

Vergleich digitaler Aufnahmesysteme am Beispiel der Formkontrolle industrieller Bauteile

HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA¹ & JÜRGEN PEIPE²

Zusammenfassung: Digitale Aufnahmesysteme dominieren heute die Messprozesse in der Nahbereichsphotogrammetrie. Da der Markt der Kamerahersteller keine tatsächlichen Messkameras zur Verfügung stellt, müssen geeignete Aufnahme- und Kalibrierstrategien zur Prozess-Modellierung eingesetzt werden. An einem Beispiel werden unterschiedliche Vorgehensweisen aufgezeigt.

1 Einleitung

Im Rahmen industrieller Fertigungsprozesse sind darin eingebundene Maschinen(-teile) oftmals erheblichen Materialbelastungen ausgesetzt. Druckkräfte und thermische Veränderungen einerseits, sowie die geforderte Präzision in der Produktfertigung andererseits, stellen hohe Anforderungen an ihre Formstabilität.

Eine Formkontrolle derartiger Bauteile lässt sich vorteilhaft mit photogrammetrischen Messmitteln durchführen. Einen variablen Parameter in einem standardisierten Aufnahme-konzept stellt das verfügbare Kamerasystem dar. Neben dem etablierten, aber zwischenzeitlich „in die Jahre gekommenen“ System Kodak DCS 460 wurden im Rahmen von Vergleichsmessungen zwei – zum Zeitpunkt der Messungen (Anfang 2005) – neuere Sensorsysteme eingesetzt:

- Kodak DCS Pro SLR/n
- Rolleiflex 6008 mit 16 MB Digitalrückteil (H20) von PhaseOne (PHASEONE 2005)



Abb. 1 Kodak Pro SLR/n



Abb. 2 Rolleiflex db44metric

Während das System Kodak DCS Pro SLR/n (Abb. 1) als eine Weiterentwicklung der DCS-Baureihe angesehen werden kann, stellt die Rolleiflex 6008 mit dem PhaseOne-Digitalrückteil (auch als db44metric bezeichnet, Abb. 2) einen Entwicklungsschritt zu den aktuellen Aerial Industrial Camera (AIC) Systemen „integral“ und „modular“ dar (ROLLEI 2005). Als „kabelgebundenes“ System – der Datentransfer erfolgt über eine Firewire-Verbindung zum

¹ Prof. Dr.-Ing. Heinz-Jürgen Przybilla, Fachhochschule Bochum, Fachbereich Vermessungswesen und Geoinformatik, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum, e-mail: przybilla@uni-essen.de

² Dipl.-Ing. Jürgen Peipe, Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, e-mail: j-k.peipe@unibw-muenchen.de

angeschlossenen Notebook – liegt der Einsatzschwerpunkt der Kamera bisher in stationärer Installation (Luftbildbereich). Grundsätzlich sind industrielle Anwendungen jedoch möglich.

2 Testmessungen

Eine bewährte Vorgehensweise zur Erfassung räumlicher Objekte stellt die Aufnahme eines photogrammetrischen Rundum-Bildverbandes dar. Der Bildverband, ergänzt um geeignete, räumlich verteilte Maßstabsinformation wird in der Regel im Rahmen einer frei gelagerten Bündelblockausgleichung orientiert. Die innere Orientierung der Aufnahmekamera wird i. A. als konstant für die Dauer der Aufnahme angesetzt; zwecks Selbstkalibrierung ist der Verband um gekantete Aufnahmen zu ergänzen. GODDING (1993) empfiehlt dabei „während der Aufnahme nicht die Kamera zu bewegen, sondern das Testfeld“ (Objekt). Dieser Empfehlung kann unter Praxisbedingungen i. A. nicht Folge geleistet werden, so dass gekantete Aufnahmen ausschließlich durch Wälzung der Kamera erstellt werden. Auf Grund federnd angebrachter Bildsensoren sowie mechanischem Spiel bei der Adaption des Objektivs an das Kameragehäuse gehen damit Veränderungen der Lage des Projektionszentrums im Bildraum einher (MAAS 1999). Die daraus resultierenden Modelldeformationen können durch erweiterte funktionale Ansätze zur Kameramodellierung (MAAS 1999, TECKLENBURG & LUHMANN 2001) deutlich reduziert werden. Voraussetzung ist jedoch die Integration derartiger Ansätze in das entsprechende Bündelausgleichungsprogramm.

Um die generelle Eignung der Kameras für die Messaufgabe zu prüfen, wurden verschiedene Testmessungen durchgeführt. Diese erfolgten an einem konkreten Messobjekt auf Basis eines Rundum-Bildverbandes sowie an einem räumlich gegliederten Testfeld bei frontaler Aufnahmeanordnung. Der Umfang der Testreihen ist in Tabelle 1 dokumentiert.

Tab.1 Messreihen

Kantung der Kamera	Kodak DCS Pro SLR/n	Kodak DCS 460	Rolleiflex 6008 mit 16 MB Digitalrückteil (H20)
	Bildanzahl	Bildanzahl	Bildanzahl
Testfeld (frontale Aufnahmeanordnung)			
0 Gon	11	-	9
100 Gon	1	-	9
300 Gon	1	-	9
200 Gon	1	-	9
Messobjekt (Rundum-Bildverband)			
0 Gon	16	16	16
100 Gon	3	3	3
300 Gon	3	3	3
200 Gon	2	2	2

3 Auswertung

3.1 Bestimmbarkeit der inneren Orientierung

Die Auswertung der Testmessungen erfolgte mit dem Bündelausgleichungsprogramm CAP (KOTOWSKI, 1996). Der gewählte Ansatz für die innere Orientierung umfasst neben der Kamerakonstante die Lage des Bildhauptpunktes, radial-symmetrische Verzeichnung, Affini-

täts- und Nicht-Orthogonalitätsparameter (soweit dies durch die Orientierung der Kamera bei der Aufnahme möglich ist) sowie tangentiale und radial-asymmetrische Verzeichnung.

Auf Basis des mit 0 Gon orientierten Testfelddatensatzes der Kodak DCS Pro SLR/n (11 Bilder) wurden verschiedene Kombinationen mit gekanteten Aufnahmen in die Bündelausgleichung eingeführt, um deren Auswirkungen auf die innere Orientierung zu ermitteln. Die Abbildungen 3a, b zeigen die zum Teil starken Änderungen in Hauptpunktlage und Kamerakonstante. Die Bestimmungsgenauigkeit der Parameter c , x_H , y_H in der Bündelausgleichung betrug zwischen $1,5\mu\text{m}$ und $5\mu\text{m}$ in allen Berechnungsläufen.

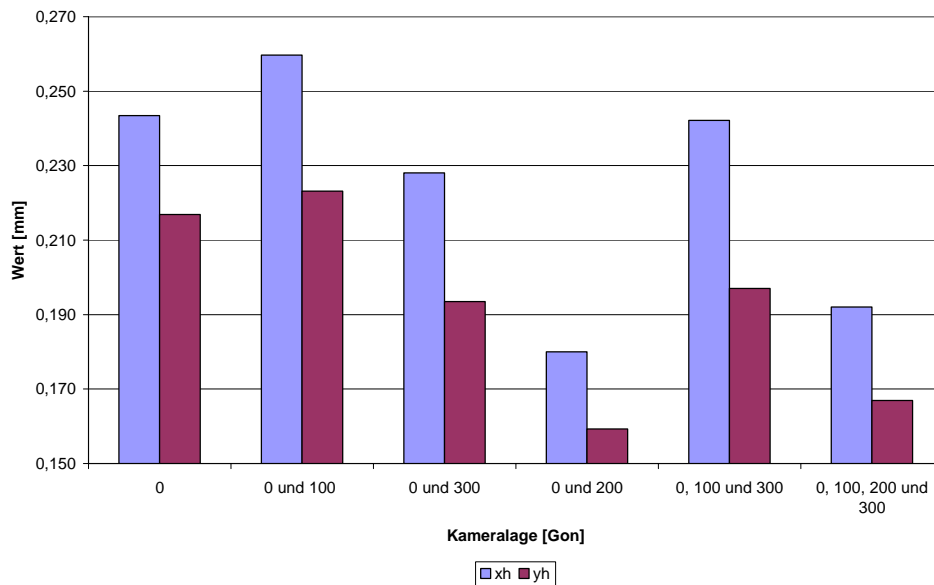


Abb. 3a Kodak DSC Pro SLR/n: Auswirkungen von Bilddatensätzen unterschiedlicher Orientierung auf die Hauptpunktlage

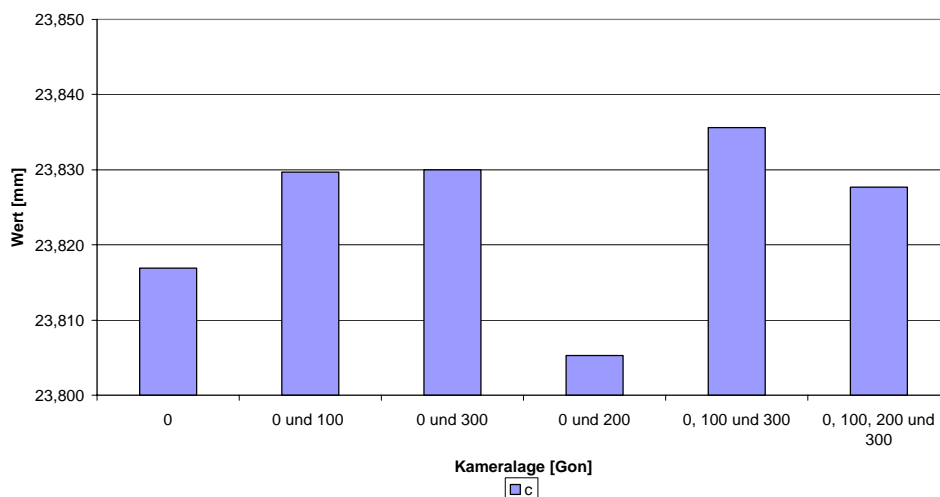


Abb. 3b Kodak DSC Pro SLR/n: Auswirkungen von Bilddatensätzen unterschiedlicher Orientierung auf die Kamerakonstante

Die Abbildungen 4a, b dokumentieren entsprechende Ergebnisse für die Rolleiflex 6008 mit 16 MB Digitalrückteil. Das Vorgehen unterscheidet sich jedoch insofern, als

- für die vier Kameralagen jeweils die gleiche Anzahl von 9 Bildern in die Bündelausgleichung eingehen,
- nach den zwei ersten Aufnahmereihen mit 0 Gon Orientierung jeweils das Objektiv von der Kamera ab- und angebaut wurde,
- nach Abschluss der Messreihen mit 100, 300 und 200 Gon eine erneute Aufnahmeserie in der 0 Gon-Lage erstellt wurde (kein vorheriger Objektivwechsel).

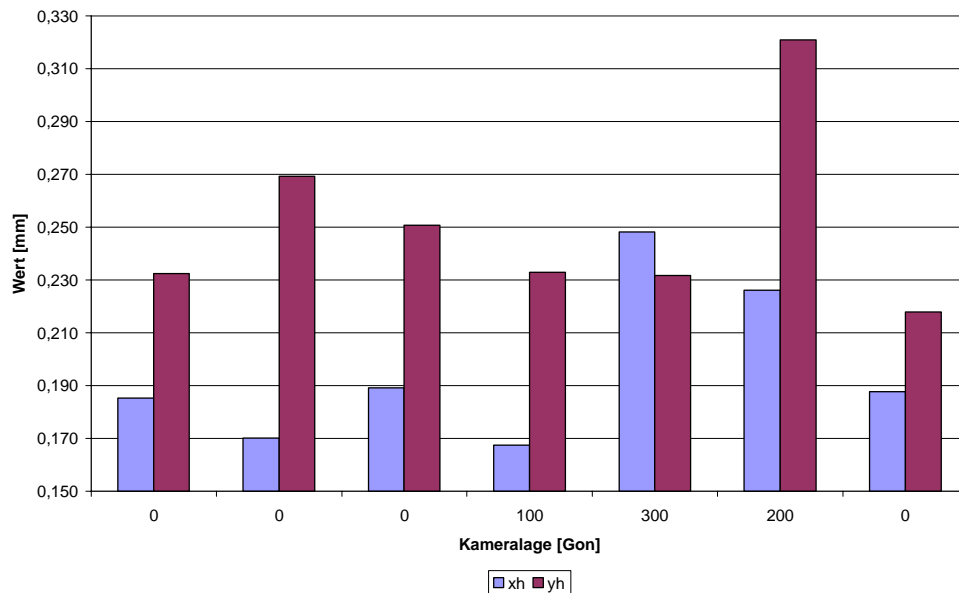


Abb. 4a Rolleiflex 6008: Auswirkungen von Bilddatensätzen unterschiedlicher Orientierung auf die Hauptpunktlage

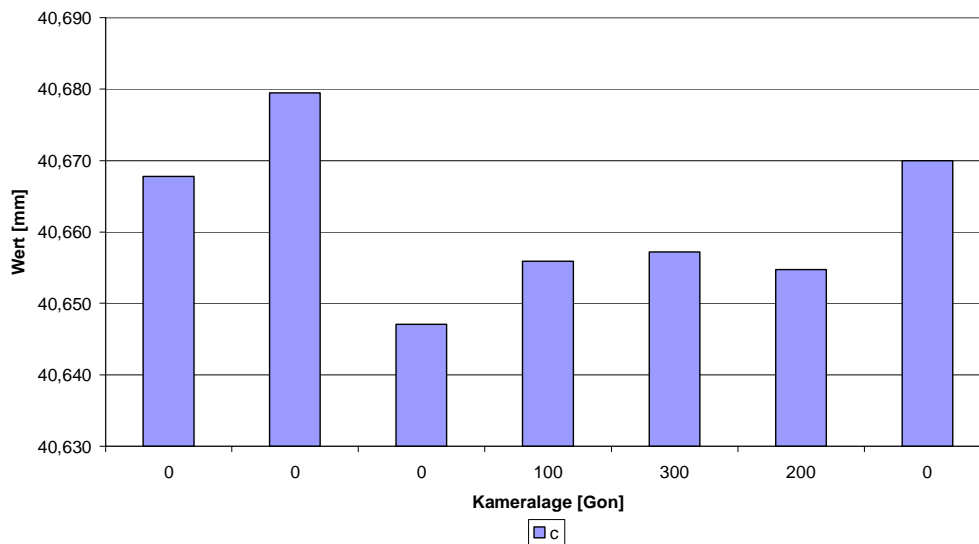


Abb. 4b Rolleiflex 6008: Auswirkungen von Bilddatensätzen unterschiedlicher Orientierung auf die Kamerakonstante

Die Abweichungen der berechneten Werte untereinander sind dabei im Vergleich zu ihrer Bestimmungsgenauigkeit überraschend groß. Die Notwendigkeit einer Einbeziehung bildvarianter innerer Orientierungsparameter in den Berechnungsprozess zeigt sich bei beiden Kamerasystemen deutlich. Bemerkenswert ist darüber hinaus, dass solche Effekte (mechanische Instabilitäten) auch bei höherpreisigen Systemen auftreten. Auch nach einer Werkstattprü-

fung der Sensorbefestigung im PhaseOne Digitalrückteil bestätigte sich dies bei weiteren Testmessungen.

3.2 Bemerkungen zur Genauigkeit

Für eine Formkontrolle des in Abb. 5a schematisch dargestellten Bauteils stellt sich die Frage nach den Modelldeformationen auf Grund instabiler innerer Orientierung und daraus ableitbaren sinnvollen Aufnahmestrategien am konkreten Messobjekt.

Für das mittels eines Rundum-Bildverbandes erfasste Objekt (Abb. 5b sowie Tab. 1) lagen Sollmaße für die Abstände der beiden äußeren Flächen vor, so dass ein unmittelbarer Vergleich mit den Ergebnissen der photogrammetrischen Messung erfolgen konnte. Abb. 6a zeigt Längenabweichungen am Messobjekt nach der Bündelblockausgleichung bei bildinvarianter, Abb. 6b bei bildvarianter innerer Orientierung.

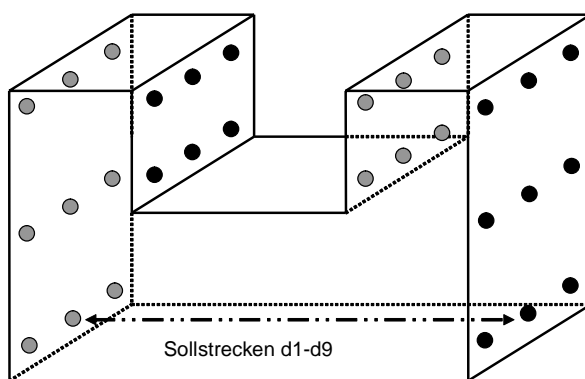


Abb. 5a Signalisiertes Objekt mit bekannten Abstandsmaßen

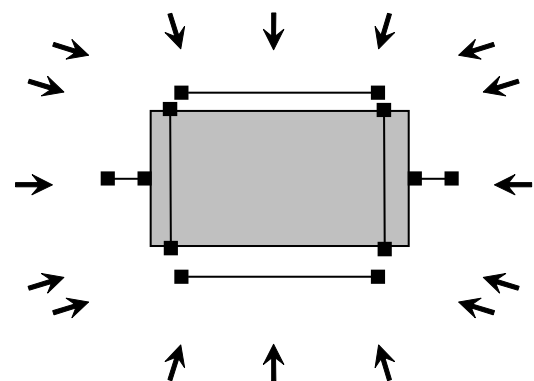


Abb. 5b Objekt (Grundriss), Massstäbe und Aufnahmezustände

Ausgehend von einer Messtoleranz von $\pm 0,1$ mm sind in Abb. 6a systematische Modelldeformationen bei der Verwendung aller Bilddaten (inklusive gekanteter Aufnahmen) in Verbindung mit einer bildinvarianten inneren Orientierung klar erkennbar. Wird der Bildverband dagegen ausschließlich mit Bildern in Normallage (0 Gon) trianguliert, reduzieren sich diese Deformationen bis in den Bereich der Messtoleranz! Vergleichbare Ergebnisse (Abb. 6b) lassen sich erreichen, wenn mit bildinvarianter innerer Orientierung kalibriert wird.

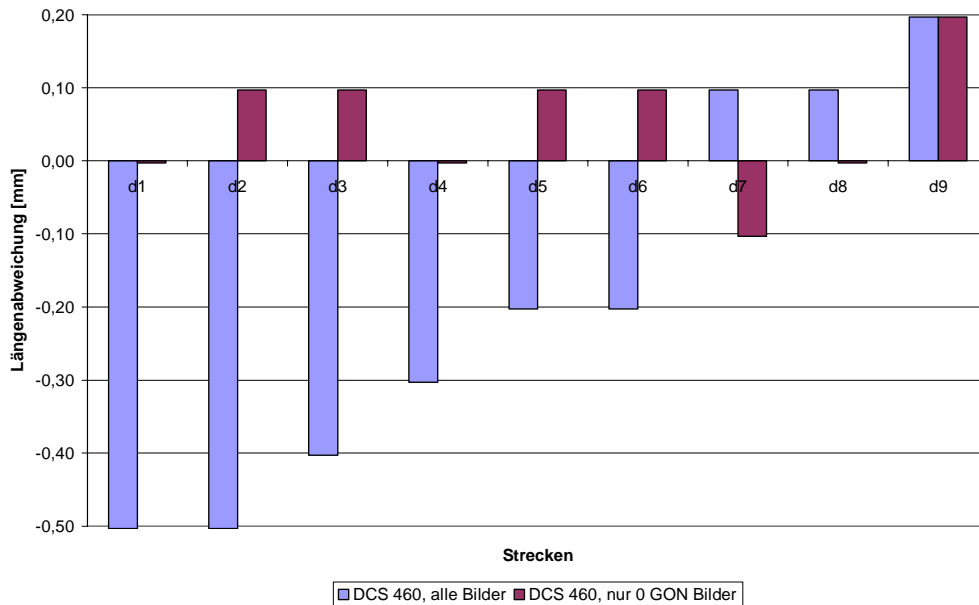


Abb. 6a Längenabweichungen am Messobjekt (bildinvariante innere Orientierung)

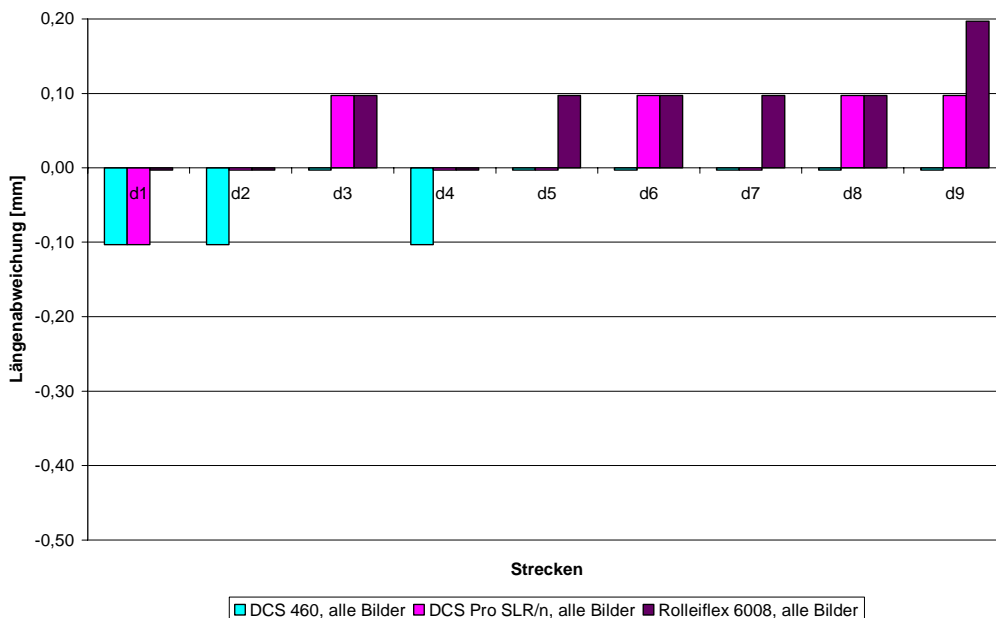


Abb. 6b Längenabweichungen am Messobjekt (bildvariante innere Orientierung)

4 Resümee

Der Kalibrierung photogrammetrischer Kameras ist in den letzten Jahren besondere Aufmerksamkeit gewidmet worden. Die Einbeziehung digitaler Aufnahmesysteme in den Messprozess, verbunden mit Instabilitäten und Inhomogenitäten der stetig größer werdenden Flächensensoren, war hierbei wesentlicher Auslöser. Die Untersuchung zeigt, dass bildvariante Ansätze auch bei teuren digitalen Kameras unverzichtbar sein können. Bemerkenswert ist andererseits, dass ein stabiler Rundum-Bildverband, auch ohne gewälzte Aufnahmen, in vielen Anwendungen zu zufrieden stellenden Ergebnissen führt – eine möglicherweise „etwas in Vergessenheit geratene“ Aufnahme- und Kalibrierstrategie (WESTER-EBBINGHAUS 1989, Abb.

23-24), der heute bei der vielfältigen Nutzung digitaler Consumer-Kameras im photogrammetrischen Messprozess Bedeutung zukommen kann.

5 Literatur

- GODDING, R., 1993: Ein photogrammetrisches Verfahren zur Überprüfung und Kalibrierung digitaler Bildaufnahmesysteme. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, Heft 61(3), S. 82-90
- KODAK, 2005: Website „Professional Digital Cameras“, www.kodak.com/global/en/professional/products/cameras/camerasIndex.jhtml?id=0.1.18.22.3&lc=en
- KOTOWSKI, R., 1996: Photogrammetrische Bündeltriangulation zur 3D-Objektrekonstruktion und simultanen Sensorkalibrierung in der Nahbereichsphotogrammetrie. VDV-Schriftenreihe, Band 12, S. 22-31
- MAAS, H.G., 1999: Ein Ansatz zur Selbstkalibrierung von Kameras mit instabiler innerer Orientierung. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 7, S. 47-53
- PHASEONE, 2005: Datenblatt zum Digitalrückteil H20, www.phaseone.com/upload/h20_datasheet_us.pdf
- ROLLEI, 2005: Website „Produkte, Sondertechnik“, www.rollei.de/index_d.html
- TECKLENBURG, W. & LUHMANN, T., 2001: Kameramodellierung mit bildvarianten Parametern und Finiten Elementen. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 9, S. 140-149
- WESTER-EBBINGHAUS, W. 1989: Trends In Non-Topographic Photogrammetry Systems. In: Non-Topographic Photogrammetry, Second Edition, Chapter 23 (Ed. H. M. Karara). ASPRS Falls Church, Virginia, USA, S. 377-387