

Mixed Realities:

Integration virtueller Objekte in Realaufnahmen

Computergenerierte Effekte erfreuen sich bei Film- und Fernsehproduktionen immer größerer Beliebtheit. Diese digitalen Compositings sind aber derzeit mit sehr hohen Herstellungskosten verbunden. Auf der Basis bildbasierter Tracking-Verfahren wird in diesem Beitrag eine für den Low-Budget-Bereich geeignete Produktionsform beschrieben, die es ermöglicht, computergenerierte Objekte unter Berücksichtigung der 3D-Kohärenz für Perspektive, Schatten und Verdeckungen in reale Bewegtbildsequenzen zu integrieren.

1. Einleitung

Mixed Realities (MR) bezeichnet im allgemeinen die Kombination von realen und computergenerierten (CG) Bildern. Das Spektrum solcher Bilder kann in einem erweiterten Kontext zwischen Realität und Virtualität gesehen werden, wobei die Begriffe Realität und Virtualität in diesen Zusammenhang für das real aufgenommene und das synthetische Bild stehen (**Bild 1**). Die Grenzen dieses Spektrums stellen einerseits konventionell hergestellte Filme und andererseits vollständig im Computer erzeugte Animationen dar. Dazwischen angesiedelt sind beispielsweise Fernsehsendungen aus dem Virtuellen Studio und Visual Effects (VFX) sowie Sound Effects (SFX) im Kinofilm.

Bei der derzeitigen Standardanwendung Virtueller Studios — nämlich Magazinsendungen — agiert ein Moderator im leeren Blaum. Die Räumlichkeiten und Dekorationsgegenstände werden vom Computer erzeugt und in Echtzeit mit den Realaufnahmen kombiniert. Eines der Hauptprobleme bildet dabei die teure Hardware, die den hohen Anforderungen der Echtzeitdarstellung genügen muß. Wegen der hohen Investitions- und Produktionskosten stellt sich hier stets die Frage nach der Wirtschaftlichkeit. Die Technik des Virtuellen Studios, auf die hier nicht näher eingegangen wird, ist zum Beispiel in [1] dargestellt.

Visual Effects bei Filmproduktionen sind ebenfalls Kombinationen von realen Bildern und virtuellen Objekten. Eine Standardtechnik für die Zusammenführung verschiedener Bildebenen im Film-

bereich ist hierbei das sogenannte Motion Control, das heißt die computergesteuerte und damit exakt wiederholbare Führung einer — realen wie auch virtuellen — Kamera. Die im Filmbereich zur Verfügung stehenden Budgets erlauben nicht nur den Einsatz kostenintensiver Motion-Control-Techniken sondern auch arbeitsintensive Einzelbildbearbeitung und Einzelbildkomposition verschiedener Bildquellen.

Ziel des hier beschriebenen Projekts war die Entwicklung (einschließlich praktischer Tests) eines für den Low-Budget-Bereich geeigneten Produktionsverfahrens für Mixed Realities, das jedoch die Qualitätsanforderungen der Sendeanstalten erfüllt. Die Produktionsmethode sollte bei frei beweglicher Kamera — allerdings unter Aufgabe der Echtzeitfähigkeit — auch eine lukrative Alternative gegenüber Produktionen im Virtuellen Studio darstellen.

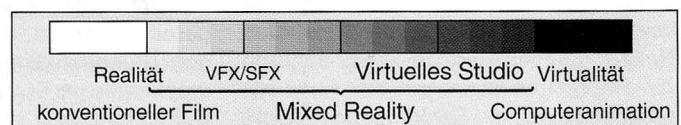
2. Anforderungen der Produktionspraxis

Das angestrebte Produktionsverfahren sollte folgende Bedingungen der Fernseh- und Videoproduktionspraxis erfüllen:

- Die Produktionskosten für die Realaufnahmen sollten sich im Rahmen vergleichbarer, auf konventionelle Art und Weise produzierter Sendungen bewegen.
- Der Produktionsablauf für die Erstellung der Realaufnahmen sollte nicht

Prof. Dr.-Ing. Georg Trogemann, Kunsthochschule für Medien Köln, Lehrgebiet Informatik und Audiovisuelle Medien; Prof. Dr.-Ing. Franz Stollenwerk, Dipl.-Ing. (FH) Edwin Bartnik, Dipl.-Ing. (FH) Thilo Gottschling, Fachhochschule Köln, Lehrgebiet Videoproduktionstechnik

Bild 1. Realität-Virtualität-Kontinuum



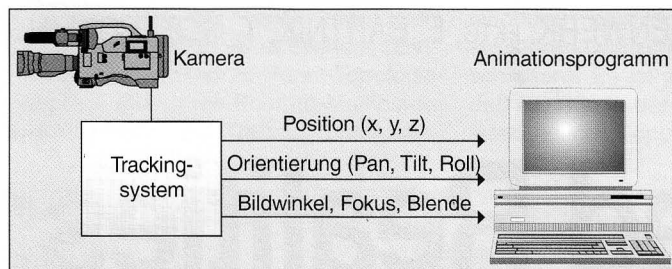


Bild 2. Tracking-system als Black Box

wesentlich komplizierter und umfangreicher als bisher üblich werden.

- Es sollte keine Einschränkungen der Kamerabewegung bei der Aufnahme der Realszenen geben, das heißt, es muß eine in allen Freiheitsgraden bewegliche, dynamische Kameraführung möglich sein.
- Die Aufnahmen sollten mit Standard-EFP-Equipment (Electronic Field Production) durchgeführt werden können.
- Die Verschmelzung der unterschiedlichen Bildquellen muß einfach durchführbar sein und sollte auch weitgehend unabhängig von der Komplexität der computergenerierten Szenen und der Realaufnahmen sein.

2.1. Bildkombination erst nachher

Eine geeignete Methode, um die aufgelisteten Anforderungen zu erfüllen, ist die Verlagerung der Produktionsschritte für die Kombination der virtuellen und realen Bildelemente in die Nachbearbeitung. Die teure echtzeitfähige Hardware (zum Beispiel Onyx Workstation für Bildberechnung, Sirius-Videoboard für die Digitalisierung der Bilder) wie sie im Virtuellen Studio benötigt wird, kann durch preisgünstigere Systeme ersetzt werden. Des weiteren ermöglicht die Bearbeitung der Szenen in der Postproduction eine ortsunabhängige Arbeitsweise für die Realaufnahmen. Außenaufnahmen erweitern so das Spektrum der Mixed-Reality-Anwendungen.

2.2. Photorealismus nur bei Bedarf

Die ebenfalls offline hergestellten Kompositionen von computergraphischen und realen Elementen in Kinofilmen und Werbespots sind entsprechend kosten- und zeitintensiv. Vorbild für einen alternativen Nachbearbeitungsprozeß sollten also nicht die in der Regel mit immens hohen Budgets ausgestatteten Hollywood-Produktionen sein, sondern die Rahmenbedingungen der Fernsehproduktion. Für die Senkung der Produk-

tionskosten ist es wichtig, das Ergebnis in ein vernünftiges Verhältnis zum technischen Aufwand zu stellen. Das Ziel sollte also nicht immer perfekter Photorealismus — das heißt von der Realität nicht zu unterscheidende Bilder — sondern vielmehr die logisch konsistente Kombination der Szenenbestandteile sein.

2.3. Welche Aufnahmeparameter erfassen?

Für eine perfekte Verschmelzung von realen Bewegtbildsequenzen und virtuellen Objekten müssen die Aufnahmeparameter der realen Kamera durch ein Trackingsystem für jedes Bild erfaßt werden. Betrachtet man das Trackingsystem als Black Box (**Bild 2**), so stellt es dem 3D-Animationsprogramm die Parameter zur Verfügung, die zu einer Änderung des Bildes führen. Ein ideales Trackingsystem sollte für alle Freiheitsgrade die entsprechenden Daten der realen Kamera an das Animationsprogramm liefern. Zur Zeit ist allerdings noch kein Animationsprogramm (frei) verfügbar, das Fokus und Blende der realen Kamera in die Berechnung der virtuellen Bilder mit einbezieht. Der aus diesen Parametern resultierende Effekt der begrenzten Schärfentiefe wird mit Mitteln der Bildbearbeitung nachgeahmt und steht somit in keinem direkten Zusammenhang zu der Bilderzeugung durch die reale Kamera.

Neben der Anzahl der bestimmbarer Kameraparameter gibt es weitere Kriterien, die ein Trackingsystem für MR-Anwendungen in der Postproduction erfüllen muß. Ein wichtiges Kriterium stellt der Arbeitsbereich dar, das heißt der Bereich, innerhalb dessen das System zuverlässig funktioniert. Dieser kann bei einigen Aufnahmen sehr groß sein — so zum Beispiel für Aufnahmen aus dem Flugzeug — oder nur einige Meter umspannen, wie etwa bei der Arbeit im begrenzten Set. Des weiteren sollte, wie bereits gefordert, die Bewegungsfreiheit der Kamera keinen Einschränkungen unterliegen. Entscheidend für die Aufnahmepraxis ist auch, ob vor Dreh-

beginn aufwendige Justagen oder Aufbauten (Spezialstativ, Schienen, Kran) vorgenommen werden müssen, bevor das Trackingsystem einsatzbereit ist, oder ob es unmittelbar verwendet werden kann. Die Flexibilität eines Trackingsystems wirkt sich auch direkt auf die Aufnahmedauer der Realaufnahmen — und damit auf die Produktionskosten — aus. Betrachtet man die Funktionalität des Systems in der Nachbearbeitung, so sollten Möglichkeiten vorhanden sein, den rekonstruierten Kameraweg zu manipulieren. So können, falls notwendig, Korrekturen vorgenommen werden. Dies sollte entweder durch geeignete Filter oder manuellen Eingriff realisierbar sein.

3. Trackingsysteme

Das Grundproblem bei MR-Anwendungen besteht darin, computergenerierte Modelle in reale 2D-Bewegtbildsequenzen unter Berücksichtigung der 3D-Kohärenz für Perspektive, Schatten und Verdeckungen zu integrieren. Nachdem im letzten Abschnitt die grundsätzlichen Anforderungen an ein Trackingsystem behandelt wurden, stellt sich anschließend die Frage nach der Methode zur Rekonstruktion der Kameraparameter.

3.1. Motion Control

Eine Alternative zum Tracking ist die kontrollierte Führung der Kamera. Hierbei wird die Bewegung der Kamera mit Hilfe von computergesteuerten Robotern präzise ausgeführt. Der Datensatz, der die Steuerung der Roboter übernimmt, kann zugleich für die Animation der virtuellen Kamera eingesetzt werden. Motion-Control-Systeme zeichnen sich durch eine sehr hohe Präzision aus. Diese Technik wird deshalb dort verwendet, wo die Kombination von verschiedenen Bildelementen mehrfach exakt reproduzierbare Kamerafahrten erfordert (zum Beispiel Filmtrick).

3.2. Motion Tracking

Die in Virtuellen Studios zur Zeit wohl am häufigsten eingesetzte Tracking-Methode arbeitet mit Sensoren. Sie werden an der Kamera und dem Kameraträger angebracht und ermöglichen die genaue Bestimmung der Kameraparameter, die entweder aufgezeichnet oder direkt ausgewertet werden können. Der wesentliche Nachteil dieser sensorba-

sierten Systeme ist die unflexible Arbeitsweise. Für die exakte Bestimmung der Position und Orientierung müssen beispielsweise schienenengebundene Stativ-eingesetzt werden. Aufbau und Kalibrierung dieser Systeme bei Orts- oder Szenenwechsel erfordern viel Zeit. Auch die Bewegungsfreiheit der realen Kamera ist von der für das Tracking benutzten Kamerabefestigung abhängig. Es sind zwar Systeme verfügbar, die alle Freiheitsgrade analysieren können, ihre Anwendung ist aber für Produktionen mit kurzer Aufnahmedauer schlecht geeignet.

3.3. Bildbasierte Trackingsysteme

Bei bildbasierten Trackingsystemen werden zur Rekonstruktion der Kameraparameter real vorhandene Referenzmuster oder Referenzobjekte benutzt, die eine feste geometrische Beziehung zueinander haben [2]. Die Muster oder Objekte dürfen jegliche Form und Farbe haben, solange sie in jedem Bild eindeutig durch die Bildverarbeitungsstufe wiedergefunden werden können. Des weiteren müssen sie entweder sorgfältig vermessen werden, oder man muß ihre Geometrie aus einer Stereoansicht berechnen. Zur Bestimmung der Kameraparameter wird das Referenzmuster/-objekt im Kamerabild gesucht, und die aktuelle Position und Größe werden berechnet. Das Abbildungsmodell der realen Kamera wird dabei nur durch das vereinfachte Lochkameramodell beschrieben, das heißt Linseneigenschaften werden nicht berücksichtigt und die Bildweite der Kamera wird mit der Brennweite des Systems gleichgesetzt.

Unter der Voraussetzung, daß der Kameraausschnitt genügend codierte Elemente enthält (Mindestsichtfeld), können aus den entsprechenden 3D-Koordinaten im realen Raum und den 2D-Bildschirmkoordinaten die Position sowie der Neige- und Schwenkwinkel der Kamera berechnet werden. Für die Bestimmung des Öffnungswinkels muß noch eine weitere Bedingung erfüllt werden: Die Elemente dürfen nicht in einer Ebene senkrecht zur optischen Achse liegen. Ist das aber der Fall, kann der Algorithmus zur Bestimmung der Kameraparameter aufgrund der fehlenden Tiefeninformation zwischen Zoom und Kamerafahrt nicht unterscheiden.

Obwohl sich der Einsatz der sensorbasierten Trackingmethode im Virtuellen Studio bewährt hat, ist für MR-Anwendungen in der Postproduction die bildbasierte Methode besser geeignet. Bei dieser können ohne zeitintensive Justage

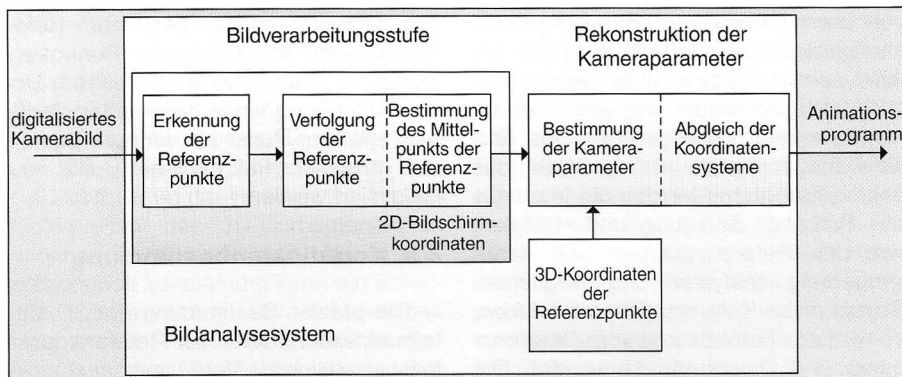


Bild 3. Blockschaltbild des Bildanalysesystems

die Bewegungsachsen der realen Kamera ermittelt werden, sogar beim Handkamera-Einsatz. Die Anforderungen der Produktionspraxis wären somit erfüllt. Der Nachteil durch das notwendige Mindestsichtfeld der Kamera ist nicht besonders schwerwiegend, da in TV- und Industriefilm nur selten bewegte Großaufnahmen gemacht werden.

Der 3D-Equalizer der Firma Science•D•Vision ist zum Beispiel eine speziell für die Nachbearbeitung entwickelte Bildanalysesoftware. Sie ermöglicht die Rekonstruktion der Kameraparameter mit Hilfe von Referenzpunkten, die entweder in der realen Szene für die Kamera sichtbar verteilt wurden, oder für die man bestehende markante Punkte, Ecken oder Kanten in der Szene verwendet. Während in einer früheren Version die geometrischen Beziehungen zwischen mindestens vier Punkten zueinander bekannt sein mußten, besteht in der aktuellen Version die Option, ohne Kenntnis dieser Beziehung die Kameraparameter zu bestimmen. Die geometrische Beziehung zwischen den Referenzpunkten wird dabei durch die zeitliche und räumliche Beziehung zweier zusätzlich aufgenommener Referenzpunkte ermittelt. Zusätzlich zu den vier Punkten, die auf jedem Bild der Sequenz

sichtbar sein müssen, benötigt man weitere zwei Punkte auf mindestens zwei Bildern, wobei diese beiden Bilder sich in der Perspektive soweit wie möglich voneinander unterscheiden sollten. Diese Methode hat den Vorteil, daß auch Archivmaterial bearbeitet werden kann, bei dem keine Abstände in der Realszene bekannt sind.

4. Trackingsystem der KHM Köln

Im Rahmen eines Entwicklungsprojektes an der Kunsthochschule für Medien (KHM) in Köln entstand ein bildbasiertes Trackingsystem, das die Möglichkeit bietet, virtuelle Objekte in bewegte Realbildsequenzen einzubinden. Dieses System ermöglicht eine in allen Freiheitsgraden bewegliche Kameraführung mit gleichzeitiger Bewegungsfreiheit des virtuellen Objekts. Die Bewegungsfreiheit des virtuellen Objekts ist wichtig, da das System hauptsächlich zur Integration virtueller Akteure in Realszenarien eingesetzt wird. Für die Rekonstruktion der Kameraparameter werden farbige Referenzpunkte an die Position des virtuellen Objekts in der realen Szene verteilt und vermessen. Mit dem Bildanalysesystem (Bild 3) werden in der Nachbearbeitung die Kamerabewegungsdaten rekonstruiert. Nachfolgend werden die einzelnen Arbeitsschritte beschrieben.

4.1. Erkennung der Referenzpunkte

Für die Erkennung der farbigen Referenzpunkte im digitalisierten Videobild wählt das Programm einen geeigneten Farbraum, der es ermöglicht, die Punkte in jedem Bild eindeutig wiederzufinden. Als „geeigneten“ Farbraum wird dabei ein Farbraum verstanden, in dem sich das Farbintervall eines Referenzpunktes

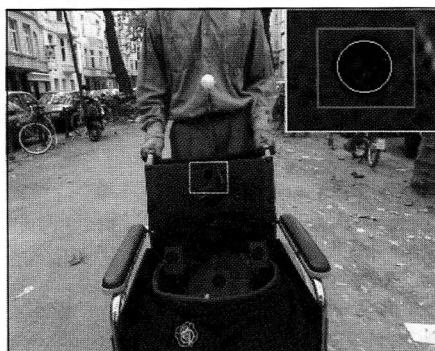


Bild 4. Die grüne und gelbe Markierung stellen die Außen- und Innenumgebung eines Referenzpunktes dar

von dem Farbintervall der Umgebung klar unterscheiden läßt (**Bild 4**). Für die Analyse der Farbintervalle werden der HSV-, YIQ-Farbraum und eine Farbabstandsfunktion herangezogen. Als Entscheidungskriterium für die Wahl des besten Farbraums werden die Intervalle der Färbung, Sättigung und Helligkeit von den Referenzpunkten und deren Umgebung analysiert und verglichen. Sollten diese Kriterien nicht ausreichen, so wird der Farbabstand vom Referenzpunkt und Umgebung verwendet. Die Bestimmung der charakteristischen Farbintervalle wird interaktiv vom Anwender des Trackingsystems unterstützt. Dazu wird im Startbild der Bildsequenz eine Farbfläche definiert, die möglichst genau mit den Referenzpunkten übereinstimmt.

4.2. Verfolgung der Referenzpunkte

Nachdem in der Initialisierungsphase das charakteristische Farbintervall für die Referenzpunkte im Startbild bestimmt worden ist, werden Verfahren benötigt, die beim Eintreffen eines neuen Videobildes die neuen Positionen der Referenzpunkte bestimmen. Die im KHM-System implementierte Methode berechnet den Verschiebungsvektor zwischen der letzten und vorletzten Position eines Punktes, so daß sich bei gleichmäßigen Kamerabewegungen die Position des Punktes im nächsten Bild annähernd vorhersagen läßt. Die Länge des Verschiebungsvektors ist ein Kriterium für die Größe der Bewegung. Bei geringen Bewegungen zum Beispiel lohnt eine Vorhersage nicht, da der Referenzpunkt in der Nähe der letzten Position schnell gefunden werden kann. Geschwindigkeit und Beschleunigung der realen Kamerabewegung beeinflussen hingegen die Größe der quadratischen Suchumgebung. Das hat den Vorteil, daß der Suchbereich nur so groß sein muß, wie die zu erwartende Beschleunigung einer Bewegung.

Wurde mit Hilfe des oben genannten Verfahrens ein Referenzpunkt lokalisiert, so wird zur Sicherheit noch eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt. Dadurch soll verhindert werden, daß während der Verfolgung eines Referenzpunktes ein Bildpunkt gefunden wird, der den gleichen Farbwert wie der Referenzpunkt hat. Als Kriterium wird dabei dann der Durchmesser des Referenzpunktes verwendet. Weicht der Durchmesser eines gefundenen Punktes um mehr als 40%

vom letzten Wert des gesuchten Referenzpunktes ab, so wird der Punkt verworfen und die Suche fortgesetzt. Bei Überschreitung eines bestimmten Zeitlimits wird der Punkt als verloren gemeldet. In diesem Fall muß der Punkt neu initialisiert werden.

4.3. Koordinatenbestimmung

Die präzise Bestimmung der 2D-Mittelpunktskoordinaten der Referenzpunkte ist eine wichtige Voraussetzung für die korrekte Rekonstruktion der Kameraparameter. Schwankungen in den Positionen verursachen ein Zittern des virtuellen Objekts im kombinierten Bild. Als Ausgangswert für die Bestimmung des Mittelpunktes benutzt der Algorithmus den bei der Verfolgung bestimmten Bildpunkt, der innerhalb des Referenzpunktes liegt. Zunächst wird in vertikaler Richtung der obere und untere Rand des Referenzpunktes ermittelt, in dem die Farbwerte der Bildpunkte mit den charakteristischen Farbwerten der Referenzpunkte verglichen werden. Anschließend werden die Mittelpunkte jeder einzelnen Spalte innerhalb des Referenzpunktes bestimmt. Sie weisen, aufgrund der Schwankungen in den Farbwerten und den unregelmäßigen Randbereichen der Punkte, unterschiedliche Mittelpunkte auf. Als tatsächlicher Y-Wert für den Mittelpunkt des Referenzpunktes wird der Mittelwert über alle Spaltenmittelpunkte berechnet. Die Bestimmung des X-Wertes erfolgt über den Mittelwert aller Zeilenmittelpunkte im Referenzpunkt.

4.4. Berechnung der Kameraparameter

Für die Berechnung der Kameraparameter wurde das in [3] beschriebene iterative Verfahren implementiert. Dieses Verfahren benötigt für die Rekonstruktion der Position, der Orientierung und des Öffnungswinkels mindestens fünf Referenzpunkte mit den entsprechenden 3D-Koordinaten. Das Koordinatensystem, in dem die Lage der Referenzpunkte bestimmt wird, kann frei gewählt werden. Durch die Eingabe der vermessenen Punktabstände werden die 3D-Positionen der Referenzpunkte berechnet und mit Hilfe der Abbildungsgleichung des Lochkameramodells auf die 2D-Bildebene des digitalisierten Bildes projiziert (bei der bildbasierten Trackingmethode wird die Abbildung der realen Kamera durch das Lochkameramodell ersetzt). Durch Vergleich der aus dem Videobild bestimmten 2D-Koordinaten der Referenzpunkte mit

den projizierten wird ein Korrekturwert bestimmt. Dieser Wert wird auf die Abbildungsparameter angewendet. Der Vorgang wird solange wiederholt, bis ein vorgegebener Fehlerwert erreicht ist. Schließlich ist noch eine Anpassung der Koordinatensysteme von Aufnahme und Animation erforderlich.

5. Produktionsschema

Das nachfolgend dargestellte Produktionsschema wurde unter Berücksichtigung der beschriebenen Anforderungen der Produktionspraxis entwickelt. Es bezieht sich auf das Zusammenspiel der verschiedenen Arbeitsschritte, die bei der Produktion eines MR-Films notwendig sind. Die Verifikation erfolgte durch eine Experimentalproduktion (Videofilm, Dauer der Endfassung 3,5 Minuten). Das hierfür gewählte Szenario zeichnet sich durch die gleichzeitige Bewegung unterschiedlicher Elemente aus: frei bewegte Kamera, frei bewegtes Tracking-Objekt und bewegtes computergeneriertes Objekt.

Als computergeneriertes Objekt wurde der virtuelle „Character“ „unbekanntes Mitglied des Bundestags“, der von der KHM in Kooperation mit dem WDR entwickelt wurde, verwendet. Dieser Character wurde in einen realen Rollstuhl „gesetzt“. Das ermöglichte sowohl das Anbringen von Trackingpunkten am Rollstuhl (s. Bild 4) als auch eine große — von der Kamera unabhängige — Bewegungsfreiheit des Trackingobjekts. Auch konnte durch diesen Aufbau das entwickelte Trackingsystem unter extremen Praxisbedingungen getestet werden. Schon geringfügige Fehler bei der Rekonstruktion der Kameraparameter wirken sich als Verschiebungen der virtuellen Figur gegenüber dem realen Rollstuhl aus. Natürlich ist der Produktionsablauf grundsätzlich von den Eigenschaften der verwendeten virtuellen Objekte und der eingesetzten Animations- und Trackingsoftware abhängig. Das hier beschriebene Produktionsschema kann aber als Leitfaden für die Konzeption eines Produktionsablaufs dienen.

5.1. Planung der Realaufnahmen

Speziell bei Mixed-Reality-Filmen ist es wichtig, die Realaufnahmen anhand eines Storyboards genau zu planen. Nur so kann gewährleistet werden, daß die zur Verfügung stehenden Mittel optimal ausgenutzt und die anvisierte Produktionsdauer nicht überschritten wird. Die

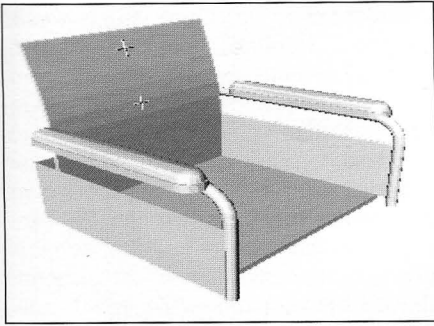


Bild 5. Mit Softimage-3D maßstabgetreu nachgebildete Rollstuhlmaske

Grenzen der Machbarkeit werden hierbei durch die für Tracking, Animation und Compositing eingesetzte Software determiniert. Das Trackingprogramm benötigt für die Rekonstruktion der Kameraparameter eine Mindestanzahl von Referenzpunkten. Diese müssen sinnvoll angebracht und anschließend vermessen werden. Durch den Einsatz von Referenzobjekten (Objekte mit fest angebrachten Referenzpunkten, zum Beispiel Rollstuhl, s. Bild 4) kann das Vermessen schon im Vorfeld der Dreharbeiten erfolgen. Des weiteren müssen Einschränkungen durch die Trackingsoftware (zum Beispiel keine bewegten Großaufnahmen) bei der Planung berücksichtigt werden. Eine weitere Besonderheit stellt die Interaktion zwischen realen Objekten oder Personen mit dem virtuellen Objekt dar. Um zum Beispiel Schatten im Endprodukt aufzuweisen, müssen die realen Objekte entsprechend „nachmodelliert“ werden.

Solche Interaktionen sind einzelbildweise mit Rotoscoping zu bearbeiten. Diese — oder vergleichbare Spezialeffekte — können bei Fehleinschätzung den vorgegebenen Zeit- und Kostenrahmen für die Nachbearbeitung schnell sprengen. In der Planungsphase sollten deshalb möglichst nur Interaktionen zugelassen werden, die keine solche zeitaufwendige Einzelbildbearbeitung erfordern. In der durchgeführten Experimentalproduktion wurde beispielsweise das Problem der teilweisen Verdeckung der virtuellen Figur durch die Armlehnen und Seitenteile des realen Rollstuhls, mit der maßstabgetreuen 3D-Nachbildung des Rollstuhls gelöst (Bild 5). Die Position des 3D-Modells wurde durch die Trackingdaten bestimmt, da sie immer im Verhältnis zum realen Rollstuhl (Referenzpunkte am Rollstuhl) berechnet wurden. Ein zeitintensives Rotoscoping wurde damit vermieden. Bei der Arbeit mit virtuellen Darstellern sollten die Textpassagen der 3D-Figur schon im Vorfeld aufgezeichnet werden. Sie können bei der

Aufzeichnung der Realaufnahmen vorgespielt werden, um so die Schauspieler auf die Eigenarten ihres nicht sichtbaren Gegenübers einzustimmen.

Um eine homogene Gesamtwirkung von MR-Bildsequenzen zu erzielen sind die Lichtquellen der Realszenen mit den Lichtquellen der 3D-Computerszenen aufeinander abzustimmen. Durch entsprechende Vorplanung kann ein erheblicher Zeitgewinn in der Nachbearbeitung erzielt werden. Eine notwendige Voraussetzung für die Planung der realen Lichtstimmung ist die Kenntnis über die Möglichkeiten des Beleuchtungs- und Rendermoduls. In einem Lichtplan sind die Beleuchtungsverhältnisse am Drehort vollständig zu beschreiben (Szenenskizze mit Position und Orientierung der Lichtquellen und Angabe der Farbcharakteristik).

5.2. Nachbearbeitung

Die Aufteilung der Nachbearbeitungsschritte und der Informationsfluß zwischen den einzelnen Arbeitsschritten ist im Bild 6 dargestellt. Bei dieser gesplitteten Bearbeitung von Ton, Bild und Animation muß während des gesamten Bearbeitungsprozesses besonderes auf Einhaltung der Synchronität geachtet werden.

• Rekonstruktion der Kameraparameter

Nach dem Schnitt werden die zu animierenden Bildsequenzen digitalisiert. Anschließend erfolgt die Rekonstruktion der realen Kameraparameter. Bei der Realisierung des Videofilms mußten Sequenzen, bei denen sich die Kamera um den Rollstuhl bewegte, geteilt werden. Dies war notwendig, da während der Kamerabewegung die Referenzpunkte im Bild wechselten und somit nicht durchgehend zum Tracken eingesetzt werden konnten. Somit wurden Sequenzen, die nicht mit einem Trackingvorgang bearbeitet werden konnten, in Abschnitte unterteilt und anschließend in der Animationssoftware zu einem Bewegungspfad zusammengefügt. Die Möglichkeit, neue Referenzpunkte während des Trackingvorgangs zu initialisieren, könnte diesen Arbeitsschritt ersetzen.

• Animation

Globale Beleuchtungsverfahren, wie das Radiosity und Ray-Tracing können die Eigenschaften realer Lichtquellen gut nachbilden. Mit ihnen lassen sich photorealistische Bilder erzeugen. Sie sind jedoch häufig zu rechenintensiv, um

sie für diese Art der MR-Anwendungen einsetzen zu können. Beleuchtungsverfahren, die Umgebungslichtanteile, diffuse Lichtanteile und spiegelnde Reflexionen anbieten, erlauben ausreichende Eingriffs- und Gestaltungsmöglichkeiten für die meisten MR-Anwendungen. Hierzu zählt zum Beispiel die Gouraud- und Phong-Schattierung. Die Abstimmung der Lichtrichtung und Lichtfarbe erfolgt anhand der Analyse des aufgezeichneten Bildmaterials und der vor Ort notierten Daten und Skizzen.

Was nun die Animation der Objekte anbelangt, bietet sich die Verwendung eines Zweistufen-Modells an. Die Animation erfolgt hierbei mit einem niedrig aufgelösten, jedoch in Echtzeit animierbarem Modell. Für die anschließende Bildberechnung wird das Modell durch ein hochauflösendes ersetzt. Des weiteren ermöglichen Motion-Capture-Systeme die schnelle Animation von virtuellen Figuren. So wurden die rollstuhlspezifischen Grundbewegungen der in der Experimentalproduktion eingesetzten Figur animiert (ein leichtes Wackeln und Ruckeln während der Fahrt, entsprechende Oberkörper- und Kopfbewegungen usw.). Ziel war es, dem Character eine gewisse natürliche Unruhe zu verleihen. Im folgenden Arbeitsschritt wurden die zuvor erstellten „Grundanimationen“ manuell überarbeitet und durch feinere Mimik- und Gestikanimationen ergänzt. Entscheidend für eine effiziente Arbeits-

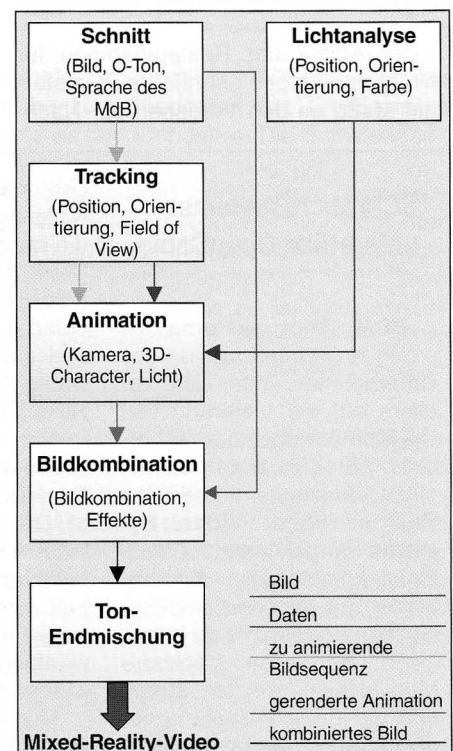


Bild 6. Nachbearbeitungsprozess



Bild 7. Zwei Bilder aus der Endfassung der Experimentalproduktion

weise ist die Erstellung von Datenbanken mit Animationseinheiten, die durch Modifikationen immer wieder eingesetzt werden können. Insbesondere bei der Konzeption von Serienproduktionen erspart dieses Verfahren viel Zeit. Am Ende der Bearbeitung erfolgt die Einbindung der Animation in die Realbildsequenzen. Bei dieser Bildkombination sind unter anderem bei Bedarf auch Farbkorrekturen, Maskierungen und Retuschen (zum Beispiel von noch sichtbaren Trackingpunkten) vorzunehmen. Die Ergebnisse der durchgeführten Experimentalproduktion waren sehr ermutigend. Im Bild 7 sind zwei Szenen aus dem Endprodukt wiedergegeben.

6. Schlußbemerkungen

Der Ablauf der Realaufnahmen für MR-Anwendungen orientiert sich in starkem Maße an den Vorgaben der Nach-

bearbeitungskette. Durch den Einsatz eines bildbasierten Trackingsystems konnten bei der oben beschriebenen Experimentalproduktion die Anforderungen der Produktionspraxis an die Erstellung der Realaufnahmen (s. Kap. 2) erfüllt werden. Dieses System ermöglicht die Verwendung von Standard-Kameraequipment und erlaubt eine bewegliche Kameraführung in allen Richtungen. Die Einschränkungen durch das erforderliche Mindestsichtfeld (zur Erfassung genügend vieler Trackingpunkte) sind hierbei unbedeutend. Weiterhin erlauben die bildbasierten Trackingsysteme eine flexible und den konventionellen Dreharbeiten ähnliche Arbeitsweise. Bei präziser Aufnahmeplanung, in der die Eigenschaften der Nachbearbeitungsschritte (Animation, Bildkombination) berücksichtigt sind, ist der Realdreh bei MR-Produktionen nicht wesentlich komplizierter oder umfangreicher als bei konventionellen Produktionen. Bei der Realisierung stellt die Animation den größten

Zeitfaktor dar. Der Optimierung dieses Teils des Herstellungsprozesses sollte deshalb — insbesondere bei Serienproduktionen — höchste Priorität eingeräumt werden. Einmal erstellte Grundanimationen und Bewegungseinheiten können durch leichte Modifikationen immer wieder verwendet werden. Ein „Animationsarchiv“ erleichtert das schnelle und gezielte auffinden von vorhandenen Bewegungsabläufen (Mimik, Gestik, Sprache). Schließlich konnte auch der letzte Arbeitsschritt, die Bildkombination, durch Verwendung einer entsprechenden 3D-Maske (für Verdeckungen durch den Rollstuhl) effizient gestaltet werden.

Die in diesem Beitrag beschriebene Produktionsmethode kann sicherlich in vielen Fällen auch als preiswerte Alternative zu teuren — dafür allerdings echtzeitfähigen — Virtual-Set-Systemen eingesetzt werden. Hierzu muß im Studio die Blauwand mit Referenzpunkten versehen werden, deren Farbe noch im Bereich der „Stanzfarbe“ liegt. In der Postproduktion kann der Kameraweg rekonstruiert, und der blaue Hintergrund durch den perspektivisch richtigen Bildausschnitt des virtuellen Sets ersetzt werden.

Schrifttum

- [1] Sommerhäuser, F.: Das Virtuelle Studio. FKT Bd. 50 (1996), Nr. 1-2, S. 11-22
- [2] Kansy, K.; Schmitgen, G.; Wißkirchen, P.: Bildbasierte Kameraführung im Virtuellen Studio. FKT Bd. 50 (1996), Nr. 1-2, S. 27-32
- [3] Arvo, J.: Graphics Gems II. Academic Press Inc., 1991.

SCM Microsystems unterstützt OpenCable

SCM Microsystems ist ein in Kalifornien ansässiges Unternehmen, das sich vor allem auf die Lieferung von CA-Modulen spezialisiert hat. Jetzt hat das Unternehmen eine Zusammenarbeit mit Philips Digital Video Systems angekündigt, OpenCable-kompatible Komponenten für den nordamerikanischen Kabelmarkt zu entwickeln. Es sollen steckbare Module sein, die den Zugriff und die Entschlüsselung vor allem von Digital-TV-Diensten ermöglichen. Die Cable-

Labs haben SCM mit der Entwicklung eines Test-Tools für die anstehende Zertifizierung Produkte anderer beauftragt. Das Modul soll im dritten Quartal 1999 verfügbar sein und auf den National Renewable Security System-Spezifikationen (EI 679) und den Society of Cable and Telecommunication Engineers-Spezifikationen für das Point of Deployment (POD)-Interface (SCTE-DVS131) entsprechen. Die Zusammenarbeit mit Philips wird als logische Erweiterung der gegenwärtigen Zusammenarbeit in Europa betrachtet.

Mitglieder der Cable Television Laboratories, also der CableLabs, haben im Früh-

jahr 1997 mit „OpenCable“ ein Projekt gegründet, in dem eine neue Generation von Set-Top-Boxen entwickelt werden, die selbst HDTV-tauglich sein soll. Außerdem sollen OpenCable-Funktionalitäten in andere Produkte der Consumer Electronics einziehen, so in DVD-Player, Fernsehgeräte, Videorecorder oder PC-Karten.

Die FCC verpflichtete darüber hinaus die Industrie, noch vor Juli 2000, steckbare CA-Module für Set-Top-Boxen und andere Einrichtungen anzubieten, um so zu einem Wettbewerb von Preis und Features zu kommen. In die gegenwärtige POD-Entwicklung von SCM soll für

OpenCable-kompatible Empfänger oder digitale Fernseher das Zugriffssystem CryptoWorks von Philips einfließen.

CryptoWorks soll das erste CA-System der Welt sein, das speziell für die MPEG-2-Einbindung entwickelt wurde. Damit sollen unterschiedliche Dienste verschiedener Anwender auf einer SmartCard möglich werden. Abofernsehen und Impuls-Pay-per-View sollen damit möglich sein. Das CA-System soll bei über 30 Kunden eingesetzt sein, so unter anderem Viacom, @Entertainment und Xtra-Music.