



Foto: Günter Peschke

Foto: Uwe Hagenbach

**Bild 1.** linkes Bild: 3D-Spiegel-Rig auf Felix-Kran ;  
rechtes Bild: 3D-Steadicam-Rig beim Dreh in der Boxengasse kurz vor dem Start

## Sport-Events in 3D

### Praxisbericht über die stereoskopische Produktion und Postproduktion

Zunächst wird die Produktion eines 15-minütigen 3D-Films über das 24-h-Rennen auf dem Nürburgring mit sieben stereoskopischen Kamerasystemen (3D-Onboard-Kameras, Highspeed-Kameras und 3D-Steadicam-Rigs) erläutert. Es werden die dramaturgischen als auch die technischen Aspekte der Dreharbeiten und der digitalen Bildbearbeitung für das komplexe Filmprojekt betrachtet. Im Teil II des Beitrags werden Ergebnisse der BBC zusammengefasst, die bei einer Live-3D-Übertragung gewonnen wurden. Des Weiteren werden aktuelle Arbeiten der BBC-Forschungsabteilung vorgestellt, bei denen man als Ziel verfolgt, die 3D-Informationen aus verfügbaren Broadcastkameras zu extrahieren und dann in ein 3DTV-Format zu wandeln.

Part 1 explains the production of a 15 minute 3D film about the '24h Rennen' (Nürburgring). This involved the use of seven stereoscopic camera systems (3D onboard and highspeed cameras with 3D Steadicam rigs). Creative as well as technical aspects of the shoot and subsequent digital image editing the complex film project are described. Part 2 summarises results gained by the BBC during a live 3D transmission. This is followed by a presentation of the work of the BBC's R&D department. The goal of this work is the extraction of 3D data from existing broadcast camera systems and their transformation into a 3D TV format.

#### 24-h-Rennen Nürburgring im 3D-Large-Format

##### Bericht über Dreharbeiten und Postproduktion eines stereoskopischen Films

Für den neuen Indoor-Themenpark ringwerk am Nürburgring, der im Sommer 2009 eröffnet wird, erhielt die KUK Filmproduktion GmbH im Rahmen einer europäischen Ausschreibung im Herbst 2006 den Zuschlag für die Herstellung aller dafür benötigten Medienproduktionen. Eine der Hauptattraktionen im neuen Themenpark ist ein 4D-Theater über das traditionelle „24 h Rennen am Nürburgring“, die weltweit größte Motorsportveranstaltung mit mehr als 240.000 Besuchern. Dafür stellt die KUK Filmproduktion GmbH unter Regie von Josef Kluger einen 15 Minuten langen Large-Format-3D-Film her.

Für die 3D-Filmvorführung wird ein eigenes Kino mit einer 16 m breiten Bildwand gebaut, das Platz für 300 Besucher bietet. Das 3D-Erlebnis wird durch sogenannte 4D-Effek-

te ergänzt: Gerüche, Wasserspritzer, Lichteffekte und Vibrationen verstärken die Immersivität des Geschehens auf der Bildwand. Für den Surroundton wird eine 7.1-Tonanlage installiert.

Ein fiktives junges Rennteam, das zum ersten Mal am 24-h-Rennen teilnimmt, bildet den erzählerischen Rahmen des Films. Schon während der Drehvorbereitung stand fest, dass authentische und glaubhafte 3D-Szenen nur während des realen Rennens zu realisieren seien. Vom KUK-Produktionsleiter wurde deshalb ein professionelles Rennteam engagiert, das im Auftrag der Filmproduktion einen geeigneten Wagen (BMW 325is) renntauglich ausstattete und für den Einbau von stereoskopischen Onboard-Kameras vorbereitete.

#### Eingesetzte 3D-Kamerasysteme

Für die Dreharbeiten während des Rennens wurden folgende 3D-Kamerasysteme eingesetzt:

- zwei 3D-Spiegel-Rigs bestückt mit je zwei

HD-Camcordern HDW-750 von Sony. Diese beiden Systeme waren für den Einsatz in den Fan-Zonen und Zuschauerbereichen rings um die Rennstrecken vorgesehen. Sie wurden auf Stativen, Kamera-Dollies und Kamerakränen (Felix-Kran) montiert.

- 3D-Steadicam-Rig bestückt mit zwei HDC-X300-Kameras und einem SRW1-HD-Recorder für den flexiblen Einsatz im Fahrerlager, in den Boxen und in der Boxengasse. Fast alle Spielszenen mit den Darstellern wurden mit dieser 3D-Steadicam gedreht, ebenso auch Kran- und Shotmarker-Aufnahmen: Dazu wurde das kleine und kompakte Steadicam-Rig im Remote-Head montiert.
- 3D-Helikopter-Rig basierend auf einem Tyler-Mount, der so umgebaut wurde, dass zwei Sony-HD-Camcorder HDW-750 mit einem Objektivabstand von 50 cm Seite an Seite montiert werden konnten.
- Zwei Onboard-3D-Kamera-Rigs im Rennwagen bestückt mit HD-Minikameras (Lux Media Plan: HD1100) und dem HD-Recorder SRW-1 (Sony).

#### 3D-Highspeed-Rig mit zwei Cinespeed-Cams von Weinberger

Insgesamt waren also sieben 3D-Kamerasysteme (Bild 1) im Einsatz, ergänzt durch ein Kamerateam mit einer 2D-HD-Kamera. Durch das Team wurden Aufnahmen für die Making-of-Dokumentation und spezielle Rennaufnahmen mit extrem langer Brennweite hergestellt.

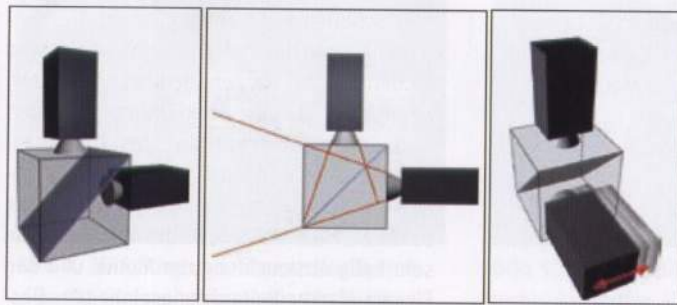
3D-Spiegel-Rigs ermöglichen für die Kamerabasis – also den Abstand zwischen den Objektiven der linken und rechten Kamera – Einstellwerte zu wählen, die kleiner als die Objektivdurchmesser bzw. Baubreite der Kamera



Dr.-Ing. **Oliver Grau** arbeitet in der Forschungsabteilung der BBC in England



**Josef Kluger** ist Geschäftsführer der KUK Filmproduktion GmbH in München



**Bild 2.** Funktionsprinzip des 3D-Spiegel-Rigs

sind. Das Funktionsprinzip wird im **Bild 2** (KUK Filmproduktion GmbH) erläutert.

Unter Leitung des HD-Supervisors und unterstützt vom Stereoskopiespezialisten wurden vom 11-köpfigen Kamerateam mehr als einen Monat lang die erforderlichen Komponenten der genannten Systeme zusammengestellt und getestet, insbesondere im Hinblick auf absolut verlässliche Synchronisation der Kamerapaare, die Praktikabilität beim Objektivwechsel und den Gleichlauf der Schärfereinrichtungen.

### 3D-Onboard-Kameras

Die Spezifikation und der Einbau der Onboard-Kameras in den Rennwagen stellte eine besonders anspruchsvolle und komplexe Aufgabe dar, da viele der damals auf dem Markt angebotenen HD-Minikameras noch nicht über die für 3D-Aufnahmen unbedingt erforderliche Synchronisationsmöglichkeit verfügten. Schließlich fiel die Wahl auf die HD-Minikamera „Lux Media Plan HD1100“.

Ein Kamerapaar wurde im Kühlergrill (gemeinsam mit einem rotierenden Regenabweiser) und eins im Kofferraumdeckel montiert. Die Bauweise und Dimensionen der verwendeten HD-Minikameras führten zu einer Kamerabasis von 70 mm, die den Onboard-Perspektiven genau die richtige räumliche Tiefe verlieh.

In der FKT-Ausgabe 1-2/2008 (S. 58–62) wurde bereits detailliert über die Realisation der stereoskopischen Onboard-Aufnahmen berichtet.

### Auswahl der Brennweiten

Der stereoskopische Film wird als enorm realistisch und kaum mehr unterscheidbar vom natürlichen Seherlebnis empfunden. Durch diese hohe Realitätstreue sind allerdings Stilmittel des „unnatürlicheren“ 2D-Films, wie die Wahl von extremen Weitwinkel- und Teleobjektiven, nicht ohne Weiteres übertragbar. Das menschliche Auge besitzt auch nur ein

„Objektiv“ mit einer festen Brennweite und kann nicht zoomen. Entsprechend wird man beim Dreh eines 3D-Films vorwiegend Normalbrennweiten verwenden und nur moderate Weitwinkel- und Teleobjektive einsetzen, damit das Bild noch als natürlich empfunden wird.

Dennoch erfordern Aufnahmen eines Autorennens auch den Einsatz von Teleobjektiven, da aus Sicherheitsgründen gewisse Mindestabstände zu den Rennwagen auf der Rennstrecke einzuhalten sind.

Stereoskopische Aufnahmen mit langen Brennweiten können allerdings einen sogenannten „Kulisseneffekt“ erzeugen, der die Bilder wie ausgeschnitten und somit künstlich erscheinen lässt. Deshalb wurden während der technischen Vorbereitung umfangreiche Tests mit unterschiedlichen Brennweiten durchgeführt. Letztlich wurden Objektive mit maximal 40 mm Brennweite für die Teleaufnahmen als geeignet ausgewählt.

Abgesehen von den Onboard-Kameras und dem Highspeed-System wurden ausschließlich Digiprime-Objektive (Zeiss) eingesetzt, wobei Linsenpaare mit folgenden Brennweiten ausgewählt wurden: 7 mm, 10 mm, 14 mm, 20 mm und 40 mm.

Beim Einsatz der Brennweiten war zu berücksichtigen, dass der HD-Camcorder HDW-750 über einen  $\frac{2}{3}$ -inch-CCD-Chip verfügt, die Chipgröße der HDC-X300 hingegen  $\frac{1}{2}$  inch beträgt und deshalb der entsprechende Vergrößerungsfaktor einberechnet werden musste.

### Konsequent parallele Ausrichtung der Aufnahmekameras

Im Hinblick auf die Ausrichtung von Stereokameras werden von den 3D-Experten zwei gegensätzliche Philosophien vertreten: Konvergieren der Kameras bereits bei der Aufnahme versus parallele Ausrichtung (wobei der Konvergenzpunkt während der Postproduktion definiert wird).

Die parallele Ausrichtung der Kameras

kommt bei der Mehrzahl der aktuell realisierten 3D-Projekte zur Anwendung. Damit werden nicht nur die trapezförmigen Verzerrungen der aufgezeichneten Bilder vermieden, die zu Höhenunterschieden an den Bildrändern und zu Fusion-Störungen führen, es werden auch wesentliche Einflussnahmen auf die stereoskopischen Parameter während der Postproduktion ermöglicht.

Konvergierende Kameraachsen hingegen bieten den Vorteil, dass beide Aufnahmen den gleichen Bildausschnitt abtasten und somit die Bildränder nicht beschnitten werden müssen. Wenn der Umstand des nicht voll nutzbaren Bildausschnitts im Voraus in die Bildgestaltung einbezogen wird, ist die Parallelanordnung konvergenter Kameraachsen vorzuziehen.

### Definition der Kamerabasis

Die Betrachtung von stereoskopischen Filmszenen erfordert, abweichend von der normalen Seherfahrung, dass Akkommodation (also das Scharfstellen des betrachteten Objektes) und Konvergenz (Ausrichtung der Sehachsen auf das betrachtete Objekt) voneinander getrennt werden. Die Schärfeebene befindet sich immer auf der Bildwandebene, unabhängig davon, ob sich das betrachtete Objekt vor, auf oder hinter der Bildwandebene befindet.

Es ist einleuchtend, dass die unnatürliche Trennung von Akkommodation und Konvergenz nur innerhalb bestimmter Toleranzgrenzen noch als angenehm empfunden wird, woraus sich ein maximaler Wert für die Differenz der beiden Konvergenzwinkel ergibt. Als Grenzwinkel der Raumwahrnehmung wurde schon in den dreißiger Jahren dafür ein Wert von 70 Winkelminuten angegeben und seither als Richtlinie für die Festlegung der stereoskopischen Parameter einer Aufnahme (also dem Zusammenwirken von Kamerabasis, Brennweite, Nahpunkt und Fernpunkt) angewendet.

Um an den hektischen und teilweise äußerst gefährlichen Drehorten die korrekte Bestimmung der stereoskopischen Parameter zu gewährleisten, wurde jedem Kamerateam ein „Stereoscopic Supervisor“ zugeteilt, der sich um eben jene Aufgaben zu kümmern hatte. Die eingesetzten 3D-Spiegel-Rigs ermöglichen Kamerabaseinstellungen zwischen 0 und 70 mm. Damit konnten für alle Standardsituation in der Boxengasse und entlang der Rennstrecke die jeweils adäquaten Basiswerte eingestellt werden. Sowohl das 3D-Rig für die Steadicam als auch die entlang der Strecke eingesetzten Spiegel-Rigs verfügten über eine motorisch einstellbare Basis. Dadurch konnte



**Bild 3.** 3D-Helikopter-Rig montiert auf Tyler-Mount

der Stereoscopic-Supervisor unmittelbar auf veränderte Bildsituationen reagieren.

### Vergößerte Kamerabasis für Helikopteraufnahmen

Da bei Kamerabasiswerten, die sich am realen Augenabstand orientieren, ab einem Objekt-Abstand von mehr als 20 m auf Deviation basierende räumliche Informationen nicht mehr aufgelöst werden können, ist es angebracht, für Flugaufnahmen (**Bild 3**), bei denen wesentlich größere Objekt-Abstände gegeben sind, folglich mit größeren Basiswerten zu arbeiten.

Deshalb wurden die beiden Camcorder in einem Abstand von 50 cm auf dem Tyler-Mount montiert. Somit ist auch in den mehrere Hundert Meter entfernten Szenarien noch eine räumliche Wahrnehmung basierend auf den binokularen Deviationsinformationen gegeben. Allerdings bedeutete die dadurch vergrößerte Windangriffsfläche des Helikopter-Rigs einen enormen Kraftaufwand für den Operator.

Derartige Großbasisaufnahmen werden auch als Hyperstereoaufnahmen bezeichnet, deren Realisation besonderer Sorgfalt bedarf, um Liliputismus-Effekte zu vermeiden.

Einer bestimmten Räumlichkeit wird von unserem Gehirn eine auf Erfahrungswerten basierende Entfernung zugeordnet. Objekte im Mittel- und Vordergrund werden bei Großbasisaufnahmen übertrieben plastisch dargestellt, wodurch diese Objekte als näher empfunden werden, als sie es in Realität sind. Deshalb erscheinen diese Objekte verkleinert, da die im 3D-Bild dargestellte Größe nicht mehr mit dem räumlichen Eindruck korrespondiert. Insbesondere bei der Abbildung von Personen wirkt sich dieser Effekt nachteilig aus. Da bei den geplanten Flugaufnahmen über der Nordschleife keine Personen im Bild

zu erwarten waren, erwies sich der Liliputismus-Effekt als akzeptabel und der Vorteil der räumlichen Wirkung der Aufnahmen überwog den leichten Modelleffekt der Landschaft.

### Gestalterische Besonderheiten

Die seit Jahrzehnten entwickelten und sowohl von den Filmschaffenden als auch vom Publikum „gelernten“ Stilmittel des 2D-Films sind für die Realisation eines 3D-Films nur partiell anwendbar.

Elementar wichtig für den Erfolg von 3D-Produktionen ist, dass Autoren, Regisseure und Kameraleute die stereoskopischen Gestaltungsmittel zu einer neuen, eigenständigen und das gewohnte Filmerlebnis erweiternden Filmsprache entwickeln. Der Vergleich mit dem Übergang vom Stummfilm zum Tonfilm und vom Schwarz-Weiß-Film zum Farbfilm ist durchaus angebracht.

### Tiefenschärfe

Bei der 3D-Vorführung wird das virtuelle 3D-Bild als Raum erlebt und der Betrachter kann sich auch physisch in diesem Raum umblicken. Durch den Konvergenzausgleich der Augen kann die Konzentration auf jeden Punkt der Szenerie gelegt werden wie beim normalen Sehen auch. Allerdings bleibt die Schärfenebene für das Auge stets die Bildwandebene, wodurch Abweichungen zwischen Konvergenz und Akkommodation entstehen, deren Grenzwerte bei jeder Einstellung errechnet und berücksichtigt werden müssen. Da entsprechend unserer Sehgewohnheit vom Auge fixierte Objekte mittels Akkommodation automatisch scharf gestellt werden, ist dieser Umstand zwingend im 3D-Film zu berücksichtigen.

Es sollte also möglichst keine unscharfen Bereiche im Bild geben. Gewohnte Stilmittel

wie Schärfenverlagerungen oder die Einschränkungen des Tiefenschärfebereichs sind für den 3D-Film nur sehr bedingt anwendbar, wenn eine gezielte Blickführung inszeniert wird. Generell aber gilt, dass bei 3D-Aufnahmen mit großem Tiefenschärfebereich und daraus resultierend mit kleiner Blendenöffnung zu drehen ist. Das wiederum erfordert eine sehr helle Ausleuchtung der Motive und den Einsatz starker Beleuchtungseinheiten. Deshalb wurden in der Box, in der die Innenaufnahmen mit dem Spielfahrzeug gedreht wurden, mehrere ferngesteuerte „Bag-o-light“-Scheinwerfer an die Decke montiert.

### Bildkomposition

Des Weiteren ist eine sehr präzise Komposition des Bildaufbaus zu beachten. Das Zusammenspiel von Vorder-, Mittel- und Hintergrund ist im Rahmen der stereoskopischen Grenzwerte für Nah- und Fernpunkte zu definieren. Fehlen beispielsweise Objekte im Mittelgrund, können sogenannte Kulisseneffekte entstehen, das Vordergrundobjekt wirkt dann unnatürlich „ausgeschnitten“.

Diagonale Strukturen, die vom Vordergrund in den Mittelgrund führen, wirken sich vorteilhaft auf die räumliche Wirkung aus und helfen mit, den Kulisseneffekt zu vermeiden. Gestaltungsmittel, die schon im 2D-Film die räumliche Wirkung erhöhen, verstärken prinzipiell auch die Wirkung stereoskopischer Szenen, wie beispielweise Kamerafahrten, Verdeckungen, Aufdeckungen usw.

Basierend auf dieser Überlegung wurde bei Aufnahmen in der Boxengasse überwiegend das Steadicam-System eingesetzt, um Fahrzeuge und Fahrer umrunden zu können.

Und es wurde auch mit Kamerakränen gedreht, um zusätzlich zur horizontalen Schwenkbewegung bei der Verfolgung von Rennwagen auch die Höhe der Kamera verändern zu können, um so zusätzlich die Raumwirkung zu erhöhen.

### Stereoskopische Postproduktion

Ein harter Schnitt im 3D-Film bedeutet nicht nur, dass sich der Betrachter mit einem abrupt veränderten Bildinhalt auseinandersetzen muss, sondern auch, dass die Konvergenzbewegungen des Auges sich auf die jeweils neuen und unvermittelt eintreffenden räumlichen Informationen einstellen müssen. Eine Seherfahrung dieser Art kommt in der natürlichen Umgebung nicht vor und bedarf besonderer Berücksichtigung bei der stereoskopischen Filmmontage. Die Veränderungen der

Foto: KUK Filmproduktion GmbH



**Bild 4.** 3D-Editing und -Compositing-System „Piranha Cinema“ mit integrierter 3D-Projektion in Full-HD: Polarisationsverfahren

räumlichen Tiefe, definiert durch die in jeder Szene vom Betrachter erfassten Nah- und Fernpunkte, sind als wesentliche Parameter für die Schnittfolge und Einstellungsdauer zu berücksichtigen und kontinuierlich schon während des kreativen Montageprozesses, der Herstellung des Rohschnitts (**Bild 4**) also, in Betracht zu ziehen.

Deshalb erfolgt schon während der gesamten Rohschnittphase eine permanente 3D-Projektion zur Beurteilung der räumlichen Wirkung der einzelnen Szenen und auch der zeitlichen Abfolge räumlicher Eindrücke in einer Filmsequenz. Ermöglicht wird das bei der KUK Filmproduktion GmbH mit dem 3D-Editing und -Compositing-System „Piranha Cinema“. Zwei unkomprimierte Datenströme in voller HD-Auflösung können in Echtzeit von den RAID-Systemen gestreamt und mittels 3D-Projektion stereoskopisch betrachtet werden. Sämtliche Bildbeeinflussungen erfolgen in Echtzeit und können sofort auf ihre Wirkung hin in 3D betrachtet werden.

Das Compositing eines 3D-Films gestaltet sich wesentlich komplexer und aufwendiger als das einer 2D-Produktion, da umfangreiche Arbeitsschritte erforderlich sind, die dazu dienen, einen optimalen stereoskopischen Bildeindruck zu gewährleisten.

So sind selbst bei sorgfältigsten Kamerajustagen dennoch für jede Einstellung Korrekturen von Höhen- oder Drehfehlern und ein Ausgleich von Linsenverzerrungen durchzuführen.

Unvermeidbar ist auch die unterschiedliche Darstellung beispielsweise von Sonnenreflexen auf spiegelnden Oberflächen im rechten und linken Filmbild – ein Effekt, der bedingt durch den Augenabstand ganz natürlich auftritt und sich in der alltäglichen Sehpraxis nicht störend aufwirkt. Bei der stereoskopischen Filmvorführung jedoch würden beim Betrachter Irritationen auftreten, die sich nur durch eine nachträgliche digitale Korrektur dieser und ähnlicher Unterschiede vermeiden lassen.

Beim 3D-Compositing wird auch die Kon-



**Bild 5.** Das linke Bild zeigt die beim Studiodreh vor einem Green-Screen aufgenommene Szene, rechts das fertige 3D-Compositing mit korrekt in der räumlichen Tiefe platzierter Ansicht der Rennstrecke

vergenzebene für jede Einstellung genau festgelegt. Bildinhalte können dadurch näher zum Betrachter oder weiter in die Ferne gerückt werden – ein Arbeitsschritt, der vor allem im Hinblick auf stereoskopisch homogene Übergänge von Einstellung zu Einstellung eminent wichtig ist.

Es versteht sich von selbst, dass auch beim Colorgrading auf die Anpassung der Farbwerte von linkem und rechtem Bild (**Bild 5**) großer Wert gelegt werden muss und diese technische Angleichung noch vor den kreativen Arbeitsschritten zu erfolgen hat.

Werden im 2D-Compositing verschiedene Filmebenen – zum Beispiel bei Chromakey-Aufnahmen – zusammengefügt, so ist natürlich auf Passgenauigkeit, Farbabstimmung, saubere Key-Masken usw. zu achten, die räumliche Positionierung der einzelnen Ebenen jedoch spielt keine Rolle.

Anders jedoch beim 3D-Compositing: Jeder eingefügte Layer muss auch bezüglich der räumlichen Tiefe exakt positioniert und bei dynamischen Szenen müssen diese Raumparameter entsprechend animiert werden. Dieser Umstand erhöht die Komplexität des Compositings, insbesondere wenn computerani-



Foto: KUK Filmproduktion GmbH

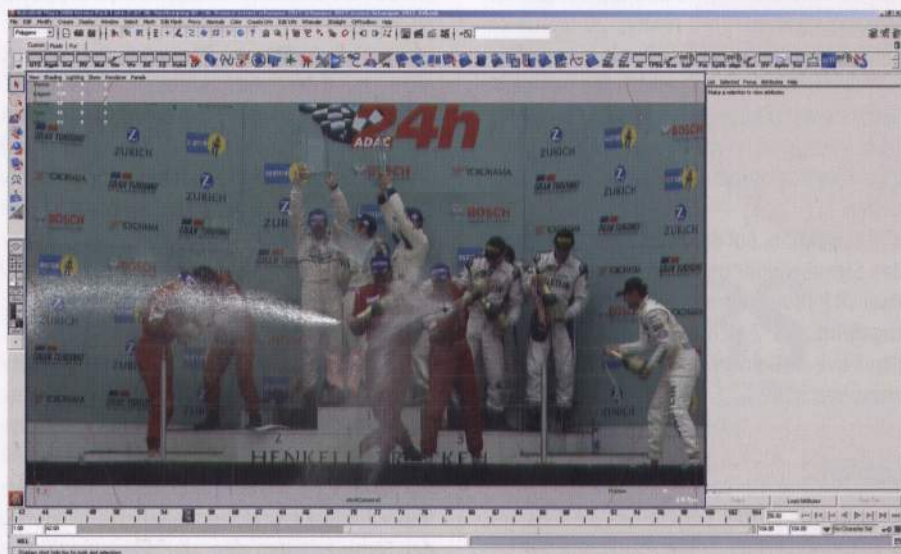
mierte Bildanteile mit dem Realbild zu kombinieren sind (**Bild 6**).

Gerade die sogenannten 3D-Outscreen-Effekte, also die Darstellung von Objekten, die sich vor der Bildwandebene befinden und im Raum zu schweben scheinen, bedürfen oft einer Verstärkung durch computeranimierte Bildanteile. So wurde die obligatorische Champagnerdusche bei der Siegerehrung durch digitale Spritzer verstärkt. Auch von den Rennwagen aufgewirbelte Steine, dem Fahrer entgegenkommende Regentropfen oder fliegende Schweißfunken in der Box erfuhren eine digitale Verstärkung, um den Betrachter damit räumlich in die 3D-Szenarien hineinzuziehen und so die dramaturgische Wirkung der Geschichte und die dargestellte Rennatmosphäre auf immersive Art zu verstärken.

### 3D-Liveübertragung von Sportevents

#### Praxis und Forschung bei der BBC

Die BBC verfolgt die Entwicklungen auf dem Gebiet des 3DTVs mit Interesse. So wurde bereits am 8. März 2008 ein Versuch von BBC Sport durchgeführt und ein Spiel der interna-



**Bild 6.** Screenshot der Maya-Oberfläche mit den digital verlängerten Champagnerspritzern

Foto: KUK Filmproduktion GmbH

tionalen „6 Nations“-Rugbyliga live vom Austragungsort (Murrayfield in Edinburgh) in 3D-HDTV zu einem eingeladenen Publikum ins Riverside Studio nach London übertragen. Am Test waren neben BBC Sport auch The3DFirm und BBC Outdoor Broadcast beteiligt.

Schon einmal waren die Riverside Studios (ehemals BBC-Eigentum) Ort einer technischen Premiere. Im Jahre 1967 wurde hier die erste Farbübertragung der BBC präsentiert.

### Ü-Ort

Vor Ort wurden drei Stereo-Rigs eingesetzt. Jedes dieser Rigs bestand aus zwei HD-Kameras (Sony HDC-F950), die nebeneinander montiert wurden. Der Interokularabstand ist in dieser Konfiguration durch den Durchmesser der Kameraobjektive begrenzt und mit minimal rund 10 cm größer als der mittlere Augenabstand beim Menschen, der mit etwa 6,5 cm angesetzt wird.

Ein Rig wurde an einem Ende des Spielfeldes auf etwa Augenhöhe der Spieler positioniert. Das zweite Rig befand sich auf der gegenüberliegenden Spielfeldseite in den Tribünen und das dritte seitlich auf der Haupttribüne. Die eingehenden Kamerasignale wurden zu einem lokalen Ü-Wagen geleitet. Dort wurde live zwischen den Ansichten „geschnitten“.

Am häufigsten wurde das Bild von der Haupttribüne verwendet. Das Rig am Ende des Spielfeldes kam fast nicht zum Einsatz, da durch den großen Abstand zu den Spielern und die weitwinkelige Einstellung der Kameras fast keine „Tiefe“ mehr wahrgenommen wurde.

Zur Übertragung wurden die beiden Stereokanäle getrennt mit jeweils 20 Mbit/s codiert. Dabei wurde MPEG-2 mit langen Bildgruppen (long-GoP) eingesetzt. Die beiden Videostreams wurden anschließend in einem Transportstream zusammengefasst und über eine Satellitenverbindung nach London übertragen.

Projektion: Auf der Empfängerseite wurde das Signal wieder unabhängig decodiert und zwei DLP-Projektoren mit Polarisationsfiltern zugeführt. Die Zuschauer konnten das Spiel dann live auf einer acht Meter breiten Bildwand betrachten.

### Ergebnis

Insgesamt war das Experiment im Ergebnis sehr beeindruckend. Die Projektion auf die große Leinwand erzeugte einen immersiven



**Bild 7.** Für zukünftige 3DTV-Systeme wird, um Display unabhängig zu sein, neben der Bildinformation eine Tiefenkarte übertragen (rechts)

Eindruck, dass heißt man hatte als Zuschauer (fast) das Gefühl im Stadium zu sitzen. Ein kleiner Wermutstropfen war die Tatsache, dass aufgrund des vergrößerten Kamera-Interokularabstandes die Szene etwas verkleinert wahrgenommen wurde. Das führte dazu, dass die Rugbyspieler auf handliche Liliputanergröße verkleinert wurden (Liliputismus). Dieses Problem ließe sich durch die Verwendung von Spiegel-Rigs (s. Bild 2) umgehen, die beliebige Interokularabstände erlauben.

Andere Schwachpunkte wurden beispielsweise bei der Übertragung offenbar: Durch die unabhängige Codierung der beiden Stereokanäle kann es bei Übertragungsfehlern dazu kommen, dass die Videostreams nicht mehr zeitsynchron am Empfänger ankommen, was störend wahrgenommen werden kann.

### Einschätzung

Alles in allem war der 3D-Test hilfreich, um Probleme und Nutzen von 3D-live-Produktionen einschätzen zu können. Es ist klar, dass es zur praktischen Nutzung nicht ausreicht, einfach die Zahl der Kameras zu verdoppeln, also jede derzeitige Kameraposition als Stereopaar auszuführen. Das wäre zum einen nicht mit der vorhandenen Infrastruktur machbar, da Ü-Wagen eine begrenzte Kapazität an Videokanälen haben. Ferner ist noch zu klären, welche der Kamerapositionen als „Stereokameras“ ausgeführt werden müssten.

Insbesondere Kameras mit großen Zoomobjektiven lassen sich nicht ohne Weiteres in einem herkömmlichen Spiegel-Rig verwenden, da sie sehr groß sind. Ferner eignen sich nicht alle Einstellungen für 3D. Derzeit werden in vielen Einstellungen Details durch „Heranzoomen“ gezeigt. Bei diesen Einstellungen mit langer Brennweite würde der 3D-Effekt fast vollständig verloren gehen – Objekte in der Ferne erhalten den „Kulisseneffekt“ wie bereits erwähnt.

### Zwischenbilanz

Als vorläufige Zwischenbilanz scheint es wahrscheinlich, dass aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen 3D für Sportübertragungen in absehbarer Zeit als zusätzlicher und weitestgehend unabhängiger Service neben dem „traditionellen“ Fernsehen eingesetzt wird. Das würde erhebliche Zusatzkosten verursachen.

### Entwicklung

Als Teil eines von der EU geförderten Forschungsprojekts – *3D4You* – geht die Forschungsabteilung der BBC derzeit der Frage nach, inwieweit es möglich ist, den stereoskopischen 3D-Eindruck aus den vorhandenen Kamerabildern zu erzeugen.

Diese Arbeit baut auf Methoden aus einem vorhergehenden Forschungsvorhaben (iView-Projekt) auf, das zum Ziel hatte, Werkzeuge für die Analyse von Fußball- oder Rugbyspielen zu entwickeln. Dabei wird aus mehreren Kameraansichten der Szene ein dreidimensionales Modell berechnet.

Zur Berechnung des Szenenmodells wird das sogenannte Silhouettenschnittverfahren eingesetzt. Dafür müssen die genauen Kameraparameter und eine Segmentierung von Vordergrund- und Hintergrundobjekten zu den Kamerabildern bekannt sein. Beides wird vollautomatisch aus der Bildinformation berechnet.

Zur Kamerakalibrierung nutzt man teilweise die Spielfeldmarkierung. Die Markierungslinien werden automatisch im Bild erkannt und vom Computer mit den bekannten oder gemessenen Maßen des Spielfeldes verglichen. Daraus ermittelt dann ein mathematisches Verfahren die genaue Position und Orientierung der Kameras sowie auch deren Abbildungsparameter, also Brennweite und gegebenenfalls Linsenverzerrungen.

Für die Segmentierung von Vorder- und Hintergrund werden Keying-Techniken eingesetzt: Es eignen sich Chroma- und Differenz-

Keyingtechniken. Letzteres kann eigentlich nur bei unbewegten Kameras eingesetzt werden. Die BBC hat jedoch das Verfahren so erweitert (Bild 7), dass es mit auf einem Stativ montierten Kameras arbeitet, bei denen also nur geschwenkt und gezoomt wird. Ermöglicht wird das in Kombination mit der zuvor berechneten Kamerakalibrierung: Vor der eigentlichen Anwendung wird ein Panorama der Szene erstellt, auf der keine Spieler zu sehen sind. Das aktuelle Kamerabild wird daraufhin mit dem entsprechenden Panoramaausschnitt verglichen. Wie beim Differenz-Keying ergeben sich darauf Bildbereiche – in denen sich nun Spieler befinden – als „Vordergrund“.

Aus den durch die Kalibrierung gewonnenen Kameraparametern und den Segmentierungsergebnissen gewinnt das Silhouettenschnittverfahren nun eine dreidimensionale Rekonstruktion der Vordergrundobjekte in der Szene. Diese Rekonstruktion ist um so genauer, je mehr Kameras verwendet werden. Es ist dabei vorteilhaft, wenn die Kameras möglichst weit um die Szene herum verteilt aufgestellt sind. Das ist bei Sportübertragungen ohnehin der Fall.

Eingesetzt werden kann das Silhouettenschnittverfahren mit einer Anzahl von Kameras ab etwa vier bis fünf. Für genauere 3D-Modelle ist jedoch eine höhere Anzahl wünschenswert.

Ziel des erwähnten iview-Projekts war es, dreidimensionale Modelle zur Analyse von Spielsituationen zu verwenden. Dazu werden die Daten im Computer genutzt, um neue Ansichten aus beliebigen Blickwinkeln zu berechnen. Das ermöglicht Sportkommentatoren beispielsweise eine Szene anzuhalten und mit der Kamera „virtuell“ an eine andere Stelle zu „fliegen“, um damit die räumliche Konstellation strategisch zu analysieren. Dieses Verfahren wurde mit Erfolg in Fußball- und Rugbyspielen getestet.

Ziel des laufenden 3D4You-Projekts ist es nun zu untersuchen, ob sich die Verfahren für Anwendung im 3DTV eignen. Das 3D4You-Projekt setzt dabei auf Datenübertragungsformate, die weitestgehend unabhängig vom Ausgabegerät sind. Das wird erreicht, indem den Bildpunkten Tiefenwerte in einer sogenannten Tiefenkarte zugeordnet werden. Diese Informationen können beispielsweise die 3D-Displays der Firma Philips direkt einlesen (s. Beitrag „3D-Displays im End-to-End-Kontext“).

Da die dreidimensionale Information aus dem Silhouettenschnittverfahren vorliegt, ist

es konzeptionell relativ einfach, diese in eine Tiefenkarte zu konvertieren. Eine Umrechnung in ein Stereopaar für die Ausgabe an ein konventionelles Stereodisplay ist dabei ebenfalls möglich.

Erste Versuche mit Daten aus einem in HD-Auflösung aufgezeichneten Rugbyspiel waren sehr erfolgreich und produzierten visuell gute Ergebnisse bei Ausgabe auf einem Stereodisplay. Die eingesetzten 3D-Rekonstruktionsverfahren laufen derzeit als Simulation auf Standard-PCs und erreichen dabei noch keine Echtzeit. Grundsätzlich sind die Algorithmen jedoch einfach genug, um eine Echtzeitverarbeitung zu realisieren.

### Folgerung

Bezüglich eines praktischen Einsatzes sind noch einige Punkte zu klären. So ist wie bereits erwähnt eine Mindestanzahl von Kameras für das Silhouettenschnittverfahren notwendig. Ein Problem bei Sportübertragungen ist dabei, dass einige Kameras sehr weit heranzoomen und beispielsweise nur den ballführenden Spieler zeigen. In diesen Fällen kann die automatische Kamerakalibrierung versagen, da nicht mehr genug Markierungslinien im Bild vorhanden sind. Daher eignen sich aus Erfahrung der BBC mit Premiumspielen, die insgesamt bis zu 20 Kameras einsetzen, nur etwa vier bis fünf der Kamerapositionen für das skizzierte Verfahren. Um eine robuste Anwendung zu erlauben, müssten unter Umständen zusätzliche Kameras montiert werden. Das ist dem ursprünglichen Ziel, Aufwand einzusparen, gegenläufig. Allerdings müssen die zusätzlichen Kameras nicht von einem Kameramann bedient werden, was wiederum Kosten einsparen würde.

### Schlussbemerkung

Alles in allem sind noch eine ganze Reihe von Fragen offen. Das laufende Forschungsprojekt versucht, diese so gut es geht, zu beantworten. Nicht allein eine Frage an die Forschung, sondern an die Produktion im Allgemeinen ist, wie 3D als Medium genutzt wird und welchen „Zusatznutzen“ der Zuschauer erhält.

Im Rahmen von Sportübertragungen kann man sicher den Aspekt des räumlichen, neuen Seherlebnisses als attraktiv für den Zuschauer gelten lassen. Weltweit haben eine Reihe von Fernsehbetreibern dieses Potenzial erkannt und ebenfalls verschiedene 3D-Tests von Sportübertragungen durchgeführt oder angekündigt.

## CBS Broadcast Service

Ihre Technik in besten Händen



### Reparatur, Wartung und Service aller gängigen Broadcast Systeme\*

Ihr hochwertiges Equipment verdient hervorragend ausgebildete und erfahrene Profis. Die CBS Mitarbeiter arbeiten seit Jahrzehnten auf höchstem Niveau und zeichnen sich aus durch:

- **technisches Know how der Extraklasse,**
- **sehr hohe Zuverlässigkeit und Termintreue.**

Dank dieser Leistungsmerkmale vertrauen uns unsere Kunden. Prüfen auch Sie uns und überzeugen Sie sich selbst von der CBS Servicequalität.

Dass auch ihre HD Geräte bei uns in besten Händen sind, ist selbstverständlich.

\*autorisierter Servicepartner und Spezialist für die folgenden Systeme:  
SONY  
Panasonic  
JVC  
Grass Valley  
Thomson  
Tascam  
Sachler  
Barco  
Ikegami  
Sennheiser

**CBS**  
Communication & Broadcast  
System Service GmbH

Fon: 030-75 70 50 47  
www.cbs-berlin.de  
Rathausstraße 48, 12105 Berlin  
info@cbs-berlin.de