

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 83 (1985)

**Heft:** 9: Sonderheft zum Rücktritt und 70. Geburtstag von Prof. Dr. Dr. h. c. H. H. Schmid

**Artikel:** Betrachtungen zum Einfluss der automatischen Rechentechnik auf Photogrammetrie und Fernerkundung

**Autor:** Szangolies, K.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-232621>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 22.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Aus (16) kann man zur weiteren Vereinfachung den Vektor  $\Delta \mathbf{x}$  eliminieren und erhält dadurch die zur Lösung von  $\mathbf{k}_c$  dienende Gleichung

$$(\mathbf{C} \mathbf{P}_1^{-1} \mathbf{C}^T + \sigma_c) \mathbf{k}_c = \mathbf{w}_c \quad (17)$$

$\sigma_c$  ergibt, wie oben dargelegt, eine Diagonalmatrix mit Elementen, die identisch sind mit denjenigen der Matrix  $\mathbf{C} \mathbf{P}_1^{-1} \mathbf{C}^T$  aus (17). Die Berücksichtigung von gewichteten Bedingungsgleichungen reduziert sich somit im Fall von Rechtwinkeln auf die Aufgabe, die Diagonalelemente der auf den Korrelationsvektor  $\mathbf{k}_c$  reduzierten Normalgleichungsmatrix zu verdoppeln. Durch dieses Vorgehen werden die rechten Winkel nicht streng erzwungen, vielmehr wird eine Abweichung toleriert, die im Einklang mit der geometrischen Konfiguration des Rechtwinkels steht.

Wie bereits erwähnt, ist diese Abweichung bei kurzschenkigen Winkeln grösser als bei solchen, die durch lange Seiten gebildet werden. Man kann sich diesen Sachverhalt anschaulich gut vorstellen, wenn man etwa davon ausgehen würde, dass die Winkel direkt gemessen wären. Diesen Pseudobeobachtungen würde man dieselben Gewichte zuordnen wie den Bedingungsgleichungen.

Abschliessend sei festgehalten, dass die hier am Beispiel des Rechtwinkels gemachten Überlegungen auch auf andere Fälle anwendbar sind. Man denke z.B. an Bedingungen, die ausdrücken, dass gewisse Punkte auf einer Geraden, einer Kurve, einer Ebene oder gekrümmten Fläche liegen. Die Berücksichtigung von Gewichten, also die Bestimmung von  $\sigma_c$ , ist auch dann

wichtig, wenn verschiedenartige Bedingungen auftreten, z.B. rechte Winkel, Geraden- und Ebenenbedingungen sowie Genauigkeitsangaben über Stützpunkte.

#### Literatur:

- [1] Schenk, T., Schmid, H.H.: Ausgleichung von Rechtwinkeln. *Bul. Bildmessung und Luftbildwesen* 7/85
- [2] Schmid, H.H.: Ein allgemeiner Ausgleichungs-Algorithmus zur Auswertung von hybriden Messanordnungen. *Bul.* 3-4/65.
- [3] Schmid, H.H.: Ein allgemeiner Ausgleichungsalgorithmus für die numerische Auswertung in der Photogrammetrie. *IGP Mitteilung* Nr. 22/1977.

Adresse des Verfassers:  
Dr. Anton Schenk  
Grundstrasse 18, CH-9445 Rebstein

## Betrachtungen zum Einfluss der automatischen Rechentechnik auf Photogrammetrie und Fernerkundung

K. Szangolies

### 1. Vorbemerkungen

Als ich im Jahre 1957 den Auftrag erhielt zu untersuchen, welche Konsequenzen sich aus der gerade erst in einigen wenigen Publikationen beschriebenen «Analytischen Aerotriangulation» für den photogrammetrischen Gerätebau ergeben können, war die allgemeine Kenntnis von dieser Entwicklungsrichtung noch sehr begrenzt (vgl. Kompendium Photogrammetrie, Jena 1960, Bd. III, S. 767–788).

Einer der Pioniere der «Analytischen Photogrammetrie» war Hellmut H. Schmid. Seine grundlegende Veröffentlichung 1956/57 in «Photogrammetria» bildete neben den Arbeiten von D. W. G. Arthur (1955), U. Bartorelli (1956), H. G. Jerie (1956), K. Rinner (1956), G. H. Schut (1955/56), H. A. L. Shewell (1953) u. a. das Fundament für die neue Technik.

Ausgelöst wurde die intensive Arbeit auf dem Gebiet «Analytische Photogrammetrie» durch die in den Jahren 1955 bis 1960 entwickelten elektrischen bzw. elektronischen Rechenautomaten. Unsere ersten praktischen Arbeiten in Jena wurden mit dem Relais-Rechenautomaten Oprema und ab 1960 mit dem Zeiss-Rechenautomaten ZRA1 mit 4K-Speicherkapazität ausgeführt. Ein Blick auf die damals erreichten Rechengeschwindigkeiten einiger bekannter Rechenautomaten zeigt u. a. eindrucksvoll, welche Fortschritte auf diesem Gebiet in den zurückliegenden 25 Jahren erreicht wurden:

	Operationen/Sekunde (10stellig)
(Mensch)	(0,02)
Oprema	2
Zuse Z22	20
Ural	100
ZRA1	200
IBM 704	12 000

Tab. 1 Rechengeschwindigkeiten (vgl. Kompendium Photogrammetrie, Jena 1963, Bd. IV, S. 151)

Die Photogrammetrie wurde in ihrer Entwicklung durch die Rechentechnik entscheidend beeinflusst. Anfang der sechziger Jahre entstanden eine ganze Reihe von modernen Stereokomparatoren mit automatischer Registrierung der Messwerte auf Lochstreifen oder Lochkarte, darunter auch in Jena das Stecometer mit Coördimeter. Die von H. Schmid vor fast 30 Jahren mitbegründete Analytische Aerotriangulation ist in der Zwischenzeit gerätetechnisch und programmtechnisch bis zur Perfektion entwickelt worden und heute Standard-Arbeitsmethode der Aerophotogrammetrie.

### 2. Der Einfluss der elektronischen Rechentechnik auf die Entwicklung der Photogrammetrie

Mit der Entwicklung der elektronischen Rechentechnik wurde die Photogrammetrie entscheidend beeinflusst, und zwar sowohl hinsichtlich der Geräte-

technik und Verfahren als auch der Anwendungsbereiche und der Leistungsfähigkeit. Die Digitalisierung der Photogrammetrie hat generell zur Erhöhung des Automatisierungsgrades, zur Genauigkeitssteigerung und zur Beschleunigung der Arbeitsabläufe geführt.

Der gegenwärtige Entwicklungsstand ist davon geprägt, dass für einige Arbeitsgänge nach wie vor nur analoge konventionelle Technik verfügbar ist, für andere Arbeitsgänge nur digitale Technik und für eine dritte Gruppe von Arbeitsgängen sowohl analoge als auch digitale Technik zur Verfügung steht. Die Kopplung von konventioneller analoger Gerätetechnik mit digitaler Rechentechnik in komplexen Aufnahme- und Auswertetechnologien hat in einigen Fällen zu guten Erfolgen, in anderen zu Problemen und Misserfolgen geführt.

#### 2.1. Zur Anwendung der digitalen Bildverarbeitung in der Photogrammetrie

##### – Luftbilddaufnahme

Ein Standard-Luftbild mit dem Format 230 mm x 230 mm hat ein mittleres Auflösungsvermögen  $AWAR = 70 \text{ L/mm}$ . Die Multispektralkameras MKF 6 bzw. MSK 4 besitzen ein auf den mittleren Bildbereich bezogenes Auflösungsvermögen von 150 L/mm. Entsprechend den neuesten praktischen und theoretischen Erkenntnissen kann die Auflösung von Aufnahmesystemen von der

	Auflösungsvermögen			
	AWAR		in Bildmitte	
	L/mm	Pixel	L/mm	Pixel
LMK 15/2323 MKF 6/MSK4 CCD-Streifenkamera	70 ( $\pm 25$ )	( $\pm 6 \mu\text{m}$ ) 16	100 150	( $\pm 4 \mu\text{m}$ ) ( $\pm 2,7$ )

Tab. 2 Auflösungsvermögen von photogrammetrischen Aufnahmesystemen

Masseinheit L/mm auf Pixelabstand umgerechnet werden durch Multiplikation mit dem Faktor 2,5.

Mit der Umrechnung der in Tabelle 2 genannten Werte auf den Informationsgehalt des Standardbildformates 230 mm x 230 mm werden folgende Vergleichszahlen erhalten:

- Luftbild, s/w, 10  $\mu\text{m}$  Auflösung, 8 bit (256 Graustufen)  $4 \cdot 10^9$  bit
- CCD-Aufnahme (Aufnahme zeilenförmig), 20  $\mu\text{m}$  Auflösung, 7 bit (128 Graustufen)  $0,8 \cdot 10^9$  bit

Das heisst, dass bei optimistischer Einschätzung der Entwicklung der CCD-Aufnahmetechnik das Auflösungsvermögen bis auf den Faktor 2–6 an das der photographischen Kameras herankommen kann. Auf längere Sicht ist also damit zu rechnen, dass die photographische Luftbildaufnahmetechnik Vorteile gegenüber der digitalen Bildaufnahme mit Scannern oder CCD-Technik behalten wird. Das gilt für das Auflösungsvermögen, aber auch für die geometrische Genauigkeit. Das Luftbild hat eine hohe geometrische Genauigkeit von etwa  $m_x, y = \pm 5 \mu\text{m}$ . Die CCD-Streifenaufnahme ist nur mit komplizierter Stabilisierungsaufhängung und mathematischen Korrekturen auf Genauigkeiten von 20–50  $\mu\text{m}$  zu bringen.

Aus den Ergebnissen von zahlreichen Experimenten der letzten Jahre lässt sich die Schlussfolgerung ableiten, dass die CCD- und Scannertechnik für die *Interpretation*, vor allem bei Einsatz von Raumfahrzeugen, in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird. Die photographische Bildaufnahme behält aber noch auf längere Sicht entscheidende Vorteile für die *Kartenherstellung und Kartenergänzung*.

### Digitalisierung von Messbildern

Die Digitalisierung von Luftbildern und anderen Messbildern ist überall dort von Interesse und Bedeutung, wo die anschliessende Auswertung mit Computern erfolgen oder das Ergebnis in digitaler Form dargestellt werden soll. Für die Bilddigitalisierung wurde in Jena das Filmein- und Ausgabegerät FEAG entwickelt. Jenaer Rundschau 1983/4, S. 176–178 (Abb. 1 und 2).

Mit dem FEAG können Schwarzweissfilme mit hoher Geschwindigkeit nach dem Trommelprinzip digital abgetastet

und aufgezeichnet werden. Beim Abtasten erfolgt eine Wandlung der analogen Informationen in Form von Schwärzungsverteilungen auf photographischen Vorlagen in digitale Informationen für die Bildverarbeitung auf elektronischen Rechnern. Charakteristisch ist die minimale Fleckgrösse von 10  $\mu\text{m}$  Durchmesser mit 256 Graustufen (8 bit) beim Digitalisieren und die gleiche kleinste Fleckgrösse mit 6 bit Auflösung beim Aufzeichnen. Die Datenrate beträgt 200 kByte/s. Ein typisches Anwendungsgebiet für Bilddigitalisierung und rechentechnische Auswertung ist die *automatische Bildinterpretation*. Für

diese Aufgabe haben die Akademie der Wissenschaften der DDR, das Kombinat Robotron und das Kombinat VEB Carl Zeiss Jena in gemeinsamer Arbeit das Bildverarbeitungssystem BVS A6471-73 geschaffen (Abb. 3). Viele Aufgaben der forstlichen, landwirtschaftlichen, geologischen, geophysikalischen, hydrologischen Interpretation, des Umweltschutzes u. a. lassen sich mit dieser Technik automatisch lösen.

Eine vielversprechende Anwendung der Zukunft besteht in der automatischen *Herstellung* von differentiell entzerrten Messbildern, den bekannten *Orthophotos*. Dabei wird im Computer das Messbild Pixel für Pixel

- im Grau- bzw. Farbton korrigiert
- im Massstab verändert (bis zehnmal vergrössert oder auch verkleinert)
- hinsichtlich Bildneigung korrigiert
- hinsichtlich der zentralperspektiven Versetzungen, die durch Geländehöhenunterschiede hervorgerufen werden, korrigiert.

Das Ergebnis dieser rechentechnischen Bildverarbeitung wird wieder in die

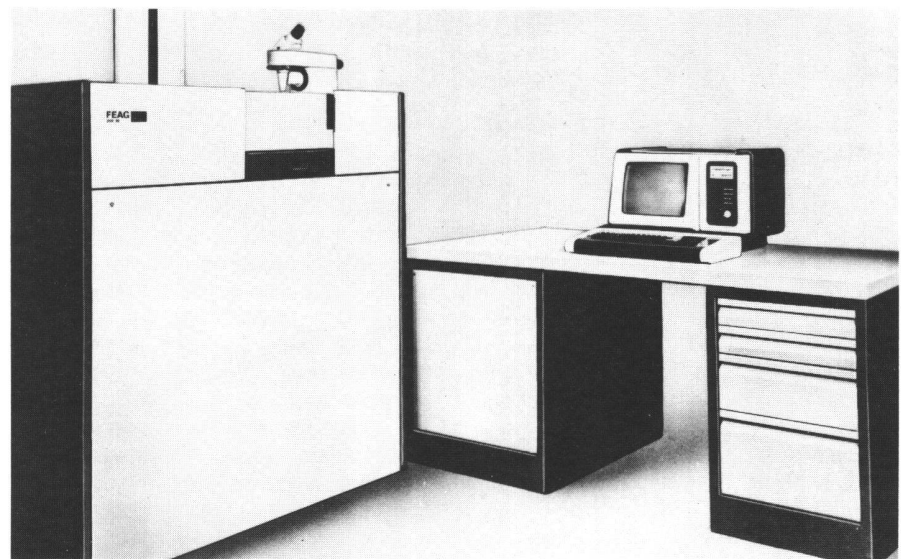


Abb. 1 Filmein-/Ausgabe-Gerät FEAG  
links: Grundgerät mit mechanisch-optischer Lasereinheit, Elektroniksteuerung mit Mikrorechnersystem  
rechts: Bedienterminal und Koppleinheit mit Controllern

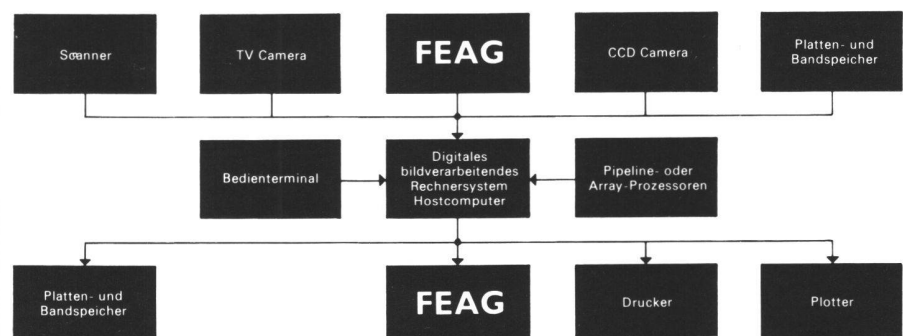


Abb. 2 Periphere Einheiten zum digitalen bildverarbeitenden Rechnersystem



Abb. 3 Bildverarbeitungssystem BVS A6471

photographische Form umgewandelt, mit FEAG o. ä. Geräten. Als Orthophoto besitzt es einen hohen Gebrauchswert. In dieser Technik liegen aber noch weitere Potenzen, die in Zukunft Bedeutung erlangen können. Es ist zu erwarten, dass aus einem digitalisierten Luftbild durch geeignete rechentechnische Filterung und Ergänzung *Linien-darstellungen* ableitbar sein werden. Das gilt sowohl für die *Grundrissdarstellung* als auch für *Höhenlinien*. Für die automatische Herstellung eines Höhenlinienplanes durch digitale Bildverarbeitung ist die Digitalisierung beider Bilder eines Stereobildpaares erforderlich. Im Computer wird durch digitale Korrelation korrespondierender Punkte das digitale Relief berechnet. Daraus lassen sich Höhenlinien ableiten, die z. B. auf einem digital gesteuerten Koordinatographen gezeichnet werden können.

Die hier genannten drei Verfahren sind heute Gegenstand praktischer Arbeit in zahlreichen photogrammetrischen und kartographischen Forschungseinrichtungen.

#### Digitalisierung von Karten

Gleiche oder ähnliche Bedeutung wie die Digitalisierung von photographischen Messbildern hat die Digitalisierung vorhandener Karten. Die Laufendhaltung und Ergänzung von Karten, die Ableitung eines Kartenmassstabes aus einem anderen, die Anfertigung von Kartenausügen für spezielle Anwendungen (Gewässernetz, Forsten, Wegenetz usw.) lassen sich durch elektronische Rechen- und Zeichentechnik weitgehend automatisieren. Dabei besteht ein sehr enger Zusammenhang mit der

photogrammetrischen Aufnahme- und Auswertetechnik. Die Kartenlaufendhaltung z. B. erfolgt durch Luftbildaufnahme aus Flugzeugen und in Zukunft verstärkt aus dem Kosmos und durch Übertragung der Veränderungen in die Karte mittels konventioneller photogrammetrischer Technik und in Zukunft mehr und mehr durch digitale Bildverarbeitung. Für die Digitalisierung von Karten wurden bisher vorwiegend Freihanddigitizer eingesetzt. Zur Beschleunigung und Automatisierung dieses Vorgangs wird zunehmend auf automatische Trommel- oder Flachbettscanner übergegangen. Für die rechentechnische Verarbeitung der grossen Datenmengen sind schnelle Rechenanlagen mit grosser Speicherkapazität erforderlich. Die Ergebnisdarstellung erfolgt bei diesen Verfahren durch automatisch gesteuerte Koordinatographen oder Drucker.

#### 2.2. Weitere bisherige Anwendungen der elektronischen Rechentechnik in der Photogrammetrie Analytical Plotter

Eine Vielzahl von Auswertegeräten mit schneller Rechentechnik ist entwickelt worden und steht dem Anwender zur Verfügung. Dabei werden alle Verfahren der relativen und absoluten Orientierung und der Auswertung von Luftbildern im Echtzeitbetrieb mit speziellen Mikroprozessoren bzw. mit integrierten Standardrechnern gelöst. Die Analytical Plotter zeichnen sich vor allem durch hohe Universalität und Genauigkeit aus.

#### Rechnergestützte Auswertesysteme

Die Ergänzung von Auswertegeräten und Zeichentischen mit Kleinrechnern

und Bildschirmtechnik hat eine erhebliche Steigerung der Arbeitsproduktivität bewirkt.

Besonders hervorgehoben werden sollen dabei die relative und absolute Orientierung, die automatische Beschriftung der Kartierung, die geradlinige Verbindung von Punkten, die Schraffur, die Rechtwinkligkeitsbedingung u. v. a.

#### Mikroprozessorsteuerung in den Geräten

Automatisierung, Universalität und Erweiterung der Anwendungsbereiche wurden erreicht durch die Integration von Mikroprozessorsteuerungen in die photogrammetrischen Aufnahme- und Auswertegeräte.

Bezogen auf das Jenaer-Gerätesystem sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

Luftbildmesskammer LMK mit Bildwanderungsausgleich und differentieller Belichtungsmessung und automatischer Belichtungsregelung, Entzerrungsgerät Rectimat C, Digitalzeichentisch DZT, Differentialentzerrungsgerät Orthophot E, Koordinatenregistriergerät Coordimeter H, Kartenergänzungsgerät Kartoflex und Filmein-/Ausgabegerät FEAG.

#### 3. Zusammenhang

Die automatische, elektronische Rechentechnik hat die Entwicklung der Photogrammetrie in den vergangenen 30 Jahren entscheidend beeinflusst. Besonders hervorzuhebende Fortschritte wurden erreicht mit der «Analytischen Aerotriangulation» und mit der «Integration von elektronischen Rechnern in die Aufnahme- und Auswertegeräte». Ein drittes Gebiet, das noch am Anfang der Entwicklung steht und das in diesem Beitrag etwas näher beleuchtet wurde, ist die «Digitale Bildverarbeitung».

Korrekt ausgedrückt ist festzustellen, dass mit der zurzeit rasch voranschreitenden Entwicklung der «Informatik» mit den Bestandteilen

- Informationsgewinnung
- Informationstransport
- Informationsspeicherung
- Informationsverarbeitung und
- Ergebnisdarstellung

auch in Zukunft noch vielfältige Auswirkungen auf Photogrammetrie und Fernerkundung zu erwarten sind.

Die Photogrammeter sind sicher gut beraten, wenn sie die Entwicklung der Informatik intensiv verfolgen und ihre Ergebnisse maximal nutzen.

Adresse des Verfassers:  
Prof. Dr.-Ing. Klaus Szangolies  
Jenoptik Jena GmbH  
Carl-Zeiss-Strasse 1, DDR-69 Jena