

# Augmented Reality Techniken für den Einsatz in der Leberchirurgie

TIM SUTHAU

Technische Universität Berlin, Photogrammetrie und Kartographie  
EB 9, Straße des 17.Juni 135, 10623 Berlin

**Schlüsselwörter:** Augmented Reality, Medizin, Nahbereichsphotogrammetrie, Visualisierung, Tracking, Kalibrierung

*Zusammenfassung:* Die vorliegende Arbeit beschreibt verschiedene Augmented Reality Techniken zur Anwendung bei onkologischen Leberresektionen und der Leberlebenspende. Bei einem Augmented Reality System werden reale Bilder durch zusätzliche, auf natürlichem Wege visuell unzugängliche Informationen ergänzt. Augmented Reality stellt somit die Verbindung zwischen realer und virtueller bzw. unsichtbarer Welt dar. Hierfür ist die Kalibrierung der technischen Geräte (wie Kamera, Head Mounted Display) und die Überführung aller beteiligten Koordinatensysteme notwendig. Das mathematische Modell, die verwendete Software ARToolKit und die benutzte Hardware inklusive Head Mounted Display werden vorgestellt. Erste Testergebnisse werden präsentiert und hinsichtlich Ihrer Genauigkeit bewertet.

## 1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschreibt verschiedene Augmented Reality Techniken zur Anwendung bei der onkologischen Leberresektionen und der Leberlebenspende. Bei einem Augmented Reality System werden reale Bilder durch zusätzliche Informationen ergänzt. Augmented Reality stellt somit die Verbindung zwischen realer und virtueller Welt dar. Das Ziel eines Forschungsvorhabens mit dem Deutschen Krebsforschungszentrum Heidelberg ist die Unterstützung des Operateurs in der Leberchirurgie durch ein geeignetes Augmented Reality System. Dem Operateur soll ein Hilfsmittel zur Seite gestellt werden, welches zweckmäßige zusätzliche Informationen darstellt und eine komfortable Navigation ermöglicht. Um den intraoperativen Einsatz zu ermöglichen, wird besonderer Wert auf eine hohe Gesamtgenauigkeit und ein gutes Design (im Sinne der Nutzerakzeptanz) des Gesamtsystems gelegt. (SUTHAU, 2002)

Zur Realisierung eines Nahbereichs-See-Through-Systems für die Viszeralchirurgie wird ein Virtual Retinal Display „Nomad“ der Firma Microvision eingesetzt. Erste Untersuchungen des Gerätes bestätigen eine gute Tauglichkeit für das Vorhaben.

In dieser Arbeit wird die Kalibrierung eines Gesamtsystems vorgestellt und getestet. Dazu gehören das verwendete HMD und die für die Positionsbestimmung eingesetzte Kamera, welche für den Test fest miteinander und mit dem Auge verbunden sein sollen. Bei einem Augmented Reality Gesamtsystem sind auch darüber hinausgehende Komponenten und eventuelle Bewegungen zueinander zu berücksichtigen (Abb.1).

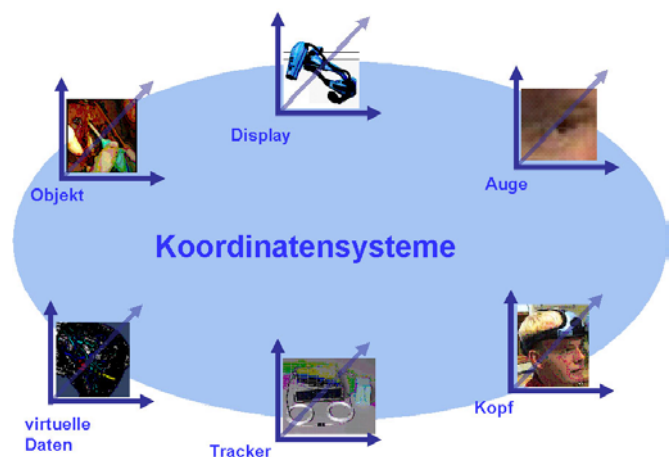


Abbildung 1: Koordinatensysteme bei einem Augmented Reality System

## 2. Systemaufbau und Voraussetzungen

Das verwendete Augmented Reality System setzt sich aus 3 zentralen Komponenten zusammen. Hardwaretechnisch wurde als Head-Mounted Display das Virtual Retinal Display „Nomad“ der Firma Microvision benutzt. Zur Markererkennung bzw. zum Tracking fand ein handelsüblicher Camcorder (Sony TRV30) Anwendung. Dieser wurde über eine Firewire Schnittstelle mit einem Notebook verbunden. Für die Realisierung des Augmented Reality Systems wurde die frei verfügbare (s. Lizenzbedingungen) Software ARToolKit eingesetzt und modifiziert.

### 2.1. Head-Mounted Display

Zur Realisierung von Augmented Reality werden u.A. so genannte See-Through-Systeme verwendet.

Bei den tragbaren Displaysystemen kommen meist die Head-Mounted Displays (HMD) zum Einsatz. Das sind Displays, die, ähnlich wie Brillen, vor den Augen getragen werden. Head-Mounted Displays werden häufig im Bereich der virtuellen Realität eingesetzt. Sie wurden dafür entwickelt, den Benutzer in eine virtuelle Welt eintauchen zu lassen. Für Augmented Reality sind dabei allerdings nur die Systeme von Interesse, die zusätzlich einen Blick auf die „Außenwelt“, die Realität, ermöglichen. Dazu gibt es zwei Verfahrenswege: die Optical-See-Through- (OST-HMDs) und die Video-See-Through-Systeme (VST-HMDs). Bei den Video-See-Through-Systemen geschieht dieses mit Hilfe von Videokameras, die in Augenhöhe montiert sind und den Bereich aufnehmen, den die Augen normalerweise sehen könnten, befände sich nicht die undurchsichtige „Brille“ vor ihnen. Diese Bilder werden nun im Rechner mit den zusätzlichen Bildern, die die Realität „erweitern“ sollen, verschmolzen und den Augen des Betrachters zugeführt. Im Gegensatz dazu gewähren die Optical-See-Through-Systeme direkte Sicht auf die „Außenwelt“. Dieses geschieht z.B. mit Hilfe halbdurchlässiger Spiegel, die sich vor den Augen befinden. In diesen spiegeln sich, im HMD montierte, Displays, die die zusätzlichen Bilder anzeigen. (AZUMA, 2001).

Eine Sonderstellung nimmt das Retinal-Display (Virtual Retinal Display, VRD) ein, das von der Firma Microvision hergestellt wird (VIIRRE, 1998). Bei diesem wird mit Hilfe von schwachen Laserstrahlen das entsprechende Bild direkt auf die Netzhaut des Benutzers gezeichnet. Auch hierbei kann zusätzlich die „reale“ Welt gesehen werden (Abbildung 2 und 3).

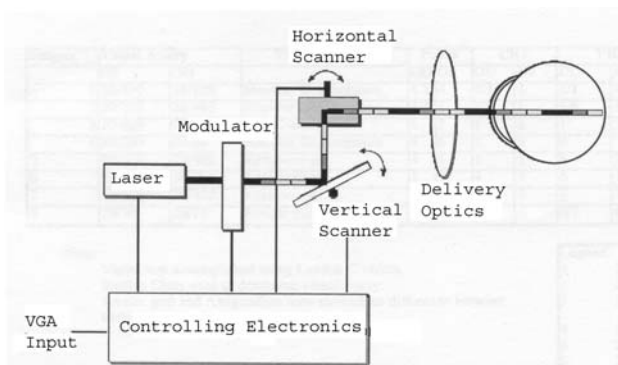


Abbildung 2: Aufbauschema eines VRD

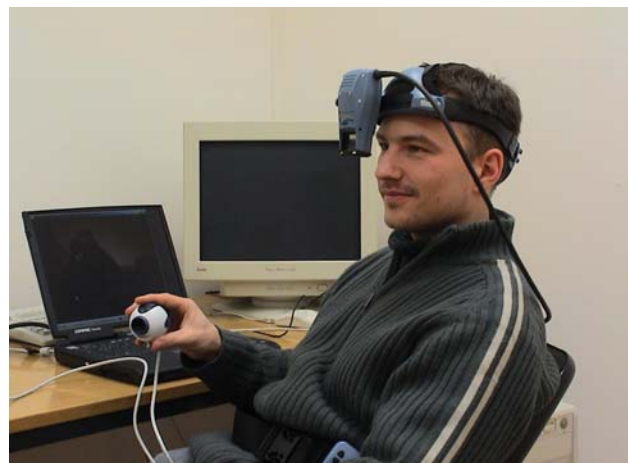


Abbildung 3: VRD: Nomad Personal Display (MICROVISION)

Zur Realisierung eines Nahbereichs-See-Through-Systems für die Viszeralchirurgie wird ein Virtual Retinal Display „Nomad“ der Firma Microvision eingesetzt und bei den folgenden

Untersuchungen behandelt. Diese Systeme sind geometrisch den Optical-See-Through-Systemen gleichzusetzen. Gegenüber diesen zeichnen sie sich jedoch durch einen höheren Kontrast aus, d.h. die Umgebung muss nicht abgedunkelt werden. Die technischen Details des „Nomad“ können der Tabelle 1 entnommen werden.

<i>PARAMETER</i>	<i>SPECIFICATION</i>	<i>DEFINITION / COMMENTS</i>
Video Input	Analog, SVGA	VESA, D-sub 15pin
Luminance	1 to 900fL	Measure of brightness perceived by human eye in foot-Lamberts
Outside World Transmisssion	45%	Amount of ambient light visible through the view port
Field of view	23 x 17 degrees	Equivalent to 17-inch monitor at arm's length
Dynamic Range	50:1	Luminance difference between full-on and full-off screen
Display Color	Monochrome Red	

Tabelle 1: Technische Details des "Nomad" Personal Display (MICROVISION)

## 2.2. Kamera und weitere Hardware

Zur Markererkennung bzw. zum Tracking kam ein handelsüblicher Camcorder (Sony TRV 30) zum Einsatz. Dieser liefert sein Videosignal über einen CardBus Adapter an ein Notebook (Compaq Presario 1800, Intel Pentium III-Prozessor, 700 MHz, 256 MB RAM). Somit wurde die Kamera via FireWire mit dem Notebook verbunden.

Für die folgenden Untersuchungen musste angenommen werden, dass das Head-Mounted Display (HMD), die Kamera und der Kopf bzw. das Auge fest miteinander verbunden sind. Hierfür wurden sowohl das HMD als auch die Kamera fest installiert. Als „Auge“ wurde ein weiterer Camcorder benutzt, welcher so hinter der Lasereinheit platziert wurde, dass sowohl Bild als auch Filmaufnahmen vom HMD gemacht werden konnten. Dieser zweite Camcorder ersetzt somit das menschliche Auge und erlaubt eine exakte Bildkoordinatenmessung zur Feststellung der Genauigkeit des Gesamtsystems. (Abb.4)



Abbildung 4: HMD, Trackingkamera und „Kamera-auge“ wurden fest installiert

## 2.3. Software – Das ARToolKit

Das ARToolKit entwickelt von HIROKAZU KATO, MARK BILLINGHURST, ROB BLANDING und RICHARD MAY ist ein Werkzeug, welches eine nahezu vollständige Arbeitsumgebung für Augmented Reality beinhaltet. Es basiert einerseits auf der Programmiersprache C andererseits wird es durch OpenGL ergänzt um Grafiken zu erstellen. Das gesamte Programm ist inklusive Quelltext frei für den nicht kommerziellen Gebrauch zugänglich.

Mit Hilfe dieses Tools ist es dem Nutzer auf relativ einfache Weise möglich, erste Augmented Reality Applikationen zu entwickeln. Dies bedeutet, dass Grafiken, z.B. mittels OpenGL erstellt, künstlich in die reale Umgebung eingebettet werden können. Hierbei besteht die Möglichkeit dies über einen Monitor darzustellen, auf dem sowohl reale als auch virtuelle Umgebung zu sehen sind,

oder es kann hierzu ein HMD genutzt werden, auf dessen Display nur die virtuellen Objekte eingespielt werden. Diese werden dann dem Bild der realen Umgebung überlagert.

Mit ARToolKit gelingt es, die Applikationen fast in Real Time durchzuführen. Mit anderen Worten heißt das, dass sämtliche Berechnungen so durchgeführt werden, dass eine Zeitverzögerung von nur wenigen zehntel Sekunden entsteht. Die Schwierigkeit hierbei ist es, möglichst schnell sowohl den Standpunkt bzw. das Sehzentrum des Betrachters also auch Markierungen im Raum so genau zu berechnen, dass die virtuellen Objekte ausreichend präzise auf die reale Umgebung abgebildet werden können. Dazu bedient sich das ARToolKit unter anderem Bildverarbeitungsalgorithmen und photogrammetrischen Berechnungen. Die gesamte Prozedur umfasst also die komplette Kalibrierung der Kamera und des HMDs, das Tracking von Markierungen und die Darstellung der virtuellen Objekte. ARToolKit bietet neben den Kalibrierungsprogrammen auch weitere Unterprogramme, die einfache Anwendungen darbieten oder den Umgang erklären und das Verständnis für den Ablauf des gesamten ARToolKits verbessern sollen. Das ARToolKit wird in verschiedenen Versionen angeboten. Je nach Betriebssystem kann eine passende Variante ausgewählt werden. Zur Verfügung stehen Ausführungen für Windows, Linux und SGI. Zusätzlich ist eine spezielle MatLab-Version erhältlich. Da auch an der Weiterentwicklung des Programms gearbeitet wurde, sind zu den einzelnen Ausführungen auch mehrere Entwicklungsstufen bereitgestellt. Alle Versionen können im Internet auf der ARToolKit – Seite: [http://www.hitl.washington.edu/research/shared\\_space/download/](http://www.hitl.washington.edu/research/shared_space/download/) herunter geladen werden. (SCHAEFER, 2003).

Das ARToolKit wurde so durch uns modifiziert, dass auch PAL-Camcorder via FireWire Schnittstelle genutzt werden können. Die Tests fanden unter LINUX statt.

### **3. Kalibrierung von Augmented Reality Systemen**

Bei Video-See-Through Systemen wird nur eine Kalibrierung der Kameras benötigt. Im Gegensatz dazu ist es bei Optical-See-Trough Systemen notwendig, sämtliche am AR-System beteiligte Komponenten zu kalibrieren und die jeweiligen Koordinatensysteme in Bezug zueinander zu setzen (Abb.1). In der Literatur werden dabei unterschiedliche Verfahren behandelt, welche sich in der Methodik und in der Verwendung unterschiedlicher Komponenten unterscheiden. So wird bei MCGARRITY (1999), JANIN (1993) und TUCERYAN (2000) eine Kalibrierung mit magnetischen Trackern und die Verwendung von Passpunktmarkern zur HMD Kalibrierung beschrieben. TUCERYAN (2000) entwickelte die SPAAM-Methode (Single Point Active Alignment Method), welche nur einen einzigen Punkt im übergeordneten Koordinatensystem benötigt, jedoch die Kalibrierung des Trackers voraussetzt. Existierende Kalibrierungen werden wieder verwendet und nur benutzerabhängige Parameter werden neu kalibriert. GENC (2002a) und Kato beschreiben videobasierte Kalibrierungen, also ohne magnetischen Tracker. Bei GENC (2002a) handelt es sich dabei um eine Erweiterung der SPAAM-Methode. Ansätze zum markerlosen Tracking bei Augmented Reality System werden beispielsweise bei SIMON (2002), GENC (2002b) und CHIA (2002) vorgestellt. Dabei werden optische Gegebenheiten genutzt, um Videodaten nichtkalibrierter Kameras mit der realen Szene zu überlagern.

Im Folgenden soll das grundlegende mathematische Modell, welches bei ARToolKit Verwendung findet, erläutert werden. Dabei wird sich an der Notation, sowie Beschreibung von Kato orientiert. Hauptaugenmerk soll auf die Kalibrierung von Kamera und HMD gelegt werden. Die Positionsbestimmung der Passpunktmarker sei nur kurz angerissen.

### 3.1. Positionsbestimmung der Passpunktmarker

Das ARToolKit verwendet zur Positionsbestimmung Passpunktmarker, kurz Marker genannt. Dies sind quadratische Marker bekannter Größe. Zur Identifizierung dienen beliebige Namen oder Bilder (Abb.5)



Abbildung 5: Beispiel eines Passpunktmarkers

Prinzipiell erfolgt eine Transformation  $T_{CM}$  vom Markersystem  $X_M, Y_M, Z_M$  in das aktuelle Kamerakoordinatensystem  $X_C, Y_C, Z_C$  (Abb.7):

$$\text{Gl.1: } \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & W_X \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & W_Y \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & W_Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{3 \times 3} & W_{3 \times 1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix} = T_{CM} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix}$$

Über ein Schwellwertverfahren werden die Regionen mit Markerinformationen detektiert und die Bildkoordinaten der 4 Markereckpunkte abgespeichert. Die Projektion der Verbindungslinien zwischen den Eckpunkten und die 4 Eckpunktkoordinaten der Marker mit ihren Bildkoordinaten stellen die Beziehung zum Kamerakoordinatensystem her. Zur Berechnung ist die Matrix der projektiven Projektion P aus der Kamerakalibrierung gegeben.

### 3.2. HMD und Kamerakalibrierung

Bei optischen HMDs erreicht der Strahl eines physikalischen Objektes das Auge mit dem Durchgang durch das HMD. Die 3D Position eines virtuellen Objektes im Auge muss durch Abbildung des Strahls durch das HMD realisiert werden. Bei normalen HMDs ist dabei die z-Achse der virtuellen Koordinaten senkrecht zur xy-Ebene, welche parallel zur xy-Ebene der Bildkoordinaten des HMD ist (Abb.6)

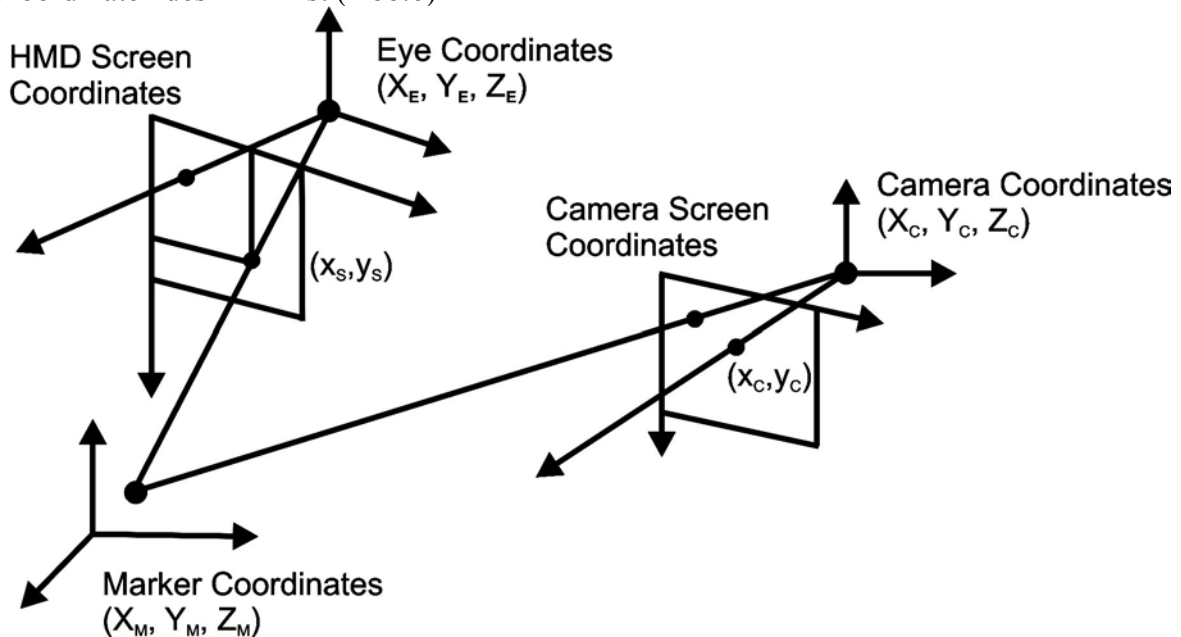


Abbildung 6: Koordinatensystem der HMD und Kamerakalibrierung nach KATO (1999)



Die Position der Marker kann vorausgesetzt (Abschnitt 3.1.) werden. Hierfür wurde die Projektionsmatrix  $P$  benötigt. Die Bestimmung der Projektionsmatrix  $P$  erfolgt durch die Kamerakalibrierung. Dabei wird die Beziehung zwischen den Kamerabildkoordinaten und der Kamera selbst (innere und äußere Orientierung) hergestellt. Zur Visualisierung der virtuellen Objekte auf dem HMD Bildschirm wird die Beziehung zwischen Markerkoordinaten und HMD Bildkoordinaten benötigt. Durch die Kamerakalibrierung sind dabei die Markerkoordinaten im Kamerakoordinatensystem bekannt. Die Beziehung zwischen HMD-Bildkoordinaten und Augenkoordinaten wird durch die Perspektive Projektion gegeben. Die Beziehung zwischen Kamerakoordinaten und Augenkoordinaten ist durch Rotation und Translation in Gleichung 2 gegeben:

$$\text{Gl.2: } \begin{bmatrix} ix_s \\ iy_s \\ i \\ 1 \end{bmatrix} = Q_{SE} \begin{bmatrix} X_E \\ Y_E \\ Z_E \\ 1 \end{bmatrix} = Q_{SE} T_{EC} \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \\ 1 \end{bmatrix} = Q_{SE} T_{EC} T_{CM} \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \\ 1 \end{bmatrix}$$

$Q_{SE}$  : Matrix der perspektiven Transformation  
 $T_{EC}$  : Rotations- und Translationsmatrix

### 3.2.1 Kamerakalibrierung

Zur Kamerakalibrierung wird ein regelmäßiges Gitter (Abb.7) in definierten Abständen zur Kamera angemessen. Die Koordinaten der angemessenen Kreuze sind somit im lokalen 3D Koordinatensystem bekannt. Mehrere Paare von Kamerabildkoordinaten  $x_c, y_c$  und den dazugehörigen lokalen 3D Koordinaten der Gitterkoordinaten können zur Bestimmung der Projektionsmatrix  $P$  genutzt werden. Die Beziehungen zwischen dem

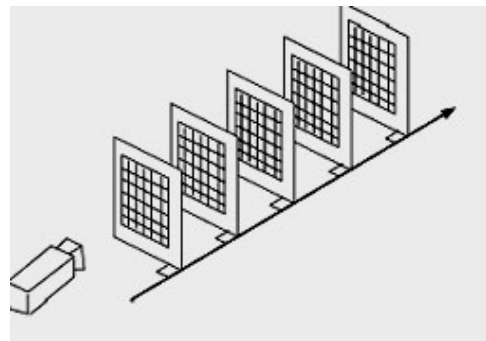


Abbildung 7: Gitter zur Kamerakalibrierung

Kamerabildkoordinatensystem  $x_c, y_c$ , dem Kamerakoordinatensystem  $X_C, Y_C, Z_C$  und dem Gitterkoordinatensystem  $X_T, Y_T, Z_T$  wird in Gl.3 gezeigt:

$$\text{Gl.3: } \begin{bmatrix} hx_c \\ hy_c \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X_C \\ Y_C \\ Z_C \\ 1 \end{bmatrix} = P \cdot T_{CT} \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \\ 1 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \\ 1 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} s_x f & 0 & x_0 & 0 \\ 0 & s_y f & y_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, T_{CT} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & T_X \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & T_Y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & T_Z \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & 1 \end{bmatrix}$$

$P$  : gesuchte Matrix der perspektiven Projektion

$f$  : Brennweite

$s_x(s_y)$  : Massstabsfaktor in x(y-Richtung)

$x_0, y_0$  : Bildhauptpunkt

$T_{CT}$  : Translation u. Rotation vom Gitter-  
ins Kamerakoordinatensystem

$C$  : Matrix aus  $P$  und  $T_{CT}$

Die Matrix  $C$  wird dabei durch mehrere Paare von Kamerabildkoordinaten  $x_c, y_c$  und lokalen 3D Koordinaten  $X_T, Y_T, Z_T$  der Gitterkreuze bestimmt. Die Bestimmung der 11 Parameter von  $C$  erfolgt durch die Lösung einer überbestimmten Direkten Linearen Transformation. Nach deren Bestimmung kann  $C$  durch RQ-Zerlegung in  $P$  und  $T_{CT}$  zerlegt werden.

### 3.2.2 HMD Kalibrierung

Für die HMD Kalibrierung kann das gleiche mathematische Modell wie bei der Kamerakalibrierung genutzt werden. Als bekannt genutzt werden viele Paare der HMD-Bildkoordinaten  $x_s, y_s$  und deren zugehörige Kameraposition  $X_C, Y_C, Z_C$  aus der Kamerakalibrierung.

Der Kalibrierungsprozess kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Einblenden eines Kreuzes ins HMD
- Marker und Kreuz werden in Übereinstimmung gebracht
- Im gleichen Moment wird der Marker von der Kamera bestimmt
- Wiederholung der Markermessung nah und fern (Hand ausgestreckt) mehrmals
- → viele Paare HMD-Bildkoordinaten  $x_s, y_s$  und deren zugehörige Kameraposition  $X_C, Y_C, Z_C$
- Bestimmung von  $Q_{SE}$  und  $T_{EC}$  in Gl.2

Durch die Markermessung mit dem HMD sind somit die Bildkoordinaten  $x_s, y_s$  im HMD System bekannt. Gleichzeitig wird der Marker von der Kamera aufgenommen. Aufgrund der erfolgten Kamerakalibrierung ist der Marker im Kamerakoordinatensystem  $X_C, Y_C, Z_C$  bekannt. Im praktischen Ablauf werden 10 Paare  $(x_s, y_s; X_C, Y_C, Z_C)$  (5 x nah, 5 x fern) zur Bestimmung der Gleichung 2 genutzt. (Abb.6)

## 4. Praktische Anwendung und Test des Systems

### 4.1. Kalibrierung mit ARToolKit

Unter ARToolKit stehen prinzipiell 3 Programme zur Verfügung:

- 1) calibdist - Bestimmung der Verzeichnung der Kamera
- 2) calibparam - Bestimmung der Orientierung der Kamera unter Berücksichtigung der Verzeichnung aus calibdist
- 3) optical - Bestimmung der Orientierung des HMD ohne Verzeichnung

Das mathematische Modell für die Kalibrierung der Kamera und des HMD wurde in Abschnitt 3 beschrieben. Der Versuchsaufbau wurde in Abschnitt 2.2 erläutert. Zur praktischen Vorgehensweise sei auf die Dokumentation von ARToolKit verwiesen.

### 4.2. Genauigkeitsuntersuchung des Versuchsaufbaus

Nach der erfolgreichen Kalibrierung von Kamera und HMD kann man verschiedene Programmkomponenten von ARToolKit zur Visualisierung virtueller Objekte verwenden.



Abbildung 8: simpletest im Kameramodus



Abbildung 9: simpletest unter Nutzung des HMD

Zur Genauigkeitsuntersuchung unseres Systems haben wir die Komponente simpletest verwendet. Simpletest wurde so modifiziert, dass in Abhängigkeit von der Position eines Markers, 4 Quadrate auf dem Marker visualisiert werden. Die Abweichungen der visualisierten Quadrate von der Markerecke gibt im Kameramodus die Qualität des Markertracking (Abb.8) wieder. Bei der Nutzung des HMD ergibt sich die Gesamtgenauigkeit des Systems (Abb.9). Es wurden dabei mehrere Konstellationen aufgenommen und ausgewertet. So wurden Aufnahmen in verschiedenen Entfernungen (Abstand 30 cm bis 4 m) ausgewertet. Dabei wurden die Differenzen der Eckpunkte der Quadrate zu Ihren Sollkoordinaten auf dem Marker gemessen. Die besten Ergebnisse, Mittelwert der Abweichungen liegt bei 2-3 mm (Abb. 10 in Pixel), konnten im Abstandsbereich zwischen 40 und 80 cm erreicht werden. Dies liegt im interessierenden Bereich, da unser System langfristig für die Chirurgie, also im Abstand der operierenden Hand eingesetzt werden soll.

Diese Resultate gelten jedoch nur im erweiterten Zentrum der Visualisierung mit dem HMD, da das HMD am Rand sehr starke Verzeichnungen aufweist.

Die Abweichungen, welche durch die Verzeichnung hervorgerufen werden, haben einen Betrag von bis zu 8 mm. (SCHAEFER 2003, PIETSCHER 2003)

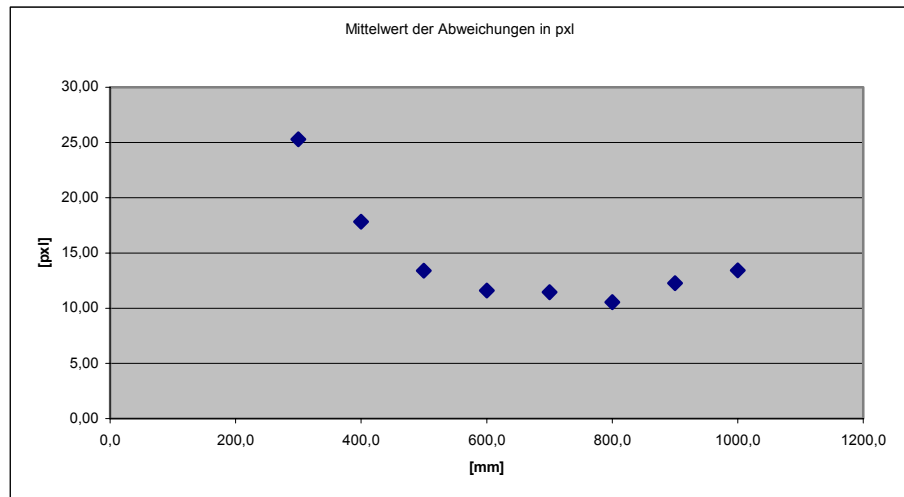


Abbildung 10: Mittelwert der Abweichungen der Eckpunkte von ihren Sollkoordinaten in Pixel

## 5. Ausblick

Zur Realisierung eines Nahbereichs-See-Through-Systems für die Viszeralchirurgie wird ein Virtual Retinal Display „Nomad“ der Firma Microvision eingesetzt. Erste Untersuchungen des Gerätes in Verbindung eines Camcorder und der Nutzung von ARToolKit bestätigen eine gute Tauglichkeit für das Vorhaben. Ausgehend von den Ergebnissen sollte ARToolKit so erweitert werden, dass eine Verzeichnung des HMD berücksichtigt wird. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass das HMD eine gewisse Ungenauigkeit bei der Visualisierung aufweist. So werden besonders vertikale Linien mit einer Ungenauigkeit von ca. 2 Pixeln dargestellt (Abb.11).

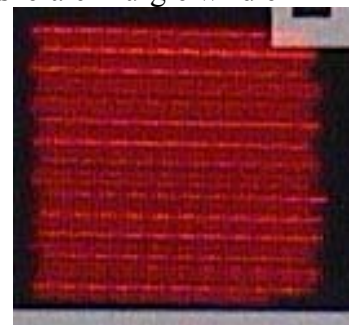


Abb. 11: Ungenauigkeiten der Visualisierung des HMD "Nomad"

In dieser Arbeit wurde eine Konstellation vorgestellt, welche einen festen Bezug zwischen Kamera, HMD und Auge voraussetzt. Im operationellen Einsatz kann diese Voraussetzung nicht mit einem handelsüblichen Camcorder erfüllt werden. Hier ist die Implementation von Miniaturkameras ähnlicher Auflösung erforderlich. Des Weiteren geht der feste Bezug des HMD zum Auge (Verrutschen der Brille) bei einem operationellen Einsatz verloren. Somit spielt für den Einsatz von See-Through Technologie das Kopf- und Pupillentracking im Bezug zum verwendeten Display eine wesentliche Rolle. Aus diesen Informationen wird die korrigierte Lage der Projektion der virtuellen Daten auf dem Display errechnet. Das zu verwendende Display befindet sich zur Projektion der



virtuellen Daten direkt vor dem Auge. Dabei stellt dessen exakte Positionierung ein wichtiges Genauigkeitskriterium zur Projektion der virtuellen Daten dar.

#### 4. Referenzen

- AZUMA, 2001: Azuma, R.T.; "Augmented Reality: Approaches and Technical Challenges", Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, W. Barfield, Th. Caudell (eds.), Mahwah, New Jersey, 2001, pp 27-63.
- CHIA 2002: Chia, K.W.; Cheok, A.D.; Prince, S.J.D.; Augmented Reality, 2002 "Online 6 DOF Augmented Reality Registration from Natural Features" (ISMAR 2002) Proceedings. IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, Oct. 2002, Page(s): 305 -316
- GENC 2002a: Yakup Genc, M Tuceryan, N. Navab „Practical Solutions for Calibration of optical see through Devices“ Tagungsband: IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), Darmstadt, IEEE CS Press (2002), Seiten: 169-175
- GENC 2002b: Genc, Y.; Riedel, F.; Souvannavong, F.; Akinlar, C.; Navab, N.; Augmented Reality, 2002 "Marker-less Tracking for AR: A Learning –Based Approach" (ISMAR 2002) Proceedings. IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, Oct. 2002, Page(s): 295 -304
- JANIN1993: Janin, A.L.; Mizell, D.W.; Caudell, T.P.; "Calibration of head-mounted displays for augmented reality applications" Virtual Reality Annual International Symposium, 1993., 1993 IEEE , 18-22 Sept. 1993, Page(s): 246 -255
- KATO 1999: Kato, H.; Billinghamurst, M.; Augmented Reality, 1999. "Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system" (IWAR '99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on , 1999, Page(s): 85 -94
- MCGARRITY 1999: McGarrity, E.; Tuceryan, M.; Augmented Reality, 1999. "A method for calibrating see-through head-mounted displays for AR" (IWAR '99) Proceedings. 2nd IEEE and ACM International Workshop on , 20-21 Oct. 1999, Page(s): 75 -84
- PIETSCHER 2003: PIETSCHER, S.; "Tracking für Augmented Reality“, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie, Diplomarbeit, unveröffentlicht
- SCHAEFER, 2003: Schaefer, H.; "Kalibrierung für Augmented Reality“, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie, Diplomarbeit, unveröffentlicht
- SIMON 2002: Simon, G.; Berger, M.-O.; Augmented Reality, 2002 "Reconstructing While Registering: A Novel Approach for Markerless Augmented Reality" (ISMAR 2002) Proceedings. IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality , Oct. 2002, Page(s): 285 -294
- SUTHAU 2002: Suthau, T.; Vetter, M.; Hassenpflug, P.; Meinzer, H.-P.; Hellwich, O.; "A concept work for Augmented Reality visualisation based on a medical application in liver surgery" ISPRS, the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences; Volume XXXIV, Part5, Commission V, Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium, close-range imaging, long-range vision, Corfu 2002, Greece, pp. 274-280
- Tuceryan 2000: Tuceryan, M.; Navab, N. „Single point alignment method for optical see- through HMD calibration for AR( SPAAM) foroptical see-through HMD calibration for AR "Proceedings of IEEE International Symposium on Augmented Reality (ISAR), 149-158, München, IEEE CS Press (2000)
- VIIRRE, 1998: E. Viirre, H. Pryor, S. Nagata, T.A. Furness, "The Virtual Retinal Displa: A New Technology for Virtual Reality and Augmented Vision in Medicine", Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality, San Diego, California, USA, 1998, pp252-257, Amsterdam: IOS Press and Ohmsha