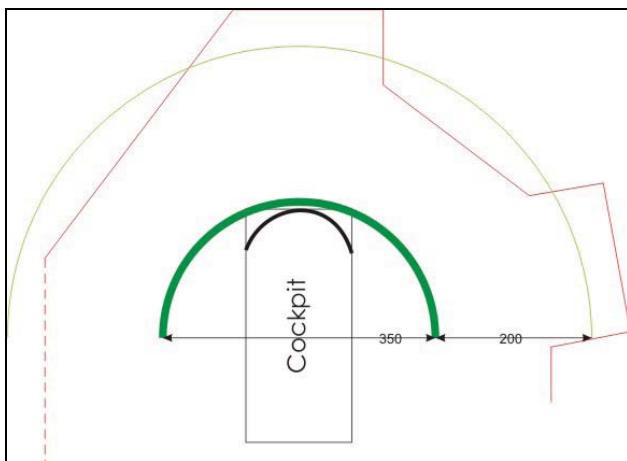


BILD 3. Ausbauvariante Zylindrisch

3.2. 5/6-Kanal Zylindrisch FullHD

Alternativ zu zwei übereinander stehenden Projektoren, kann ein vertikal gedrehter FullHD-Projektor (1920x1080 Pixel) einen vollständigen Streifen ohne horizontalen Blendbereich abdecken. Die vertikale Auflösung ist dennoch exzellent und es wird ebenfalls eine hohe Lichtstärke erreicht.

3.3. 5-Kanal Planar FullHD

Alternativ zu einer konsistenten, zylindrischen Leinwand, besteht die Möglichkeit mehrere planare Segmente in einem kreisförmigen Polygonzug anzutragen. Die Anzahl ergibt sich aus der Segmentbreite. Bei einer FullHD-Auflösung würde ein Segment ca. 1m Breit und 2m hoch sein. Dieses Konzept erreicht ebenfalls eine hohe Auflösung und Lichtstärke. Eine Kantenüberblendung (Edgeblending) und Bildentzerrung (Distortion Correction) der Kanäle ist nicht notwendig. Allerdings kann der visuelle Eindruck durch die sichtbaren Stoßkanten der Leinwände beeinträchtigt werden. Zur Verdeut-

lichung veranschaulicht Bild 4 den Polygonzug mit 5 Leinwänden.

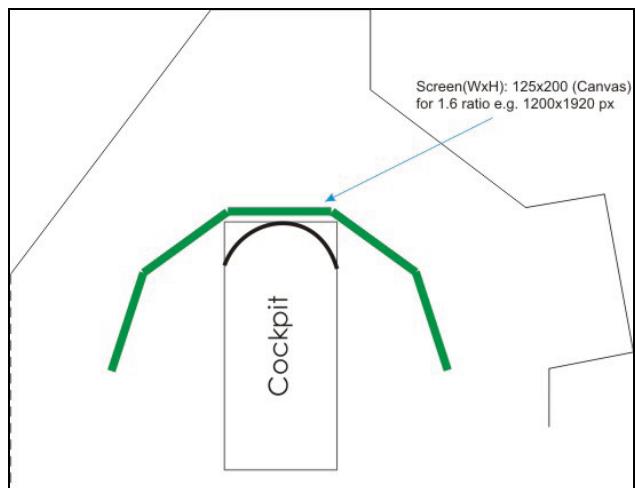


BILD 4. Ausbauvariante 5 Kanal Planar

3.4. Auswahl

Da ein fester Kostenrahmen vorgegeben ist, begrenzt sich hier auch die Anzahl möglicher Kanäle und schränkt die Auswahl des Projektionstyps ein. Zur Erreichung einer hohen Immersion wird ein zylindrischer Aufbau bevorzugt. Eine vertikale Auflösung von 1920 Pixel kann durch einen FullHD-Projektor erreicht werden. Ein horizontaler Überblendungsbereich in der Mitte, den ein 12-Kanalkonzept erfordert, entfällt hier. Für die vertikale Überblendung wird ein zehnprozentiger Bereich. Das Grundkonzept besteht nun aus der zylindrischen Rückprojektionswand und fünf FullHD-Projektoren die vertikal gedreht werden.

4. PROJEKTIONSSYSTEME

4.1. Allgemein

Für eine professionelle Projektion existieren zwei maßgebliche Komponenten. Dies sind das Projektionsmedium und der eingesetzte Projektor. Da die Technologie für Endkundensysteme mittlerweile sehr ausgereift ist, beeinflusst dies ebenfalls den Sektor der Sichtsimulation. Nachfolgend beschriebene Projektortypologien stehen zur Verfügung. Im Simulationsbereich besteht auch die Möglichkeit Lasersysteme einzusetzen. Aufgrund ihrer hohen Kosten und niedrigen Verbreitung werden sie an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt.

4.2. Projektortechnologie

4.2.1. CRT (Cathode Ray Tube)

Diese älteste Form der Projektionstechnologie nutzt drei separate Kathodenstrahlröhren um die einzelnen Farbkomponenten zu mischen. Diese Technik ist analog und baut zeilenweise das Bild auf der Leinwand auf. Diese Technik ist immer noch vorwiegend im Stereoskopischen Anwendungsbereich zu finden, da Projektoren mit 120Hz angesteuert werden können. Durch die analoge Technik wird ein natürlicher Kontrastbereich genutzt. Allerdings ist die Helligkeit dieser Projektoren nur gering.

Eigenschaften:

- Mittlere Auflösungen in der Ausgabe (~ 1280x1024)
- Niedrige Helligkeit < 300lm (Lumen)
- Natürlicher Kontrast

Problematisch zeigt sich der Verschleiß der Farbkanäle während der Betriebsdauer.

4.2.2. LCD (Liquid Crystal Display)

Ähnlich den LCD-Monitoren, wird bei einem LCD-Projektor das Licht durch eine Flüssigkristallschicht gebracht. Sehr kleine Transistoren im LCD-Panel regeln die Durchlässigkeit am entsprechenden Pixel. Es wird je ein Panel für eine Grundfarbe genutzt. Das Licht wird durch dichroitische Spiegel¹ aufgespaltet und entsprechend ihrer Farbe auf die LCD-Panel gebracht. Nachträglich wird aus den drei Farben das Gesamtbild kombiniert und durch die Linse auf die Leinwand geworfen.

Aufgrund der Position der Transistoren im Lichtweg ist die Pixelmatrix eindeutig erkennbar (Screen Door Effect). Ein weiteres Problem ist die Grundhelligkeit des Gesamtbildes. LCD-Projektoren sind nicht in der Lage starke Kontraste zu erzeugen, allerdings wird eine sehr hohe Lichtausbeute erreicht.

Eigenschaften:

- Hohe Auflösungen möglich (FullHD)
- Pixelabstände wahrnehmbar (ScreenDoor)
- Sehr Hohe Lichtstärke möglich

¹ Solche Spiegel haben eine spektralabhängige Reflexionseigenschaft.

- nur Geringer Kontrast (< 2000lm)

LCD-Projektoren haben dieselben Probleme wie Computerdisplays. Die Kristallschicht verbraucht sich während der Lebensdauer und es können tote Pixel entstehen.

4.2.3. DLP (Digital Light Processing)

Das DLP-Verfahren wurde bereits 1987 von Texas Instruments erfunden. Das Bild wird von einem Digital Micromirror Device (DMD), kleine Spiegel die in einer Matrix angeordnet sind, erzeugt. Die Größe des DMD entspricht der angegebenen Pixelauflösung. Die Spiegel werden durch elektrische Signale aus oder in den Lichtweg gekippt. Um eine kostengünstigere Variante dieser Technologie zu schaffen, wurden 1- und 3-Chip DLPs entwickelt.

1-Chip DLP

Die Farbe wird durch ein rotierendes Rad mit den Grundfarben im Lichtweg erzeugt. Das Rad ist mit der Spiegelausrichtung synchronisiert, so dass die entsprechende Farbe auch die richtige Spiegelstellung hat (Siehe Bild 5).

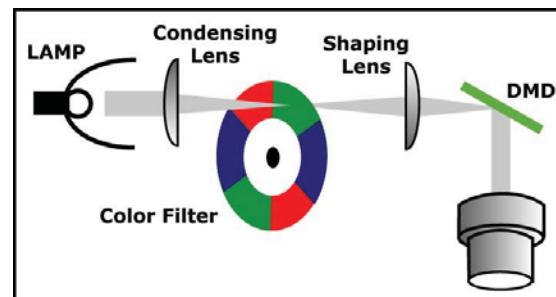


BILD 5. DLP-Prinzip (www.audioholics.com)

Durch die Rotation des Rades in einer bestimmten Frequenz tritt ein merklicher Farbsaum auf (Regenbogeneffekt). An Objektkanten vor dem Bild oder bei schnellen Bewegungen sind die dargestellten Farben zu erkennen.

3-Chip DLP

Jede Grundfarbe hat einen eigenen DMD. Die Lichtquelle beleuchtet alle Farben gleichzeitig. Durch das entfallene Farbrad entsteht ein homogeneres Bild. Der Regenbogeneffekt verschwindet ebenfalls.

Beide Technologien sind ausgereift und stark auf dem Projektormarkt vertreten. Besonders 1-Chip DLPs haben sich auf dem Datenprojektorsegment durchgesetzt.

Eigenschaften:

- Hohe Auflösungen möglich (>FullHD)
- Kleine Pixelabstände, aber wahrnehmbar
- Sehr hohe Lichtstärke möglich > 5000lm
- Kontrast nur < 10.000:1

Nachteilig ist der wahrnehmbare Pixelabstand aufgrund der relativ großen Spiegelgrenzen. Ebenfalls problematisch ist der Regenbogenefekt älterer 1-Chip DLPs.

4.2.4. LCoS (Liquid Cristal on Silicon)

Dieses Verfahren nutzt Flüssigkristalle, anstelle eigener Spiegel wie beim DLP-Verfahren, die auf einem Siliziumchip aufgebracht werden. Die Kristalle werden je nach gewünschtem Farbzustand reflektierend und nicht reflektierend geschaltet. Verbreitet sind 3-Chip Systeme die für jede Farbe eine eigene Reflexionseinheit haben.

Zur Erzeugung des Bildes wird das Licht durch Spiegel und Prismen auf die verschiedenen Panels gebracht. Die entsprechende Reflexion erzeugt im durch die Linse ausgehenden Strahlengang, das Bild (siehe Bild 6).

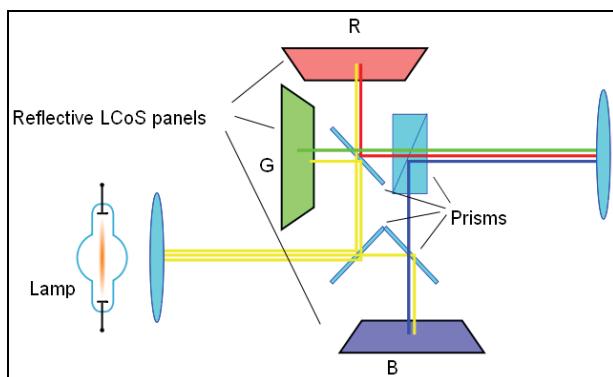


BILD 6. Strahlengang in einem LCoS Projektor
(<http://commons.wikimedia.org>)

Eine kommerzielle Verbreitung findet erst seit vier Jahren durch Sonys SXRD (Silicon X-tal Reflective Display) und JVCs D-ILA (Digital Direct Drive Image Light Amplifier) – Technologie statt.

Eigenschaften:

- Sehr hohe Auflösungen möglich > 4000 Pixel
- Sehr hoher natürlicher Kontrast > 5000:1
- Sehr kleine Pixelabstände, kein Screen Door Effect
- Keine hohe Lichtstärke möglich, nur bis 1000 lm

Durch die Trägheit der Kristallschicht wird Unschärfe bzw. Schmieren bei schnellen Bewegungen der Szenerie hervorgerufen. Dieses so genannte Smearing bzw. Motionblur kann durch kurzzeitiges Verdunkeln der Kristalle (Shuttering) und Zwischenbildberechnung durch eine doppelte Bildfrequenz vermieden werden.

4.3. Leinwand

Prinzipiell kann jede Fläche ein Projektionsmedium sein. In diesem besonderen Fall wird eine lichtdurchlässige Struktur benötigt. Dabei ist zwischen stoffähnlichen und festen Rückprojektionsmedien zu unterscheiden.

Aus Kunststoffen gefertigte Leinwände sind in der Regel sehr diffus und ermöglichen einen kosteneffektiven Aufbau mit einer Rahmenkonstruktion. Allerdings treten bei zylindrischen Formen Verformungen im mittleren Bereich auf. Feste Leinwände bestehen aus gezogenem oder gegossenem Acryl. Zusätzlich wird eine spezielle Beschichtung für die gewünschte Diffusität aufgebracht. Erhältlich sind beliebige Dicken die den Grad der Biegung beeinflussen.

4.4. Auswahl

Als Projektortechnologie ist das LCoS-Verfahren gewählt worden. Es liefert einen beachtlichen Kontrast und ausreichende Helligkeiten für die Sichtsimulationsanwendung. Besonders die Problematik der sichtbaren Kantenüberblendung tritt hier nicht auf. Die Leinwand besteht aus einer am Stück hergestellten Acrylglasscheibe und einer sehr hohen Diffusität. Eine Scheibendicke von 6mm erlaubt eine flexible Biegung.

5. IMAGE GENERATOR

5.1. Allgemein

Ein Image Generator (IG) bezeichnet im Allgemeinen die Einheit von Hard- und Software zur Erzeugung des Bildes in einer Sichtsimulation. Hardwareseitig steht durch den großen Computerspielermarkt eine Vielzahl leistungsfähiger Grafikkarten und COTS PC-Hardware bereit. Durch die Fähigkeit der Kopplung mehrerer Grafikkarten und moderner Mehrkernprozessoren steht eine immense Rechenleistung zur Verfügung. Da Standard PCs eingesetzt werden, wird auch ein Standard Betriebssystem verwendet. Windows XP der Firma Microsoft hat sich hier durchgesetzt. Die Render Engine ist demnach ein MS Windows basiertes System. Es wird der Grafikstandard OpenGL genutzt. Dies bietet die flexible Alternative, auch auf ein Unix Betriebssystem umzusteigen. Die Softwareentwicklung ist demnach plattformunabhängig zu gestalten.

5.2. Dual SLI PC

Das ausgewählte Konzept mit fünf Kanälen benötigt, um eine maximale Darstellungsleistung zu erreichen, den Einsatz von fünf identischen Rechnern. Nach einer ausgiebigen Recherche der verfügbaren Hardware und ihrer Leistungsfähigkeit besitzen die IGs u. a. die folgenden Komponenten.

- Intel Core i7 Prozessor 3,2 GHz
- 2x EVGA Nvidia Geforce GTX 285
- 2x 1 TByte Festplatten in Raid 0
- Zusätzlicher Firewire-Adapter

Der verwendete Prozessor ermöglicht die Nutzung von acht Kernen für Multiprozessorapplikationen. Die Grafikkarten werden im Dual SLI Modus betrieben. Dies ermöglicht die Nutzung von maximal 32fachem Antialiasing für die Gesamtszene. Der Raid 0-Modus der Festplatten beschleunigt den Zugriff auf die Datenbasis und verringert zeitliche Einbußen bei der Darstellung. Ein zusätzlicher Firewire-Adapter wurde für ein Software-Framelock integriert. Hier kann ein unabhängiger Ring aus allen IGs für den Datenaustausch gebildet werden.

Die Datenübertragung zu den Projektoren wird digital durch Glasfaserkabel mit einer maximalen Länge von 30m durchgeführt.

Bild 7 zeigt die Front- und Rückansicht der IG-Installation im Rechnerraum.



BILD 7. IG Installation

In einem ersten Test entstand eine extreme Wärmeentwicklung in den Gehäusen. Dies ist auf die Verwendung eines Grafikkartentyps zurückzuführen, der nicht dem Nvidia Referenzdesign entsprach. Durch Austausch mit dem o. g. Typ, ist eine konstante Wärmeentwicklung von unter 70° Celsius gewährleistet.

5.3. RealTime Image Generator

Die Software zur Darstellung der virtuellen Szene ist eine Eigenentwicklung des DLR. Da auf die ständigen neuen Anforderungen des Forschungsumfeldes reagiert werden muss, ist dieser Softwareentwicklungsenschritt einer externen kommerziellen Software vorzuziehen. Der entstandene *RealTime Image Generator* (RTIG) basiert auf dem Szenengraph OpenSceneGraph (OSG). Dieses Application Programming Interface (API) ist kostenfrei erhältlich und wird unter der LGPL verbreitet. RTIG ist eine stark skalierbare Applikation. So wird sie zur Desktopvisualisierung auf dem Arbeitsplatzrechner, sowie den Mehrkanaligen Systemsimulatoren eingesetzt. Der Endnutzer verwendet eine XML-Schnittstelle zur Konfiguration der gewünschten Sichtsimulation. Es besteht die Möglichkeit verschiedene Fenster- und Kanaleinstellungen vorzunehmen, oder unterschiedliche Wettereinstellungen und Wolkentypen zu verwenden. Beliebige 3D-Modelle können für die komplexe Szenengestaltung geladen werden. Dynamische 3D-Modelle können in unbegrenzter Anzahl angesteuert werden. Zusätzlich stehen drei verschiedene Kameramodelle für

den Augenpunkt bereit. Zur Erhöhung des Realismus ist eine flexible Programmierschnittstelle für visuelle Effekte geschaffen worden. Die aktuellste Entwicklung ist die Visualisierung des Brownout/Whiteout-Phänomens [4]. Für Mehrkanalprojektionen steht eine Warping API für Edgeblending, Distortion Correction und Augenpunkt-Einstellung zur Verfügung. Die momentan eingesetzte Datenbasis umfasst das Norddeutsche Gebiet mit hochauflösenden Be-reichen, im Raum Hannover und Braunschweig. Gebäude- und sonstige Modelle werden in einem internen Verfahren generiert. Durch die hochperformante API OpenSceneGraph werden durchschnittlich 60Hz Bildwiederholrate bei der vorliegenden Szenenkomplexität erreicht.

6. GESAMTSYSTEM

Das konzipierte Gesamtsystem besteht aus einer 5-Kanal Rückprojektion. Um die umgebende Struktur weitgehend beizubehalten werden optische Spiegel mit hoher Reflexionsgüte eingesetzt. Dabei werden drei kleinere und zwei größere Flächen verwendet. Die Beschaffung des Projektionssystems erfolgte im Rahmen einer nationalen Ausschreibung und wurde an eine externe Firma vergeben. Der konstruktive Aufbau fand nach fünf Tagen seinen Abschluss. Bild 8 veranschaulicht die Anordnung und den Strahlengang der Projektoren. Da der Experimentalpilot auf der rechten vorderen Seite sitzt, erreicht er durch den kurzen Abstand zum Zylinder einen vertikalen FOV von ca. 80° nach vorn.

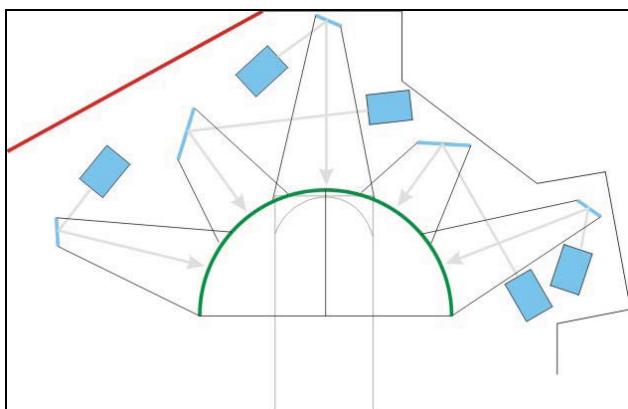


BILD 8. Schematischer Überblick der Projektion

Die eingesetzten Projektoren sind vertikal gedrehte DLA RS20 der Firma JVC mit einer Auflösung von 1920x1080 Pixel. Sie erreichen ei-

nen natürlichen Kontrast von 50.000:1 und eine Helligkeit von 900 Lumen. Sie sind als Heimkinosysteme auf dem Endkundenmarkt erhältlich. Das System erreicht bei einem Überblendungsbereich von 108 Pixeln, dies entspricht 10% eines Kanals, eine Auflösung von 4976x1920 Pixel. Bild 9 zeigt das Gesamtsystem und verdeutlicht die Immersion. Aus Sicherheitsgründen und für eine bessere Abschirmung gegen äußeres Licht, wird eine weitere Umbauung vorgenommen. Der Innenraum wird schwarz ausgekleidet, um Rückreflexionen der Metallverkleidungen zu vermeiden.



BILD 9. Realisiertes System im Juni 2009

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Realisierung einer hochauflösenden Projektion ist mit dem heutigen technologischen Standard auch mit COTS-Komponenten durchführbar. Die Performance von Gaming-Hardware ist mehr als ausreichend und die Qualität der Heimkinoprojektoren überzeugt durch ihre Auflösung, Schärfe und Kontrast. Abstriche müssen im Bereich der Einstellbarkeit und Wartbarkeit gemacht werden. Die Projektoren sind entweder über die Infrarotfernbedienung oder ein RS232-Protokoll justierbar. Eine zusätzliche Mediensteuerung für mehrere Projektoren ist empfehlenswert.

Ein besonderes Augenmerk sollte bei Rückprojektionen mit Spiegeln auf den Reflexionseigenschaften im Installationsraum liegen. Eine Acrylglasscheibe erzeugt auch bei dieser durchschnittlichen Helligkeit eine sichtbare Rückreflexion. Die zurückgeworfenen Bilder können beim Auftreffen auf die Spiegel Geisterbilder auf der Leinwand erzeugen.

Da die Projektoren auf Metallgestellen auf dem Druckboden befestigt sind, ist es empfehlenswert die Vibrationseigenschaften des Bodens zu eruieren. Selbst der motorgesteuerte Lensshift der RS20-Serie zeigt sich empfindlich gegenüber Erschütterungen. Zur Vermeidung von Beschädigungen der optischen Spiegel ist ebenfalls eine Abschirmung des Aufbaus zu realisieren.

Nutzer erster interner Simulatorkampagnen bevorzugen die immersiven Eigenschaften des Zylinders und des hochauflösten Bildes.

SCHRIFTTUM

- [1] R. Lantzsch, M. Hamers, J. Wolfram, "Handling the Air Resonance Mode for Flight Control and Handling Qualities Evaluations on the DLR Research Helicopter FHS", Rotorcraft Handling Qualities Conference, University of Liverpool, UK, 04.-06. November 2008
- [2] W. von Gruenhagen, M. Abildgaard, M. Müllhäuser, "Active Sidesticks Integrated in DLR's Flying Simulator FHS", ICEAE2009 (IISc Centenary International Conference and Exhibition on Aerospace Engineering), Bangalore, India, 18-22 May 2009
- [3] B. Gelhaar et. al. "FHS - Experimental System for Flying Helicopter Simulator put into Operation", American Helicopter Society 59th Annual Forum, Phoenix, Arizona, May 6-8, 2003
- [4] T. Gerlach, „Visualisation of the Brown-out Phenomenon, Integration and Test on a Helicopter Flight Simulator“, Royal Aeronautical Society Spring 2009 Flight Simulation Conference, London, UK, 03.-04. June 2009