

## VR ZUR UNTERSTÜTZUNG DES KOLLABORATIVEN ARBEITEN

*Andreas Kunz, Christian Spagno*

### Zusammenfassung

Die komplexen Aufgabenstellungen in der Produktentwicklung erfordern, dass Aufgaben im Team erledigt werden, um dem internationalen Konkurrenzdruck bezüglich Entwicklungszeit und Produktkosten standhalten zu können. Insbesondere bei den sogenannten „Global Players“ mit einer geographisch verteilten Produktentwicklung entstehen hierdurch hohe Kosten. Sie nutzen daher häufig schon die Technologien der virtuellen Realität, um ein verteiltes, kollaboratives Arbeiten durchzuführen. Dabei können Objekte in Visualisierungseinrichtungen, die über ein Netzwerk miteinander verbunden sind, dreidimensional dargestellt werden. Bislang aber weitestgehend unberücksichtigt blieb der Anwender, der ebenfalls in einer solchen Einrichtung erfasst und visualisiert werden sollte. Nur dann ist ein wirklich kollaboratives, verteiltes Arbeiten möglich. Im vorliegenden Paper wird das hierfür spezialisierte Gerät, die sogenannte „blue-c“ [9] beschrieben.

### 1 Einleitung

Durch die zunehmende Verbreitung der Informationstechnologie in den Firmen wird vermehrt auch die Voraussetzung geschaffen, die virtuelle Realität in der Produktentwicklung einzusetzen [4] [5]. Bereits heute kommt sie häufig in der Visualisierung von Geometrien oder komplexen Zusammenhängen zum Einsatz, nicht nur im Automobilbau, sondern vermehrt auch in kleinen und mittelständischen Unternehmen. Somit entsteht seitens der industriellen Anwender das Bedürfnis, diese Technologie in weiteren Geschäftsfeldern einzusetzen, beispielsweise auch in der Unterstützung von teamorientierten Arbeitsprozessen. Hierdurch wird es mehreren Unternehmensprozessen möglich, die Daten des sogenannten „Digitalen Produktes“ zu nutzen und so die gewünschte Verkürzung des „Time-to-Market“ zu erreichen.

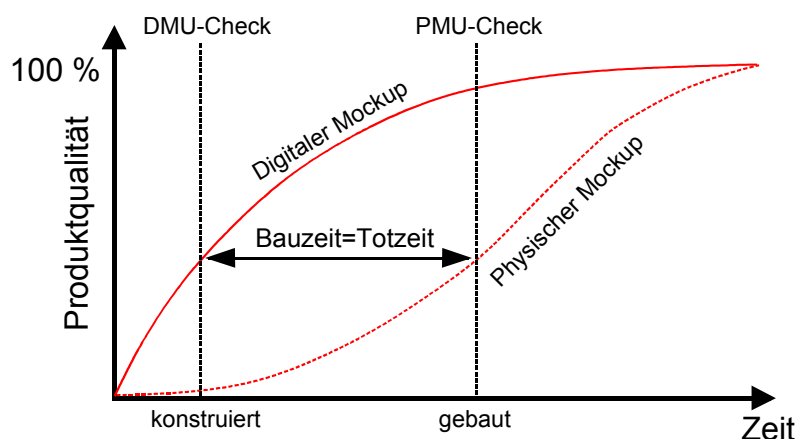


Bild 1. Verkürzung des Time-to-Market am Beispiel des Prototypenbaus.

Bild 1 zeigt ein Beispiel für den Einsatz des digitalen Prototypen. Seine Vorteile stellen sich immer dann heraus, wenn konstruktive Änderungen vorgenommen werden und anschliessend visualisiert werden müssen. Während es bei physischen Prototypen sehr

aufwendig ist, nochmals Änderungen vorzunehmen und somit die durch den Prototypenbau entstehende Totzeit nochmals zu verlängern, erlaubt es der digitale Prototyp schon nach sehr kurzer Zeit, die Änderung dreidimensional darzustellen. Weitere Vorteile liegen auf der Hand: während der physikalische Prototyp oft ortsgebunden ist, lässt sich der digitale Prototyp frei über ein Netzwerk transferieren und erlaubt so, dass mehrere Personen gleichzeitig auf ihn Zugriff haben. Es ist somit naheliegend, auch die Möglichkeit zu schaffen, die Teamarbeit mit dreidimensionalen Abbildern der Teammitglieder durchzuführen [6] [7].

## 2 Realisierung der „blue-c“

Arbeiten, die im Team durchgeführt werden müssen, erfordern bislang noch, dass die Benutzer an einem Ort zusammen kommen, um gemeinsam an einer Aufgabe zu arbeiten. Bisherige Informationskanäle wie Telefon oder Videokonferenzsysteme reichen also offensichtlich nicht aus oder sind in ihrer Übertragungsqualität oder Geschwindigkeit zu begrenzt [8]. Aus diesen Gründen soll mit der blue-c die Möglichkeit geschaffen werden, nicht nur die virtuellen Modelle auszutauschen, sondern gleichzeitig auch das Abbild des in der jeweiligen Visualisierungseinrichtung befindlichen Anwenders zu übertragen. Somit wird ein Netzwerk aus mehreren gleichartigen oder kompatiblen Stationen aufgebaut. Jede dieser Stationen ist in der Lage, eine Stereoprojektion auf eine oder mehrere Wände durchzuführen und enthält Kameras zum Erfassen der in der Station befindlichen Person.

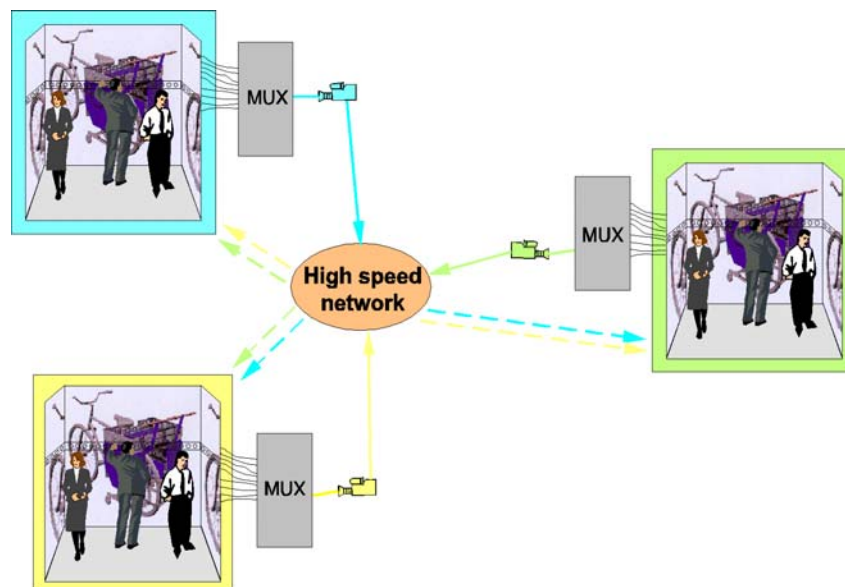


Bild 2. Das blue-c Netzwerk.

Während auf der Wiedergabeseite das gleichzeitige Darbieten von einem virtuellen Objekt und des jeweils in der anderen Einheit befindlichen Gesprächspartners geringe Probleme bereitet, ist dagegen das gleichzeitige Erfassen einer Person zusammen mit einer kontinuierlichen Projektion mit grösseren Schwierigkeiten verbunden, z.B.:

- Es müssen zeitgleich helle und dunkle Phasen vorhanden sein. Die hellen Phasen dienen der ausreichenden Illumination des Innenraumes der blue-c für die Kameras, um eine zufriedenstellende Texturerfassung der Person zu gewährleisten. Solche hellen Phasen stören dagegen die Projektion und der Benutzer darf diese Phasen daher nicht wahrnehmen. Auf der anderen Seite müssen aber auch dunkle Phasen für die Projektion vorgesehen werden, die wiederum für die Bildakquisition ungeeignet sind.

- Für die vollständige Erfassung der Textur eines Benutzers muss sich dieser ständig im Blickfeld mehrerer Kameras aufhalten. Insbesondere wichtig sind die Kameras, die sich direkt vor dem Benutzer befinden, da diese beispielsweise Gestik und Mimik erfassen können. Besonders bei diesen Kameras stellt sich aber das Problem, dass sie sich genau im Gesichtsfeld des Benutzers befinden und die Projektion stören [1]. In vielen Fällen ist die Kamera direkt vor der Leinwand platziert oder aber in dieser integriert. Dadurch werden Teile der Projektion verdeckt und die sogenannte „Immersion“, also der Grad der Einbezogenheit in die virtuelle Welt, sinkt. Weiterhin ist es nicht mehr möglich, dass der Anwender den kompletten Raum der Visualisierungseinrichtung ausnutzen kann. Geht er zu dicht an die Projektionsfläche heran, so verlässt er den Fokussierungsbereich der Kamera und erscheint in der abgesetzten Projektion unscharf.
- Hohe Kosten durch aufwendige Projektoren, die in der Lage sein müssen, eine flimmerfreie Projektion zu erzeugen. Die hier häufig zum Einsatz kommenden CRT-Projektoren (CRT = Cathode Ray Tube) weisen zudem einen hohen Justageaufwand auf.

Diese oben geschilderten Probleme treten heute bei nahezu allen hochimmersiven Systemen auf und führen dazu, dass diesen Systemen von industrieller Seite noch nicht die notwendige Akzeptanz entgegengebracht wird. Um diesem Problem zu begegnen, wurde der folgende Aufbau realisiert:

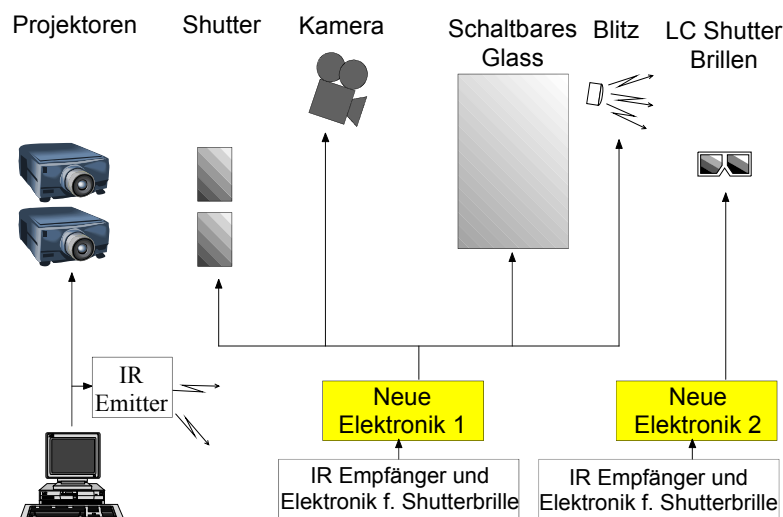


Bild 3. Überblick über das blue-c Gesamtsystem.

Die grundlegende Idee des Gesamtsystems besteht darin, die Kameras hinter der Leinwand und ausserhalb des Strahlenganges der Projektoren zu platzieren. Dies hat allerdings zur Folge, dass ein spezielles Projektionsmaterial verwendet werden muss, welches zwischen einem transparenten und einem opaken Zustand umschaltbar ist. Solches Material wird als „schaltbares Glas“ in der Architektur für Aussenfassaden und für den Innenausbau verwendet (z.B. auch ICE), wurde aber nicht in erster Linie für den Einsatz als Projektionsfläche entworfen [3]. Aus diesem Grund musste in einem ersten Schritt untersucht werden, ob das Glas überhaupt mit 60 Hz umgeschaltet werden kann, um ein Zeitmultiplexing zwischen Projektion und Akquisition zu ermöglichen. Diese Frequenz ist notwendig, weil unterhalb von ihr durch das zeitliche Auflösungsvermögen des menschlichen Auges für den Anwender ein Flimmern in der Projektion zu erkennen ist. Während des opaken Zustandes der Leinwand wird auf diese projiziert, während des transparenten Zustandes dagegen können die Kameras die Person in der Visualisierungseinrichtung durch die Scheiben hindurch aufnehmen. Das elektrisch schaltbare Glas schaltet hierzu in

Abhängig der angelegten Spannung von transparent auf opak und zurück. Ohne eine angelegte elektrische Spannung ist das Material opak, bei Anlegen einer elektrischen Spannung dagegen völlig transparent.

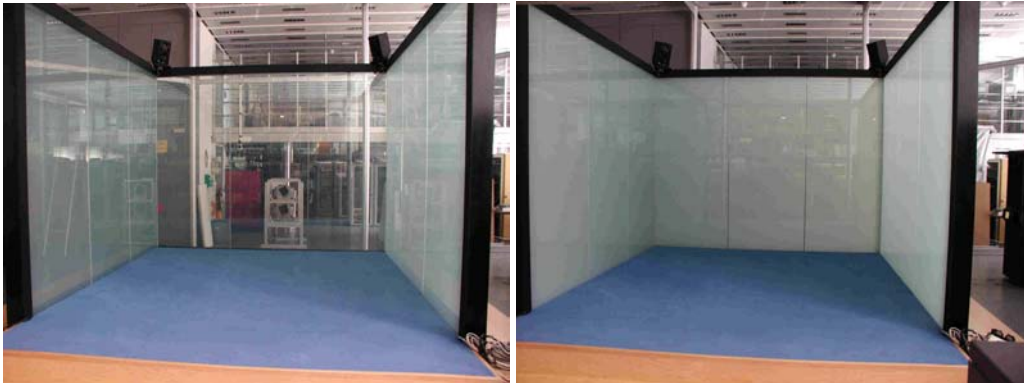


Bild 4. Elektrisch schaltbares Glas.

Bei dem Einsatz von Projektionswerkstoffen ist darauf zu achten, dass deren Diffusionsverhalten möglichst gering ist. Unter dem Diffusionsverhalten versteht man das Aufweiten des Strahlenganges durch die streuenden Eigenschaften des Projektionsmaterials. Ist das Diffusionsverhalten zu gross, so wird das projizierte Bild unscharf und der Werkstoff ist nicht als Projektionsfläche zu verwenden. Dagegen muss der Abstrahlwinkel möglichst gross sein, so dass man auch unter einem schrägen Betrachtungswinkel die Projektion auf der Leinwand erkennen kann. Zum Überprüfen des Werkstoffes wurde auf diesen ein Testbild projiziert gemäss der folgenden Abbildung:

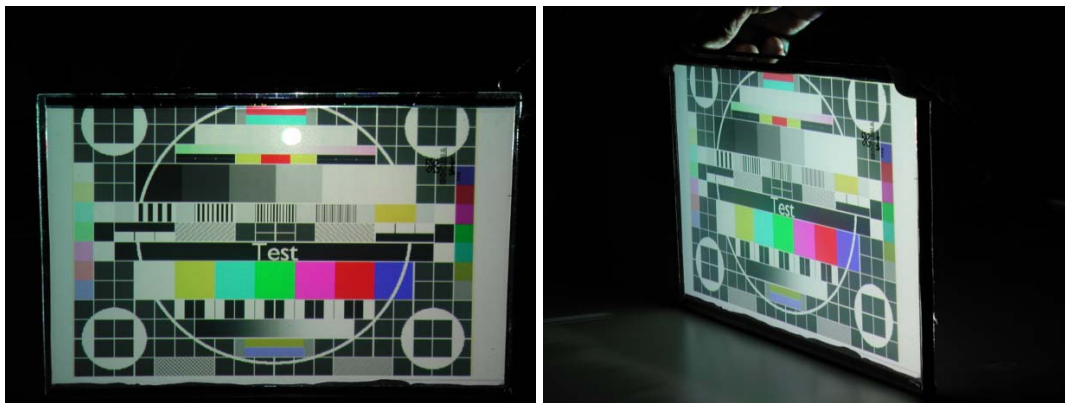


Bild 5. Das Abstrahl- und Diffusionsverhalten des elektrischen schaltbaren Glases ( $0^\circ$ ;  $60^\circ$ ).

Die durchgeführten Versuche ergaben, dass die Unterschiede in Farbe und Helligkeit in beiden Teilbildern vernachlässigbar klein sind. Selbst unter einem Winkel von  $60^\circ$  gegenüber der Mittelsenkrechten sind keine bemerkenswerten Unterschiede festzustellen. Das elektrisch schaltbare Glas ist somit für Rückprojektionen geeignet, bei denen der Anwender nicht immer senkrecht vor der Leinwand steht, wie dies auch in der erstellten Anordnung der blue-c zutrifft. Eine Aufprojektion auf den Werkstoff ist allerdings nicht möglich.

Gemäss Bild 3 besteht das Gesamtsystem weiterhin aus zwei LCD-Projektoren, welche mit externen Shuttern versehen werden. Hierdurch soll verhindert werden, dass während der Bildakquisition die Kameras durch die Projektoren geblendet werden. Die Kameras befinden sich vom Benutzer aus gesehen hinter der Leinwand und werden somit durch das elektrisch schaltbare Glas getarnt. Gleichzeitig benutzt der Anwender eine Shutterbrille, die um einen

sogenannten dritten Takt erweitert worden ist. Während der erste und zweite Takt jeweils das linke bzw. rechte Auge dunkel schalten (zum Generieren des stereoskopischen Eindruckes), werden bei dem neu eingefügten dritten Takt beide Augen dunkel geschaltet. Der Anwender kann hierdurch den während des dritten Taktes ausgelösten Blitz im Innenraum der Projektionsanlage nicht mehr wahrnehmen. Der Blitz erhellt den Innenraum, um damit den gleichzeitig getriggerten Kameras die Bildakquisition zu ermöglichen. Damit die Kameras durch die Leinwand hindurchsehen können, wird diese für die Dauer der Bildakquisition transparent geschaltet.

Die komplette Steuerung aller Komponenten erfolgt durch eine elektronische Schaltung gemäss dem folgenden Zeitdiagramm:

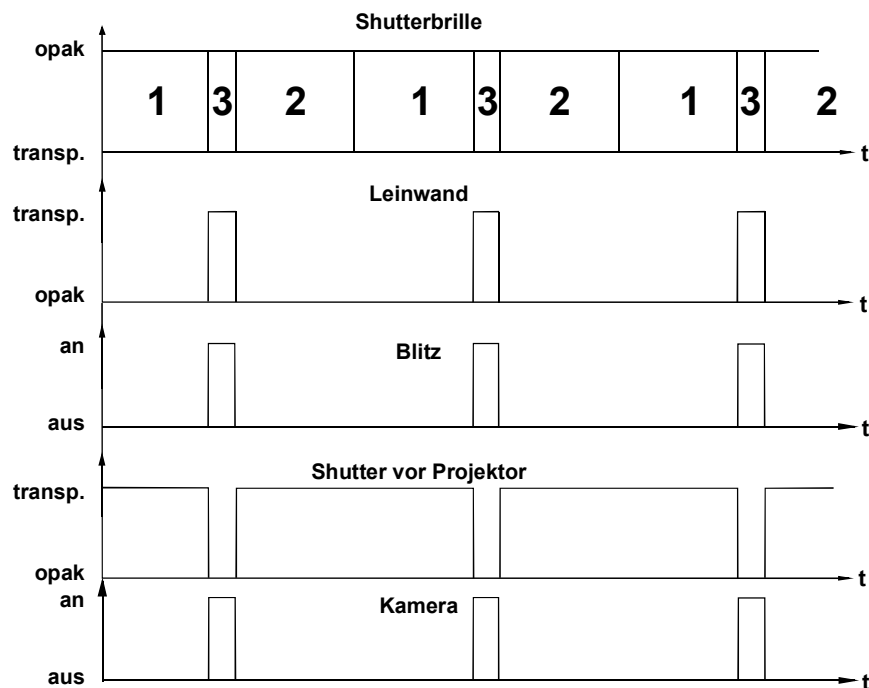


Bild 6. Zeitdiagramm der elektronischen Ansteuerung.

Massgebend für die Funktion der blue-c ist also der dritte Takt, der auf alle Komponenten Einfluss hat. Wird dieser dritte Takt kurz genug gehalten und tritt er in jeder Bildsequenz auf, so ist er aufgrund der begrenzten zeitlichen Auflösungsfähigkeit des Menschen für diesen nicht wahrnehmbar. Gleichzeitig muss er aber lange genug andauern, um den Kameras genügend Zeit für die Bildakquisition zur Verfügung zu stellen. Durch die ausreichende Helligkeit ist es nun auch möglich, eine zufriedenstellende Bildakquisition durchzuführen.

Der Anwender steht inmitten von drei orthogonal zueinander stehenden Projektionsflächen. Auf diese Projektionsflächen wird eine sogenannte Rückprojektion durchgeführt, d.h. die Projektoren stehen auf der Rückseite der Leinwand. Ebenso sind dort ausserhalb des Strahlenganges der Projektoren die Kameras platziert, die den Anwender von allen Seiten erfassen. Wird eine genügend grosse Zahl von Kameras verwendet, welche die Person von mehreren Seiten gleichzeitig erfassen, so ist es möglich, eine 3D-Rekonstruktion dieser Person durchzuführen. Zudem kann so frei gewählt werden, in welchem Winkel die Gesprächspartner zueinander stehen.

Das oben beschriebene System ist prinzipiell mit einem CRT-Projektor pro Wand realisierbar, jedoch können, wie in Bild 3 eingezeichnet, auch zwei LCD- oder DLP-Projektoren pro Wand eingesetzt werden. Der eine Projektor projiziert das Bild für das linke

Auge, während der zweite das Bild für das rechte Auge projiziert. Durch vorgeschaltete Blender, welche mit den Shutterbrillen synchronisiert sind, wird gewährleistet, dass jedes Auge nur sein Bild sieht. Als Blender eignen sich beispielsweise LC-Shutter. Es ist dennoch möglich, diese zusammen mit den aktiven Shutterbrillen zu betreiben, ohne dass sich die Polarisierungseffekte von LCD-Projektor und aktiver Shutterbrille störend bemerkbar machen. Zwar strahlt der LCD-Projektor ein polarisiertes Licht aus, welches nicht mit der Polarisationsrichtung der Shutterbrille übereinstimmen muss; das elektrisch schaltbare Glas weist aber im opaken Zustand depolarisierende Eigenschaften auf, so dass deshalb trotzdem wieder mit aktiven Shutterbrillen gearbeitet werden kann. Die stereoskopische Darstellung ist somit nicht mehr von der Kopfneigung abhängig und lässt freie exploratorische Bewegungen des Anwenders zu. Bei Einsatz von DLP-Projektoren ist zwar kein polarisiertes Licht vorhanden, jedoch muss bei deren Einsatz darauf geachtet werden, dass kein Gerät mit einer Lichtzerlegung über ein Farbrad eingesetzt wird. Das zeitliche, periodische Abdunkeln hätte bei solchen Geräten zur Folge, dass eine Farbverfälschung in dem projizierten Bild entstehen würde.

Neben einer detailgetreuen und realistischen Wiedergabe der Gesprächspartner ist es auch wichtig, dass deren Bewegungen „flüssig“ übertragen werden können. Zu langsame oder ruckartige Bewegungen führen zu einem unrealistischen Erscheinen des virtuellen Gesprächspartners mit dem Effekt, in dem jeweils realen Anwender das Gefühl zu erwecken, er unterhalte sich mit einem Avatar und nicht mit dem virtuellen Abbild einer in der Gegenstation real vorhandenen Person. Versuche haben hier gezeigt, dass eine Wiederholfrequenz von ca. 10 Hz ausreichend ist, um ein flüssiges Arbeiten zwischen den beiden Anwendern zu ermöglichen. Kameraseitig stellen 10 Hz zwar kein Problem für die Bilderfassung dar, aber es muss die nachfolgende Bildverarbeitung, Segmentierung, Codierung, Bildweiterleitung, Decodierung sowie die Integration in die bestehende Szenerie ebenfalls mit dieser Geschwindigkeit erfolgen. Für diese komplette Kette stellen 10 Hz schon den maximalen, zur Zeit erreichbaren Wert dar.

Neben der Übertragung des optischen Kanals ist auch der akustische Kanal von grosser Bedeutung. Er ist ein wesentlicher Träger der Information und ist somit für eine immersive Arbeitsumgebung unerlässlich. Aus diesem Grund wurde das gesamte System zusätzlich noch mit drahtlosen Mikrofonen und einer Surround-Audioanlage ausgestattet.

Das gesamte System ist in der folgenden Abbildung nochmals im Einsatz dargestellt:



Bild 7. Gesamtsystem im Einsatz.

### 3 Beurteilung der erreichten Ergebnisse und Ausblick

Technologie: Der erstellte Prototyp zeigt, dass man heute prinzipiell in der Lage ist, gleichzeitig Projektion und Bildakquisition durchzuführen. Gleichwohl wird das Schlüsselement – das schaltbare Glas – an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit betrieben bezüglich der schnellen Umschaltfrequenz, die für das Zeitmultiplex zwischen Projektion und Bildakquisition erforderlich ist. Hier sind aber Verbesserungen zu erwarten, sowohl bezüglich des integrierten LC-Films als bezüglich des Trägermaterials. So wird beispielsweise zukünftig auch Plexiglas anstelle von normalem Glas erhältlich sein, wodurch eine erhebliche Gewichtsreduktion zu erwarten ist und daraus resultierend auch ein einfacherer und schnellerer Aufbau einer Anlage.

Die Modifikation der im Handel erhältlichen Shutterbrillen wurde durch eine Erweiterung der in der Brille befindlichen Elektronik durchgeführt [2]. Diese Erweiterung konnte aber nicht mehr im Brillengehäuse integriert werden, so dass deshalb die Brille noch über ein Kabel mit einer externen Elektronik verbunden ist. Die Brillen besitzen aber auch einen internen Mikroprozessor, der durch eine entsprechende Programmierung diesen dritten Takt ebenfalls generieren kann. In einem nächsten Arbeitsschritt wird diese spezielle Decodierung implementiert werden. Es wird damit auch möglich sein, anstelle der Kabel wieder die drahtlose Infrarotverbindung zu nutzen.

Für die Beleuchtung werden derzeit Stroboskope eingesetzt, die aber unbefriedigend sind aufgrund ihrer Lärmentwicklung und der geringen Lebensdauer der Blitzlampen. Sie produzieren ausserdem ein sehr scharf gebündeltes Licht, welches harte Schatten verursacht und für die Segmentierung des Bildes gegenüber dem Hintergrund problematisch ist. Aus diesem Grund wird derzeit die Beleuchtung durch weisse Leuchtdioden ersetzt. Diese weisen den Vorteil auf, dass sie absolut lautlos arbeiten und zudem nahezu wartungsfrei sind. Sie erzeugen ausserdem ein diffuses Licht, welches für Bildakquisition durch die Kameras geeigneter ist.

Die nächsten Arbeiten werden sich ausserdem damit auseinandersetzen, wie eine Skalierbarkeit des Gesamtsystems zu erreichen ist bezüglich Preis, Grösse und Anzahl der Projektionsflächen. Hier ist vor allen Dingen die angestrebte Applikation zu berücksichtigen, für die eine solche Technik eingesetzt werden soll.

Anwendersicht: Kollaboratives Arbeiten gehört heute zu den normalen Methoden im Rahmen der Produktentwicklung. Dennoch bestehen grosse Akzeptanzprobleme, wenn die übliche Arbeitsmethode derart abgeändert werden soll, dass die Zusammenarbeit nicht mehr an einem Ort, sondern in einem im Netzwerk verteilten Team stattfinden soll. Die Gründe hierfür sind vielschichtig, sie reichen von mangelnder Übertragungskapazität der Kanäle, Auswahl falscher Testapplikation bis hin zu Irritationen der Anwender durch sichtbare Kameras. Aus dieser Sicht heraus stellt diese VR-Unterstützung der kollaborativen Arbeit eine markante Verbesserung dar. Allerdings muss eine passende Applikation vorliegen, wie beispielsweise die Definition der Montagereihenfolge im Team an einem virtuellen Modell.

### 4 Zusammenfassung

Ausgehend von dem Bedürfnis, neue Technologien zur Optimierung und Verkürzung von Arbeitsprozessen in der Produktentwicklung einzusetzen, wurde ein hochimmersives VR-System für die Kollaboration über ein Netzwerk erstellt. Bestehende Technologien wurden modifiziert und mit neuen Geräten und Eigenschaften erweitert, um so der Zielvorstellung einer Gruppenarbeit nahe zu kommen, welche komplett in einem verteilten Team durchgeführt werden kann.

In einem ersten Schritt wurden hierfür die Teilkomponenten erstellt und auf ihre Einsetzbarkeit hin untersucht. Da schlussendlich aber die Einsetzbarkeit von dem reibungslosen Zusammenspiel aller Teilkomponenten abhängig ist, wurde eine komplette Anlage erstellt. In ersten Test wurde die Einsetzbarkeit der Anlage unter Beweis gestellt.

## 5 Literatur

- [1] Tetsuro Ogi, Toshio Yamada, Ken Tamagawa, Makoto Kano, Michitaka Hirose; „Immersive Telecommunication Using Stereo Video Avatar“; IEEE Virtual Reality 2001 Conference; March 13.-17. 2001; Yokohama, Japan; ISBN 0-7695-0948-7
- [2] Kunz, A.; Spagno, C.: "Novel Shutter Glass Control for Simultaneous Projection and Picture Acquisition" (PPT); Immersive Projection Technology and Virtual Environments 2001, pp. 257-266; May, 16-18 2001; Stuttgart (Germany); ISBN 3-211-83671-3; Springer-Verlag Wien/New York
- [3] Saint-Gobain; Bauen mit Glas 1998/99; Technisches Handbuch
- [4] C. Cruz-Neira, D.J. Sandin, and T.A. DeFanti, „Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the cave." Proceedings of SIGGRAPH 93, pages 135-142, August 1993.
- [5] E: Lantz. „The future of virtual reality: head mounted displays versus spatially immersive displays (panel)." In Proceedings of SIGGRAPH 96, Computer Graphics Proceedings, pages 485-486, Aug. 1996.
- [6] V.D. Lehner and T.A. DeFanti. „Distributed virtual reality: supporting remote collaboration in vehicle design." Computer Graphics & Applications, 17(2): 13-17, 1997.
- [7] R. Raskar, G. Welch, M. Cutts, A. Lake; L. Stesin, and H. Fuchs. „The office of the future: A unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays." Proceedings of SIGGRAPH 98, pages 179-188, July 1998.
- [8] J. W. Davis and A. F. Bobick. „Sideshow: A silhouette-based interactive dualscreen environment." Technical Report 457, MIT Media Lab, 1998.
- [9] W. Elspass, L. VanGool, M. H. Gross, A. Kunz, M. Meier, G. Schmitt, O. Stadt, P. Stucki „The BlueCave"; ETHZ-internal research proposal; Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Switzerland and University of Zurich, Switzerland

Dr. Andreas Kunz  
Dipl. El. Ing. ETH Christian Spagno  
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Zentrum für Produkt-Entwicklung  
Tannenstrasse 3 - CH-8092 Zürich  
Tel: +41 1 632 5771  
Fax: +41 1 632 1181  
Email: [kunz@imes.mavt.ethz.ch](mailto:kunz@imes.mavt.ethz.ch)  
[spagno@imes.mavt.ethz.ch](mailto:spagno@imes.mavt.ethz.ch)  
URL: <http://www.zpeportal.ethz.ch>