



**Technische Universität
München**

Fakultät für Informatik

Forschungs- und Lehrereinheit Informatik IX

Thema: Kameramodelle und Kamerakalibrierung

Proseminar: Grundlagen Bildverstehen/Bildgestaltung

Michaela Susanne Maria Lilli Ranner

Betreuer: Suat Gedikli
Abgabetermin: 30. Januar 2007

INHALTSVERZEICHNIS

1. Motivation.....	2
2. Kameramodelle	3
2.1. Lochkameramodell	3
2.1.1. Interne Parameter	4
2.1.2. Externe Parameter	5
2.2. Telezentrisches Kameramodell	6
3. Kamerakalibrierung.....	7
3.1. Verwendung von Kalibrierkörpern	7
3.1.1. Definition: Kalibrierkörper.....	7
3.1.2. Extraktion des Kalibrierkörpers	8
3.1.3. Extraktion der Kalibrierkörpermarken	8
3.2. Schätzung von Startwerten	9
3.3. Einbild- und Mehrbildkalibrierung	10
3.3.1. Einbildkalibrierung.....	10
3.3.2. Mehrbildkalibrierung.....	10
3.4. Berechnung der Weltkoordinaten.....	11
4. Zusammenfassung	13
5. Literaturverzeichnis.....	14
6. Abbildungsverzeichnis.....	15
7. Bildnachweis	15

1. MOTIVATION

Wie kann man die Abbildung dieses Objekts auf die Bildebene berechnen?

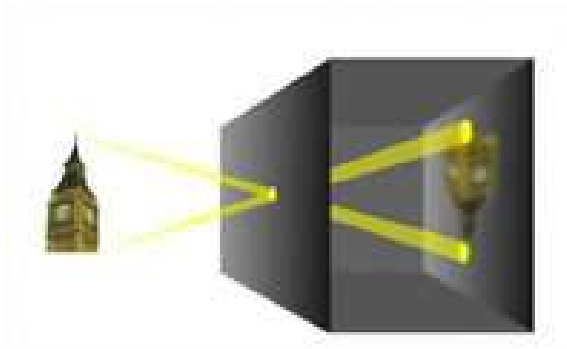


Abbildung 1-1: Abbildung eines Objektes auf eine Bildebene

Diese Fragestellung und die weiteren Fragen, die durch den Versuch dieser Projektion mathematisch darzustellen, können durch Kameramodelle und die Kamerakalibrierung beantwortet werden.

Kameramodelle dienen der Beschreibung der Abbildung unter Verwendung verschiedener Parameter, die zum einen von der Kamera selbst (innere Parameter) und zum anderen die Beziehung zwischen den verschiedenen verwendeten Koordinatensystemen.

Die Kamerakalibrierung beschäftigt sich dann mit der Bestimmung dieser Parameter. In dieser Ausarbeitung wird vor allem auf die Verwendung von Kalibrierkörpern eingegangen. Eine weitere Möglichkeit, die die Kamerakalibrierung bietet, ist die Vermessung von Objekten und die Bestimmung deren Koordinaten in einem Weltkoordinatensystem.

2. KAMERAMODELLE

Durch Kameramodelle wird es möglich, falls alle Parameter der Kamera bestimmt wurden, die Projektion von Objekten vom Welt- ins Bildkoordinatensystem nachzuvollziehen. Es ist aber auch die Umkehrung möglich, d.h. Bildpunkte können zurück in eine Sichtgerade abgebildet werden. Werden mehrere Kameras verwendet, können die ursprünglichen Objekte sogar eindeutig identifiziert werden, in dem man die Sichtgeraden des gleichen Punktes schneidet. So können die Objekte wieder rekonstruiert werden. Die Bestimmung der Parameter wird üblicherweise durch eine Kamerakalibrierung durchgeführt.

Das weit verbreitetste Kameramodell in der Bildverarbeitung ist wohl das Lochkameramodell, gefolgt vom telezentrischen Modell. Es gibt auch noch weitere Modelle, die aber kaum von Bedeutung sind und deshalb hier nicht näher erläutert werden.

2.1. LOCHKAMERAMODELL

Beim Lochkameramodell stellt man sich die Abbildung der Objekte so vor, dass die Punkte aus der realen Welt durch ein winziges Loch in die Kamera und auf die Bildebene projiziert werden. Damit das Bild nicht auf dem Kopf steht, liegt die Bildebene vor der Kamera, was die Abbildungseigenschaften aber nicht verändert. (siehe Abbildung 2-1)

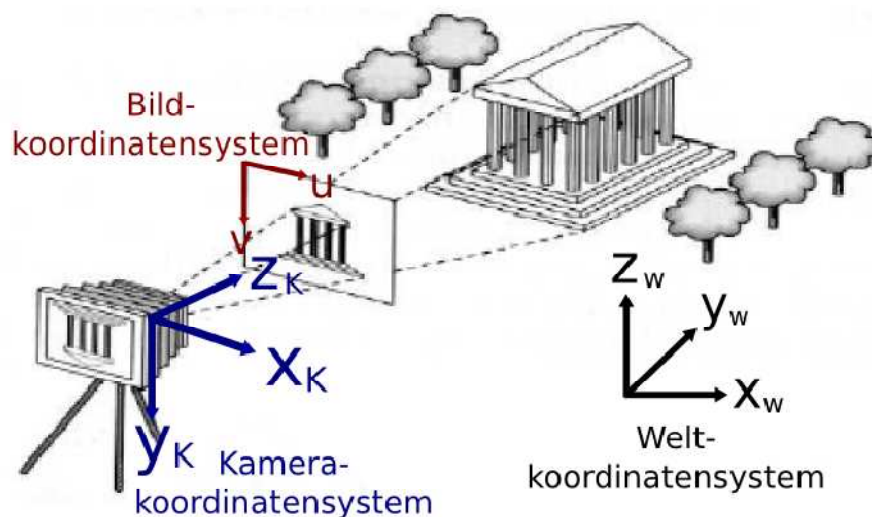


Abbildung 2-1: Projektion von Punkten vom Welt- ins Bildkoordinatensystem

2.1.1. INTERNE PARAMETER

Um die Punkte auf die Bildebene abzubilden, werden folgende Parameter benötigt:

Tabelle 1-1

Interne Parameter

f	Brennweite der Kamera
w	Bildbreite (in Pixeln)
h	Bildhöhe (in Pixeln)
(c_x, c_y)	Lage des Brennpunktes, in die Bildebene projiziert (in Pixeln)
(s_x, s_y)	Metrische Größe eines Pixels
κ	Verzerrungskoeffizient

Nun erfolgt die Projektion von $P = (x, y, z)^T \rightarrow (u, v)^T$ im pixelbasierten Koordinatensystem in drei Schritten:

1. P wird in die Bildebene projiziert:

$$u'' = f * \frac{x}{z} \quad v'' = f * \frac{y}{z}$$

Formel 2-1

2. Die Linsenverzerrung wird mit einberechnet:

$$\begin{pmatrix} u' \\ v' \end{pmatrix} = \frac{2}{1 + \sqrt{1 - 4\kappa(u''^2 + v''^2)}} * \begin{pmatrix} u'' \\ v'' \end{pmatrix}$$

Formel 2-2

Umkehrung:

$$\begin{pmatrix} u'' \\ v'' \end{pmatrix} = \frac{1}{1 + \kappa(u''^2 + v''^2)} * \begin{pmatrix} u' \\ v' \end{pmatrix}$$

Formel 2-3

3. Der metrische Punkt $(u', v')^T$ in Bildkoordinaten:

$$u = \frac{u'}{s_x} + c_x \quad v = \frac{v'}{s_y} + c_y$$

Formel 2-4

2.1.2. EXTERNE PARAMETER

Diese Berechnungen mit Hilfe der internen Parameter erfordern jedoch, dass die Punkte des Urbilds bereits in Kamerakordinaten vorhanden sind. Dies ist in der Realität aber meistens nicht der Fall, da die Koordinaten des abzubildenden Objektes sich im Weltkoordinatensystem befinden und erst in das Kamerakordinatensystem umgerechnet werden müssen. Das Weltkoordinatensystem dient als fester Bezugspunkt, z.B. für den Fall, dass mehrere Kameras verwendet werden. Jede Kamera besitzt jeweils ein eigenes Koordinatensystem, dessen Ursprung im Brennpunkt liegt.

Um den Bezug zwischen dem Kamera- und Weltkoordinatensystem herstellen zu können, gibt es sechs Freiheitsgrade (drei Translationen und drei Rotationen). Sie werden durch eine externe Kalibrierung anhand eines Kalibrierkörpers ermittelt.

Um die Berechnungen zu vereinfachen werden homogene Koordinaten verwendet. Deren Vorteil liegt darin, dass eine beliebige Reihe von affinen Transformationen in einer einzigen homogenen Transformationsmatrix vereint werden kann. Damit können sowohl Projektionen als auch Translationen über die Matrixmultiplikation berechnet werden.

Folgende Matrizen (drei für die Rotation und eine für die Translation) werden für die Berechnung verwendet:

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_y = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$
$$R_z = \begin{pmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Formel 2-5

Die drei R-Matrizen stehen für folgende Rotationen:

- R_x : Rotationen um die x-Achse drehen die y-Achse in Richtung der z-Achse um den Winkel α
- R_y : Rotationen um die y-Achse drehen die z-Achse in Richtung der x-Achse um den Winkel β
- R_z : Rotationen um die z-Achse drehen die x-Achse in Richtung der y-Achse um den Winkel γ

Da es sich bei den verwendeten Koordinatensystemen immer um rechtshändige Koordinatensysteme handelt, sind die Drehwinkel α, β, γ fest vorgegeben.

Um einen Punkt $P = (x, y, z)^T$ zu transformieren wird dieser einfach mit der nötigen Transformationsmatrix H multipliziert:

$$P_{trans} = R * P + T = R * \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} + T$$

mit $R = R_x * R_y * R_z$

Formel 2-6

Um einen Punkt von einem Koordinatensystem ins andere zu transformieren, kann diese Transformationsmatrix so beschrieben werden, dass aH_b die relative Lage der Koordinatensystems b im Koordinatensystem a ist. aH_b ist aber auch gleichzeitig die Transformationsmatrix, mit der ein Punkt P_b aus dem Koordinatensystem b multipliziert wird, um ihn in den Punkt P_a des neuen Koordinatensystems umzurechnen (vgl. Formel 1-5). Dabei ändert sich nicht der Punkt, sondern nur das Bezugssystem.

2.2. TELEZENTRISCHES KAMERAMODELL

Bei der telezentrischen Kamera existiert, im Gegensatz zur Lochkamera, keine Brennweite. Der Abstand zwischen Bild und Kamera hat damit keine Bedeutung für die Abbildung. Daraus resultiert, dass keine perspektivischen Verzerrungen bei der Projektion auftreten. Diese Art der Abbildung wird auch Parallelprojektion genannt:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$$

Formel 2-7

Dieses Modell wird zusammen mit telezentrischen Objektiven verwendet, die „vor allem in der Messtechnik zur Anwendung“ kommen. „Sie zeichnen sich dadurch aus, dass der Objektabstand variiert werden kann und die Bildgröße trotzdem konstant bleibt. Das Bild auf dem Schirm wird lediglich unschärfer. Erreicht wird das durch eine Aperturblende in der Bildebene. Der Bildschirm (heute i. d. R. CCD-Sensor als Zeile oder Fläche) befindet sich hinter (!) der Bildebene. Mit elektronischen Mitteln kann auch bei einem relativ unscharfen Bild noch sehr genau auf die tatsächliche Bildgröße zurückgerechnet werden.“¹

¹ (Wik)

3. KAMERAKALIBRIERUNG

Im Kapitel Kameramodelle – Lochkameramodell wurden die Berechnung der Translation und Projektion von Punkten gezeigt. Diese Berechnungen beruhen auf den internen und externen Parametern der Kamera. Sie können durch die Kamerakalibrierung bestimmt werden. Außerdem können durch die Kalibrierung Abweichungen der Linse, wie z.B. radiale Verzeichnungen korrigiert werden und Objekte im Weltkoordinatensystem abgemessen werden.

Um eine Kamera richtig kalibrieren zu können, werden hinreichend viele vermessene 3D-Punkte und die dazu gehörigen Korrespondenzen (d.h. die projizierten Punkte) im Bild benötigt um sicher zustellen, dass die Berechnungen einwandfrei sind. Desweiteren ist es wichtig, die Orientierung von Welt- zum Kamerakoordinatensystem zu kennen. Die Wahl des Ursprungs des Weltkoordinatensystems ist nicht entscheidend und damit beliebig.

3.1. VERWENDUNG VON KALIBRIERKÖRPERN

Kalibrierkörper werden verwendet, um auf einfache Art und Weise die Korrespondenzen der Objektpunkte in der Abbildung wieder zu finden. An sich ist diese Extraktion der sogenannten Marken recht schwierig, und damit die richtige Wahl des Kalibrierkörpers für eine gelungene Kalibrierung von großer Bedeutung.

3.1.1. DEFINITION: KALIBRIERKÖRPER

Ein Kalibrierkörper ist ein „vermessenes Teil, das zur Kalibrierung genutzt wird. Der Kalibrierkörper dient als Maßverkörperung und überträgt seine maßlichen Eigenschaften auf das Bildverarbeitungssystem, z.B. zur Festlegung des Abbildungsmaßstabes, der dann aus dem bekannten Maß des Kalibrierkörpers und der Messgröße berechnet wird.“²

In der Regel werden planare Körper mit quadratischer Anordnung von kreisförmigen Marken innerhalb eines schwarzen Rahmens verwendet (vgl. Abbildung 3-1). Zum einen sind sie leicht zu handhaben und zu vermessen sind. Zum anderen sind sowohl der Körper selbst, als auch die Marken leicht zu auffinden und bei den kreisrunden Marken kann der Mittelpunkt sehr leicht berechnet werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die quadratische Anordnung der Marken deren Korrespondenzen leicht im Bild gefunden werden können.

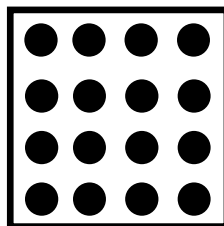


Abbildung 3-1: Ein Kalibrierkörper

² (LdB)

3.1.2. EXTRAKTION DES KALIBRIERKÖRPERS

Um später leichter herausfinden zu können, ob die Marken auch wirklich Marken sind, also ob sie auf dem Kalibrierkörper liegen, ist es sinnvoll, zu erst den Kamerakörper zu extrahieren. Anhand des Kontrastes zwischen den dunklen Marken und dem hellen Hintergrund kann durch Schwellwertoperationen der Kalibrierkörper gefunden werden. Durch den Rand des Kalibrierkörpers kann dieser dann im nächsten Schritt vom Hintergrund getrennt werden. Da der Schwellwert aber nicht von vornherein bekannt ist, muss er erst durch mehrere Iterationen herausgefunden werden.

3.1.3. EXTRAKTION DER KALIBRIERKÖRPERMARKEN

Nachdem der Kalibrierkörper im Bild bekannt ist, können nun die Marken durch die „subpixelgenaue Kantenextraktion innerhalb der Kalibrierkörperregion“ extrahiert werden (Abbildung 3-2). Durch diese Extraktion wird der Suchraum weiter eingegrenzt, und zwar um einen Puffer um den Rand der Löcher der vorher extrahierten Kalibrierkörperregion. Dabei werden folgende Schritte nacheinander ausgeführt:

1. Die Kanten werden in die (unverzerzte) Bildebene transformiert. Dazu werden die durch die Kamera gegebenen Startwerte der inneren Parameter verwendet.
2. Den Kanten werden Ellipsen angepasst (Abbildung 3-2 bis 3-4).
3. Die Kanten, bei denen diese Anpassung scheitert, werden eliminiert. Ein Grund für das Scheitern ist z.B. dass der Anpassungsfehler zu groß ist.
4. Wenn nach den letzten drei Schritten nicht mindestens so viele Marken gefunden werden, wie der Kalibrierkörper Löcher hat, muss die Suche mit veränderten Parametern noch einmal durchgeführt werden.
5. Kommt man auch nach mehreren Iterationen und verschiedenen Parametern nicht auf die Anzahl der Marken, muss der Kalibrierkörper selbst noch einmal mit veränderten Parametern gesucht werden.

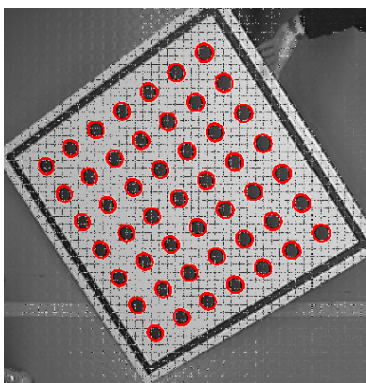


Abbildung 3-4: Extraktion der Marken

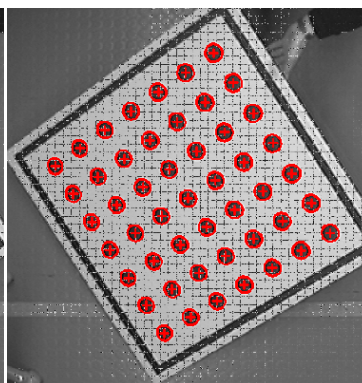


Abbildung 3-2: angepasste Ellipsen

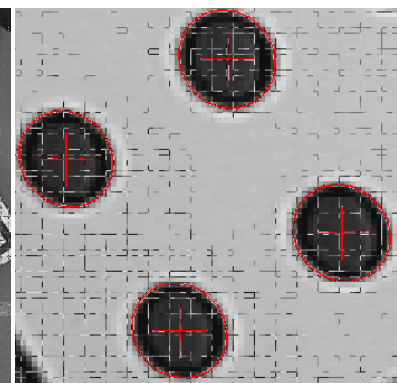


Abbildung 3-3: Ellipsen mit Mittelpunkt

3.2. SCHÄTZUNG VON STARTWERTEN

Da es sich bei der Kalibrierung um ein komplexes nichtlineares Optimierungsproblem handelt, sind gute Startwerte notwendig um am Ende auf die richtigen Parameter zu kommen.

Die Startwerte der inneren Parameter werden durch die Spezifikation der Kamera und des Objektivs gegeben. Die Startwerte der externen Parameter kommen aus den Parametern der extrahierten Ellipsen und des umschließenden Vierecks der Markenmittelpunkte. Dabei werden vorher die am schlechtesten passenden überzähligen Marken eliminiert (vgl. Kapitel 3.1.3).

Als erstes wird der Normalvektor der Kalibrierkörperebene geschätzt, indem eine Ebene an die extrahierten Ellipsen im 3D angepasst wird. Die Startwerte für diese 3D-Positionen der Markenmittelpunkte lassen sich dann aus den Ellipsenparametern nach folgenden Formeln schätzen:

$$m_z = \frac{r}{a} * f \quad m_x = \frac{m_z}{f} * u \quad m_y = \frac{m_z}{f} * v$$

Formel 3-1

Dabei ist r der Radius der Marke und (u, v) ihre Position im Bild. Danach werden dann wieder durch sukzessive Eliminierung die Marken entfernt, die den größten Abstand zu der vorher angepassten Ebene haben. Als nächstes werden die Rotationswinkel α und β aus dem Normalvektor n geschätzt, in dem die z-Achse des Kamerakoordinatensystems so gedreht wird, dass mit n übereinstimmt. (siehe Abbildung 3-5).

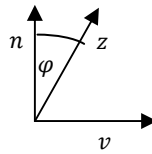


Abbildung 3-5: Drehung der z-Achse auf n

Für den Drehwinkel gilt:

$$v = z \times n ; \varphi = \arccos\left(\frac{n \cdot z}{|n||z|}\right)$$

Formel 3-2

Durch den Drehwinkel und die Drehachse kann die Rotationsmatrix $R = R_x * R_y * R_z$ erstellt werden, aus der sich dann wiederum die Winkel α und β errechnen lassen. γ lässt sich aus dem Winkel der y-Achse des Kalibrierkörpers und der y-Achse des Kamerakoordinatensystems bestimmen.

Um die Translation zu bestimmen, werden die Mittelwerte der Markenpositionen im Kamerakoordinatensystem verwendet.

3.3. EINBILD- UND MEHRBILDKALIBRIERUNG

Um eine Kamera zu kalibrieren gibt es die Möglichkeit, entweder mit ein oder mehreren Bildern dafür zu verwenden. Als erstes wird die Einbildkalibrierung betrachtet, da die Probleme bei ihrer Verwendung direkt zu Mehrbildkalibrierung überleiten.

3.3.1. EINBILDKALIBRIERUNG

Durch die Verwendung von Kalibrierkörpern lassen sich, wie schon erwähnt, die Korrespondenzen zwischen den Löchern des Körpers und dem Marken im Bild leicht bestimmen. Die Bestimmung der Parameter ergibt sich bei der Einbildkalibrierung durch die Lösung folgenden nichtlinearen Minimierungsproblems:

$$d(p) = \sum_{i=1}^n ||\hat{m}_i - \pi(m_i, p)||^2 \rightarrow \min$$

Formel 3-3

Mit m_i als die 3D-Position der i-ten Marke aus dem Urbild und der dazu korrespondierenden i-ten Bildmarke \hat{m}_i im 2D. π ist die Abbildung der Lochkamera und $p = (f, \kappa, s_x, s_y, c_x, c_y, \alpha, \beta, \gamma, t_x, t_y, t_z)$ sind alle inneren und äußeren Parameter der Kamera. Damit gilt $\hat{m}_i = \pi(m_i, p)$, falls die Kameraparameter richtig kalibriert wurden und wie in Formel 3-3 der Abstand zwischen den gemessenen und den berechneten Bildkoordinaten minimal ist.

Zur Lösung des Problems wird das Marquardt-Levenberg-Verfahren angewendet.

Bei der Kalibrierung ist zu beachten, dass bei Lochkameras s_x, s_y und f nicht gleichzeitig bestimmbar sind, da eine Veränderung eines Parameters durch die anderen beiden kompensiert werden kann (vgl. Formel 2-4). Eine Möglichkeit dem Problem aus dem Weg zu gehen, ist aus der Spezifikation des CCD-Sensors heraus s_y zu bestimmen und festzulassen.

Neben diesem tritt noch ein weiteres Problem bei der Kalibrierung auf, und zwar dass auf Grund der Verwendung von planaren Kalibrierkörpern nicht alle externen und internen Parameter bestimmt werden können. Deshalb wird hier die Mehrbildkalibrierung verwendet.

3.3.2. MEHRBILDKALIBRIERUNG

Um sicher zu gehen, dass man durch die Mehrbildkalibrierung wirklich alle Parameter bestimmen kann, sollen die verwendeten Bilder alle Freiheitsgrade ausnutzen. Besonders wichtig ist dabei, dass die äußeren Parameter nicht alle parallel sein dürfen.

Bei der Verwendung von l Bildern entstehen l Sätze der externen Parameter also:

$$p = (f, \kappa, s_x, s_y, c_x, c_y, \alpha, \beta, \gamma, e_1, e_2, \dots, e_l), e_i = (\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, t_{x,i}, t_{y,i}, t_{z,i})$$

Wobei p nun durch die Lösung folgenden Problems gefunden werden kann:

$$d(p) = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^n ||\hat{m}_{i,j} - \pi(m_i, p)||^2 \rightarrow \min$$

3.4. BERECHNUNG DER WELTKOORDINATEN

Um die Weltkoordinaten berechnen zu können, verwendet man in der Regel die Stereorekonstruktion, bei der ein Objekt durch mehrere Kameras aufgezeichnet wird. Um bei Lochkameras diese Rekonstruktion durchzuführen, müssen die zu vermessenden Objekte alle in der gleichen Ebene liegen (z.B. auf dem Boden) und die zu vermessenen Teile des Objekts den gleichen Abstand zu dieser Ebene besitzen. Dabei ist aber zu beachten, dass nur die x-y-Ausdehnung in der Ebene bestimmbar ist. Die z-Koordinate der Ebene ist im Weltkoordinatensystem $z = 0$.

Um die Weltkoordinaten zu berechnen, werden die Sehstrahlen mit der bekannten Ebene geschnitten. Diese Ebene kann man aus den externen Parametern heraus bestimmen.

Darstellung der Sehstrahlen bei der Lochkamera:

$$(0,0,0)^T + \lambda(u, v, f)^T$$

Damit man die Sehstrahlen mit der Ebene schneiden kann, müssen beide im selben Koordinatensystem sein. Dazu wird der Sehstrahl ins Weltkoordinatensystem transformiert:

$$P = R^{-1} * (P_{trans} - T)$$

(Umkehrung von Formel 2-6)

Als Geradengleichung des Sehstrahls ergibt sich:

$$L_W = O_W + \lambda(I_W - O_W) = O_W + \lambda D_W$$

Mit der Transformation des optischen Zentrums (O_W) und der Transformation des Punktes in der Bildebene (I_W):

$$O_W = R^{-1}((0,0,0)^T - T) = -R^{-1} * T ; I_W = R^{-1} * ((u, v, f) - T)$$

Daraus ergibt sich der Schnittpunkt des Sehstrahls mit der Ebene (im Weltkoordinatensystem):

$$P_w = \begin{pmatrix} o_x + o_x \frac{d_x}{d_z} \\ o_y + o_y \frac{d_x}{d_z} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Formel 3-10

4. ZUSAMMENFASSUNG

Am Schluss eine Kurzzusammenfassung der wichtigen Punkte von Kameramodellen und der Kamerakalibrierung:

Kameramodelle:

- stellen den Abbildungsprozess vom 3D-Weltkoordinaten auf 2D-Kamera - bzw. Bildkoordinaten mathematisch dar
- Das Lochkameramodell beachtet dabei die Brennweite der Kamera, das telezentrische Modell ist davon unabhängig
- Die internen Parameter beziehen sich auf den Aufbau der Kamera, die externen Parameter beschreiben die Beziehung zwischen dem Welt- und dem Kamerakoordinatensystem

Kamerakalibrierung:

- bestimmt die inneren und äußeren Parameter
- Es handelt sich um ein nichtlineares Minimierungsproblem, dass eine gute Schätzung der Startwerte erfordert
- verwendet Kalibrierkörper um die Korrespondenzen zwischen Welt- und Bildpunkten leichter herstellen zu können
- Um alle Kameraparameter auf einmal bestimmen zu können, sind mehrere Bilder notwendig, die am besten alle Freiheitsgrade ausnützen.
- kann unter Verwendung mehrerer Kameras Objekte vermessen und rekonstruieren

5. LITERATURVERZEICHNIS

Forsyth, David A. und Ponce, Jean. 2003. *Computer Vision - A Modern Approach*. Upper Saddle River, New Jersey, United States of America : Pearson Education, Inc., 2003.

Hartley, Richard und Zisserman, Andrew. 2003. *Multiple View in computer vision*. Cambridge : Cambridge University Press, 2003.

Kamerakalibrierung - Industrielle Bildverarbeitung. *Vorlesungen SS06, Lehrinheit 9*. [Online] http://www9.in.tum.de/vorlesungen/indust_bv.SS06/folien/indust-bv-07.pdf. **(Kam07)**

Lexikon der Bildverarbeitung - Kalibrierkörper. *Lexikon der Bildverarbeitung*. [Online] [Zitat vom: 11. 01 2007.] http://www.vision-academy.org/mv_wbuch/np/7158139CA9CC8523C1256D950002803B.htm. **(LdB)**

Lochkamera - Wikipedia. *Wikipedia*. [Online] [Zitat vom: 23. 01 2007.] http://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/9/9d/Lochkamera_prinzip.jpg/200px-Lochkamera_prinzip.jpg. **(Loc07)**

Radig, Prof. Dr. Bernd. 2006. Praktikum Bildverstehen - Blatt 3. *Vorlesungen SS06, Lehrinheit 9*. [Online] 22. 11 2006. [Zitat vom: 07. 01 2007.] http://www9.cs.tum.edu/praktika/bv_EMB.WS06/blaetter/blatt03.pdf. **(Rad07)**

Telezentrische Kamera. *Wikipedia*. [Online] [Zitat vom: 11. 01 2007.] http://de.wikipedia.org/wiki/Telezentrisches_Objektiv. **(Wik)**

6. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1-1: Abbildung eines Objektes auf eine Bildebene	2
Abbildung 2-1: Projektion von Punkten vom Welt- ins Bildkoordinatensystem.....	3
Abbildung 3-1: Ein Kalibrierkörper	7
Abbildung 3-2: angepasste Ellipsen.....	8
Abbildung 3-3: Ellipsen mit Mittelpunkt	8
Abbildung 3-4: Extraktion der Marken.....	8
Abbildung 3-5: Drehung der z-Achse auf n	9

7. BILDNACHWEIS

- Abbildung 1-1: (Loc07)
- Abbildung 2-1: Projektion von Punkten vom Welt- ins Bildkoordinaten: (Rad06)
- Abbildung 3-2: angepasste Ellipsen: (Kam07)
- Abbildung 3-3: Ellipsen mit Mittelpunkt: (Kam07)
- Abbildung 3-4: Extraktion der Marken: (Kam07)
- Alle weiteren: selbst erstellt