

RESEAU-SCANNER ROLLEIMETRIC RS1 -
ANWENDUNGEN IN DER NAHBEREICHSPHOTOGRAMMETRIE

(RESEAU-SCANNER ROLLEIMETRIC RS1 - CLOSE-RANGE APPLICATIONS)

Thomas Luhmann
University of Hannover
D 3000 Hannover 1
F.R. Germany
Commission V

Jürgen Peipe
University of the FAF Munich
D 8014 Neubiberg
F.R. Germany
Commission V

ABSTRACT

In 1986 the réseau-scanner Rolleimetric RS1 was presented at the ISPRS-Symposium of Commission II in Baltimore for the first time. The instrument enables the A/D-conversion of analogues photographs by means of réseau-technique. A glass plate with a close-meshed réseau covers the photograph. Partial images are meshwise recorded by a CCD matrix camera and numerically transformed into the réseau system.

Meanwhile the equipment has been further developed and tested. Some projects discussed in this paper were carried out using the RS1 as digital mono-comparator.

1. Einleitung

Der Réseau-Scanner Rolleimetric RS1 (Abb. 1) ist ein Meßgerät zur hochgenauen Digitalisierung analoger Bildvorlagen. Diese werden auf einen Bildträger unter eine Glasplatte mit engmaschigem Gitter gelegt und mit einer CCD-Matrix-Kamera maschen-

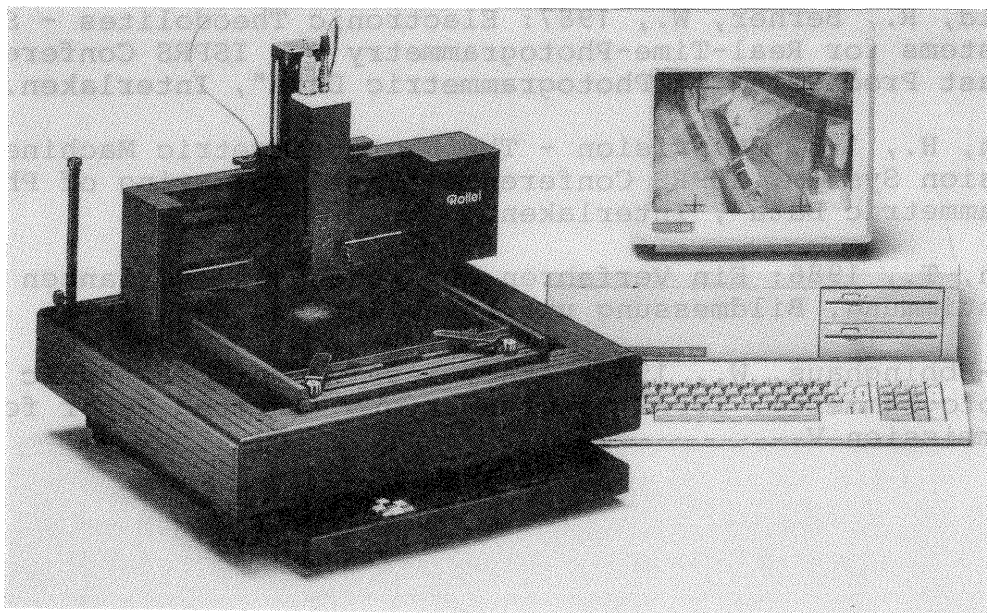
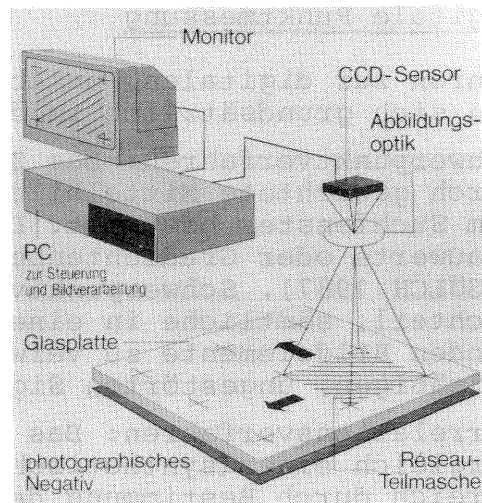


Abb. 1 Réseau-Scanner Rolleimetric RS1

Abb. 2 Prinzipskizze zum Réseau-Scanner RS1



weise abgetastet (Abb. 2). Die digitalisierten Teilbilder werden anschließend numerisch in das System des Scan-Réseaus transformiert, in dem sich das Gesamtbild durch Zusammenfügen der Teilbilder ergibt. Bei Anwendung des RS1 als digitaler Monokomparator werden nicht alle Bildelemente eines Teilbildes gespeichert, sondern lediglich die Koordinaten der in der Réseaumasche enthaltenen Meßpunkte. Die Lokalisierung dieser Meßpunkte kann manuell durch Einstellen mit einem Cursor oder automatisch mit Verfahren der digitalen Bildverarbeitung erfolgen.

Der auf dem Prinzip des Réseau-Scanning (WESTER-EBBINGHAUS 1984) basierende Rolleimetric RS1 wurde zum ersten Mal 1986 auf dem ISPRS-Symposium der Kommission II in Baltimore vorgestellt (LUHMANN & WESTER-EBBINGHAUS 1986). Inzwischen wurden Hard- und Software weiterentwickelt und getestet (LUHMANN & PEIPE 1987, LUHMANN 1988a). Mit der jetzt vorliegenden Version (LUHMANN & WESTER-EBBINGHAUS 1988, LUHMANN 1988b) steht ein hochpräzises, automatisches Bildmeßsystem zur Verfügung. Dies soll im folgenden an einigen Anwendungen aus der Nahbereichsphotogrammetrie dokumentiert werden.

Die wichtigsten technischen Daten des Réseau-Scanners RS1 sind in Tab. 1 zusammengestellt. Weitere Einzelheiten können LUHMANN (1988b) entnommen werden.

CCD-Kamera	Valvo NXA 1010 Sensor, 604 x 576 Elemente
Pixel-Größe	7.7 μm x 5.3 μm in der Réseaebene (Vergrößerung durch optisches System 1.5:1)
Scan-Réseau	Réseauplatte mit 230 mm x 230 mm Meßbereich, Gitterabstand 2 mm
Rechner	Micro-computer Tandon PCA 40 (AT-kompatibel) Betriebssystem MS-DOS 3.10
Bildverarbeitungsboard	Imaging Tech. FG-100-AT (scanning rate 10 MHz)

Tab. 1

2. Digitale Punktmessung

Verfahren zur digitalen Punktbestimmung im Subpixel-Bereich lassen sich grundsätzlich in drei Kategorien einteilen:

1. **Schwerpunktverfahren:** Das Zentrum eines Punktmusters wird durch gewichtete Mittelbildung von Pixelkoordinaten in einem Suchfenster bestimmt. Die Gewichtung erfolgt z.B. über Grauwerte oder Gradientenbeträge und -richtungen (FÖRSTNER & GÜLCH 1987). Schwerpunktverfahren haben allgemein den Nachteil, sämtliche in einem Entscheidungsbereich vorkommenden Bildelemente zu verwenden, und arbeiten nur bei regelmäßigen, ungestörten Signalen erfolgreich.
2. **Korrelationsverfahren:** Das Zentrum eines Punktes wird durch Vergleich eines (synthetischen) Referenzmusters mit dem Suchbereich durch Bestimmung des maximalen Korrelationskoeffizienten berechnet, z.B. durch normierte Kreuzkorrelation oder nach kleinsten Quadraten. Korrelationsverfahren benötigen gute Näherungswerte über Form und Lage des Punktmusters.
3. **Strukturelle Verfahren:** Das Zentrum eines Punktes wird bestimmt durch Extraktion der zum Punktmuster gehörenden Linien- und Kantenelemente, Kombination dieser Elemente zu Punktstrukturen und Berechnung des Mittelpunktes aufgrund eines bekannten Punktmodells (z.B. Mittelpunkt einer Ellipse oder Schnittpunkt zweier Linienstücke) in einem Ausgleichungsprozeß nach kleinsten Quadraten. Strukturelle Verfahren arbeiten weitgehend verschiebungs-, rotations- und maßstabsinvariant, liefern hohe Genauigkeiten und darüberhinaus ein inneres Genauigkeitsmaß, mit dem die digitale Messung selbständig kontrolliert werden kann (LUHMANN 1986, LUHMANN 1988a).

Für den Einsatz eines digitalen Komparatorsystems in der Nahbereichsphotogrammetrie sind strukturelle Punktmeßverfahren vorzuziehen, da sie flexibel und genau das weite Spektrum verschiedenartig abgebildeter Punktmuster in einem Meßablauf erfassen können.

3. Anwendungen

3.1. Testfeldtriangulation

Bei dem ersten Anwendungsbeispiel handelt es sich um eine Testfeldtriangulation zur Überprüfung der Genauigkeit des photogrammetrischen Aufnahme- und Auswertesystems. Dazu wird ein räumlich ausgedehntes, signalisiertes Punktfeld in einem Mehrbildverband nach Abb. 3 aufgenommen. Diese Aufnahmeanordnung ist sehr gut geeignet zur präzisen und zuverlässigen Bestimmung der Testfeldkoordinaten und zur simultanen Kalibrierung der Aufnahmekammer im Rahmen einer Bündeltriangulation mit rein photogrammetrischer Information (WESTER-EBBINGHAUS 1986).

Als Aufnahmesystem diente eine Teilmeßkammer Rolleiflex 6006 metric mit Objektiv Zeiss Planar 80 mm. Das mit 28 weißen, kreisförmigen Markierungen auf schwarzem Untergrund signali-

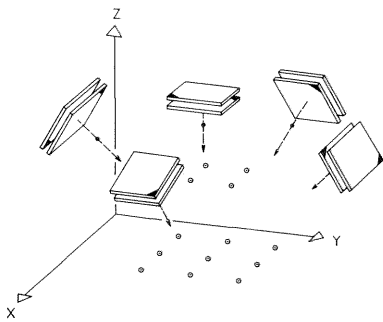


Abb. 3 Aufnahmeanordnung zur Testfeldtriangulation

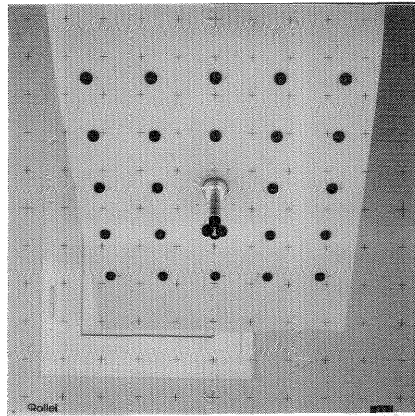


Abb. 4 Beispiel einer Meßaufnahme

sierte Testfeld wurde durch 10 Aufnahmen erfasst. Der mittlere Bildmaßstab betrug $M_b = 1 : 17$ (siehe Abb. 4).

Die digitale Punktmessung erfolgte mit einem strukturellen Ellipsenoperator für die Testfeldpunkte und einem Kreuzoperator für die Kammer-Réseaukreuze (LUHMANN 1988a). Näherungswerte für Bildkoordinaten wurden durch manuelle Digitalisierung an einem graphischen Tablett gewonnen. Nach Orientierung der Meßbilder auf dem Bildträger wurden sämtliche Punkte ohne interaktiven Eingriff automatisch angefahren und gemessen. Aufgrund der bei der Punktmessung berechneten Standardabweichung wurden alle Punkte mit $\sigma > 3 \mu\text{m}$ separat abgespeichert und konnten nach der Messung vom Operateur überprüft und gegebenenfalls nachgemessen oder eliminiert werden. Tab. 2 faßt das Ergebnis der automatischen Punktmessung zusammen.

Anzahl der Neupunkte	27
Anzahl der Bilder	10
Gemessene Objektpunkte	262
Ausreißer ($\sigma > 3 \mu\text{m}$)	0
Interaktiv eliminiert	0
Gemessene Réseaukreuze	616
Ausreißer ($\sigma > 3 \mu\text{m}$)	16
Interaktiv eliminiert	1

Tab. 2

Aufgrund optimaler äußerer Bedingungen ist eine hohe Abbildungsqualität der Punkte erreicht worden, die zu einer minimalen Zahl schlecht meßbarer Punkte geführt hat. Abb. 5 und Abb. 6 zeigen Beispiele für gemessene Réseaukreuze, Abb. 7 stellt das typische Beispiel eines gemessenen Objektpunktes dar.

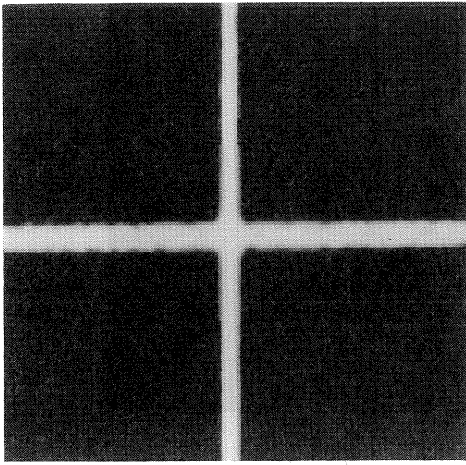


Abb. 5 Gut meßbares
Réseau Kreuz

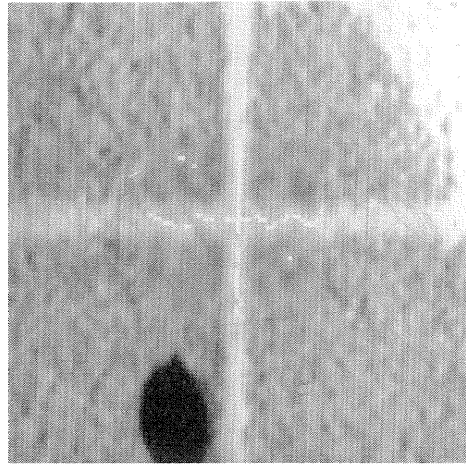


Abb. 6 Schlechter meß-
bares Réseau Kreuz

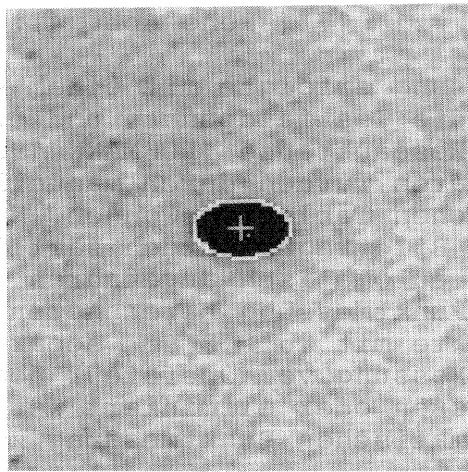


Abb. 7 Gemessener Objektpunkt

Das Ergebnis der anschließenden Bündeltriangulation läßt sich wie folgt zusammenfassen:

$$\sigma_0 = 1.5 \mu\text{m}$$

Genauigkeit der Objektpunktbestimmung:

$$\sigma_X = 0.010 \text{ mm} \quad \sigma_Y = 0.010 \text{ mm} \quad \sigma_Z = 0.017 \text{ mm}$$

Die quadratischen Mittel der Residuen der Bildkoordinaten betragen:

$$R_{X'} = R_{Y'} = 1.2 \mu\text{m}$$

Hiermit wird für das verwendete Aufnahmesystem ein Genauigkeitsniveau erreicht, das bisher nur mit hohem manuellen und instrumentellen Aufwand erreicht werden konnte (Messung am Präzisionskomparator Komess 3030 (KOTOWSKI 1984)).

3.2. Photogrammetrische Fahrzeugvermessung

Die photogrammetrische Vermessung von Crash-Fahrzeugen nimmt im Automobilbau eine wichtige Stellung ein und gilt heute als Standardverfahren (WESTER-EBBINGHAUS und WEZEL 1985, BORUTTA und PEIPE 1987).

Im vorliegenden Fall war ein vom Automobilhersteller zur Verfügung gestellter Bildverband auszuwerten. Das mit kreisförmigen Marken versehene Fahrzeug war nach Abb. 8 in einem Rundum-Bildverband mit einer Teilmeßkammer Rolleiflex 6006 metric mit Objektiv Zeiss Distagon 50 mm aufgenommen worden (siehe Abb. 9). Der mittlere Bildmaßstab betrug $M_b = 1 : 75$.

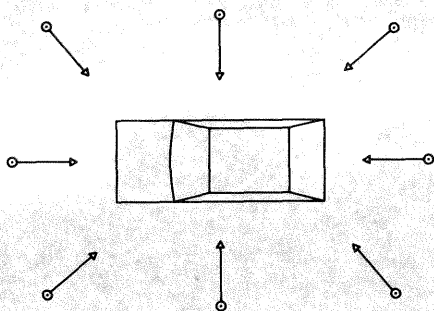


Abb. 8 Aufnahmeanordnung für Fahrzeugvermessung



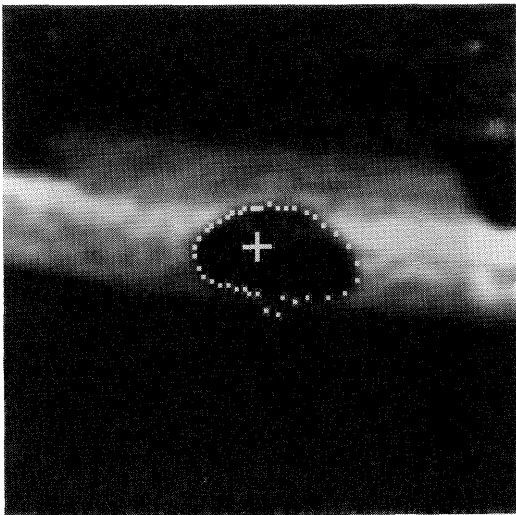
Abb. 9 Beispiel einer Meßaufnahme

Die Ermittlung von Näherungskordinaten für die Bildkoordinaten und die digitale Punktmessung erfolgten analog zur Testfeldauswertung. Aufgrund der stark wechselnden Bildkontraste und der eingeschränkten Dynamik des CCD-Sensors des Réseau-Abtasters mußten während des Meßablaufes interaktive Beleuchtungsregelungen durchgeführt werden. Tab. 3 faßt das Ergebnis der automatischen Punktmessung zusammen.

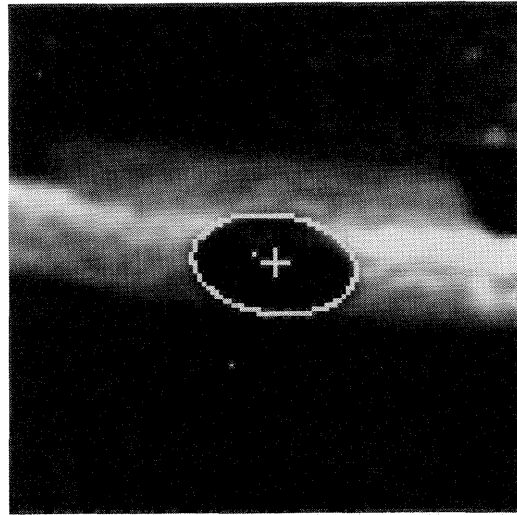
Anzahl der Neupunkte	78
Anzahl der Bilder	8
Gemessene Objektpunkte	268
Ausreißer ($\sigma > 3 \mu\text{m}$)	53
Interaktiv eliminiert	33
Gemessene Réseaukreuze	344
Ausreißer ($\sigma > 3 \mu\text{m}$)	21
Interaktiv eliminiert	14

Tab. 3

Der erreichte Automationsgrad ist aufgrund der schlechteren Punktabbildungsqualität geringer als bei der Testfeldauswertung. Abb. 10 bis 12 zeigen Beispiele für Punkte auf gekrümmter Objektoberfläche (Abb. 10), für perspektiv stark verzerrte Punkte (Abb. 11) und für gestörte Objektpunkte (Abb. 12), jeweils mit den detektierten Kantenpunkten der Punktmusterstruktur (a) sowie der approximierten Ellipsenfunktion (b). Auch diese Punkte wurden automatisch gemessen, aber wegen der geringeren inneren Genauigkeit selektiert und zur interaktiven Überprüfung bereitgestellt.



a. Kantenpunkte



b. Ellipsenform

Abb. 10 Objektpunkt auf gekrümmter Oberfläche

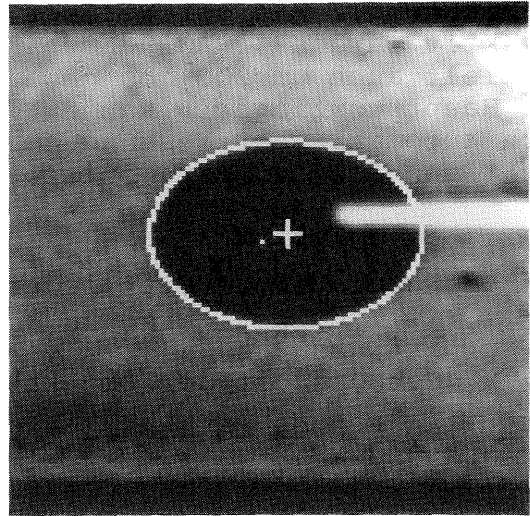
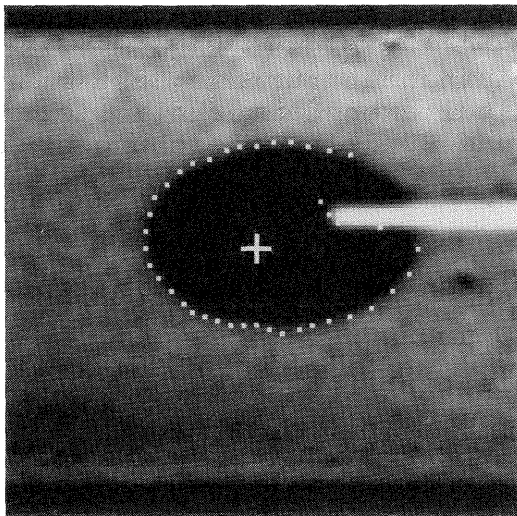


a. Kantenpunkte



b. Ellipsenform

Abb. 11 Perspektiv verzerrter Objektpunkt



a. Kantenpunkte

b. Ellipsenform

Abb. 12 Gestörter Objektpunkt

Die anschließende Bündelausgleichung lieferte folgende Ergebnisse:

$$\sigma_0 = 3.1 \mu\text{m}$$

Genauigkeit der Objektkoordinaten:

$$\sigma_X = 0.29 \text{ mm} \quad \sigma_Y = 0.23 \text{ mm} \quad \sigma_Z = 0.21 \text{ mm}$$

Die quadratischen Mittel der Residuen der Bildkoordinaten betragen:

$$R_{x'} = 1.9 \mu\text{m} \quad R_{y'} = 2.1 \mu\text{m}$$

Erwartungsgemäß ist die Meßgenauigkeit der Bildkoordinaten wegen der schlechteren Punktabbildungsqualität geringer anzusetzen als bei der Testfeldtriangulation (Kap. 3.1). Die Genauigkeit der Objektkoordinaten erfüllt jedoch die Anforderungen des Automobilherstellers.

3.3. Genauigkeitsuntersuchung im Maschinenbau

Als drittes Anwendungsbeispiel dient ein Leistungstest des Meßsystems Rolleiflex 6006 metric und Réseau-Scanner RS1 im Maschinenbau. Um die Eignung des Systems zur Vermessung großer Lehren und Werkzeuge nachzuweisen, wurde ein Genauigkeitsvergleich mit einer hochpräzisen 3D-Koordinatenmeßmaschine und einem geodätischen Industriemeßsystem vorgenommen. Aufnahme und Auswertung wurden von der GDV-Ingenieurgesellschaft Holst in Lübeck und dem Institut für Photogrammetrie und Bildverarbeitung der TU Braunschweig durchgeführt. Im folgenden wird nur der den Réseau-Scanner betreffende Teil des Tests beschrieben.

Im Arbeitsraum der 3D-Koordinatenmeßmaschine wurden 24 kugelförmige Signale plaziert. Die Größe des so gekennzeichneten Objekts betrug etwa 3 m x 4 m im Grundriß und 1 m in der Höhe

(Z-Richtung). Mit der Rolleiflex und dem 40 mm Zeiss Distagon Objektiv wurden 12 Aufnahmen hergestellt. Dieser Rundum-Verband enthielt auch um 200 gon gewälzte Aufnahmen für die Bestimmung der Hauptpunktlage im Rahmen der simultanen Kammerkalibrierung. Nach automatischer Messung am RS1 und Bündelausgleichung erhielt man folgende Ergebnisse:

$$\sigma_0 = 2.3 \mu\text{m}$$

Quadratische Mittel der Residuen der Bildkoordinaten:

$$R_{x'} = 1.8 \mu\text{m} \quad R_{y'} = 2.0 \mu\text{m}$$

Genauigkeit der Objektkoordinaten:

$$\sigma_X = 0.09 \text{ mm} \quad \sigma_Y = 0.09 \text{ mm} \quad \sigma_Z = 0.08 \text{ mm}$$

4. Zusammenfassung

Die Leistungsfähigkeit des Réseau-Scanners Rolleimetric RS1 in Verbindung mit der Aufnahmekammer Rolleiflex 6006 metric wurde an mehreren Anwendungsbeispielen aus der Nahbereichsphotogrammetrie dargestellt. Als digitaler Monokomparator ist der RS1 ein geeignetes Instrument zur präzisen automatischen Punktbestimmung. Es wurde gezeigt, wie sich die bei Messung einer kalibrierten Gitterplatte erhaltene Genauigkeit von $\pm 0.7 \mu\text{m}$ (LUHMANN 1988b) auf die Auswertung herkömmlicher photogrammetrischer Meßbilder übertragen läßt. Die Qualität der abgebildeten Ziele beeinflusst dabei die erreichbare Genauigkeit und den Automationsgrad.

Literatur

- BORUTTA, H., PEIPE, J., 1987: Photogrammetrische Erfassung von Deformationen im Automobilbau. Allg. Vermessungs-Nachrichten 94(8-9), 326-338
- FÖRSTNER, W., GÜLCH, E., 1987: A Fast Operator for Detection and Precise Location of Distinct Points, Corners and Centres of Circular Features. Proc. ISPRS Intercommission Conf. "Fast Processing of Photogrammetric Data", Interlaken, 281-305
- KOTOWSKI, R., 1984: Zur Réseaukorrektur von systematischen Bildfehlern. Bildmessung und Luftbildwesen 52 (2), 96-101
- LUHMANN, T., WESTER-EBBINGHAUS, W., 1986: Rolleimetric RS - A New Digital Image Processing System. Int. Arch. Photogrammetry & Rem. Sensing, ISPRS Symposium Comm. II, Baltimore, 110-119
- LUHMANN, T., 1986: Ein Verfahren zur rotationsinvarianten Punktbestimmung. Bildmessung und Luftbildwesen 54 (4), 147-154

- LUHMANN, T., PEIPE, J., 1987: A Réseau-Scanning System in Practice - First Experiences. Proc. ISPRS Intercommission Conf. "Fast Processing of Photogrammetric Data", Interlaken, 99-108
- LUHMANN, T., WESTER-EBBINGHAUS, W., 1988: Digital Image Processing by Means of Réseau-Scanning. Allg. Vermessungs-Nachrichten 95 (5), Int. Edition, 13-18
- LUHMANN, T., 1988a: Ein hochauflösendes automatisches Bildmeßsystem. Diss. Universität Hannover, im Druck
- LUHMANN, T., 1988b: A Digital Réseau-Scanning Comparator System. Presented paper, 16. ISPRS Congress, Commission II, Kyoto
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1984: Opto-elektrische Festkörper - Flächensensoren im photogrammetrischen Abbildungssystem. Bildmessung und Luftbildwesen 52 (6), 297-301
- WESTER-EBBINGHAUS, W., WEZEL, U.E., 1985: Photogrammetrische Vermessung von Crash-Fahrzeugen. Automobil-Industrie 30, 49-53
- WESTER-EBBINGHAUS, W., 1986: Analytische Kammerkalibrierung. Int. Arch. Photogrammetry & Rem. Sensing 26/5, ISPRS Symposium Comm. V, Ottawa, 77-84