

Paper-ID: VGI_199121



Voraussetzungslose relative Orientierung mittels Bilddrehung durch Bildkorrelation

Gerhard Brandstätter ¹

¹ *Technische Universität Graz, Abteilung für Fernerkundung, Bildverarbeitung und Kartographie, Steyrergasse 30, A-8010 Graz*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **79** (4), S. 281–288

1991

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Brandstaetter_VGI_199121,  
Title = {Voraussetzungslose relative Orientierung mittels Bilddrehung durch  
Bildkorrelation},  
Author = {Brandst{"a"}tter, Gerhard},  
Journal = {"Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und  
Photogrammetrie"},  
Pages = {281--288},  
Number = {4},  
Year = {1991},  
Volume = {79}  
}
```



Voraussetzungslose relative Orientierung mittels Bildddrehung durch Bildkorrelation

von G. Brandstätter, Graz

Zusammenfassung

In Ergänzung zum voraussetzungslosen Folgebildanschluß wird aufgrund des gleichen Basisprozesses ein Verfahren zur relativen Orientierung mittels Bildddrehung angegeben. Dieses soll vor allem für analoge Geräte bestmögliche Näherungswerte liefern, wobei die Verwendung geeigneter Mikrocomputer vorauszusetzen ist. Eine Anwendung dieser Methode für analytische oder digitale Stereoauswertung ist natürlich auch möglich.

Abstract

In addition to the unconditional conjunction of successive images a procedure of relative orientation by image rotation based on the same fundamental process is given. Its point will be to get optimum approximate values for analogue plotting instruments on condition that suitable microcomputers are used. Obviously the method can be applied for analytic and digital stereo restitution too.

In memoriam Karl Rinner

Während der Anfertigung dieses Aufsatzes verstarb nach mannhaft ertragener Leidenszeit unser weit über die Grenzen Österreichs hinaus bekannter Emeritus Prof. DDDr. Karl Rinner. Er war unter anderem einer der Pioniere der für zeitgemäße Auswertegeräte unumgänglichen, zum Zeitpunkt ihrer Entwicklung aber eher als Steckenpferd angesehenen analytischen Photogrammetrie und damit auch für diese kleine Arbeit *conditio sine qua non*. Deswegen und aufgrund des zeitlichen Zusammentreffens erlaubt sich der Autor, die folgenden Ausführungen dem Andenken des Dahingegangenen zu widmen.



0. Einführende Bemerkungen

Der von K. Rinner vorgeschlagene voraussetzungslose Folgebildanschluß (*Rinner* 1963) basiert auf der Korrelation zweier Stereomeßbilder (*Thompson* 1968) in **acht** homologen Punkten, welche im Fall orthonormierter und zentrierter Bildkoordinaten hinsichtlich der gegenseitigen Orientierung zu einer Linearisierung durch Überbestimmung führt. Diese Prozedur liefert sehr gute Näherungswerte für die fünf Orientierungsparameter, so daß ein Iterationsschritt genügt, um die stochastisch konsistente Stereolage zu erreichen. Mitunter ergibt sich aber die Situation, daß nicht die Folgebildparameter, sondern die Parameter der Bildddrehung benötigt werden. Diese könnte man natürlich aus jenen durch Transformation gewinnen, aus didaktischen und arbeitstechnischen Gründen ist aber sicher eine direkte Bestimmung vorzuziehen. Die Verwendung der so gewonnenen Parameter bezieht sich vor allem auf jene Analog-

geräte, die keine Basiskomponenten besitzen (z. B. Wild B8), ist also heutzutage nur mehr didaktisch motiviert, sie könnte aber auch an analytischen und digitalen Auswertegeräten interessieren, wenn aufgrund spezieller Problemstellungen die Konvergenz der Aufnahmerichtungen direkt benötigt wird.

1. Theoretische Grundlagen

1.1 Zusammenhang zwischen Schnittbedingung und Korrelation

Mit den geometrischen Elementen

$\mathbf{x}^T = (x, y, -c)$	Ortsvektor eines Bildpunktes im Kammer-System
$\mathbf{R} = (\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k})$	orthogonale Rotationsmatrix im Sinne der Rekonstruktion
$\mathbf{p} = \mathbf{R} \mathbf{x}$	Projektionsstrahl im System des Modelles
λ	skalärer Streckungsfaktor
$\mathbf{b}^T = (b_1, b_2, b_3)$	Stereobasis

lautet die Schnittbedingung

$$\lambda' \mathbf{p}' = \mathbf{b} + \lambda'' \mathbf{p}'' \quad (1.1.1)$$

bzw.

$$\lambda' \mathbf{R}' \mathbf{x}' = \mathbf{b} + \lambda'' \mathbf{R}'' \mathbf{x}'' \quad (1.1.2)$$

Multipliziert man diese von links mit

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & -b_3 & b_2 \\ b_3 & 0 & -b_1 \\ -b_2 & b_1 & 0 \end{bmatrix}$$

dann verschwindet wegen $\mathbf{B} \mathbf{b} = \mathbf{b} \times \mathbf{b} = \mathbf{0}$ die Basis und es folgt

$$\lambda' \mathbf{B} \mathbf{R}' \mathbf{x}' = \lambda'' \mathbf{B} \mathbf{R}'' \mathbf{x}'' \quad (1.1.3)$$

Eine weitere Multiplikation von links mit \mathbf{R}'^T liefert

$$\lambda' \mathbf{R}'^T \mathbf{B} \mathbf{R}' \mathbf{x}' = \lambda'' \mathbf{R}''^T \mathbf{B} \mathbf{R}'' \mathbf{x}'' \quad (1.1.4)$$

Hierin ist $\mathbf{R}'^T \mathbf{B} \mathbf{R}'' = \mathbf{C}$ die Korrelationsmatrix, die sich aus der Komplanaritätsbedingung

$$\mathbf{p}'^T \mathbf{B} \mathbf{p}'' = \mathbf{x}'^T \mathbf{R}'^T \mathbf{B} \mathbf{R}'' \mathbf{x}'' = \mathbf{x}'^T \mathbf{C} \mathbf{x}'' = 0 \quad (1.1.5)$$

ergibt und $\mathbf{R}'^T \mathbf{B} \mathbf{R}' = \mathbf{G}$ eine, wie sich zeigen wird, schiefsymmetrische Matrix mit $\det(\mathbf{G}) = 2$. Eine etwas detailliertere Struktur von \mathbf{C} ist nämlich aus

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{i}^T \\ \mathbf{j}^T \\ \mathbf{k}^T \end{bmatrix}' \mathbf{B} [\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}]''$$

mit

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} (\mathbf{i}'' \mathbf{x} \mathbf{i}') \cdot \mathbf{b} & (\mathbf{j}'' \mathbf{x} \mathbf{i}') \cdot \mathbf{b} & (\mathbf{k}'' \mathbf{x} \mathbf{i}') \cdot \mathbf{b} \\ (\mathbf{i}'' \mathbf{x} \mathbf{j}') \cdot \mathbf{b} & (\mathbf{j}'' \mathbf{x} \mathbf{j}') \cdot \mathbf{b} & (\mathbf{k}'' \mathbf{x} \mathbf{j}') \cdot \mathbf{b} \\ (\mathbf{i}'' \mathbf{x} \mathbf{k}') \cdot \mathbf{b} & (\mathbf{j}'' \mathbf{x} \mathbf{k}') \cdot \mathbf{b} & (\mathbf{k}'' \mathbf{x} \mathbf{k}') \cdot \mathbf{b} \end{bmatrix} \quad (1.1.6)$$

zu erhalten, woraus \mathbf{G} aufgrund des auf das Einzelbild bezogenen analogen Bildungsgesetzes mit

$$\begin{aligned}
 \mathbf{G} &= \begin{bmatrix} 0 & -(i \times j) \cdot \mathbf{b} & (k \times i) \cdot \mathbf{b} \\ (i \times j) \cdot \mathbf{b} & 0 & -(j \times k) \cdot \mathbf{b} \\ -(k \times i) \cdot \mathbf{b} & (j \times k) \cdot \mathbf{b} & 0 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} 0 & -\mathbf{k} \cdot \mathbf{b} & \mathbf{j} \cdot \mathbf{b} \\ \mathbf{k} \cdot \mathbf{b} & 0 & -\mathbf{i} \cdot \mathbf{b} \\ -\mathbf{j} \cdot \mathbf{b} & \mathbf{i} \cdot \mathbf{b} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -g_3 & g_2 \\ g_3 & 0 & -g_1 \\ -g_2 & g_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.1.7)
 \end{aligned}$$

folgt. Aus Symmetriegründen wird für den Stereopartner P'' durch Linksmultiplikation von (1.1.2) mit $\mathbf{R}''^T \mathbf{B}^T$ die Form

$$\lambda' \mathbf{R}''^T \mathbf{B}^T \mathbf{R}' \mathbf{x}' = \lambda'' \mathbf{R}''^T \mathbf{B}^T \mathbf{R}'' \mathbf{x}'' \quad (1.1.8)$$

mit $\mathbf{R}''^T \mathbf{B}^T \mathbf{R}' = \mathbf{C}^T$ und $\mathbf{G}'' = \mathbf{R}''^T \mathbf{B}^T \mathbf{R}''$ gewonnen, wodurch diese formal transponiert zu \mathbf{G}' erscheint. Es besteht somit das vektorielle Gleichungspaar

$$\lambda' \mathbf{G}' \mathbf{x}' = \lambda'' \mathbf{C} \mathbf{x}', \quad \lambda'' \mathbf{G}'' \mathbf{x}'' = \lambda' \mathbf{C}^T \mathbf{x}'', \quad (1.1.9)$$

welches offensichtlich den funktionalen Zusammenhang zwischen den Orientierungen der Einzelbilder und der Korrelationsmatrix angibt.

1.2 Kernpunkte und Kernstrahlen

Aus (Thompson 1968) ist zu entnehmen, daß anhand von

$$\mathbf{C}^T \mathbf{x}'_k = 0 \quad \text{und} \quad \mathbf{C} \mathbf{x}''_k = 0 \quad (1.2.1)$$

die Bildkoordinaten der Kernpunkte berechnet werden können. Weiters besagt (1.1.5), daß mittels

$$\mathbf{h}''^T = \mathbf{C}^T \mathbf{x}' \quad \text{bzw.} \quad \mathbf{h}' = \mathbf{C} \mathbf{x}''$$

die Gleichungen $\mathbf{h} \mathbf{x} = 0$ der Kernstrahlen (Brandstätter 1990) in den beiden Bildern gegeben sind. Sie folgen daher wegen (1.1.9) auch mit

$$\mathbf{G}' \mathbf{x}' = (\lambda''/\lambda') \mathbf{h}' \quad \text{und} \quad \mathbf{G}'' \mathbf{x}'' = (\lambda'/\lambda'') \mathbf{h}''$$

in den Bildern direkt oder, da ein gemeinsamer Faktor in den h_i ($i = 1, 2, 3$) die Geradengleichung nicht beeinflußt, allgemein aus

$$\mathbf{G} \mathbf{x} = \mathbf{h}. \quad (1.2.2)$$

Man kann daher mittels \mathbf{G} für einen gegebenen Bildpunkt direkt seinen Kernstrahl berechnen. Überdies muß für $\lambda_k \mathbf{x}_k = \mathbf{R}^T \mathbf{b}$ (Abbildung der Basis) wegen

$$\lambda_k \mathbf{G} \mathbf{x}_k = \mathbf{R}^T \mathbf{B} \mathbf{R} \lambda_k \mathbf{R}^T \mathbf{b} = \lambda_k \mathbf{R}^T \mathbf{B} \mathbf{b} = 0$$

($\mathbf{R} \mathbf{R}^T = \mathbf{E}$) die homogene Auflösung von

$$\mathbf{G} \mathbf{x}_k = 0 \quad (1.2.3)$$

ebenfalls die Koordinaten der Kernpunkte liefern, woraus wegen (1.1.7) die wohlbekannteren Beziehungen hierfür, nämlich

$$x_k = -c \frac{\mathbf{i} \cdot \mathbf{b}}{\mathbf{k} \cdot \mathbf{b}} \quad \text{und} \quad y_k = -c \frac{\mathbf{j} \cdot \mathbf{b}}{\mathbf{k} \cdot \mathbf{b}}, \quad (1.2.4)$$

entstehen müssen.

1.3 Bestimmung von \mathbf{C} und \mathbf{G}

Die Berechnung der Komponenten von \mathbf{C} erfolgt nach (Rinner 1963) aus den homogenen Komplanaritätsbedingungen

$$\mathbf{x}_i^T \mathbf{C} \mathbf{x}_i' = 0, \quad i = 1 \dots 8 \quad (1.3.1)$$

in welchen acht Komponenten $z_{jk} = c_{jk}/c_{32}$, ($z_{32} = 1$) als Unbekannte auftreten. Diese bilden die Matrix

$$\mathbf{Z} = \frac{1}{c_{32}} \mathbf{C}, \quad (1.3.2)$$

welche in den bisher angeführten Beziehungen direkt statt \mathbf{C} verwendet werden kann, da diese entweder homogen sind oder für die Rekonstruktion den sowieso unbekanntem Faktor λ enthalten. Hinsichtlich der Auswahl der homologen Korrelationspunkte für die Berechnung der z_{jk} ist zu beachten, daß zwischen den Bildkoordinaten zwecks Vermeidung von Singularitäten des (8x8)-Gleichungssystems keine linearen Abhängigkeiten zwischen den Bildkoordinaten bestehen dürfen. Dies ist gleichbedeutend mit der Forderung, daß keine vier Korrelationspunkte **des Modelles** einer gemeinsamen Ebene angehören, weil sich die dadurch gegebene lineare Abhängigkeit natürlich in die Bilder transformieren würde. Als Konsequenz folgt daraus, daß die Methode der Bildkorrelation nur bei ausgeprägt räumlich gegliederten Objekten funktionieren kann und für ebene Objekte andere Verfahren zu verwenden sind.

Liegt \mathbf{C} bzw. \mathbf{Z} vor, dann sind mit (1.2.1) auch die Kernpunkte bekannt und die Gleichung (1.2.3) kann in die Form

$$\begin{bmatrix} 0 & -c & -y_K \\ c & 0 & x_K \\ y_K & -x_K & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{bmatrix} = \mathbf{0}$$

gebracht werden. Aus dieser können in einfacher Weise die Hilfsgrößen

$$\bar{g}_2 = \frac{g_2}{g_1} = \frac{y_K}{x_K} \quad \text{und} \quad \bar{g}_3 = \frac{g_3}{g_1} = -\frac{c}{x_K}$$

und in weiterer Folge die Matrix

$$\bar{\mathbf{G}} = \frac{1}{x_K} \begin{bmatrix} 0 & c & y_K \\ -c & 0 & -x_K \\ -y_K & x_K & 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{\tau} \mathbf{G}$$

gebildet werden, die sich nur durch eine Konstante τ von \mathbf{G} unterscheidet.

2. Relative Orientierung mit Bilddrehung

2.1 Die speziellen Formen von \mathbf{C} und \mathbf{G} .

Bekanntlich ist die Methode der Bilddrehung in Anlehnung an die Konstruktion von Analoggeräten so zu definieren, daß die Basis fest bleibt und zwischen den beiden Bündeln durch reine Drehung derselben fünf homologe Strahlen zum Schnitt gebracht werden. Dementsprechend wird die Basis $\mathbf{b}^T = (1, 0, 0)$ gesetzt und es sind fünf Rotationsparameter zu ermitteln. Unter diesen Annahmen wird die Korrelationsmatrix in der Form (1.1.6) zu

$$C = \begin{bmatrix} i_3' i_2'' - j_2' i_3'' & i_3' j_2'' - i_2' j_3'' & i_3' k_2'' - i_2' k_3'' \\ j_3' i_2'' - j_2' i_3'' & j_3' j_2'' - j_2' j_3'' & j_3' k_2'' - j_2' k_3'' \\ k_3' i_2'' - k_2' i_3'' & k_3' j_2'' - k_2' j_3'' & k_3' k_2'' - k_2' k_3'' \end{bmatrix} \quad (2.1.1)$$

und enthält nur die zweiten und dritten Komponenten der Einheitsvektoren der Bildträgersysteme. **G** nimmt zufolge (1.1.7) die einfache Form

$$G = \begin{bmatrix} 0 & -k_1 & j_1 \\ k_1 & 0 & -i_1 \\ -j_1 & i_1 & 0 \end{bmatrix}$$

an und enthält somit die Komponenten der ersten Zeile von **R** in reiner Form, so daß $g_1^2 + g_2^2 + g_3^2 = 1$. Mithin muß die Normierung von **G** mit

$$\tau = \frac{x_K}{\sqrt{x_K^2 + y_K^2 + c^2}}$$

direkt ihre aus den gesuchten Rotationsparametern zusammengesetzten Komponenten ergeben. Wie diese weiter zu verwenden sind, hängt von den instrumentellen Gegebenheiten ab.

2.2 Rotationsparameter für P'

In der Standortanordnung $\Omega - \Phi - K$ hat **R** nach (Rinner 1972, S. 22) die Form

$$R = \begin{bmatrix} \cos\Phi \cos K & -\cos\Phi \sin K & \sin\Phi \\ \sin\Omega \sin\Phi \cos K + \cos\Omega \sin K & -\sin\Omega \sin\Phi \sin K + \cos\Omega \cos K & -\sin\Omega \cos\Phi \\ -\cos\Omega \sin\Phi \cos K + \sin\Omega \sin K & \cos\Omega \sin\Phi \sin K + \sin\Omega \cos K & \cos\Omega \cos\Phi \end{bmatrix}. \quad (2.2.1)$$

Folgt man der üblichen Vorgangsweise, dann bleibt $\Omega' = 0$ und P' ist nur mit Φ' und K' zu bewegen, also

$$R' = \begin{bmatrix} \cos\Phi' \cos K' & -\cos\Phi' \sin K' & \sin\Phi' \\ \sin K' & \cos K' & 0 \\ \sin\Phi' \cos K' & \sin\Phi' \sin K' & \cos\Phi' \end{bmatrix}. \quad (2.2.2)$$

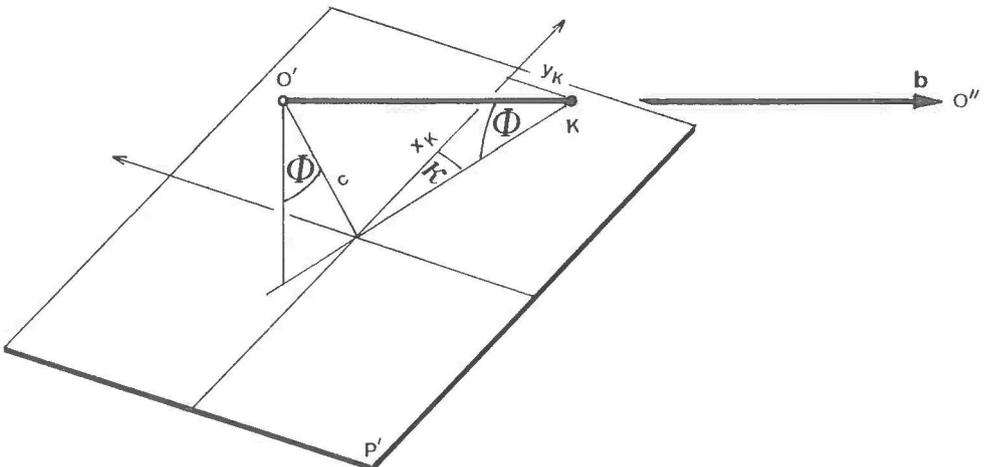


Fig. 2.2: Zusammenhang zwischen Kernpunkt sowie Querneigung und Kantung

Ein Vergleich der ersten Zeile mit den Komponenten von \mathbf{G}' ergibt die einfachen Formeln

$$\tan K' = -\frac{g_2'}{g_1'} = -\frac{y_k'}{x_k'} \quad (2.2.3a)$$

$$\tan \Phi' = \frac{g_2'}{\sqrt{g_1'^2 + g_2'^2}} = \frac{c}{\sqrt{x_k'^2 + y_k'^2}}, \quad (2.2.3b)$$

welche sich auch geometrisch leicht interpretieren lassen (Fig. 2.2).

Damit ist \mathbf{R}' festgelegt und das Verfahren könnte nun dort fortgesetzt werden, wo beim Folgebildanschluß die Basis bekannt ist und der Bestandteil \mathbf{R}'' der Korrelationsmatrix \mathbf{C} durch Zerlegung nach der analytischen Form verhältnismäßig einfach zu berechnen ist (Brandstätter 1991). Diese Vorgangsweise wäre aber uneinheitlich und würde nur indirekt die drei noch fehlenden Rotationsparameter des Bildträgers P'' liefern. Die direkte Beschaffung derselben wird durch die Korrelationsmatrix ermöglicht, welche den Zusammenhang zwischen den Orientierungen der beiden Bilder enthält.

2.3 Rotationsparameter für P''

Da in \mathbf{R}' keine Querneigung eingeführt wurde, ist Ω'' die Querneigungsdifferenz zwischen P' und P'' . Diese ist gem. (2.2.1) am einfachsten in \mathbf{k}'' enthalten und kann demzufolge gem. (2.1.1) aus der dritten Spalte von $\mathbf{C} = c_{32}\mathbf{Z}$ entnommen werden, worin die Komponenten von \mathbf{i}' , \mathbf{j}' , \mathbf{k}' gem. (2.2.2) und (2.2.3) bereits bekannt sind. Die detaillierte Anschreibung derselben ergibt mit $k_2' = 0$

$$\begin{aligned} (i_2' \cos \Omega'' + j_3' \sin \Omega'') \cos \Phi'' &= c_{32}z_{13} \\ (j_2' \cos \Omega'' + j_3' \sin \Omega'') \cos \Phi'' &= c_{32}z_{23} \\ k_3' \sin \Omega'' \cos \Phi'' &= c_{32}z_{33} \end{aligned}$$

bzw. nach Einsetzen des aus der dritten Gleichung entstehenden Ausdruckes

$$\cos \Phi'' = \frac{c_{32}z_{33}}{k_3' \sin \Omega''}$$

die symmetrischen Beziehungen

$$i_2' \cot \Omega'' + j_3' = \frac{z_{13}}{z_{33}} k_3'$$

$$j_2' \cot \Omega'' + j_3' = \frac{z_{23}}{z_{33}} k_3'$$

und daraus

$$\tan \Omega'' = \frac{z_{33} i_2'}{z_{13} k_3' - z_{33} i_3'} = \frac{z_{33} j_2'}{z_{33} k_3' - z_{33} j_3'}. \quad (2.3.1)$$

In der doppelten Bestimmbarkeit wird die Redundanz sichtbar, die die Linearisierung dieses sonst transzendenten Problems ermöglichte. Die numerisch stabilere Lösung ist aus dem zweiten Bruch zu erwarten, weil im allgemeinen $z_{23} \gg z_{13}, z_{33}$. Die Bestimmung der beiden noch fehlenden Drehgrößen Φ'' und K'' kann nun wie in (2.2.3) aus den Koordinaten des Kernpunktes in P'' mit

$$\begin{aligned} \tan K'' &= -\frac{y_k''}{x_k''} \\ \tan \Phi'' &= \frac{c}{\sqrt{x_k''^2 + y_k''^2}}, \end{aligned}$$

erfolgen, also unabhängig von Ω'' . Es zeigt sich somit, daß für beide Bilder Längsneigung und Kantung **direkt** aus den Koordinaten der Kernpunkte bestimmt werden können und nur für die Querneigungsdifferenz zusätzlich Komponenten von **Z** benötigt werden.

2.4 Numerisches Beispiel

Zwecks Sicherstellung der Richtigkeit der vorstehenden Ableitungen wurde ein durch acht Raumpunkte gegebenes Modell in die Ebenen P' und P'' abgebildet, deren Raumlage durch die Projektionszentren O', O'', die Kammerkonstante c = 2,5 dm und die beiden Matrizen **R'**, **R''** definiert ist. Die aus der Korrelationsrechnung mit acht Gleichungen der Form

$$x'x''z_{11} + x'y''z_{12} - x'cz_{13} + y'x''z_{21} + y'y''z_{22} - y'cz_{23} - cx''z_{31} + c^2z_{33} = cy$$

entstehende Matrix **Z** ist angegeben. Aus dieser folgen gem. (1.2.1) die Kernpunkte **x_K**, der Vektor **g** und schließlich die Drehbeträge nach den Gleichungen (2.2.3) und (2.3.1).

		Bild P'			Bild P''				
R'		$\Omega = 0.0000$	$\Phi = 1.3000$	$K = 5.8000$	$\Omega = 5.6000$	$\Phi = -1.8000$	$K = -3.4000$		
		0.9956450807	0.0909801732	-0.0203342429	0.9981750599	-0.0556553377	0.0234314573		
		-0.0909612050	0.9958527040	0.0018577174	0.0533603355	0.9945807278	0.0892292019		
		0.0204189262	0.0000000000	0.9997915120	-0.0282705572	-0.0878160535	0.9957354650		
		Modellpunkte [m]			Bildkoordinaten [dm]				
					Bild P'		Bild P''		
		X	X	Z	x'	y'	x''	y''	
1		292.50	202.50	120.00	1	-0.063081	-0.683934	-1.149830	-1.005083
2		435.00	900.00	990.00	2	0.087049	-0.281017	-1.377887	-0.579071
3		660.00	1537.50	312.00	3	0.285489	0.220839	-0.954006	-0.025982
4		577.50	2295.00	91.50	4	0.262151	0.728463	-0.968453	0.468447
5		1537.50	480.00	772.50	5	0.982009	-0.701806	-0.310393	-0.863850
6		1357.50	1057.50	138.00	6	0.728322	-0.166157	-0.410244	-0.344036
7		1717.50	1695.00	247.50	7	1.050871	0.261673	-0.183839	0.121774
8		1462.50	2115.00	975.00	8	1.117258	0.732585	-0.459212	0.565681
O'		367.50	1200.00	3750.00	K'			88.269843	4.718720
O''		1867.50	1200.00	3750.00	K'	-121.902233	11.136874		
Z				-0.0010057479		-0.0285025074		-0.0893090210	
				-0.0235702933		-0.0875038438		-0.9973808863	
				-0.0559585926		1.0000000000		-0.0882945457	
x _K		-121.9022	11.1369	-2.5000		88.2698	4.7187	-2.5000	
g		1.000000	-0.091359	0.020508		1.000000	0.053458	0.028322	
		tan $\Omega = 0.000000$ $\Omega = 0.0000$	tan $\Phi = 0.020423$ $\Phi = 1.3000$	tanK = 0.091359 K = 5.8000		tan $\Omega = 0.088192$ $\Omega = 5.6000$	tan $\Phi = -0.028282$ $\Phi = -1.8000$	tanK = 0.053458 K = -3.4000	

Tabelle 2.4: Zahlenmaterial der Modellrechnung

Durch Einsetzen der ermittelten Drehbeträge wird sich bei praktischen Anwendungen zeigen, daß die Komponenten von **C** nicht konsistent sind, weil die Orthogonalitäts- und Normierungsbedingungen zwischen diesen bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden. Außerdem liegen Messungen in acht statt fünf homologen Punkten vor. Es ist daher eine iterative Nachbehandlung und Ausgleichung mit Hilfe der bekannten Differentialbeziehungen für Bild Drehungen anzuschließen, woraus sich die analytisch und stochastisch konsistenten Orientierungsparameter ergeben. Für die Arbeit an Analoggeräten sind die erhaltenen Ergebnisse insofern gute Näherungswerte, als ihre Einstellung an (kalibrierten) Skalen gewährleisten sollte, daß nur mehr ein Orientierungsdurchgang für die Erreichung der strengen Endlage erfolgen muß.

4. Schlußbemerkungen

Mit diesem Aufsatz sollte der unbefriedigende Zustand behoben werden, daß nur die Parameter des Folgebildanschlusses direkt aus der Bildkorrelation zu erhalten wären. Als wichtigstes Hilfsmittel hierzu stellten sich die in diesem Zusammenhang bisher kaum beachteten Koordinaten der Kernpunkte als Resultat der Bildkorrelation heraus. Ob allerdings das vorgeschlagene Verfahren (Koordinatenmessung in acht homologen Punktepaaren, Beschränkung auf ausgeprägt räumliche Modelle) in der Praxis Anklang finden wird, ist fraglich, da es doch sehr die eingefahrenen Gleise verläßt. Es möge daher in dem Sinne verstanden werden, der jeder wissenschaftlichen Forschung und Entwicklung zugrunde liegen sollte, nämlich auf Möglichkeiten hinzuweisen und sie so weit aufzubereiten, daß sie angewendet werden könnten.

Literatur

- Brandstätter, G.:* On the Importance of Projective Geometry for Analytical and Digital Photogrammetric Restitution. Rhodes Symposium ISPRS-Commission IV, 1990 (im Druck).
- Brandstätter, G.:* Notizen zur voraussetzungslosen gegenseitigen Orientierung von Meßbildern. ÖZfVuPh, Heft 4/91, Wien 1991.
- Rinner, K.:* Studien über eine allgemeine, voraussetzungslose Lösung des Folgebildanschlusses. ÖZfV, Sonderheft 23, Wien 1963.
- Rinner, K.:* In Handbuch der Vermessungskunde J/E/K. Band III a/1, Photogrammetrie, J. B. Metzler, Stuttgart 1972.
- Thompson, E. H.:* The Projective Theory of Relative Orientation. Photogrammetria 23, 1968, pp. 67—75.

Manuskript eingelangt im September 1991.