Notizen zur voraussetzungslosen gegenseitigen Orientierung von Meßbildern

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. 273–280

1991

Notizen zur voraussetzungslosen gegenseitigen Orientierung von Meßbildern

von *G. Brandstätter,* Graz

Zusammenfassung

Der voraussetzungslose Folgebildanschluß nach *K. Rinner* kann mit Hilfe der aus der Bildkorrelation nach *E. H. Thompson* folgenden Koordinaten der Kernpunkte und anhand der von *G. H. Schut* eingeführten algebraischen Form der Orientierungsmatrizen nicht unwesentlich vereinfacht werden. Aus Kurzdarstellungen der Grundideen dieser drei Vorpublikationen ergeben sich die notwendigen Komponenten für ein praktisch einsetzbares Verfahren, das für die analoge, analytische und digitale Stereobildverarbeitung brauchbar erscheint. Ein kurzes numerisches Beispiel untermauert die theoretischen Ausführungen.

Abstract

K. Rinner's unconditional conjunction of successive images may be decisively simplified using the coordinates of the epipoles from image correlation according to *E. H. Thompson* and the algebraic construction of orthogonal matrices in conformity with *G. H. Schut.* Short presentations of the basic ideas of these three preceding publications yield the necessary components of a practical procedure, which seems to be useful for analogous, analytic and digital processing of stereo pairs. A short numeric example may explain the theoretic considerations.

0. Einführung

Für die gegenseitige Orientierung von Meßbildern mittels Folgebildanschluß sind bekanntlich fünf Unbekannte zu bestimmen, welche in teilweise transzendenter Form in den Abbildungsgleichungen enthalten sind. Die in diesem Fall übliche Linearisierung durch Reihenentwicklung geht von bekannten Näherungswerten aus, deren Qualität die Konvergenz des Verfahrens der iterativen Annäherung an die Lösungswerte merkbar beeinflussen kann. Es ist daher vorteilhaft, wenn die Näherungen selbst schon so nahe an der Lösung liegen, daß praktisch nur mehr lineare Differenzen bestehen. Ein wichtiges Hilfsmittel zur Erreichung dieser Situation ist die Linearisierung durch Überbestimmung, welche im hier gegebenen Zusammenhang die Messung von Bildkoordinaten in acht (statt fünf) homologen Punkten erfordert *(Rinner 1963).* Da aber die Verwendung von acht homologen Punkten der sogenannten projektiven Bildkorrelation entspricht *(Thompson 1968),* welche die Koordinaten der Kernpunkte liefert, ergibt deren Verwendung eine Abkürzung des Verfahrens. Eine weitere Vereinfachung ist zu erreichen, wenn man vorerst auf die direkte geometrische Deutbarkeit der Rotationsparameter verzichtet und die algebraische Darstellung für die Orientierungsmatrix des rechten Bildes verwendet *(Schut 1959),* da hierbei nur die drei voneinander unabhängigen Komponenten des darin enthaltenen schiefsymmetrischen Tensors berechnet werden müssen.

Die nachfolgenden Ausführungen enthalten vorerst in chronologischer Reihenfolge möglichst knappe Darstellungen der wesentlichen Gedankengänge aus den zitierten Publikationen, zeigen sodann ihre Anwendung im angeführten Sinn und belegen schließlich die Verwendbarkeit anhand eines kontrollierbaren numerischen Modellbeispieles.

1. Theoretische Grundlagen

1.1 Orientierungsmatrizen

G. H. Schut erläutert in seiner Arbeit die drei Darstellungsmöglichkeiten orthogonaler Orientierungsmatrizen. Er unterscheidet die aus drei Drehwinkeln in cardanischer und eulerscher Form aufgebaute, die durch Richtung der Drehachse und Drehbetrag definierte *(Rinner 1957)* sowie schließlich die auf drei unabhängigen Parametern basierende algebraisch zusammengesetzte Drehmatrix. Die letztgenannte Form soll in weiterer Folge Verwendung finden, da es für die zeitgemäße analytische oder digitale Stereobildverarbeitung gleichgültig ist, wie die numerischen Komponenten der Transformationsformeln zustande kommen. Sie beruht auf der Tatsache, daß ein aus drei Parametern s_1, s_2, s_3 zusammengesetzter schiefsymmetrischer Tensor

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0 & -s_3 & s_2 \\ s_3 & 0 & -s_1 \\ -s_2 & s_1 & 0 \end{bmatrix}$$

in Verbindung mit der Einheitsmatrix **E** zufolge

$$\mathbf{R} = (\mathbf{E} + \mathbf{S})(\mathbf{E} - \mathbf{S})^{-1} \qquad (1.1.1)$$

eine orthogonale Matrix ergibt. Der Nachweis dieser Eigenschaft erfolgt am bequemsten durch die Substitution $s_1 = d_1 \tan\varepsilon/2$, $s_2 = d_2 \tan\varepsilon/2$ und $s_3 = d_3 \tan\varepsilon/2$ mit $d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 = 1$, woraus sich die zweitgenannte Form ergibt *(Rinner 1972)*.

Hinsichtlich der Transformationsrichtung sei festgelegt, daß mit

$$\mathbf{R}^T = \begin{bmatrix} \mathbf{i}^T \\ \mathbf{j}^T \\ \mathbf{k}^T \end{bmatrix}$$

die Abbildung und mit

$$\mathbf{R} = [\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}]$$

die Rekonstruktion (Modell) zu beschreiben ist. Die Spaltenvektoren **i, j, k** sind wie üblich die Einheitsvektoren des Koordinatensystems der Meßkammer, ausgedrückt im System des Modells.

1.2 Der redundante Bildanschluß

Dieser basiert auf der Komplanaritätsbedingung

$$|\,\mathbf{p}'_M\ \mathbf{b}\ \mathbf{p}''_M\,| = \mathbf{p}'_m \,.\, (\mathbf{b} \times \mathbf{p}'_m) = 0 \qquad (1.2.1)$$

zwischen Basis $\mathbf{b}^T = [b_1, b_2, b_3]$ und den Projektionsstrahlen $\mathbf{p}_M$ (in Komponenten des Modellsystems). Da

$$\mathbf{p}_M = \mathbf{R}\,\mathbf{p}, \qquad \mathbf{p}^T = (x, y, -c)$$

und das vektorielle Produkt mit **b** anhand des schiefsymmetrischen Tensors

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

ausgedrückt werden kann, nimmt (1.2.1) die Form

$$\mathbf{p}'^T\,\mathbf{R}'^T\,\mathbf{B}\,\mathbf{R}''\,\mathbf{p}'' = \mathbf{p}'^T\,\mathbf{C}\,\mathbf{p}'' = 0 \qquad (1.2.2)$$

an, welche bereits die allgemeine Formulierung der Bildkorrelation enthält. *K. Rinner* formuliert nun mit Hilfe von (1.2.2) den voraussetzungslosen Bildanschluß mit $\mathbf{R}' = \mathbf{E}$ (linkes Bild wird nicht bewegt) und $\mathbf{R}'' = \mathbf{R}$ (Drehbewegungen des rechten Bildes) so, daß

$$\mathbf{C} = \mathbf{E}\,\mathbf{B}\,\mathbf{R} = \mathbf{B}\,\mathbf{R} \tag{1.2.3}$$

und die Lösung der Aufgabe die bis auf einen gemeinsamen Maßstabsfaktor bestimmten Basiskomponenten ($b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1$) sowie die Komponenten von $\mathbf{R}$ ergibt. Zu diesem Zweck werden die Komponenten von $\mathbf{C}$ in der Form

$$\mathbf{C} = [\mathbf{i} \times \mathbf{b} \quad \mathbf{j} \times \mathbf{b} \quad \mathbf{k} \times \mathbf{b}] \tag{1.2.4}$$

als neun Hilfsunbekannte c_{jk} eines homogenen [8 x 9]-Gleichungssystems

$$[x_i', y_i', -c] \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i'' \\ y_i'' \\ -c \end{bmatrix} = 0, \; i = 1, \ldots 8 \tag{1.2.5}$$

aufgefaßt, welches durch eine Komponente, meist c_{23} oder c_{32}, dividiert werden darf, und so anhand der gemessenen Bildkoordinaten von acht homologen Punkten die übrigen Komponenten in Proportion zum Divisor liefert. Die zweckdienliche Verwertung der somit bekannten Korrelationsmatrix $\mathbf{C}$ muß die Orientierungselemente vermitteln, worauf in Abschnitt 2 einzugehen sein wird.

1.3 Die Bildkorrelation

Vermutlich wies *E. H. Thompson* als erster darauf hin, daß die Komplanaritätsbedingung (1.2.1) die Formulierung der projektiven Bildkorrelation enthält. Diese kann als sogenannte duale Transformation interpetiert werden, da z. B. der linke Teil der Beziehung (1.2.2) in der Form $\mathbf{h}''^T = \mathbf{p}'^T\mathbf{C}$ einen Koeffizientenvektor $\mathbf{h}''$ liefert, der im rechten Bild mit $\mathbf{h}''^T\mathbf{p}'' = 0$ offensichtlich eine Geradengleichung definiert, auf welcher der homologe Punkt im rechten Bild liegen muß und vice versa. Es läßt sich zeigen, daß diese Gerade der zugehörige Kernstrahl ist *(Brandstätter 1990)* und daß somit alle Geraden $\mathbf{h}$ durch den Kernpunkt $\mathbf{p}_K$ gehen müssen. Die Koordinaten der Kernpunkte der beiden Bilder, und das ist wohl die wesentliche Erkenntnis der Arbeit E. H. Thompsons, folgen aus

$$\mathbf{C}^T \mathbf{p}_K' = \mathbf{0} \tag{1.3.1}$$

für das linke und

$$\mathbf{C}\,\mathbf{p}_K'' = \mathbf{0} \tag{1.3.2}$$

für das rechte Bild. Die Lösungen dieser 3 x 3-Systeme müssen in sich konsistent sein, da aufgrund (1.2.3) $\det(\mathbf{C}) = 0$ wegen $\det(\mathbf{B}) = 0$ und $\mathrm{rg}(\mathbf{C}) = 2$ wegen $\mathrm{rg}(\mathbf{B}) = 2$. Hat demnach die Prozedur (1.2.5) die Korrelationsmatrix ergeben, dann sind auch die Kernpunkte in den beiden Bildern bekannt, also die Bildpunkte des jeweils anderen Projektionszentrums.

2. Anwendung der theoretischen Vorgaben

2.1 Berechnung der Bildkorrelation

Mit der Bezeichnung $z_{jk} = c_{jk}/c_{32}$ und daher $z_{32} = 1$ lauten die Koeffizienten einer Zeile des Gleichungssystems zur Bestimmung der Korrelationsmatrix $\mathbf{Z}\{z_{jk}\}$

$$x'x''z_{11} + x'y''z_{12} - x'cz_{13} + y'x''z_{21} + y'y''z_{22} - y'cz_{23} - cx''z_{31} + c^2z_{33} = cy''. \quad (2.1.1)$$

Die ausführliche Form der c_{jk} gemäß Gl. (1.2.4) ist in Tab. 2.1 wiedergegeben. Aus dieser folgt, daß die Quadratsummen der Zeilen wegen $\Sigma\, b_i^2 = 1$

$$\sum_{k=1}^{3} c_{jk}^2 = 1 - b_j^2$$

$j/_k$	1	2	3
1	$i_2b_3 - i_3b_2$	$j_2b_3 - j_3b_2$	$k_2b_3 - k_3b_2$
2	$-i_1b_3 + i_3b_1$	$-j_1b_3 + j_3b_2$	$-k_1b_3 + k_3b_2$
3	$i_1b_2 - i_2b_1$	$j_1b_2 - j_2b_1$	$k_1b_2 - k_2b_1$

Tabelle 2.1: c_{jk} in Funktion von **i, j, k** und **b**

ergeben müssen und die Quadratsumme über alle Komponenten daher

$$\sum_{j=1}^{3} \sum_{k=1}^{3} c_{jk}^2 = c_{32}^2\, \Sigma\, z_{jk}^2 = 2$$

wird. Diese Beziehung liefert *(Rinner 1963)*

$$c_{32} = \pm\sqrt{2/(1 + \Sigma\, z_{jk}^2)} \quad (2.1.2)$$

wobei für konventionelle Anordnungen (j_2 nahe 1, $b_1 \gg b_2, b_3$) das „—" gilt, so daß mit $c_{jk} = c_{32} \,.\, z_{jk}$ die Komponenten der Korrelationsmatrix für die spätere Berechnung der Rotationsparameter bekannt sind. Vorerst sollen jedoch die Basiskomponenten angegeben werden, wobei die nach *Thompson* bekannten Kernpunkte behilflich sind.

2.2 Berechnung der Basiskomponenten

Aus Fig. 2.1 geht hervor, daß die Projektionszentren die Koordinaten

$$\mathbf{X}_0' = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad \text{und} \quad \mathbf{X}_0'' = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ Z_0 + b_3 \end{bmatrix}$$

aufweisen. Da nun $\mathbf{p}_k'$ aus (1.3.1) bekannt ist, ergeben die Abbildungsgleichungen für O″ in P′, nämlich

$$\left.\begin{aligned} x_k' &= -c\,\frac{\mathbf{i}'\,.\,(\mathbf{X}_0'' - \mathbf{X}_0')}{\mathbf{k}'\,.\,(\mathbf{X}_0'' - \mathbf{X}_0')} = -c\,\frac{b_1}{b_3} \quad \text{bzw.} \quad b_3 = -\frac{c}{x_k'}\,b_1 \\ y_k' &= -c\,\frac{\mathbf{j}\,.\,(\mathbf{X}_0'' - \mathbf{X}_0')}{\mathbf{k}'\,(\mathbf{X}_0'' - \mathbf{X}_0')} = -c\,\frac{b_2}{b_3} \quad \text{bzw.} \quad b_2 = \frac{y_k'}{x_k'}\,b_1 \end{aligned}\right\} \quad (2.2.1)$$

geradezu lächerlich einfache Beziehungen zwischen den Basiskomponenten b_2, b_3 und den Koordinaten des Kernpunktes K′. Weiters besteht die Forderung

$$\sum_{1}^{3} b_i^2 = b_1^2\,(1 + y_k'^2/x_k'^2 + c^2/x_k'^2) = 1,$$

wurde sofort

$$b_1 = |\, x_k' / \sqrt{x_k'^2 + y_k'^2 + c^2}\, | \quad (2.2.2)$$

folgt (b_1 muß positiv sein!). Damit sind alle Komponenten von **B** gegeben.

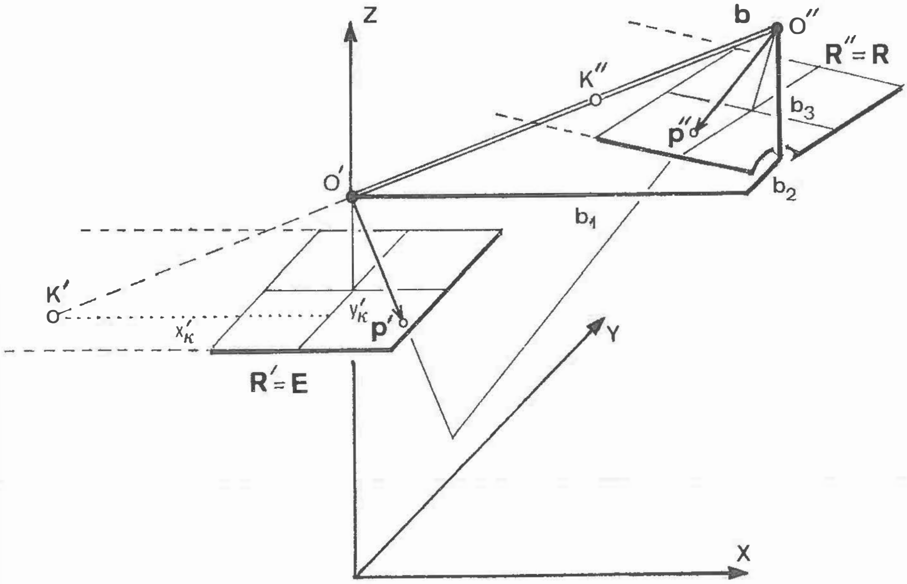

Fig. 2.1: Schematisierte Situation des Folgebildanschlusses

2.3 Orientierung des rechten Bildes

Die in (1.2.3) enthaltene Rotationsmatrix kann gemäß (1.1.1) zerlegt werden, so daß die Beziehung

$$\mathbf{C} = \mathbf{B}(\mathbf{E}+\mathbf{S})(\mathbf{E}-\mathbf{S})^{-1} \tag{2.3.2}$$

entsteht. Diese wird nach Rechtsmultiplikation mit $(\mathbf{E}+\mathbf{S})$ und entsprechender Umstellung zur singulären Beziehung

$$(\mathbf{C}+\mathbf{B})\,\mathbf{S} = \mathbf{C}-\mathbf{B}, \tag{2.3.3}$$

welche daher nicht durch Inversion direkt nach **S** aufgelöst werden kann. Wohl aber enthält sie dreimal drei lineare Gleichungen für je zwei der drei unbekannten Komponenten s_1, s_2, s_3, deren Koeffizienten in Tab. 2.3 zusammengestellt sind.

s_1	s_2	s_3	Abs.
	$-(c_{13}+b_2)$ $-(c_{23}-b_1)$ $-c_{33}$	$c_{12}-b_3$ c_{22} $c_{32}+b_1$	c_{11} $c_{21}-b_3$ $c_{31}+b_2$
$c_{13}+b_2$ $c_{23}-b_1$ c_{33}		$-c_{11}$ $-(c_{21}+b_3)$ $-(c_{31}-b_2)$	$c_{12}+b_3$ c_{22} $c_{32}-b_1$
$-(c_{12}-b_3)$ $-c_{22}$ $-(c_{32}+b_1)$	c_{11} $c_{21}+b_3$ $c_{31}-b_2$		$c_{13}-b_2$ $c_{23}+b_1$ c_{33}

Tabelle 2.3: Koeffizientenschema für die Berechnung der algebraischen Orientierungsparameter

Die algebraische Konsistenz der paarweisen Lösungen in sich und untereinander ist allgemein nicht so leicht nachweisbar, wird aber durch das nachfolgende numerische Beispiel erhärtet. In ausführlicher Schreibweise lautet nun die Rotationsmatrix mit Hilfe der so gewonnenen s_i nach Ausführung der Matrizenoperationen in (1.1.1) (*Thompson 1968* oder *Rinner 1972*)

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1+s_1^2-s_2^2-s_3^2 & 2(s_1s_2-s_3) & 2(s_1s_3+s_2) \\ 2(s_1s_2+s_3) & 1-s_1^2+s_2^2-s_3^2 & 2(s_2s_3-s_1) \\ 2(s_1s_3-s_2) & 2(s_2s_3+s_1) & 1-s_1^2-s_2^2+s_3^2 \end{bmatrix} \frac{1}{1+s_1^2+s_2^2+s_3^2} \qquad (2.3.4)$$

Die Basiskomponenten aus 2.2 sowie die s_i sind wegen Außerachtlassung der Orthogonalitäts- und Normierungsbedingungen bei der Berechnung von **C** nur sehr gute Näherungswerte für die Parameter des Folgebildanschlusses. Eine iterative Nachbehandlung anhand der bekannten Differentialformeln, die ja auch für die differentiellen algebraischen Parameter gelten, sollte daher, wie eingangs gefordert, nach einem Schritt bereits die auch stochastisch konsistenten Orientierungswerte liefern. Zur Kontrolle muß die Abbildung

$$x''_K = -c\mathbf{i}''.\mathbf{b}/\mathbf{k}''.\mathbf{b} \quad \text{und} \quad y''_K = -c\mathbf{j}''.\mathbf{b}/\mathbf{k}''.\mathbf{b}$$

des linken Projektionszentrums O′ die aus (1.3.2) erhaltenen Koordinaten des Kernpunktes K″ im rechten Bild ergeben.

3. Numerisches Beispiel

3.1 Soll- und Ausgangswerte

Mit $\mathbf{R}'^T = \mathbf{E}$ und

$$\mathbf{R}''^T = \mathbf{R}^T = \begin{bmatrix} 0.9967957879 & 0.0542184565 & -0.0588091515 \\ -0.0532866025 & 0.9984293786 & 0.0173006897 \\ 0.0596548013 & -0.0141115148 & 0.9981193164 \end{bmatrix}$$

wurden die in Tab. 3.1 links enthaltenen Modellkoordinaten in die Bilder P′(O′) und

	Modellpunkte [m]			Bild P′ [dm]		Bild P″ [dm]	
	X	Y	Z	x′	y′	x″	y″
1	292.50	202.50	120.00	−0.0521921	−0.7369520	−0.7275012	−0.6274737
2	435.00	900.00	990.00	0.0619835	−0.3319559	−0.8285705	−0.2298836
3	660.00	1537.00	312.00	0.2150419	0.2029113	−0.4789956	0.2222877
4	577.50	2295.00	91.50	0.1449876	0.7135460	−0.4683026	0.6862515
5	1537.50	480.00	772.50	0.9948980	−0.6645408	0.0590498	−0.5955569
6	1357.50	1057.50	138.00	0.6924045	−0.1426773	−0.0227921	−0.1217814
7	1717.50	1695.00	247.50	0.9740260	0.3127706	0.2355997	0.2889002
8	1462.50	2115.00	975.00	1.0000000	0.7794521	0.0640873	0.7239491
O′	367.50	1261.50	3712.50			−8.7416223	0.9340927
O″	1612.50	1192.50	3987.00	−11.3387978	0.6284153		

Tabelle 3.1: Modell- und Bildkoordinaten

P″ (O″) abgebildet, wodurch die rechts entnehmbaren Bildkoordinaten entstanden. Die Soll-Werte der Korrelationsmatrix lauten mit

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0.0000000000 & -0.2149960081 & -0.0540427124 \\ 0.2149960081 & 0.0000000000 & -0.9751185065 \\ 0.0540427124 & 0.9751185065 & 0.0000000000 \end{bmatrix}$$

nach Division durch $c_{32} = 0.970707212$

$$\mathbf{Z} = \frac{1}{c_{32}}\,\mathbf{C} = \begin{bmatrix} -0.0087344006 & -0.2220992121 & -0.0524433683 \\ 0.2798506118 & -0.0291814351 & -0.9894426055 \\ 0.1099600035 & 1.0000000000 & -0.0108544490 \end{bmatrix},$$

die daraus zu berechnenden Koordinaten der Kernpunkte K′ und K″ sind den letzten beiden Zeilen in Tab. 3.1 rechts zu entnehmen.

3.2 Ergebnisse

Es wäre zu aufwendig, die Berechnung der Komponenten der Korrelationsmatrix aus dem System der Gl. (2.1.1) numerisch zu belegen. Da die Bildkoordinaten in Tab. 3.1 fehlerfreie synthetische Werte sind, ergeben sich vorerst numerisch völlig gleiche z_{jk}. Aus den homogenen Lösungen von $\mathbf{Z}^T\mathbf{p}'_K = \mathbf{0}$ und $\mathbf{Z}\mathbf{p}''_K = \mathbf{0}$ folgen direkt die beiden Kernpunkte, weil der gemeinsame Proportionalitätsfaktor c_{32} hierauf keinen Einfluß hat, und aus $\mathbf{p}'_K$ die Basiskomponenten gem. (2.2.1) und (2.2.2). Es verbleibt die Berechnung der s_i mit Hilfe der in Tab. 3.2 wiedergegebenen Koeffizientenschemata, die links aus der Multiplikation von ($\mathbf{C} + \mathbf{B}$) mit den Spalten von $\mathbf{S}$ entstehen und rechts als Absolutwerte die korrespondierenden Spalten von ($\mathbf{C} - \mathbf{B}$) enthalten. Aus den s_i folgt gem. (2.3.4)

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0.9967957879 & -0.0532866025 & 0.0596548013 \\ 0.0542184565 & 0.9984293786 & -0.0141115148 \\ -0.0588091515 & 0.0173006897 & 0.9981193164 \end{bmatrix}$$

	s_1	s_2	s_3	Spalte von **C—B**
1. Spalte von **S**		0.1049498682 1.9355775796 0.0105364919	—0.4305893150 —0.0283266295 1.9458257185	—0.0084785457 0.0566569991 0.0526962560
Lösung		0.0296653477	0.0269210581	
2. Spalte von **S**	—0.1049498682 —1.9355775796 —0.0105364919		0.0084785457 —0.4866490153 —0.1607816808	—0.0005972989 —0.0283266295 —0.0044112945
Lösung	0.0078661394		0.0269210581	
3. Spalte von **S**	0.4305893150 0.0283266295 —1.9458257185	—0.0084785457 0.4866490153 0.1607816808		0.0031355566 0.0146594335 —0.0105364919
Lösung	0.0078661394	0.0296653477		

Tabelle 3.2: Gleichungen für die Berechnung der Komponenten von **S**

und die Kontrollabbildung des linken Projektionszentrums O′ in P″ ergibt die Koordinaten x_k'' und y_k'' aus Tab. 3.1.

4. Schlußbemerkungen

Da strenggenommen die Stereoverarbeitung nichtmetrischer Bildpaare ohne Bildkorrelation nicht durchführbar ist und diese Möglichkeit an analytischen Auswertegeräten und sicher auch im Rahmen der zukünftigen reinen Digitalauswertung angeboten werden muß, bedeutet es keinen Mehraufwand, auch metrische Bilder dem Korrelationsprozeß zu unterwerfen und so ohne Vorgaben bestgeeignete Startwerte für die darauffolgende iterative Orientierung zu bekommen. Es muß lediglich die sicher vorhandene Hemmschwelle überwunden werden, statt fünf oder sechs Orientierungspunkten deren acht oder mehr anzufahren. Da dieses Verfahren aber auch für — allerdings sorgfältigst justierte — Analogauswertegeräte mit Koordinatenabgriff im Modellraum in Frage kommt, bedeutet es bei vorhandener Rechnerstützung eine Vereinfachung des praktischen Auswertevorganges. Eine diesbezügliche Erprobung an einem entsprechend ausgerüsteten Zeiss-Planimat D2 mit ATi80386-Anschluß ist vorgesehen.

Literatur

Brandstätter, G.: On the Importance of Projective Geometry for Analytical and Digital Photogrammetic Restitution. Rhodes Symposium ISPRS-Commission IV, 1990 (im Druck).

Rinner, K.: Über Räumliche Drehungen. DGK Reihe A, Nr. 25, München 1957.

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.

Schut, G. H.: Construction of Orthogonal Matrices. Photogrammetria 15, 1958/59, pp. 149—162.

Thompson, E. H.: The Projective Theory of Relative Orientation. Photogrammetria 23, 1968, pp. 67—75.

Manuskript eingelangt im Mai 1991.