

Horst H. Schöler

**Über die Aktivitäten auf dem Gebiet der Photogrammetrie
und des Baues von Bildmessgeräten im Jenaer Zeisswerk
in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts**

München 2006

**Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission beim Verlag C. H. Beck**

Horst H. Schöler

Über die Aktivitäten auf dem Gebiet der Photogrammetrie
und des Baues von Bildmessgeräten im Jenaer Zeisswerk
in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts

München 2006

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission beim Verlag C. H. Beck

Adresse der Deutschen Geodätischen Kommission:

Deutsche Geodätische Kommission

Alfons-Goppel-Straße 11 • D – 80 539 München

Telefon (089) 23 031 -1113 • Telefax (089) 23 031 -1283/ -1100

E-mail hornik@dgfi.badw.de • <http://dgk.badw.de>

Horst H Schöler: (Jahrgang 1920), Diplom-Vermessungsingenieur. Studium der Geodäsie, Photogrammetrie und Photographie an der Technischen Universität Berlin-Charlottenburg und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. 1950-1985 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Abteilungsleiter und Forschungs-/Entwicklungsleiter für Bildmessgeräte im Jenaer Zeisswerk. 1963-1966 Lehrbeauftragter für geodätische und photographische Messtechnik an der Technischen Hochschule Ilmenau. 1973-1979 Visiting-Professor für Photogrammetrie an der City-University London. Zahlreiche Publikationen und Patente im In- und Ausland. Autor des dreibändigen >>Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung<< (Leipzig 1989/90). Begründer und Herausgeber der ersten 14 Bände des >>Kompendium Photogrammetrie<< (Jena und Leipzig 1958-1980). Emeritus Member der American Society for Photogrammetry and Remote Sensing und Ehrenmitglied der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung. Mitglied des Deutschen Vereins für Vermessungswesen.

Der Autor dankt Herrn Andreas Knake für die Aufbereitung des umfangreichen Bildmaterials

© 2006 Deutsche Geodätische Kommission, München

Alle Rechte vorbehalten. Ohne Genehmigung der Herausgeber ist es auch nicht gestattet, die Veröffentlichung oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen

Inhaltsverzeichnis:

1.0	Die Folgen des Zweiten Weltkriegs	5
2.0	Der Neubeginn	6
3.0	Das Rekonstruktionsprogramm	6
3.1	Das terrestrische Aufnahmegerät 'Phototheodolit Photheo 19/1318'	6
3.2	Das Zweikoordinatenmessgerät 'Stereokomparator Steko 1818'	7
3.3	Das terrestrische Stereokartiergerät 'Stereograph 1318'	7
3.4	Das terrestrisch-photogrammetrische Gerätesystem	8
3.5	Die Aerophotogrammetrie	8
3.6	Die Stereoskope und ihre Zusatzeinrichtungen	8
3.7	Der 'Luftbildumzeichner LUZ'	9
3.8	Die selbstfokussierenden 'Entzerrungsgeräte SEG'	10
3.9	Das Luftbildstereokartiergerät 'Aeroprojektor Multiplex'	11
3.10	Das Kleinentzerrungsgerät KEG	12
3.11	Das Universalauswertegerät 'Stereoplanigraph'	12
4.0	Die neuen Stereokartiergeräte und ihre Ergänzungseinheiten	14
4.1	Das Luftbildauswertegerät 'Stereometrograph'	15
4.2	Die Entstehung der Überweitwinkel-Stereokartiergeräte	16
4.3	Das Luftbildauswertegerät 'Stereotrigomat'	17
4.4	Die Kombination Luftbildstereokartiergerät 'Topocart' mit Differentialentzerrungsgerät 'Orthophot'	19
4.5	Das automatische Luftbildstereokartiergerät 'Topomat'	21
4.6	Das terrestrische Stereokartiergerät 'Technocart'	21
4.7	Das Luftbildstereokartiergerät 'Topoflex'	22
4.8	Das Luftbildkartiergerät 'Stereoplot'	23
4.9	Zusatzeinrichtungen für Analog-Stereokartiergeräte	24
4.10	Der 'Neigungsrechner'	24
4.11	Der 'Modellkorrektor'	25
4.12	Das Analytische Stereokartiergerät 'Dicomat'	26
4.13	Registrier- und Rechnerperipherien für Stereokartiergeräte	27
4.14	Das Datenerfassungsgerät 'Coordimeter'	27
5.0	Die Koordinatographen und Zeichentische	29
5.1	Der Präzisionskoordinatograph 'Präkordi'	29
5.2	Der Präzisions-Großkoordinatograph 'Cartimat'	30
5.3	Der Digitalzeichentisch 'DZT'	31
6.0	Geräte der Analytischen Photogrammetrie	33
6.1	Das Zweikoordinatenmessgerät 'Luftbildstereokomparator Stecometer'	33
6.2	Das Zweikoordinatenmessgerät 'Stereokomparator Dicometer'	34
6.3	Die Messung von Bildkoordinaten in Stereokartiergeräten	35
6.4	Das Punktübertragungsgerät 'Transmark'	35

7.0 Die Luftbildaufnahmetechnik	37
7.1 Entwicklung und Bau eines Gerätesystems für die Justierung, Abstimmung und Kalibrierung von photogrammetrischen Messobjektiven und Messkammern	37
7.2 Der Wendelkollimator	37
7.3 Die Ulbrichtsche Kugel	38
7.4 Der Fächerkollimator	39
7.5 Das Ebenheitsprüfgerät	39
7.6 Die Luftbildaufnahmesysteme ‘Messreihenbildner MRB 1818 und MRB 2323‘	40
7.7 Der Zweitkammeradapter	43
7.8 Der ‘Luftbildbelichtungsmesser Aerolux‘	44
7.9 Das ‘Bildflugnavigationsteleskop Aeroskop‘	45
7.10 Das ‘Registrierstatoskop Regiscop‘	46
7.11 Der ‘Laser-Flughöhenmesser Altimat‘	47
7.12 Bildflugzeuge und Abschlussfenster	48
7.13 Das Luftbildaufnahmesystem ‘Luftbildmesskammer LMK 2323‘	48
7.14 Das ‘Bildflug-Navigations- und Steuergerät NCU 2000‘	51
8.0 Die Geräte für die photographische Bildverarbeitung	52
8.1 Das ‘Fliegerfilmentwicklungsgerät EG 120‘ und der ‘Trockenschrank TS 120‘	52
8.2 Das ‘Elektronische Kopiergerät Elcop‘	53
8.3 Das ‘Präzisionsentzerrungsgerät Rectimat‘	54
9.0 Die Photointerpretation und die Fernerkundung	56
9.1 Das stereoskopische Bildinterpretationsgerät ‘Interpretoskop‘	56
9.2 Das Multispektralbildinterpretations- und Kartenergänzungsgerät ‘Kartoflex‘	57
9.3 Die aerokosmische ‘Multispektralaufnahmekammer MKF-6‘	58
9.4 Die ‘Luftbild-Multispektralaufnahmekammer MSK-4‘	61
9.5 Der ‘Präzisionskopierautomat PKA‘ und der ‘Präzisions-Projektionsautomat PPA‘	61
9.6 Der ‘Multispektralprojektor MSP-4‘	62
9.7 Der Bildscanner ‘Film-Eingabe- und Ausgabegerät FEAG‘	63
10.0 Nichttopographische Anwendungen, Industriephotogrammetrie und Nahbereichsphotogrammetrie	65
10.1 Die terrestrische ‘Universalmesskammer UMK‘	65
10.2 Die terrestrischen ‘Stereomesskammern 1318‘	67
10.3 Die terrestrischen ‘Stereomesskammern 0808‘	67
11.0 Die Endphase des photogrammetrischen Gerätebaus in Jena	69
11.1 Das Bildinterpretationsgerät ‘Visopret‘	69
11.2 Das Industriemesssystem InduSCAN	70
12.0 Die Entwicklung von photogrammetrischen Hochleistungsmessobjektiven	71
13.0 Personen- und Sachregister	72
14.0 Anmerkungen und Literaturhinweise	76

>>Dinge, die im ewigen Fluss sind, können nur richtig erkannt und in ihrem Gang beeinflusst werden, wenn man sich klar macht, woher sie kommen und wohin sie daher zu gehen haben und gehen können<<

(Albert Pfitzer¹)

1.0 Die Folgen des Zweiten Weltkriegs

Im Jenaer Zeisswerk hat man sich über 100 Jahre hinweg, von 1895 bis 1995, mit der Photogrammetrie und dem Bau von Bildmess-Geräten und -Ausrüstungen beschäftigt². Für die ersten 50 Jahre von 1895 bis 1945 sind diese Aktivitäten von Rudolf Schumann dokumentiert worden³.

Bedingt durch die Kriegsereignisse kamen im Jahr 1944 die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Jenaer Zeisswerk für die Erzeugnisgruppe Bildmess zum Erliegen. In den letzten Kriegsmonaten des Jahres 1945 gab es schwere Luftangriffe auf das Jenaer Stadtgebiet und im April auch Artilleriebeschuss. Dabei wurden auch die Anlagen und Einrichtungen des Zeisswerks in Mitleidenschaft gezogen (Bild 1)



Bild 1: Zerstörungen im Zeiss-Hauptwerk im Gebiet Leutra-graben-Krautgasse

Am 13./14. April 1945 kamen amerikanische Kampftruppen der 4. Panzer- und der 80. Infanterie-Division nach Jena⁴. Im Besonderen interessierten sich die Spezialisten des U.S. Corps of Engineers für die Fertigungslager der Erzeugnisgruppe Bildmess des Zeisswerks und des Unternehmens Zeiss-Aerotopograph GmbH. Diesen entnahmen sie verwendungsfähige Bildmess-Ausrüstungen im Wert von 1.436.913,60 Reichsmark.

Als sich die Gerüchte und Befehle der amerikanischen Werkkommission dahingehend verdichteten, dass Thüringen entsprechend den Jalta-Beschlüssen der Alliierten an sowjetische Besatzungstruppen übergeben werden würde, gab es wechselvolle Pläne sowohl der deutschen Geschäftsleitung des Zeisswerks als auch der Amerikaner zur Verlegung von Teilen des Unternehmens in die westdeutschen Besatzungszonen. Dabei spielte vor allem auch die Fertigung eines größeren Postens von photogrammetrischen Messobjektiven für die US-Luftwaffe eine Rolle. Als sich die Amerikaner im Juni 1945 in ihre westdeutsche Besatzungszone zurückzogen, verlangten sie die Herausgabe aller technischen Unterlagen und nahmen auch eine Reihe führender Wissenschaftler, Konstrukteure, Techniker und Kaufleute mit ('We take the brain'). Diese bauten später im baden-württembergischen Oberkochen ein westdeutsches Zeiss-Unternehmen auf.

Am 1. Juli 1945 übernahmen sowjetische Streitkräfte ihr thüringisches Besatzungsgebiet. Das Jenaer Zeisswerk erhielt einen russischen Kommandanten und eine russische Werkkommission, die über die Tätigkeit des Jenaer Betriebes entschied. Zunächst wurden weitere Geräte aus den Bildmesslagern im Wert von 812.294,00 Reichsmark entnommen. Dann aber hatte es den Anschein, als ob die Forschungs- und Entwicklungstätigkeit der Erzeugnisgruppe Bildmess wieder dort aufgenommen werden konnte, wo sie 1944 zum Halt gekommen war. Dazu gab die russische Werkkommission den neu gebildeten Kollektiven eine lange Liste anspruchsvoller Ziele vor⁵. Aber dann, am 22. Oktober 1946, kam der Befehl der Sowjetischen Militäradministration für Deutschland (SMAD) zur Demontage des Jenaer Zeisswerks. Die Erzeugnisgruppe Bildmess verlor dabei alle technischen Einrichtungen und ihre noch in Jena verbliebenen Spezialisten wurden bis auf einen Auslandsinstrukteur der Firma Zeiss-Aerotopograph für eine fünfjährige Arbeit in der Sowjetunion verpflichtet⁶.

Der Bericht der Abteilung Bildmess für das Jahr 1946 schloss mit der Bemerkung: 'Das Schicksal der Firma Zeiss und somit der Bildmess-Abteilung ist durch diese Katastrophe vorläufig besiegelt'⁷.

2.0 Der Neubeginn

Unter anderem hatte der Alliierte Kontrollrat der Siegermächte des Zweiten Weltkriegs allen Deutschen in seinen vier Besatzungszonen eine Tätigkeit auf dem Gebiet der Luftfahrt verboten. Die SMAD schloss in dieses Verbot auch die Anwendung der Photogrammetrie und den Bau von Bildmessgeräten ein. Erst im Herbst des Jahres 1949 wurde es möglich im Jenaer Zeisswerk mit einer kleinen Arbeitsgruppe rezeptiv in der Photogrammetrie tätig zu werden. Hugo Schrade⁸ beauftragte Franz Manek⁹ mit der Bildung eines Bildmesslabors.¹⁰

In dieser Phase entstanden vor allem Studienarbeiten zum damaligen internationalen Entwicklungsstand der Photogrammetrie und im Besonderen des Baus von Bildmessgeräten, der nach dem Ausscheiden des Jenaer Zeisswerks und von Zeiss-Aerotopograph auf dem Weltmarkt, vor

allem in Frankreich, Großbritannien, Italien und in der Schweiz stark vorangekommen war.

Mit dem fortschreitenden Ausbau des Labors wurde es auch möglich, kleinere Versuchsarbeiten auszuführen. So entstanden Prüftafeln für den Augenarzt zur Testung des stereoskopischen Sehvermögens von Patienten. Auch kam es in dieser Phase zu experimentellen Aufbauten für die Gestaltung von Taschenstereoskopen und eines Spiegelstereometers sowie der Zusammenstellung des Telezentrischen Systems, einer Vorrichtung für die Aufnahme parallelprojektiver photographischer Bilder¹¹. Erwähnenswert aus dieser Zeit ist auch die Entwicklung und der Aufbau des 'Telluriums', einer Vorrichtung zur Unterstützung des astronomischen Unterrichts an den Polytechnischen Oberschulen.

3.0 Das Rekonstruktionsprogramm

Am Anfang der 50er Jahre des vergangenen Jahrhunderts forderten die ostdeutsche Bauwirtschaft und die Braunkohlentagebaue des Lausitzer und Bitterfelder Reviers zur Erfüllung ihrer Planaufgaben die Nutzung der photogrammetrischen Methoden bei ihren wiederkehrenden Vermessungen. So kam es letztlich zur Freigabe der terrestrischen Photogrammetrie und das Jenaer Zeisswerk erhielt die Genehmigung zur Entwicklung und zum Bau eines entsprechenden terrestrischen Instrumentariums. Viel Zeit stand für diese Aufgabe nicht zur Verfügung und so entschied man sich zunächst für eine weitgehende Rekonstruktion bewährter Vorkriegsgeräte.

Vorbilder für diesen terrestrisch-photogrammetrischen Gerätekomplex¹² waren der Phototheodolit TA N, der Stereokomparator Typ E und der Orel-Pulfrichsche Stereograph.

3.1 Das terrestrische Aufnahmegerät 'Phototheodolit Photheo 19/1318'

Den Phototheodolit 19/1318¹³ zeigt Bild 2. Die photogrammetrische Messkammer mit dem darüber angebrachten Orientierungsaufsatz zur Festlegung der Aufnahme- richtung in Bezug zur stereoskopischen Aufnahmebasis hatte einen genormten Steckzapfen, der den zwangszentrierten Austausch zwischen dem photogrammetrischen Aufnahmegerät, dem geodätischen Theodolit, der horizontalen Basislatte zur optischen Entfernungsmessung und einer Zieltafel über der Aufnahmebasis gestattete. Die photogrammetrische Messkammer besaß ein sechsgliedriges; T-vergütetes 'Orthoprotar-Objektiv' (Tessar-Typ) mit vorgesetztem Gelbfilter. Bei den zur Verwendung kommenden extrem feinkörnigen, wenig empfindlichen Topo-Photoemulsionen,

die auf Spiegelglasplatten aufgetragen waren, betrug die Belichtungszeit mehrere Sekunden, so dass ein Verschluss für die Messkammer entbehrlich war.



Bild 2: Phototheodolitausrüstung 19/1318, bestehend aus: Phototheodolit 19/1318, Repetitionstheodolit und Basislatte 2 m

Die Belichtung geschah manuell durch Abnehmen und Wiederaufsetzen des Objektivdeckels. Das Gerät war zur Vereinfachung der folgenden Auswertung der Messbilder für die Aufnahme mit horizontaler Aufnahme- richtung konzipiert. Zur Anpassung an die Geländetopographie konnte das Kammerobjektiv in der Vertikalen verschoben werden (Horizontverschiebung).

Tafel 1: Phototheo 19/1318, technische Daten

Messkammer	
Objektiv:	Orthoprotar 1:25
Brennweite (mm):	190
Nutzbare Bildformat (mm):	120 × 166
Plattenformat (mm):	129 × 179
Max. Plattenstärke (mm):	3,5
Bildwinkel (gon):	52 × 36
Objektivverschiebung (vertikal) (mm):	+30 bis -45
Filter (nm):	500
Orientierungsaufsatz	
Fernrohrvergrößerung:	21 fach
Objektivdurchmesser (mm):	20
Kürzeste Zielweite (m):	3

3.2 Das Zweikoordinatenmessgerät 'Stereokomparator Steko 1818'

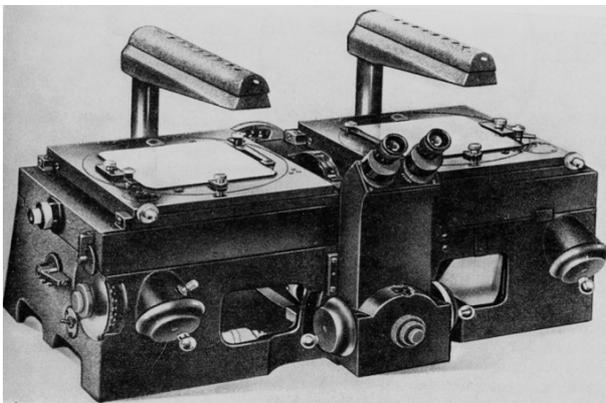


Bild 3: Stereokomparator Steko 1818

Für die Auswertung entstand zuerst der Stereokomparator Steko 1818 (Bild 3)¹⁴ in Anlehnung an den früheren Stereokomparator vom Typ F. Der Stereokomparator diente im Allgemeinen zum stereoskopischen Messen von Bildkoordinaten und Bildparallaxen in sich überlappenden Bildpaaren, die von den Endpunkten einer Basis aufgenommen worden waren. Aus diesen gemessenen Werten lassen sich die Raumkoordinaten von Geländepunkten berechnen¹⁵. Der Steko 1818 war nach dem klassischen Pulfrichschen Prinzip aufgebaut. Auf dem massiven Untergestell befand sich ein Primärwagen für die gemeinsame x' -Verschiebung der beiden kantbaren Messbildträger. Auf dem Primärwagen lief ein Sekundärwagen, auf dem das rechte Messbild gegenüber dem linken um p_x (Horizontalparallaxe) zusätzlich verschoben werden konnte. Das Stereomikroskop zur Betrachtung der Messbilder bestand

aus einem feststehenden Doppelokular und dem beweglichen Objektivwagen. Die Messung der z' -Bildkoordinate und der Vertikalparallaxe p_z wurde in gleicher Weise wie für x' und p_x durch Verschiebungen der Objektive der Betrachtungsoptik vorgenommen, die auf Primär- und Sekundärwagen unter den Messbildern angeordnet waren und sich in z' -Richtung bewegten.

Von seinen Vorgängern¹⁶ unterschied sich der Steko 1818 vorteilhaft durch seinen feststehenden Einblick, das auf 186 × 186 mm² vergrößerte Messfeld, die Unterflurbetrachtung der staubgeschützten Messbilder, die Ablesungen an Messtrommeln und seine vorteilhafte ergonomische Gestaltung.

Tafel 2: Steko 1818, technische Daten

Max. Bildformate (mm):	186 × 186
Betrachtungsvergrößerung:	8 fach
Sehfelddurchmesser (mm):	16
Messmarkendurchmesser (mm):	0,05
Messbereiche (mm):	x' : 235 / z' : 180
Parallaxen (mm):	p_x : 75 / p_z : ± 10
Kantung der Bildträger (gon):	400

3.3 Das terrestrische Stereokartiergerät 'Stereoautograph 1318'

Da zu diesem Zeitpunkt die massenweise numerische Berechnung von Raumkoordinaten einerseits wegen noch fehlender effektiver Rechenhilfsmittel noch unbequem und zeitraubend war und andererseits ein komplexes Auswertegerät mit Analogrechner nur für die Auswertung in der terrestrischen Photogrammetrie geeignet sein durfte, blieb als schnelle Lösung nur eine weiterentwickelte Variante des v. Orel-Pulfrichschen Stereoautographen übrig, dessen Fertigung im Jahre 1927 zu Gunsten des Stereoplanigraphen eingestellt worden war.

Bild 4 zeigt den Stereoautograph 1318^{17,18}. Er bestand aus der Auswertemaschine und dem über ein auswechselbares Vergrößerungsgetriebe angeschlossenen Koordinatographen mit einer freien Zeichenfläche von 80 cm × 80 cm oder auch 90 cm × 120 cm. Bestimmt war das Gerät für die Auswertung stereoskopischer Messbildpaare bis zum Format 13 cm × 18 cm, aufgenommen mit Phototheodoliten der Brennweiten von 157 bis 198 mm in horizontalen und parallelen Aufnahmerichtungen. Gegenüber seinem Vorgänger war das Gerät voll automatisiert und der Operateur konnte von seinem Sitzplatz aus alle Bedienelemente bequem erreichen.

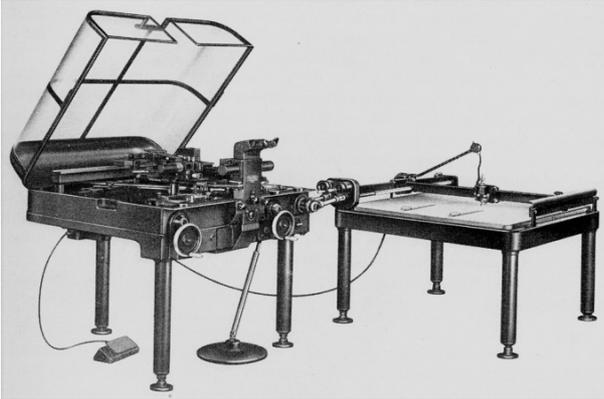


Bild 4: Stereoautograph 1318

Die Auswertemaschine bestand aus einem verketteten Linealsystem, das, mit zwei Handrädern und einer Fußscheibe nach Raumkoordinaten X, Y und Z angesteuert, die zugehörigen Verschiebungen für beide Messbilder und Objektivwagen des Stereomikroskops besorgte¹⁹. Das Linealsystem, aufgeteilt in zwei Rissebenen, repräsentierte die Aufnahmestrahlen. Deshalb sprach man auch von einer mechanischen Reproduktion des Aufnahmevorgangs.

Tafel 3: Stereoautograph 1318, technische Daten

Funktionsprinzip:	Mechanische Projektion ²⁰
Bildformat (mm):	130 × 180
Kammerkonstante (Brennweite) (mm):	157 bis 198
Horizontverschiebung (mm):	+20 bis -45
Konvergenz (gon):	+5 bis -2
Basiskomponenten (mm):	b _x : 0 bis 50 b _y : +30 bis -30 b _z : +10 bis -10
Maschinenkoordinaten (mm):	X: -200 bis +200 Y: +50 bis +400 Z: - 235 bis +235
Betrachtungsvergrößerung:	8 fach
Zeichenfläche des Koordinatographen (mm):	800 × 800 900 × 1200
Übertragung von der Maschine zum Koordinatographen:	0,1 bis 5,0 fach

3.4 Das terrestrisch-photogrammetrische Gerätesystem

Das terrestrisch-photogrammetrische Gerätesystem ist bis zur Wiederzulassung der Aerophotogrammetrie routinemäßig beim monatlichen topographischen Aufmaß in den großen Braunkohletagebauen in der Lausitz und um Bitterfeld verbreitet zum Einsatz gekommen. Es stand auch später noch als Reserve zur Verfügung, wenn aus meteorologischen Gründen ein Bildflug nicht termingemäß möglich

war. Auch sind mit Hilfe der terrestrischen Photogrammetrie Deformationsmessungen an den großen Bergbaugeräten, wie Kränen, Baggern und den 60-Meter-Abraumbrücken vorgenommen worden. Eine weitere Anwendung fanden damals die neuen Jenaer Geräte bei Architekturvermessungen sowie in der Denkmalpflege und bei der Wiederherstellung von durch die Kriegereignisse zerstörter historischer Gebäude und Bauensembles. Vielfach waren die Ausrüstungen auch der erste instrumentelle Grundstock bei der Wieder- oder Neueinrichtung photogrammetrischer Forschungs- und Lehranstalten im In- und Ausland nach dem Zweiten Weltkrieg.

3.5 Die Aerophotogrammetrie

Hans Harting²¹ schrieb am 29. Januar 1951 in einem Exposé: 'Die Herstellung von Luftbildmess-Geräten ist zurzeit noch verboten. Es scheinen aber keine Bedenken seitens der Besatzungsmacht mehr zu bestehen. Deshalb ist dringend geboten, der Forschung auf diesem Spezialgebiet möglichst bald freie Bahn zu schaffen, so dass bereits in den ersten Jahren des Fünfjahrplanes damit begonnen werden kann'²².

Im Jahr 1953 erfolgte so die Ausweitung des Rekonstruktionsprogramms auf die Geräte der Aerophotogrammetrie. Begonnen wurde mit einer Gruppe von Kleingeräten.



Bild 5: Topopret

3.6 Die Stereoskope und ihre Zusatzeinrichtungen

Das Taschenstereoskop wurde erweitert zum Interpretationsbesteck Topopret (Bild 5) für die Geländebegehung zur Ergänzung von Karten und Tatbestandsaufnahmen.

Das Spiegelstereoskop erhielt zur Vergrößerung des Sehfelds trapezförmige mit reflexminderndem T-Belag versehene Oberflächenspiegel. Nahezu unverändert blieb das Zusatzgerät 'Zeichenstereometer', mit dem unter stereoskopischer Betrachtung Parallaxen zwischen homologen Bildpunkten eines Stereogrammes gemessen und Geländeformlinien aufgezeichnet werden konnten.



Bild 6: Spiegelstereoskop

Über die Nutzung in der Luftbildmessung hinaus waren die Spiegelstereoskope auch nützliche Werkzeuge in den Bereichen der Architektur, der Denkmalpflege, der Forensik, der Röntgenologie und der Mikroskopie.

Neben der Rekonstruktion des Stereopantometers entstand auf dessen Basis als Erweiterung das Photopret²³.

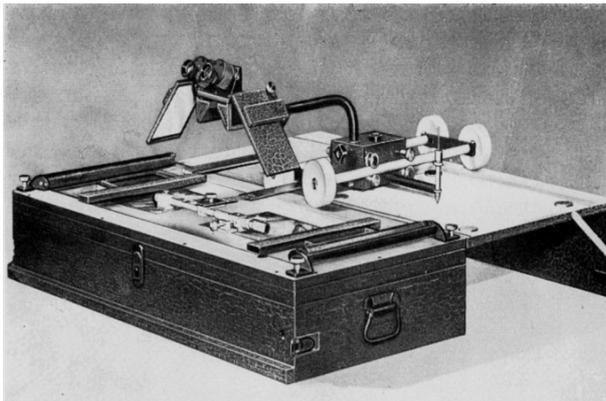


Bild 7: Stereopantometer

Dieses Gerät war für Vorbereitungsarbeiten einer Messbildauswertung bestimmt. So sollte es die großen Entzerrungs- und Stereokartiergeräte von diesen Arbeiten entlasten. Insbesondere ging es auch um die Überprüfung des Bildflugs hinsichtlich der Einhaltung der vorgegebenen Flugtrasse, der erforderlichen Bildüberdeckung für die Stereoauswertung sowie der Bildqualität hinsichtlich des erreichten Auflösungsvermögens, unzulässiger Bildwanderungen und Bearbeitungsfehler im photochemischen Prozess. Hierzu wurde das Grundgerät mit austauschbaren Werkzeugen versehen, darunter ein Stereomikroskop mit bis zu 25 facher Vergrößerung, ein Spiegelstereoskop und ein Kartenhalter. Eingerichtet war das Photopret für die Inspektion unzerschnittener Fliegerfilme bis zu 120 Meter Länge.



Bild 8: Photopret

Tafel 4: Stereoskopische Betrachtungsgeräte, technische Daten

	Topopret	Spieste	Pantometer	Photopret
Betrachtungsbasis (mm):	65	280	280	280
Vergrößerung:	2,8	1	1	1
– mit Fernrohr:	–	3,5	3,5	3,5
Max. Bildformat (mm):	50 × 50	300 × 300	300 × 300	300 × 300
Sehfeld-Durchmesser (mm)	70	200	200	200
– mit Vergrößerung:	–	60	60	60
ergänzende Geräte	A	B + C	D	D + E

- A: Parallaxenmessscheibe
- B: Leuchtkasten für Durchlichtbetrachtung
- C: Zeichenstereometer mit Parallaxenmessung bis zu ± 35 mm
- D: Stereomikroskop SM XX für die Untersuchung von Einzelbildern
- E: Filmspulensatz mit regelbarem motorischen Antrieb für die Durchmusterung unzerschnittener Fliegerfilme

3.7 Der 'Luftbildumzeichner LUZ'

Zu den einfacheren Auswertegeräten gehörte auch der Luftbildumzeichner LUZ mit dem für ebenes Gelände der Inhalt von Luftbildern oder bei bergigem Gelände von Luftbildausschnitten zum Zwecke der Berichtigung oder auch Ergänzung zeichnerisch in vorhandene Karten übertragen werden konnte. Gegenüber dem Vorkriegsmodell wurde ein seitenverkehrter Aufbau gewählt, damit die rechte Hand des Operateurs für die Ausführung der Zeichenarbeiten frei wurde²⁴.

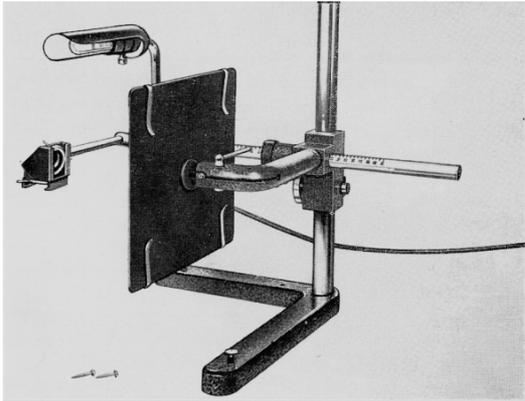


Bild 9: Luftbildumzeichner LUZ

Das Gerät arbeitete auf dem Prinzip der 'camera lucida'²⁵. Es bot dem Operateur bei monokularer Betrachtung über ein halbversilbertes Prisma eine Überlagerung von Karte (bzw. Einpassvorlage) und Messbild. Durch Verschiebung der Karte (Vorlage), Veränderung der Betrachtungsabstände zur Karte und zum Bild sowie Fokussierung mittels auswechselbarer Lupenlinsen (zur Änderung der Vergrößerung) und Drehung des auf einer Kugel gelagerten Bildträgers gelang es, homologe Punkte aus Bild und Karte zur Deckung zu bringen. Dann folgte die zeichnerische Übertragung von Veränderungen oder Ergänzungen auf die Karte.

Tafel 5: LUZ, technische Daten

Max. Bildformat (mm):	240 × 240
Vergrößerung:	0,4 bis 2,7
Sehfeld (mm):	340

3.8 Die selbstfokussierenden 'Entzerrungsgeräte SEG'

Für die photographische Umbildung, vor allem auch für die Herstellung von Luftbildplänen entstanden Rekonstruktionen der bewährten selbstfokussierenden Entzerrungsgeräte SEG I und SEG IV²⁶.

Entzerrungsgeräte sind optische Umbildegeräte. Sie dienen dazu, insbesondere Luftbilder ebenen (oder als solches angesehenen) Geländes in eine vorgegebene Karte (oder andere Vorlage) einzupassen. Dabei kann es sich sowohl um Bilder horizontalen als auch zur Bezugsebene geneigten ebenen Geländes handeln. Im allgemeinen Fall geht es in einem ersten Schritt um die zentralprojektive Umbildung auf eine zur geneigten Geländeebene parallele Fläche und daran anschließend um eine parallelprojektive Umbildung auf die horizontale Kartenebene. Es läßt sich zeigen, dass beide Schritte in einer Affinumbildung zusammengefasst werden können²⁷. Ähnliche Verhältnisse, wie in der Luftbildmessung, liegen auch in anderen Arbeitsbereichen, insbesondere in der Architekturphotogrammetrie, vor.



Bild 10: Entzerrungsgerät SEG I



Bild 11: Entzerrungsgerät SEG IV

Tafel 6: SEG, technische Daten

	SEG I	SEG IV
Automatische Fokussierung:	Mechanische Inversoren ²⁸	
Objektiv:	Dagor 1:6,8	Dagor 1:6,8
Brennweite (mm):	180	180
Bildformat (mm):	bis 240 × 240	bis 300 × 300
Projektionstisch (mm):	1000 × 1000	600 × 600
Neigung des Projektionstisches (gon):	-10 bis +50	± 20 um x- und y-Achse
Neigung des Bildträgers (gon):	-10 bis +50	0
Bildkantung (gon):	400	400
Vergrößerung:	0,7 bis 5,0	0,7 bis 3,3
Bildverschiebung (mm):	x: ± 45 y: -80 bis +60	x: ± 50 y: ± 90
Bauhöhe (m):	3,0	2,40

Die Ausführung dieser Umbildung ist daran gebunden, dass das Entzerrungsgerät über fünf voneinander unabhängige Einstellelemente verfügt. Im Falle des nach der optischen Achse des Projektionsobjektivs aufgebauten SEG I waren dies die Vergrößerung, die Tischneigung, die Kantung des eingelegten Messbild-Negativs, die Verschiebung des Messbildes senkrecht zur Kippachse seines Bildträgers und die Verschiebung des Messbildes in Richtung der Kippachse seines Bildträgers. Das nach der Senkrechten zur Messbildebene aufgebaute Entzerrungsgerät SEG IV, mit konstant horizontaler Lage des Messbildes, besaß folgende Freiheitsgrade: Neigung des kardanisch aufgehängten Projektionstisches um X- und Y-Achse, Vergrößerung, sowie Verschiebung des Messbildes in X- und Y-Richtung. Die Selbstfokussierung über das gesamte Bildfeld besorgten in beiden Geräten mechanische Inversoren. Diese erfüllten

sowohl die allgemeine Linsengleichung in der optischen Achse des Projektionsobjektivs als auch die 'Scheimpflug-Bedingung'²⁹. Letztere verlangt den Schnitt von Bildebene, Hauptebene des Projektionsobjektivs und Projektionsebene in einer gemeinsamen Spur (Abbes 'Schiefe Projektion').

Da das Entzerrungsgerät SEG I wegen seiner höheren Vergrößerung und Berücksichtigung größerer Bildneigungen auch außerhalb der Luftbildmessung insbesondere auch in der Architekturphotogrammetrie zur Anwendung kam, erreichte es höhere Fertigungszahlen; es ist bis 1968 gebaut worden. Dagegen sind vom Entzerrungsgerät SEG IV nur wenige Stück produziert worden. Das SEG IV bildete aber später den Ausgangspunkt für die Entwicklung des transportablen sogenannten Feldentzerrungsgerätes.

3.9 Das Luftbildstereokartiergerät 'Aeroprojektor Multiplex'

Dort, wo die Entzerrungsverfahren wegen der Topographie des Geländes nicht zum Einsatz kommen können, verwendete man seit 1916, beginnend mit Gassers Doppelprojektor³⁰, die Stereokartiergeräte. Zwischen den dreißiger und achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts waren die Doppelprojektoren nach dem Prinzip von Scheimpflug^{31,32}-Gasser^{33,34} die am meisten in der Welt verbreiteten Luftbildstereokartiergeräte. In erheblichem Maße hatte dazu die Konstruktion des Multiplex, entstanden nach einer Idee von Walther Bauersfeld³⁵ am Beginn der dreißiger Jahre im Jenaer Zeisswerk, beigetragen. Im Rahmen des Rekonstruktionsprogramms kam es zur Wiederauferstehung dieses Gerätes^{36,37}. Der bisherige Multiplex war ursprünglich nur für die Auswertung von Bildern eingerichtet, die mit Normalwinkelmesskammern (Öffnungswinkel etwa 55°)³⁸ und Weitwinkelmesskammern (Öffnungswinkel etwa 90°) aufgenommen wurden. In seiner neuen Version konnte der Multiplex nun auch für die Auswertung von Überweitwinkelmessbildern (Öffnungswinkel über 122°) zur Anwendung kommen. Die Aufnahme mit Überweitwinkel-Luftbildkammern hatte sich in den fünfziger Jahren, ausgehend von der ehemaligen Sowjetunion, zunehmend auch in anderen Ländern für die Kartierung in mittleren und kleinen Maßstäben durchgesetzt. Der Überweitwinkelmultiplex war über mehrere Jahre hinweg das erste und einzige Gerät in der Welt, das eine strenge stereoskopische Auswertung derartiger Luftbilder ermöglichte. Eine besonders gründliche Untersuchung des Gerätes führten damals Mitarbeiter des US-amerikanischen Corps of Engineers durch und kamen zu einer sehr positiven Beurteilung des ÜWW-Multiplex³⁹.

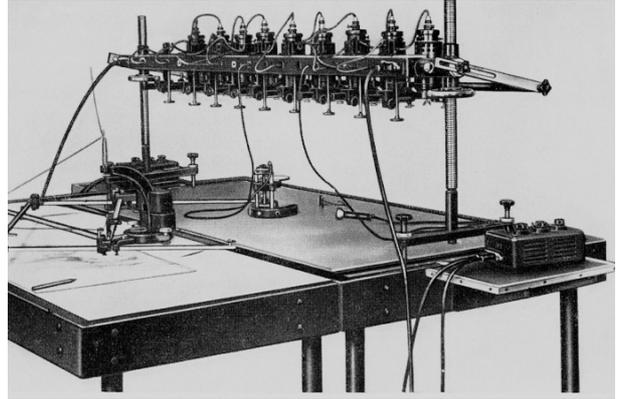


Bild 12: Multiplex mit angeschlossenen Pantograph

Das Wirkprinzip des Aeroprojektors Multiplex ist im Bild 13 dargestellt. Über einer vorgegebenen Trasse wird von Bord eines Flugzeugs eine Reihe sich um zwei Drittel überdeckender Bilder aufgenommen. Durch Rückprojektion der so erhaltenen Bilder erhält man dann in einem zweiten Schritt ein auswertbares räumliches optisches Modell des aufgenommenen Geländes.

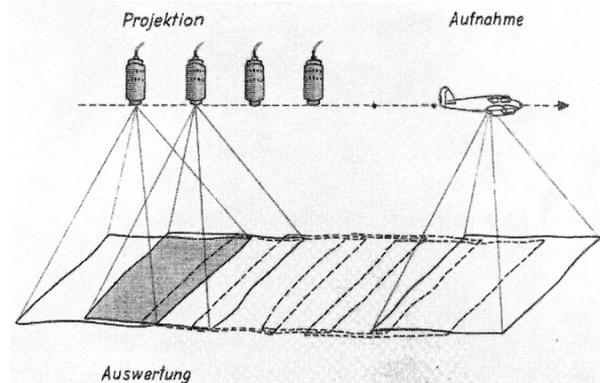


Bild 13: Umkehrung des Aufnahmevorgangs bei der Auswertung.

Die Realisierung dieses einfachen Prinzips der Rekonstruktion des Aufnahmevorgangs macht in der Aerophotogrammetrie die Einführung eines verkleinernden Maßstabsfaktors erforderlich, um ein handhabbares Modell zu erhalten. Dies erfolgt durch die Verkürzung der zwischen den Aufnahmestandorten liegenden Basis bei der Rückprojektion. Um ein exakt maßstäblich verkleinertes Auswertemodell zu erhalten muss weiterhin das aus einem jeden Projektor austretende Strahlenbündel mit hoher Genauigkeit dem Aufnahmestrahlenbündel der Luftbildkammer kongruent sein. Für die nichtfokussierbare Luftbildkammer liegen bei der Aufnahme praktisch alle Ziele im Unendlichen. Dagegen entsteht bei der Rückprojektion das optische Modell in einer Entfernung von einigen Dezimetern vor den Projektoren (in einem endlichen Bereich). Wegen der einzuhaltenden Konstanz des Projektionsstrahlenbündels wurde die notwendige Schärfentiefe für das entstehende optische Raummodell durch starke Abblendung der kurzbrennweitigen Multiplex-Objektive erzeugt⁴⁰.

Um die sich überlagernden stereoskopischen Teilbilder getrennt dem linken und rechten Auge des Operators zuzuführen, erfolgte die Projektion benachbarter Messbilder durch komplementäre Farbfilter nach dem Anaglyphenverfahren von d'Almeida⁴¹. Durch die Verwendung engbandigerer und steilbandigerer Filtergläser gelang eine fast 100%-ige Trennung der Stereoteilbilder.

Tafel 7: Multiplex, technische Daten

Funktionsprinzip:	Optische Projektion
Originalmessbildformate (mm):	180 × 180; 230 × 230 und 300 × 300
Messbildverkleinerung:	zwischen 1:9,00 und 1:3,31
Auswertebildformat (mm):	NW + WW: 49 × 49, ÜWW: 58 × 58
Scharfabbildung bei (mm) (vor dem Projektor):	NW + WW: 400, ÜWW: 270
Schärfentiefe (mm):	± 100
Kammerkonstanten der Projektoren (mm):	NW: 46,00; WW: 22,22; ÜWW: 21,00
Neigungen des Projektors (gon):	± 10 um x und y-Achse
Kleinste Basiseinstellung (mm):	NW: 85; WW: 105; ÜWW: 125
Projektorverschiebungen (mm):	in y: 120; in z: 80
Projektorkantung (gon):	400
Z-Messbereich (mm):	90 bis 250 über der Zeichenfläche
Länge des Traggestells für die Projektoren (m):	1, 2 oder 3 für bis zu 21 Projektoren
Pantograph, Stablänge (mm):	960
Zubehör:	Spezialumbildegerät für die Originalmessbilder der Formate 180 mm × 180 mm, 240 mm × 240 mm und 300 mm × 300 mm

3.10 Das Kleinentzerrungsgerät KEG

Nach der großen Akzeptanz des Aeroprojektors Multiplex für die Herstellung topographischer Karten in mittleren und kleinen Maßstäben kam es in den 1950er Jahren zum Bau des Kleinentzerrungsgeräts KEG⁴² (Bild 14).

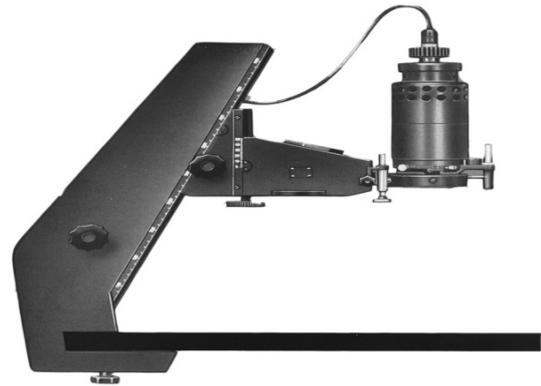


Bild 14: Kleinentzerrungsgerät

Das KEG bestand aus einem adaptierten Multiplex-Projektor, der mit Hilfe eines klemmbaren Trägers über dem Zeichentisch angeordnet werden konnte. Das Gerät diente zum Umbilden annähernd senkrecht aufgenommener Luftbilder nahezu ebenen Geländes in strenge Nadirbilder, zum Ergänzen und Berichtigen topographischer Karten und zur Herstellung von Luftbildplänen für Übersichtszwecke.

Wie der Multiplex, so arbeitete auch das Kleinentzerrungsgerät mit Verkleinerungen der Originalmessbilder. Der Projektor des KEG besaß ein von Hand fokussierbares kurzbrennweitiges Objektiv, das bei hoher Abblendung eine ausreichende Schärfentiefe lieferte, so dass keine Vorkehrungen zur Erfüllung der Scheimpflug-Bedingung erforderlich wurden.

Tafel 8: Kleinentzerrungsgerät, technische Daten

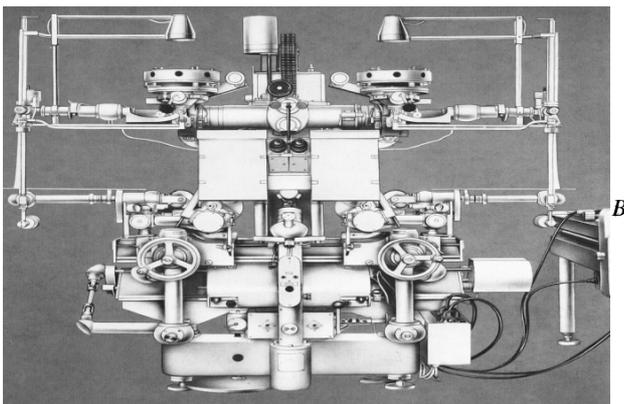
Bildformat (mm):	40 × 40
Neigung des Projektors um zwei zueinander senkrechte Achsen (gon [°]):	je ± 10/9
Kantung (gon [°]):	400/360
Bildverschiebung in x' und y' (mm):	je ± 2
Vergrößerung, bezogen auf das Originalmessbildformat	
18 cm × 18 cm:	0,5 bis 5,5 fach
23 cm × 23 cm:	0,3 bis 3,6 fach
30 cm × 30 cm:	0,2 bis 2,8 fach

3.11 Das Universalauswertegerät 'Stereoplanigraph'

Bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs war der Stereoplanigraph das Flaggschiff der Jenaer Photogrammetrie. Er war im Jahre 1921 auf der Basis des Patents von Walther Bauersfeld über ein 'Optisches Vorsatzsystem'⁴³ entstanden. Bis zum Ende des Krieges wurde in Jena das Modell C/5 gebaut⁴⁴. In der zweiten Hälfte der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts baute man im Rahmen des Rekonstruktionsprogramms die sechste und siebente Version der

Jenaer Stereoplanigraphen^{45,46,47}. Weitere Versionen entstanden in den Nachkriegsjahren auch bei Zeiss-Oberkochen und in Moskau⁴⁸.

Die sechste Jenaer Version des Stereoplanigraphen unterschied sich vom C/5 nur geringfügig. Neu waren die Leuchtmessmarken, die in Form, Farbe und Helligkeit verstellbar waren, womit man sich der beginnenden Verwendung von Color-Messbildern anpasste. Des Weiteren führte eine anwachsende numerische Weiterverarbeitung von Maschinenkoordinaten dazu, dass die bisherigen analogen Messwertanzeigen durch Digitalzähler ersetzt wurden. Als im Anfang der sechziger Jahre in einigen Ländern des RGW (Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe unter Führung der Sowjetunion) die ersten Luftbildkammern des Bildformats 23 cm × 23 cm zum Einsatz kamen, war der bis dahin verbindliche Standard des Bildformats 18 cm × 18 cm gesprengt. So konnte man mit der siebenten Jenaer Stereoplanigraphenversion auch auf das größere, in der Zwischenzeit überwiegend in der Welt verbreitete Bildformat übergehen. Dies bedingte auch den Ersatz der bisherigen Gesamt-Bildausleuchtung durch eine gesteuerte auf das Sehfeld beschränkte Ausschnitts-Beleuchtung.



15: Stereoplanigraph (letzte Version von Zeiss-Jena)

Wie der Multiplex so basierte auch der Stereoplanigraph auf der optischen Projektion. Sein Wirkprinzip unterschied sich jedoch von diesem in zweifacher Hinsicht. Während im Multiplex auf einen Schirm projizierte entzerrte Messbilder frontal betrachtet wurden, beobachtete man im Stereoplanigraphen homologe Ausschnitte der Originalmessbilder eines Stereopaars in den Projektoren durch deren Objektive (schräge Bildbetrachtung). Die Projektoren des Stereoplanigraphen waren mechanisch und optisch kongruente Nachbildungen der verwendeten Aufnahmekammer. Vor ihren Objektiven waren zum Zwecke der Fokussierung und des Vergrößerungsausgleichs bei wechselnder Projektionsentfernung Bauersfeldsche Vorsatzsysteme angeordnet worden (siehe Bild 16).

Tafel 9: Stereoplanigraph, technische Daten (Jena 1968)

Funktionsprinzip:	Optische Projektion
Bildformate (mm):	180 × 180, 230 × 230 und 130X180
Kammerkonstantenbereiche (mm):	Normalwinkelkammer: 211 ± 5 Normalwinkelkammer: 206 ± 5 Weitwinkelkammer: 152 ± 4 Weitwinkelkammer: 115 ± 2,5 Weitwinkelkammer: 100 ± 2,5 Terrestrische Kammer: 194 ± 5
Längsneigung, linke Kammer (gon):	+15 bis -30
Längsneigung, rechte Kammer (gon):	+30 bis -15
Querneigung, linke Kammer (gon):	+10 bis -10
Querneigung, rechte Kammer (gon):	+10 bis -10
Gemeinsame Längsneigung (gon):	+9 bis -9
Gemeinsame Querneigung (gon):	-20 bis +75
Kantung, linke und rechte Kammer (gon):	400
Basiskomponenten (mm)	
b_x :	-270 bis +270
b_y :	-30 bis +30
b_z :	-20 bis +20
Maschinenkoordinaten (mm)	
X:	-280 bis +280
Y:	-430 bis +310
Z:	+150 bis +640
Betrachtungsvergrößerung	
Normalwinkelkammer:	3 bis 13 fach
Weitwinkelkammer (100 mm):	6 bis 14 fach
Weitwinkelkammer (152 mm):	4,2 bis 10 fach
Terrestrische Kammer	3,4 bis 14 fach
Übertragung Maschine-Zeichentisch:	0,100 bis 5,000 fach
Zeichenfläche (mm):	900 × 1200 oder 800 × 800
Zubehör:	Umbildegerät für das Bildformat 300 mm × 300 mm

4.0 Die neuen Stereokartiergeräte und ihre Ergänzungseinheiten

Bereits in der Rekonstruktionsphase begannen Mitte der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts die Überlegungen für die Entwicklung einer neuen Generation von Stereokartiergeräten. Die Erfahrungen mit dem Stereoplanigraphen führten zu der Einsicht, dass das auf seiner Basis nicht möglich sein würde. Der Stereoplanigraph war zu einer Zeit entstanden als man im Wettbewerb mit Hugerhoff⁴⁹-Heyde⁵⁰ und Gasser⁵¹ im Jenaer Zeisswerk auf der Basis der optischen und feinmechanischen Kompetenz nach einer exakten Lösung für die Auswertung von Luftmessbildern suchte. Nach dem misslungenen Versuch, den v. Orel-Pulfrichschen Stereoautographen⁵² zur Grundlage einer solchen Entwicklung zu machen, kam die rettende Erfindung eines 'Optischen Vorsatzsystems' durch Walther Bauersfeld. Es handelte sich um ein Linsenpaar gleicher negativer und positiver Brennweite das auf einer gemeinsamen optischen Achse hintereinander angeordnet war. Die Brennweite eines solchen Systems ist gegeben durch

$$F = f^2 (2f - e)^{-1}$$

wo f die Brennweiten der Einzellinsen sind und e ihr Abstand voneinander. Durch die Variation von e ändert sich die Gesamtbrennweite des Vorsatzsystems. Um dieses Vorsatzsystem herum entstand am Anfang der 1920er Jahre der Stereoplanigraph, dessen Weiterentwicklung bis 1942 vor allem von dem Geodäten Otto von Gruber betrieben worden ist.

Der Funktion des Stereoplanigraphen lag das Porro-Kopfesche-Prinzip⁵³ zugrunde. Es verlangt, dass Projektoren im Auswertegerät benutzt werden, die eine zur Luftbildkammer kongruente 'Innere Orientierung' (Brennweite, Kammerkonstante und Verzeichnung) besitzen. Als Produzent, sowohl von Aufnahme- als auch Auswertegeräten, konnte das Zeisswerk diese notwendige Kompatibilität für seine eigenen Erzeugnisse bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs garantieren. Aber in den fünfziger Jahren gab es leistungsfähige Produzenten photogrammetrischer Technik (vor allem der Luftbildaufnahmetechnik) auch in der Schweiz, in Großbritannien, in Italien, in Frankreich, in den USA und in der Sowjetunion. In Jena war die Tätigkeit zu diesem Zeitpunkt als Folge des Zweiten Weltkriegs noch auf die Entwicklung und den Bau von Auswertetechnik beschränkt. So wurde die Anpassung des Stereoplanigraphen an fremde Aufnahmesysteme für Zeiss-Jena zu einem nur schwer beherrschbaren Problem. Es war keine Aussage darüber möglich ob und wann sich diese Situation ändern würde.

Es gab aber noch ein zweites Problem, das aus der Funktionsweise des Stereoplanigraphen erwuchs. Bild 16 zeigt sein optisches Projektionssystem.

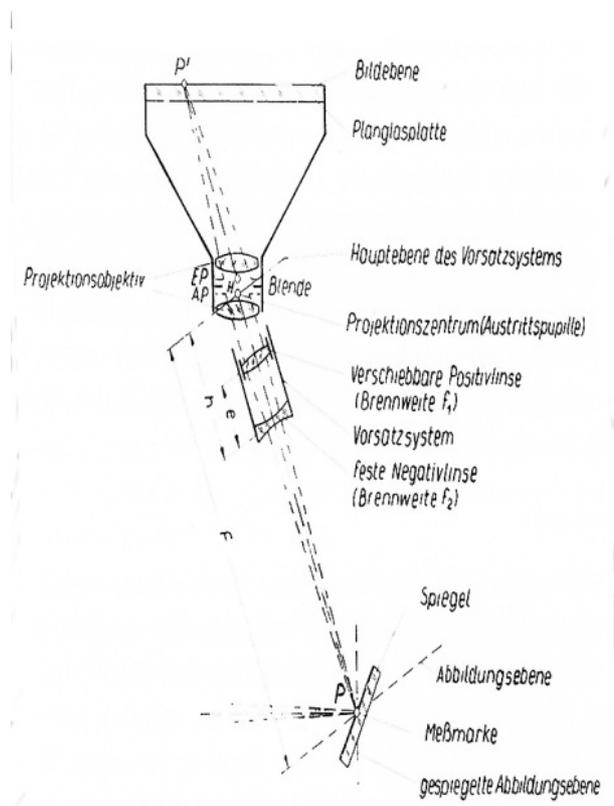


Bild 16: Stereoplanigraph, Projektionssystem

Das Bauersfeldsche Vorsatzsystem (Bild 16) sorgte dafür, dass ein Bildpunkt (hier P') bei wechselnder Projektionsentfernung immer scharf in einem Punkt P abgebildet wurde, der auf dem Lenkspiegel mit der dort angebrachten Messmarke zusammenfiel. Die Abbildung des gesamten Sehfeldes erfolgte in einer Ebene, die senkrecht zur Projektionsachse des Vorsatzsystems lag. Beim Abtasten des Messbildes änderte sich von Bildpunkt zu Bildpunkt der Winkel zwischen der optischen Achse des Projektors und der optischen Achse des Vorsatzsystems. Die räumliche Lage der Abbildungsebene wurde eine Funktion der Lage des Bildpunkts (P'). Dies bewirkte (wegen wechselnder Unparallelität zwischen Messbildebene und Abbildungsebene des Vorsatzsystems) eine ständig wechselnde Verzerrung im Sehfeld. Nur für das Sehfeld um den Bildhauptpunkt, wo die optischen Achsen des Projektors und die des Vorsatzsystems zusammenfallen, bestand Verzerrungsfreiheit. Um wenigstens die Bedingungen des stereoskopischen Sehens zu erfüllen, wurden die verzerrten Sehfelder in den beiden Strahlengängen des Stereomikroskops automatisch so um die Messmarke ausgekantet, dass eine Betrachtung in Kernebenen⁵⁴ möglich wurde. Die Folge war eine ständig wechselnde Verfälschung der Horizontalparallaxe im Umfeld der fehlerfreien Lage des Messpunktes.

So hatte der Operateur den Eindruck einer ständigen Gestaltänderung des optischen Modells, das auch bei ruhender Einstellung um die Basis gekippt erschien. Diese beschriebenen Erscheinungen waren zunächst nahezu vernachlässigbar, da anfänglich nur Messbilder zur Auswertung kamen, die mit Luftbildkammern aufgenommen wurden, deren Zielstrahlneigungen zur optischen Achse kleiner als 30° waren. In einem solchen Falle wurden die Gestalt- und Orientierungsänderungen des optischen Modells kaum bemerkt, wenn die Sehfelddurchmesser nicht allzu groß gewählt wurden. Aber schon bei der Erweiterung des Stereoplanigraphen für die Auswertung von Weitwinkel-messbildern (Öffnungswinkel bis 90°), empfanden die Auswerter diesen 'Schönheitsfehler' zunehmend als ernsthafte Störung ihrer Tätigkeit.

Einer weiteren Vergrößerung der Öffnungswinkel photogrammetrischer Messkammern, die nach dem damaligen Stand der Technik zu erwarten war, konnte der Stereoplanigraph nicht folgen. Es wäre dann an den Rändern des sowieso nur mäßigen Sehfeldes zu Sehparallaxen gekommen, die das Zustandekommen einer räumlichen Wahrnehmung gefährdet hätten.

Die herausragenden Eigenschaften, mit denen sich der Stereoplanigraph von den zwanziger bis in die fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts gegenüber seinen konkurrierenden Geräten auf dem Weltmarkt abhob, wie vor allem das Porro-Koppesche Prinzip und der automatische Vergrößerungsausgleich der Sehfelder wurden wegen der überwiegend aufgenommenen Senkrechtluftbilder weithin entbehrlich. Wichtiger wurden größere helle Sehfelder und ein stabiles Modell bei der Auswertung. Bei den vorwiegend zur Auswertung kommenden Senkrechtluftbildern ging man deshalb allgemein bei den Stereokartiergeräten von der optischen Projektion mit schräger Bildbetrachtung auf die rein mechanische Projektion mit frontaler Bildbetrachtung über. Hierdurch wurde auch die Kompatibilität photogrammetrischer Systeme unterschiedlicher Produzenten erheblich verbessert. Der Stereoplanigraph blieb jedoch noch über viele Jahre ein gesuchtes Gerät, wenn es um die Auswertung von stark konvergenten Messbildpaaren oder Schrägmessbildpaaren ging.

4.1 Das Luftbildauswertegerät 'Stereometrograph'

Mitte der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts entstand im Jenaer Zeisswerk das Konzept für ein neues stereoskopisches Präzisionsauswertegerät mit rein mechanischer Projektion unter dem Namen 'Stereometrograph'.

Bild 17 zeigt eine der letzten Versionen des Stereometrographen. Ungewöhnlich war 1960 beim Erscheinen des Geräts sein vollkommen geschlossener Aufbau. Bisher war bei den großen photogrammetrischen Auswertemaschinen eine offene Gerätearchitektur mit freiliegenden Transport- und Messgetrieben sowie auch Strahlengängen üblich gewesen. So wurde es notwendig, diese Geräte staub- und fremdlichtgeschützt in halbverdunkelten Räumen unter einem Gerätezelt aufzustellen.



Bild 17: Stereometrograph

Möglich geworden war die geschlossene Bauweise durch die Einführung der sogenannten 'Elektrischen Welle'. Ihre Arbeitsweise erläutert das Bild 18.

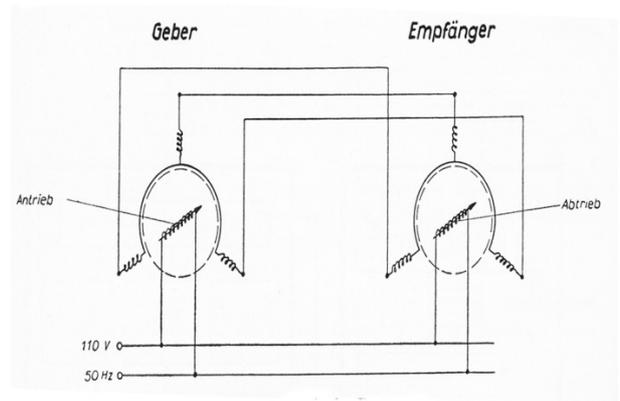


Bild 18: Die 'Elektrische Welle'

Geber und Empfänger hatten den gleichen Aufbau. Sie bestanden jeweils aus einem dreipoligen, in Sternschaltung gekoppelten Stator und einem zweipoligen Rotor, der über Bürsten und zwei Schleifringe an ein Wechselstromnetz von 110 V, 50 Hz angeschlossen war. Die Dreiphasenwicklungen der Geber- und Empfängerstatoren waren jeweils mittels Fernleitungen verbunden. Die in den Rotoren erzeugten Wechselfelder induzierten Spannungen in den Statorwicklungen, deren Amplituden von der Winkelstellung der Rotoren abhingen. Waren diese zwischen Geber und Empfänger jeweils in bezug auf die Statoren verschieden, so flossen Ausgleichströme, die ein Drehmoment hervorriefen und somit den Empfängerrotor in die gleiche Stellung drehten wie den Geber. Diese Anordnung wirkte wie eine elastische Welle, deren Richtkraft etwa proportional zum Torsionswinkel anstieg. Der Empfänger folgte praktisch ohne Verzögerung der Geberdrehung auch bei sehr hohen Drehzahlen. Durch geeignete Übersetzung des Übertragungskanals wurden die benötigten Momente und Übertragungsgenauigkeiten erreicht. Mit Hilfe dieses Funktionselements gelangen Antriebs- und Messwertübertragungen ohne Spindeln und Winkelgetriebe. Und so waren

auch alle erforderlichen Bedienelemente des Auswertegeräts in die Reichweite des Auswerters zu bringen.

Die mechanische Projektion⁵⁵ des Stereometrographen erfolgte mit Raumlernern, welche die Bewegung der Objektive des stereoskopischen Betrachtungssystems relativ zu den beiden Messbildern steuerten⁵⁶. Die frontale Bildbetrachtung erlaubte große Sehfelder gleichmäßiger Ausleuchtung und die Erzeugung eines stabilen Raummodells.

Von 1960 bis 1976 sind aufeinanderfolgend sieben Versionen (Typ A bis Typ G) des Stereometrographen gebaut worden. Die Modifikationen erfolgten aus der praktischen Arbeit mit dem Gerät im engen Kontakt mit erfahrenen Operateuren. Besonders bemerkenswert sind die Untersuchungen, den Arbeitsbereich des Stereometrographen auch auf die Auswertung von Überweitwinkelmeßbildern auszudehnen. Diese Arbeiten stützten sich zunächst auf die in der damaligen Sowjetunion entwickelte 'Theorie der umgeformten Strahlenbündel'. Bei Aufgabe der 'Inneren Orientierung' durch Nutzung einer größeren Auswertekammerkonstante als jene der Aufnahmekammer und der Einführung von Meßbildezentrierungen in den Bildträgern erzielte man in einem besonderen Verfahren der relativen und absoluten Orientierung ein ausmessbares affines Raummodell mit unterschiedlichen Maßstäben für die Lage und die Höhe^{57,58}.

Im Jahr 1967 wurde der mechanische Aufbau des Stereometrographen so erweitert, dass die Rekonstruktion kongruenter Raummodelle bis zu einem Öffnungswinkel der Raumlerner von 124° ausgedehnt werden konnte und für diesen Arbeitsbereich eine Affinauswertung entbehrlich wurde. Die kürzeste Einstellung für die Auswertekammerkonstante lag jetzt in Übereinstimmung mit den damals üblichen Überweitwinkelmeßkammern bei 85 Millimetern.

Tafel 10: Stereometrograph G, technische Daten (1976)

Funktionsprinzip:	Mechanische Projektion
Bildformat (mm):	Max. 230 × 230
Betrachtungsvergrößerung:	7 fach
Sehfeld (mm):	30
Kammerkonstante (mm):	85 bis 310
Längsneigung (gon):	-6 bis +6
Querneigung (mm):	-6 bis +6
Bildkantung (gon):	-30 bis +30
Basiskomponenten (mm)	
b_x :	0 bis 240
b_y :	-20 bis +20
b_z :	-15 bis +15
Maschinenkoordinaten	

X (Linker Bildträger) (mm):	-180 bis +280
X (Rechter Bildträger) (mm):	-280 bis +180
Y (mm):	-250 bis +250
Z (mm):	+135 bis +350
Max. Öffnungswinkel (°):	124
Übersetzung Maschine ---> Zeichentisch:	0,01 bis 9,99 fach
Digitalzeichentisch DZT	
Zeichenfläche (mm):	900 × 1200
Tischneigung (°):	45 bis 85

4.2 Die Entstehung der Überweitwinkel-Stereokartiergeräte

In den Jahren 1961 und 1964 fanden in Jena Symposien über die weitere Entwicklung der Aerophotogrammetrie in den Ländern des RGW (Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe) statt, dominiert von sowjetischen Experten aus der Staatlichen Hauptverwaltung für Geodäsie und Kartographie sowie aus dem Militärtopographischen Dienst. Ziel dieser Beratungen war die Schaffung eines Gerätekomplexes, der vor allem die Stereokartierung und Herstellung von Orthophotokarten unter Verwendung von Überweitwinkelluftbildern ermöglichen sollte. Unter Leitung von M. Russinow waren bereits Luftbildkammern mit Öffnungswinkeln von über 122° entstanden. Das Jenaer Zeisswerk erhielt den Auftrag entsprechende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für ein geeignetes Gerätesystem zu übernehmen.

Nach dem Stand der damalige Technik bot sich zur Lösung der vorgegebenen Aufgabe die Entwicklung eines analytischen Auswertegeräts an, in dem die bisher in den Stereokartiergeräten verwendeten optischen oder mechanischen (analogen) Projektionssysteme durch Digitalrechner ersetzt wurden. Für die Verfolgung eines solchen Weges gab es zum damaligen Zeitpunkt im Jenaer Zeisswerk günstige Voraussetzungen. Seit der zweiten Hälfte der fünfziger Jahre des vorigen Jahrhunderts beschäftigte sich hier ein eigener Forschungs- und Entwicklungsbereich mit dem Bau von elektronischen Rechenmaschinen. Der für die Berechnung optischer Systeme bestimmten OPREMA folgte der Zeiss-Rechenautomat ZRA-1 und die Arbeit am

ZRA-2 hatte begonnen. Um jedoch die vorgegebenen Termine einhalten zu können, blieb es dann doch zunächst bei der Suche nach einer analogen Lösung. Es kam zu zwei Gerätekonzepten, die unter den Bezeichnungen Stereotrigonmat und Topocart konstruktiv weiterbearbeitet worden sind⁵⁹.

Beide Geräte lösten sich von dem Grundgedanken der Nachbildung des Aufnahmevorgangs bei der Auswertung; sie waren im Sanderschen Sinne Vorrichtungen zur Auflösung von mathematischen Gleichungen⁶⁰. Der Topocart war eine Version des Stereoautographen, der durch die

Hinzufügung von Korrekturlinealen für die Auswertung von Überweitwinkel-Luftbildern mit Öffnungswinkeln bis zu 122° erweitert wurde.

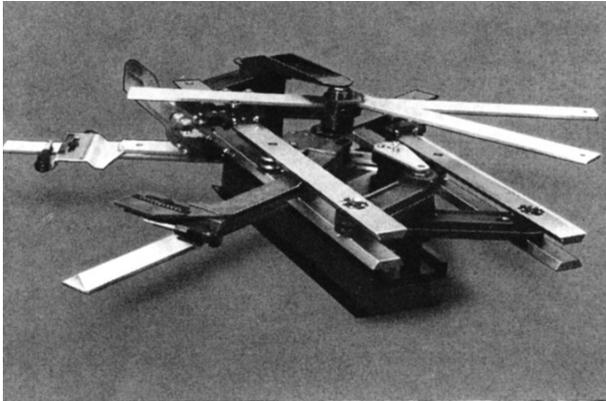


Bild 19: Der mechanische Projektionsrechner des Topocart⁶¹

Der Stereotrigomat war ein Affin-Auswertegerät. Nach der mechanischen Entzerrung der Messbilder wurde ein Affinmodell mit Streckung oder Stauchung in Z-Richtung gebildet. Durch entsprechende Getriebebeschaltungen konnte die Affinität vor der Ausgabe der Maschinenkoordinaten korrigiert werden. Damit war der Stereotrigomat das universellere Gerät, insbesondere war es im vorgesehenen Arbeitsbereich völlig unabhängig von der Kammerkonstante (Brennweite) der Aufnahmekammern.

Aus den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für den Stereotrigomat und den Topocart gingen eine Reihe von weiteren Geräten hervor. Zu dieser Gerätefamilie gehörten die Gerätekombination Topocart-Orthophot, der Topomat, der Technocart und der automatische Großkoordinatograph Cartimat.

4.3 Das Luftbildauswertegerät 'Stereotrigomat'

Der Stereotrigomat war modular aufgebaut mit der Absicht, die Analogrechner in einer späteren Variante durch Digitalrechner zu ersetzen. Sowohl im Stereotrigomat als auch im Topocart wurden die Messbilder in horizontaler Lage gegenüber einem feststehenden Betrachtungsstereomikroskop verschoben. Dies und die Gleichartigkeit der gesamten Betrachtungsoptik von Topocart und Stereotrigomat ermöglichte es, die vorgesehenen Peripherieeinheiten für die Herstellung von Orthophotos⁶² (Photographische Umwandlung der zentralperspektiven Messbilder mittels Differentialentzerrung⁶³ in parallelprojektive Abbildungen) und einen Bildkorrelator⁶⁴ (für die automatische Parallaxenelimination) nach der Erprobung am Stereotrigomat auch auf den Topocart zu übertragen.

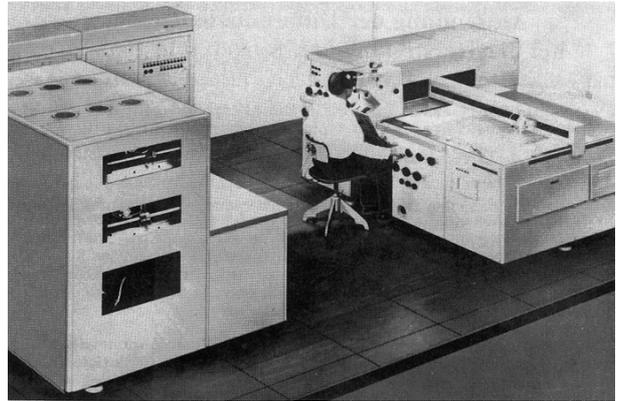


Bild 20: Stereotrigomat

Bild 20 zeigt den Stereotrigomat^{65,66,67}. Im Vordergrund befindet sich der Rechnerschrank. Hier entstand das affine Geländemodell. Dahinter sieht man die Elektro-Versorgungseinheit. Rechts sind in einer weiteren Einheit die Bedienkonsole, das Differentialentzerrungsgerät 'Orthophot' (links vom Stereookular) und der Zeichentisch (rechts vom Stereookular) zusammengefasst.

Eine Differentialentzerrung, man nannte sie damals noch 'Entzerrung unebenen Geländes' wurde erstmalig von Otto Lacmann⁶⁸ ausgeführt. Bild 21 zeigt seinen Experimentalaufbau.

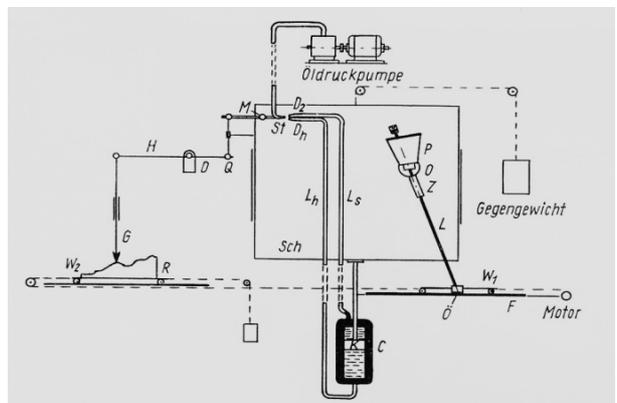


Bild 21: Experimentalaufbau eines Entzerrungsgeräts für unebenes Gelände von O. Lacmann

Nach dem Vorschlag aus dem Jahr 1931 wurde die Kenntnis paralleler Geländeprofile – etwa aus einer vorhandenen topographischen Karte – vorausgesetzt. Über ein Abtastgestänge gesteuert, besorgte eine hydraulische Anlage die Höhenverstellung eines Projektors, dessen Kammergeometrie jener des Aufnahmegeräts entsprach. Die Projektionskammer nahm dabei die gleiche Raumlage ein wie die Luftbildkammer zum Zeitpunkt der Aufnahme im Bildflugzeug. Bei differentieller Belichtung im Profilstreifen entstand eine maßstäbliche Parallelprojektion der Geländeoberfläche. Nach diesem Prinzip sind in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts von einigen europäischen

und amerikanischen Firmen Differentialentzerrungsgeräte gebaut worden. Diese waren aber für die Herstellung von Orthophotokarten aus Überweitwinkelmessbildern nicht brauchbar.

Im Jenaer Zeisswerk entwickelte man an Stelle einer Differentialentzerrung mit schräger Projektion eine Einrichtung für die Differentialentzerrung mit frontaler Projektion, die unabhängig war vom Öffnungswinkel der Luftbildkammer^{69,70}. Die Wirkungsweise zeigt Bild 22.

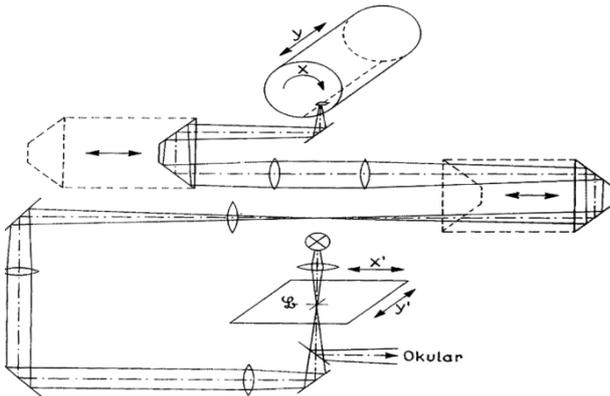


Bild 22: Frontale Differentialentzerrung im Stereotrigomat

Für die Entzerrung wurde das rechte Bild des Stereopaars verwendet. Der Strahlengang ist im Bild 22 dargestellt. Ein kleines Bildelement wurde aus dem Beobachtungsstrahlengang ausgeblendet und, in einem vom Verhältnis Flughöhe über Grund zur Aufnahmekammerkonstanten (bzw. im Auswertegerät $Z: c_k$) abhängigen Verhältnis vergrößert, auf Photomaterial (Film oder Papier) abgebildet. Beim Auswertevorgang schaltete der Auswerter die Z-Koordinate auf das rechte Handrad. Motorisch angetrieben fuhr die Messmarke aufeinanderfolgend in parallelen Y-Profilen durch das optische Modell, wobei der Operateur mit dem Z-Antrieb die Messmarke auf der Modelloberfläche hielt. Es entstanden dabei ein Orthophoto und auf dem Zeichentisch ein Schraffenplan, der die Durchstoßpunkte der Messmarke durch vorgegebene Höhenniveaus aufzeichnete. Aus dieser Darstellung konnte dann ein Höhenlinienplan entwickelt werden. Diese Vorrichtung erhielt die Bezeichnung 'Orograph'. Bild 23 zeigt eine Orographie und Bild 24 den daraus abgeleiteten Schichtenlinienplan.

Mit dem Stereotrigomat wurden in der zweiten Hälfte der sechziger Jahre eine Reihe von Versuchsauswertungen vorgenommen. Bild 25 zeigt einen fünffach verkleinerten Ausschnitt aus einer Orthophotokarte 1:180 des Stadtgebiets von Los Angeles (USA). Der Höhenlinienabstand beträgt 0,30 Meter. Die Originalluftbilder besaßen einen Maßstab von 1:620.

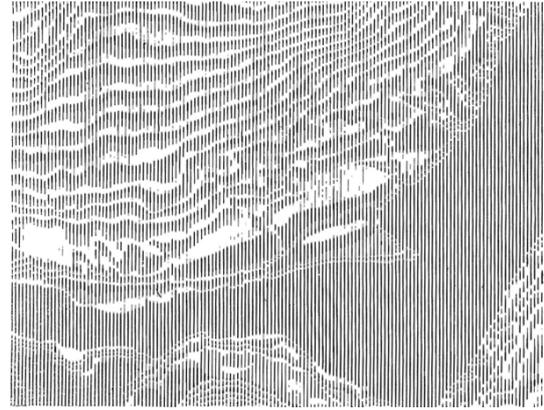


Bild 23: Orographie

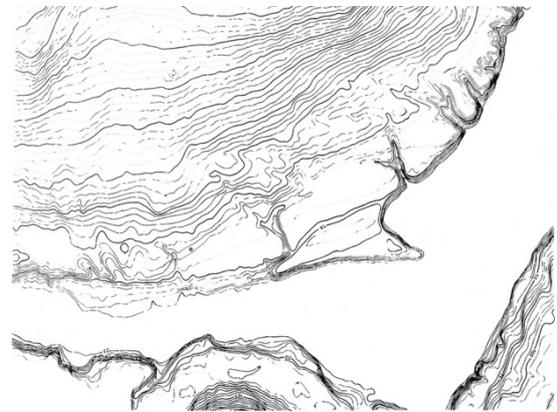


Bild 24: Höhenschichtenplan

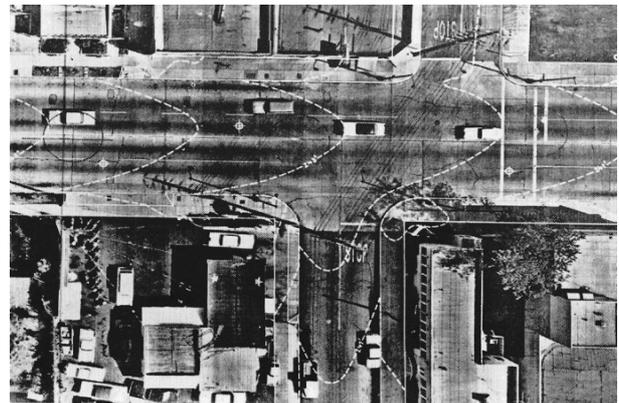


Bild 25: Ausschnitt einer Orthophotokarte der City of Los Angeles (etwa 5-fach verkleinert). Originalauswertemaßstab 1:180, Messbildformat 230 mm × 230 mm, Brennweite 152 mm, Bildmaßstab 1:620, Modellmaßstab 1:225, Spaltbreite der Differentialentzerrung 8 mm, Abfahrtschwindigkeit in der Entzerrungsebene 3 mm/s, Höhenlinienintervall 0,30 m

Tafel 11: Stereotrigomat, technische Daten

Auswertemaschine	
Funktionsprinzip:	mechanische Affinprojektion
Bildformat (mm):	Max. 240 × 240
Kammerkonstanten (mm):	35 bis 500
Betrachtungsvergrößerung:	6 fach, 9 fach, 12 fach, 18 fach
Bildvertauschung:	links/rechts; rechts/links
Sehfeld im Bild (mm):	18 bis 32
Messmarken (mm):	0.10 bis 0.02 in verschiedenen Farben
Zeichenfläche (mm):	900 × 1200
Anschluss für 2. Zeichentisch (mm):	900 × 1200 oder 800 × 800
Übersetzung Maschine ---> Zeichentisch:	0.1 bis 5 fach
Längsneigung (gon) bei $c_k = 35$ mm:	-3 bis +3
bei $c_k \geq 50$ mm:	-6 bis +6
Querneigung (gon) bei $c_k = 35$ mm:	-3 bis +3
bei $c_k \geq 50$ mm:	-6 bis +6
Bildkantung (gon):	400
Basiskomponenten (mm) b_x :	-300 bis +300
b_y :	-40 bis +40
b_z :	-50 bis +50
Maschinenkoordinaten (mm) X:	-350 bis +350
Y:	-350 bis +350
Z:	+200 bis +600
Differentialentzerrung	
Funktionsprinzip:	Frontale Projektion
Messbildformat (mm):	240 × 240
Vergrößerung Entzerrung:	0,7 bis 5 fach
Ausgabeformat (mm):	750 × 800
Spaltgrößen (mm):	16 × 4; 8 × 2; 4 × 1, 2 × 0,5; 1 × 0, 25

Vom Stereotrigomat sind damals nur wenige Stück gebaut und verkauft worden. Ein weiteres Gerät verblieb im Zeisswerk. Es diente der Entwicklung eines Bildkorrelations-systems und wurde dann in der zweiten Hälfte der sechziger

Jahre des vorigen Jahrhunderts zum Funktionsmuster eines Analytischen Stereokartiergerätes umgebaut. Hierzu ist die Analogrechnereinheit durch den digitalen 'Zeiss-Bildmessrechner' ersetzt worden, der am Rande der ZRA-2 Entwicklung entstanden war. Diese Arbeiten konnten nicht mehr weitergeführt werden als das Jenaer Zeisswerk die Konstruktion und den Bau von Computern aufgab. Es folgten eine Reihe von Versuchen, das Projekt eines Analytischen Auswertegerätes in Zusammenarbeit mit Fremdfirmen weiter voran zu bringen. Einen Experimentalaufbau des 'Stereodicomat', der in Kooperation mit dem norwegischen Unternehmen 'Kongsberg' entstanden war, zeigt Bild 26.

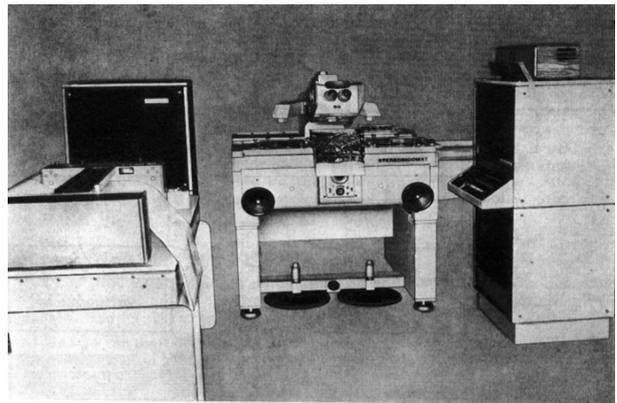


Bild 26: Experimentalaufbau für Stereodicomat (1976)

Unter den politischen und handelspolitischen Gegebenheiten der sechziger und siebziger Jahre war aber eine tragfähige Zusammenarbeit mit einem geeigneten Partner nicht möglich.

4.4 Die Kombination Luftbildstereokartiergerät 'Topocart' mit Differentialentzerrungsgerät 'Orthophot'

Die am Stereotrigomat entwickelten Peripherien wurden mit Erfolg auf das Stereokartiergerät Topocart übertragen. Der Topocart ist seit 1966 aufeinanderfolgend in vier Versionen in großen Stückzahlen gefertigt worden.



Bild 27: Topocart/Orthophot

Der leistungsfähigste Typ war die Kombination Topocart D /Orthophot E. Gegenüber der für den Stereotrigomat

entwickelten und mit ihm erprobten Differentialentzerrungseinrichtung verfügte das Orthophot (ab Serie D) über erweiterte Funktionen⁷¹. Zu ihrer Erläuterung dienen die Bilder 28 und 29.

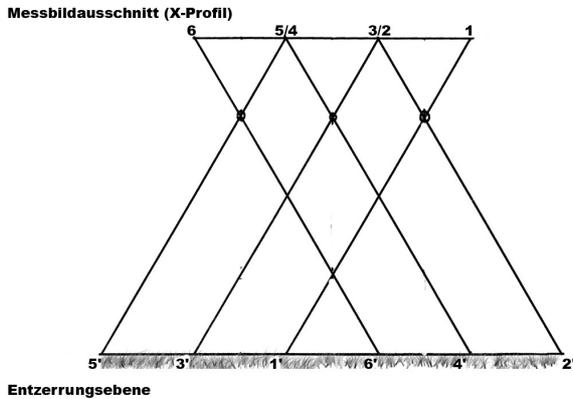


Bild 28: Differentialentzerrung mit frontaler Projektion über einem ebenen Geländeausschnitt

Bild 28 zeigt einen Schnitt senkrecht zur Y- Richtung mit den parallelen nebeneinander liegenden Abfahrstreifen 1-2, 3-4 und 5-6 (quer zur Flugrichtung) über einem ebenen Geländeausschnitt. Das Luftbild wird hier mit dem Faktor $h f^{-1}$ vergrößert. Durch geeignete Steuerung der Orthophot-Kassette lassen sich die entstehenden Streifen 1-2, 3-4 und 5-6 klaffenfrei aneinanderschließen. Ist das Gelände jedoch in Flugrichtung geneigt, so entstehen die Verhältnisse des Bildes 29. Von Streifen zu Streifen ändert sich jetzt die Vergrößerung des Messbildes. Die Entzerrungsstreifen 1-2, 3-4 und 5-6 lassen sich nicht mehr klaffen- und überlappungsfrei zusammenfügen. An den Streifenrändern entstehen als Folge eines Maßstabssprungs Auslassungen und Doppelabbildungen.

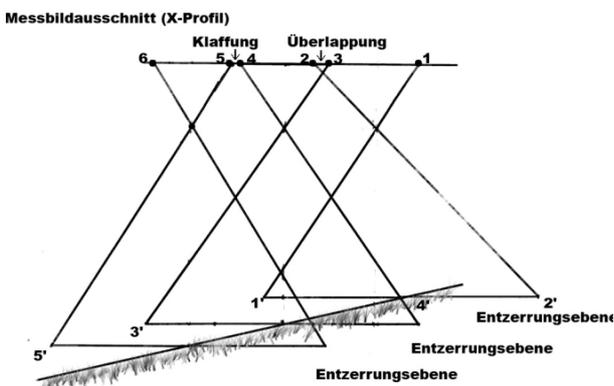


Bild 29: Differentialentzerrung mit frontaler Projektion über einem geneigten Geländeausschnitt

Die Größe dieser Abbildungsfehler ist eine Funktion der Geländeneigung und der vom Operateur gewählten Spaltbreite (1-2 = 3-4 = 5-6). Eine Verringerung der Spaltbreite führt aber mit einer Zunahme der Anzahl abzufahrender Abtastprofile zu einem beachtlich höheren Arbeitsaufwand bei Herstellung eines Orthophotos. Es lässt sich zeigen, dass

mit einer Kantung und optischer Zusatzvergrößerung (bzw. Zusatzverkleinerung) des umzubildenden Messbildauschnitts die Klaffen bzw. Doppelabbildungen an den Streifenrändern korrigiert werden können^{72,73}. Um die Mitte der siebziger Jahre wurde eine solche Korrektur einrichtung zur 'Querentzerrung' im Orthophot D realisiert. Man ging dabei vom Vorhandensein von Geländeprofilen aus digitalen Geländemodellen oder deren Ableitung aus geeignetem Kartenmaterial aus. Waren solche Voraussetzungen nicht gegeben, so konnten solche Steuerprofile in einer vorausgehenden Messung mit Stereokartiergeräten (z.B. mit dem Topocart) erzeugt werden. Eine solche Off-Line Differentialentzerrung⁷⁴ war wirtschaftlich vorteilhaft, da mit großen Spaltbreiten gearbeitet werden konnte. Zweckmäßig anzuwenden war das Off-Line Verfahren auch für Kartenerneuerungen, wo sich die Situationsdarstellung, nicht aber die Topographie des Geländes verändert hatte und deshalb die gespeicherten Profile der vorausgegangenen Differentialentzerrung benutzt werden konnten.

Tafel 12: Topocart D / Orthophot E, technische Daten

Topocart D	
Funktionsprinzip:	Mechanische Projektion
Bildformat (mm):	Max. 230 × 230
Betrachtungsvergrößerung:	6 fach, 8,5 fach, 12 fach
Sehfeld (mm):	40, 28, 20
Kammerkonstante (mm):	45 bis 310
Längsneigung (gon):	-5 bis +5
Querneigung (gon):	-5 bis +5
Kantung (gon):	-30 bis +30
Basiskomponente (mm)	
b_x :	0 bis 240
b_y :	-20 bis +20
b_z :	-20 bis +20
Maschinenkoordinate (mm)	
X:	-240 bis +240
Y:	-240 bis +240
Z:	+70 bis +350
Öffnungswinkel in Z-X und Z-Y-Ebene (gon):	je 104
Zubehör:	Zweiteinblick für Ausbildung oder Fachinterpretation
Orthophot	

Vergrößerung:	0,7 bis 5 fach
Spaltbreiten (mm):	2, 4, 8, 16
Orthophotoformat (mm):	Max. 600 × 900
Querneigungskorrektur (%):	Max: 40

4.5 Das automatische Luftbildstereokartiergerät 'Topomat'

Ein weiterer Abkömmling des Stereotrigomat/Topocart-Projekts war der Topomat. Er entstand durch das Zusammenfügen von Topocart, Orthophot und einer für den Stereotrigomat entwickelten und erprobten Einrichtung zur Bildkorrelation^{75,76}, die den Namen 'Oromat' erhielt. Diese Einrichtung übernahm die bisher vom Operateur zu leistende räumliche Abtastung des optischen Raummodells. Bild 30 zeigt den Topomat⁷⁷

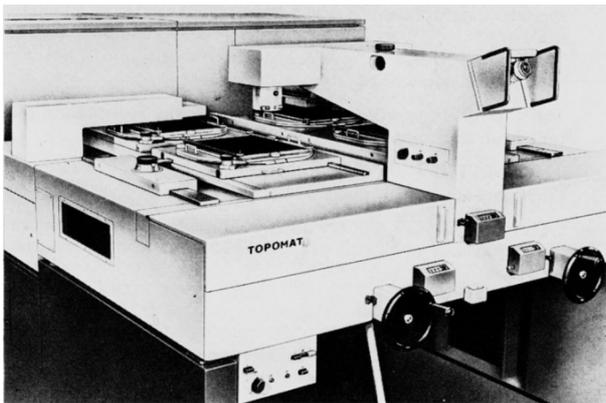


Bild 30: Topomat

Charakteristisch für das Gerät waren die vier Bildträger, in welche identische Messbildpaare eingelegt wurden. Die beiden jeweils linken Stereoteilbilder und die rechten Stereoteilbilder befanden sich auf je einem Tandemwagen. Diese wurden von dem Analog-Rechner des Topocart gesteuert. Über dem hinteren Stereobildpaar sieht man die beiden Arme, welche die Sekundärelektronenvervielfacher des Oromat trugen, unter denen die Messbilder verschoben wurden. Das vordere Bildpaar diente dem Operateur zur visuellen Generierung des optischen Modells durch gegenseitige und absolute Orientierung. Aus dem Beobachtungsstrahlengang des rechten Bildes erfolgte die Ausblendung von Bildelementen für das Orthophot. Die Verwendung von Doppelstereogrammen hatte den Zweck, eines davon optimal den Fähigkeiten (z.B. bezüglich Bildkontrast) des Oromat und das andere denjenigen des Operateurs sowie den Forderungen an das entstehende Orthophoto anzupassen (Color, Infrarot, CIR).

Zunächst führte der Operateur in konventioneller Weise die Modellorientierung aus und 'übergab' dann das Modell zur vollautomatischen Erzeugung des Orthophotos an den Oromat. Bei der Erprobung eines ersten Versuchsgerätes

zeigte sich, dass es zu einer Reihe von Ausfällen des Oromat kam⁷⁸. Es gab typische Stellen im optischen Modell, an denen der Oromat keine homologen Bildstrukturen in den stereoskopischen Teilbildern finden konnte. Gründe hierfür waren spiegelnde Objekte (wie z.B. reflektierende Wasseroberflächen), Verdeckungen in einem der Teilbilder, Schattenwurf oder auch Stellen, an denen eine abrupte Änderung der Horizontalparallaxe stattfand (z.B. an senkrechten Gebäudeteilen). Zur weitgehenden Beseitigung der Korrelationsausfälle erhielt der Topomat bei seiner Weiterentwicklung eine sogenannte 'Vorspurspeicherung'. Diese erfolgte im ersten, von dem Operateur manuell gesteuerten Entzerrungstreifen. Traten dann bei der vom Oromat ausgeführten Modellabtastung Korrelationsausfälle auf, so wurde die Profilhöhe automatisch so lange von der benachbarten Vorspur übernommen bis der Oromat wieder verwertbare Signale erhielt. Diese Arbeitsweise entsprach völlig der eines 'denkenden Operateurs'⁷⁹.

Diese Vorspurspeicherung ermöglichte auch die Ermittlung der Querneigung zwischen benachbarten Abtaststreifen und damit eine Differentialentzerrung mit Berücksichtigung einer Querentzerrung im On-line-Betrieb mit wünschenswert breiten Spaltbreiten⁸⁰.

Tafel 13: Topomat B, technische Daten

Funktionsprinzip:	Mechanische Projektion + Bildkorrelationsgestützte Transformation zentralprojektiver Messbilder in parallelprojektive Orthophotos
Topocart und Orthophot:	siehe Tafel 11.
Oromat	
Raster des Flying Spot Scanners, bezogen auf die Messbilder (mm):	2 × 1, 3 × 2, und 4 × 4
Rasterdeformation:	entsprechend den bei der Modellgenerierung erhaltenen Daten der äußeren Orientierung
y-Parallaxenelimination (mm):	bis 0,15

4.6 Das terrestrische Stereokartiergerät 'Technocart'

In den 1960er und 1970er Jahren wurde die Photogrammetrie zu einem allgemeinen physikalischen Messverfahren, das zunehmend in wissenschaftlichen und technischen Disziplinen mit Vorteil Eingang fand⁸¹. Diese reichten von der Elektronenmikroskopie und Röntgenologie⁸² bis hin zur Architektur, dem Verkehrswesen und dem Bauwesen mit Aufnahmeentfernungen bis etwa 1000 Meter. Um sich von der Photogrammetrie im Karten- und Vermessungswesen abzugrenzen, nannte man diesen Nutzungsbereich 'Industriephotogrammetrie'. Einen großen Teil solcher Arbeiten konnte man mit Stereokartiergeräten ausführen. Im Zeiss-Angebot standen hierfür nur die in der Rekonstruktions-

phase für die topographische Photogrammetrie modernisierten Geräte Stereoplanigraph und Stereoautograph zur Verfügung. In Anbetracht des engen Zuschnitts dieser Geräte auf den verschlusslosen Phototheodolit Photo19/1318 waren diese auch wenig kompatibel zu der Vielzahl unterschiedlichster Aufnahmesysteme (vor allem hinsichtlich Brennweite und Bildformat) die für die genannten Aufgabenbereiche benutzt wurden.

Als man Ende der 1960er Jahre den Stereoplanigraphen und den Stereoautographen aus der Fertigung nahm, führte man als neues weithin universelles terrestrisches Stereokartiergerät den Technocart ein, der aus der Grundvariante des Topocart abgeleitet worden war^{83,84,85}. Vor allem das Bildformat von 40 mm × 40 mm bis 230 mm × 230 mm und die Kammerkonstanteneinstellung von 45 mm bis 310 mm gab dem Technocart eine hohe Kompatibilität, so dass er auch in Kombination mit Fremd-Aufnahmegewäten bis hin zu den Teilmesskammern⁸⁶ und Überweitwinkelaufnahmekammern⁸⁷ zum Einsatz kommen konnte.

Tafel 14: Technocart D, technische Daten

Funktionsprinzip:	Mechanische Projektion
Bildformat (mm):	40 × 40 bis 230 × 230
Betrachtungsvergrößerung:	6; 8,5; 12 fach
Sehfeld im Bild (mm):	40; 28; 20
Kammerkonstante c_k (mm):	45 bis 310
Öffnungswinkel Z-Y und Z-X-Ebene (°):	je 104
Basiskomponenten (mm)	
b_x :	0 bis 240
b_y :	-20 bis +20
b_z :	-20 bis +20
Konvergenz (gon):	-2 bis +6
Maschinenkoordinaten (mm)	
X:	-240 bis +240
Z:	-240 bis +240
Y:	+ 35 bis +350
Zeichenfläche (mm):	900 × 1200
Vergrößerung Maschine-Tisch:	0,16 bis 6,23 fach

4.7 Das Luftbildstereokartiergerät 'Topoflex'

In den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts waren in den U.S.A. die Doppelprojektoren die meist genutzten Stereokartiergeräte für die Herstellung von topographischen Karten in mittleren und kleinen Maßstäben. Überall in der Welt, wo die Photogrammetrie unter US-amerikanischem Einfluss betrieben wurde, gab es eine Nachfrage nach Doppelprojektoren. Dies veranlasste auch

die führenden europäischen Produzenten photogrammetrischer Technik über derartige Neukonstruktionen nachzudenken⁸⁸. Im Jenaer Zeisswerk kam eine solche Entwicklung am Anfang der siebziger Jahre mit dem 'Topoflex' zum Abschluss.

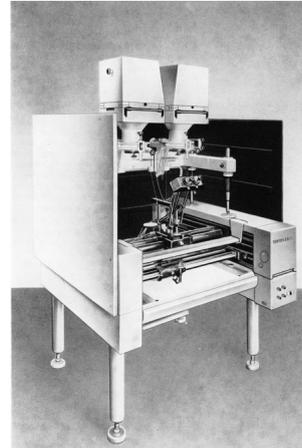


Bild 31: Topoflex

Neben der Hauptverwendung zur Kartierung in mittleren und kleinen Maßstäben war der Topoflex auch für die Kartenergänzung und das Training von Stereooperatoren ausgelegt. In seiner Anwendung war das Gerät bestimmt für die Stereoauswertung von Weitwinkelmessbildern der Bildformate 180 mm × 180 mm und 230 mm × 230 mm, mit einer Brennweite (Kammerkonstanten) von 110 und 152 mm. Nutzbar war der Topoflex auch für die photographische Entzerrung von Einzelbildern bis zum Bildformat 300 mm × 300 mm⁸⁹.

Gegenüber konkurrierenden Doppelprojektoren war das neue Gerät von Zeiss-Jena auch für die Auswertung von Color-Messbildern geeignet. Deshalb waren prinzipielle Veränderungen am klassischen Grundkonzept des Doppelprojektors erforderlich⁹⁰. Diese betrafen das Betrachtungssystem und die Beleuchtungseinrichtung.

Die Verwendung von Color-Luftbildern bedingte das Abgehen von einer Bildtrennung nach dem Anaglyphenverfahren von d'Almeida. Sie wurde ersetzt durch eine örtliche Bildtrennung. Die homologen Bildausschnitte der Stereoteilbilder wurden auf zwei nebeneinander liegende Projektionsflächen abgebildet und hier mit einem Spiegelstereoskop betrachtet. Der Wegfall der Anaglyphenfilter brachte bereits wesentlich hellere Projektionsbilder, so dass der Topoflex auch in normal beleuchteten Räumen betrieben werden konnte.

Die zur Erreichung einer notwendigen Schärfentiefe starke Ablendung der Projektionsobjektive, einer speziellen Variante des Lamagon, verlangte eine besonders sorgfältige Konstruktion des Beleuchtungsapparates. Dieser bestand aus einer 24-V-/250-W-Halogenlampe und einem Fresnel-Kondensator. Die übliche Ausführung derartiger Kondensoren weist eine starke chromatische Aberration auf. Dieser Fehler tritt besonders störend in Erscheinung, wenn eine Lichtquelle kleiner Ausdehnung in die Pupille eines stark abgeblendeten Objektivs abgebildet werden muss. Um eine

farbfreie, gleichmäßige Ausleuchtung und Abbildung zu erreichen, war die Entwicklung eines bifokalen Fresnel-Kondensors erforderlich. Um von allen Farbkomponenten des 'weißen' Lichts der Lampe einen gleichen Anteil in der Blendenebene des Projektionsobjektivs zu erhalten, wurde der Fresnel-Kondensor so ausgebildet, dass jeweils benachbarte Rillen im Wechsel für zwei Farbschwerpunkte den gleichen Fokus hatten.

Tafel 15: Topoflex, technische Daten

Funktionsprinzip:	Optische Projektion
Bildformat (mm):	Stereokartierung 180 × 180 und 230 × 230 Entzerrung bis 300 × 300
Kammerkonstante (mm):	110 (für 180 × 180) 152 (für 230 × 230)
Fokussierung (mm):	-3 bis +8
Blenden:	16, 22, 32, 45
Betrachtungsvergrößerung:	4,5 bis 9 fach
Sehfeld im Messbild (mm):	30 bzw 15
Orientierungselemente	
Längsneigung (gon):	-8 bis +8
Querneigung (gon):	-8 bis +8
Kantung (gon):	-15 bis +15
Gemeinsame Längsneigung (gon):	-3 bis +3
Gemeinsame Querneigung (gon):	-6 bis +6
Basiskomponenten (mm)	
b_x :	130 bis 315
b_y :	-20 bis +20
b_z :	-25 bis +25
Modellbereiche (mm)	
X:	550
Y:	650
Z:	300
Vergrößerung:	
Bild ---> Modell:	2,1 bis 3,0 fach
Modell ---> Kartierung:	0,16 bis 2,0 fach
Zeichenfläche (mm):	600 × 700

4.8 Das Luftbildkartiergerät 'Stereoplot'

Am Beginn der achtziger Jahre überstieg die Anzahl der bis dahin ausgelieferten Stereokartiergeräte der Typen Stereometrograph und Topocart die Schwelle von 1200. Man glaubte damals, dass in einer Reihe von Entwicklungs- und Schwellenländern Bedarf für ein sehr einfaches Analog-Auswertegerät unterhalb des Topocart-Niveaus vorhanden wäre. So entstand der Stereoplot⁹¹.

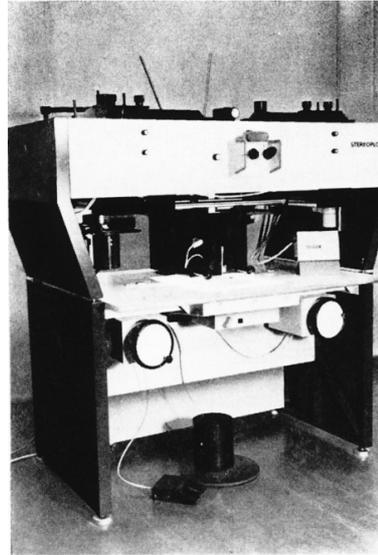


Bild 32: Stereoplot

Charakteristisch für den Stereoplot ist sein modularer Aufbau. So konnte er steigenden Anforderungen in zwei Nachrüstungsstufen angepasst werden. Bild 33 zeigt den sehr einfachen Aufbau des Geräts. Es arbeitet nach dem Prinzip der mechanischen Projektion.

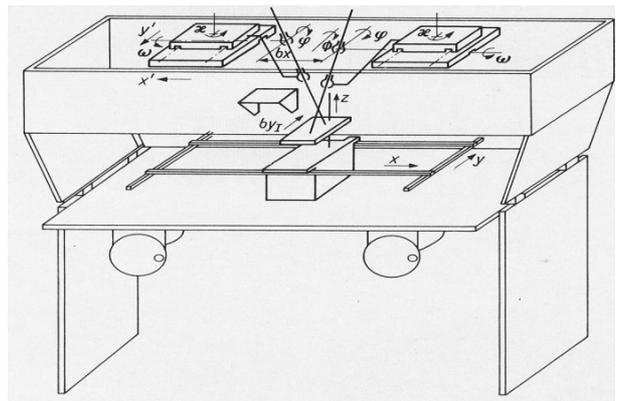


Bild 33: Stereoplot, schematischer Aufbau

Die beiden Raumlenker steuerten die Transformation der Raumkoordinaten X, Y und Z in die Bildkoordinaten x' , y' des linken und x'' , y'' des rechten Messbildes und erzeugten dementsprechend die notwendigen Verschiebungen der beiden Bildträger.

In der Grundvariante des Stereoplot waren die beiden Raumlinsen direkt an einem Zeichenkopf angeordnet, der vom Operateur frei über einer Internzeichenfläche (Internzeichentisch) verschoben werden konnte. In einer zweiten Ausbaustufe konnte ein konventioneller Handradantrieb mit dem Anschluss eines externen Zeichentisches nachgerüstet werden. In seiner höchsten Ausbaustufe besaß der Stereoplot Anschlussmöglichkeiten auch für weitere Peripheriegeräte zur Digitalisierung und elektronischen Speicherung von Messwerten sowie für den Ausbau zu einem computergestützten Kartiersystem.

Tafel 16: Stereoplot, technische Daten

Funktionsprinzip:	Mechanische Projektion
Bildformat (mm):	230 × 230
Kammerkonstanten (mm):	87, 153, (Option 212) jeweils ± 3
Sehfeld im Messbild (mm):	32
Betrachtungsvergrößerung:	7 fach
Orientierungselemente	
Längsneigung (gon):	-5,5 bis +5,5
Querneigung (gon):	-5,5 bis +5,5
Kantung (gon):	-15 bis +15
Gemeinsame Längsneigung (gon):	-5 bis +5
Basiskomponenten (mm)	
b_x :	+60 bis + 220
b_y :	-10 bis +10
Maschinenkoordinaten (mm)	
X:	380
Y:	480
Z:	+40 bis +350
Internzeichentisch (mm)	
X:	380
Y:	480
Externzeichentisch (mm):	900 × 1200

4.9 Zusatzeinrichtungen für Analog-Stereokartiergeräte

Um den mechanischen und optischen Aufbau sowie ihre Dimensionen in vertretbaren Grenzen zu halten, wurden die Analog-Stereokartiergeräte jeweils für einen bestimmten Anwendungsbereich konzipiert. Gelegentlich konnten so Forderungen auftreten, die über diese Begrenzungen hinausgingen. Diese bezogen sich vornehmlich auf die Erwei-

terung der Arbeitsbereiche oder auch auf die Verbesserung der Kompatibilität zu Geräten fremder Hersteller. Im Jahre 1972 entstanden deshalb für die Analog-Stereokartiergeräte mit dem 'Neigungsrechner' und dem 'Modellkorrektor' zwei bemerkenswerte Zusatzeinrichtungen. Mit ihrer Hilfe war es möglich, die Arbeitsbereiche von Stereokartiergeräten zu erweitern und ihr Zusammenwirken mit Geräten fremder Herkunft (vor allem Aufnahmekammern) zu verbessern.

4.10 Der 'Neigungsrechner'

In den 1960er Jahren entwickelte sich die Photogrammetrie zu einem Messverfahren, das über das Karten- und Vermessungswesen hinausgehend, in einer Reihe von wissenschaftlichen und technischen Disziplinen zur Anwendung kam. Neben der Terrestrischen Photogrammetrie und der Aerophotogrammetrie entstand der Begriff der 'Nahbereichsphotogrammetrie' (s.a. 'Industriephotogrammetrie'⁹²). Zunächst kamen hier jene Geräte zur Anwendung, die im Rahmen des Rekonstruktionsprogrammes für die Terrestrische Photogrammetrie entstanden waren. Für die Aufnahme reichte jedoch der Phototheodolit 19/1318 bald nicht mehr aus und so kamen andere photographische Aufnahmegeräte zur Anwendung. Nach dem Auslaufen der Produktion des Stereoplanigraphen wurden die diesem nachfolgenden Jenaer Stereokartiergeräte nur noch für die Auswertung von photographischen Bildern konzipiert, die in horizontaler oder vertikaler Richtung aufgenommen worden waren. Im Bereich der 'nichttopographischen Anwendungen der Photogrammetrie'⁹³ war eine solche Beschränkung auf diese Aufnahmegerichte aber oft nicht möglich.

Führte man ein um die Aufnahmebasis (Abstand der beiden Aufnahmestandorte) gekipptes stereoskopisches Bildpaar in eines der Jenaer Stereokartiergeräte ein, so reichten die für die absolute Orientierung (Modellhorizontierung) vorgesehenen Einstellbereiche nur zur Korrektur einer Modellneigung bis maximal ± 6 gon aus. Der Neigungsrechner erweiterte diese Begrenzung durch eine rechnerische räumliche Transformation der Maschinenkoordinaten bis zu einem Betrag von maximal ± 56 gon.

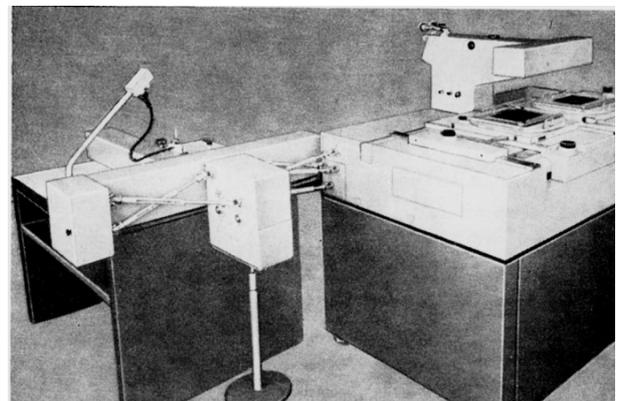


Bild 34: Neigungsrechner zwischen Auswertemaschine und Zeichentisch, angeschlossen über Hooksche Schlüssel oder Drehmelder

Für die auszuführende Transformation galt:

$$X = x$$

$$Y = y \cos \Omega - z \sin \Omega$$

$$Z = y \sin \Omega + z \cos \Omega$$

wobei X, Y, Z die Raumkoordinaten des horizontalen Modells und x, y, z die Maschinenkoordinaten sind.

Bild 35 zeigt das Funktionsprinzip des Neigungsrechners.

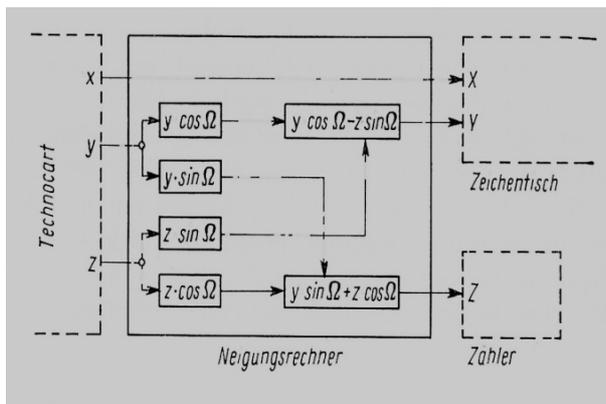


Bild 35: Funktionsprinzip des Neigungsrechners

Die Multiplikationen wurden durch auswechselbare Zahnradsätze, die Additionen und Subtraktionen durch Differenziale realisiert.

Wenn man die Antriebe x und z des Neigungsrechners vertauschte, so ergab sich eine Eindrehung des X, Y, Z-Koordinatensystems um die Z-Koordinatenachse. Eine solche Anwendung erwies sich besonders nützlich für die Vermessung von Hausfassaden und allgemein in der Architekturvermessung⁹⁴.

Eine andere nützliche Anwendung fand der Neigungsrechner auch in der Aerophotogrammetrie. Es kam hier gelegentlich vor, dass beim Bildflug eine größere Nadirdistanz entstand. Um in solchen Fällen eine Bildflugwiederholung auszuschließen oder um gelegentlich auch einmal ein Schräg-Luftbildpaar auswerten zu können, hatten die größeren Auswertezentren oft noch einen Stereoplanigraphen in Reserve. Es zeigte sich, dass solche Ausnahme- und Sonderfälle durch die Anwendung des Neigungsrechners gelöst werden konnten⁹⁵.

Erfolgreich verlief auch die Erprobung, durch die Hintereinanderschaltung von zwei Neigungsrechnern Drehungen des Maschinen-Koordinatensystems (als Primär- und Sekundär-drehung) um zwei Koordinatenachsen vorzunehmen⁹⁶.

Eine weitere Nutzung des Neigungsrechners erfolgte auch bei der Herstellung von Stereoorthophotos mit der Kombination Topocart/Orthophot. Nach dem Abfahren eines

Profilstreifens und dessen Speicherung, wurde durch nochmaliges, jetzt automatisches Abfahren, desselben Profils unter Einbeziehung des Neigungsrechners dessen Stereopartner erzeugt.

Zur Ausrüstung gehörten Zahnradwechselpaare für

$$\Omega = 10, 20 \text{ und } 29,95 \text{ gon}$$

sowie $\Omega = 15, 30 \text{ und } 45^\circ$

4.11 Der 'Modellkorrektor'

Restfehler der Verzeichnung von Aufnahmeobjektiven⁹⁷, Erdkrümmung, Atmosphärische Refraktion, Flughöhe und eine Vielzahl von kleinen Restfehlern der Geräte, aber auch Restfehler der gegenseitigen Bildorientierung und Filmdeformationen führten bei der Auswertung mit Analog-Stereokartiergeräten zu einer sogenannten 'Modellverbiegung'⁹⁸. In den 1960er Jahren hat man versucht, diese genannten Fehler zu isolieren und an ihrer Quelle zu eliminieren. Dies führte u.a. zur Berechnung und der Fertigung von optischen Kompensationsplatten⁹⁹, die in den Messstrahlengang von Stereoauswertegeräten eingeführt wurden¹⁰⁰. Die Vielzahl der variablen Eingangsparameter für die Konstruktion führte zu einer beachtlichen Anzahl derartiger Korrektionsplatten, die in der Praxis weder für den Gerätehersteller noch für den Anwender handhabbar war.

So entstand das Projekt, eine Modellverbiegung nicht durch Korrekturen an den einzelnen Fehlerquellen zu beheben sondern zusammengefasst an den Maschinenkoordinaten des Auswertegeräts vorzunehmen. Die Summe aller Restfehler verursachte erfahrungsgemäß eine paraboloidische Auf- oder Durchbiegung mit einem Maximum in der Modellmitte. So ergab sich eine notwendige Korrektur der Höhenzähleranzeige um

$$\Delta Z = c_z r^2$$

wobei r der Grundrissabstand eines Modellpunkts P von der Modellmitte war. Ersetzt man den Radiusvektor r durch rechtwinklige Koordinaten x und y , dann erhält man

$$\Delta Z = c_z (c_x x^2 + c_y y^2)$$

Mit den Einstellwerten $c_x = c_y$ erhielt man ein rotations-symmetrisches Paraboloid und mit c_x oder $c_y = 0$, eine zylinderähnliche Auf- oder Durchbiegung längs der X- oder Y-Achse.

Bild 36 zeigt den Modellkorrektor¹⁰¹.

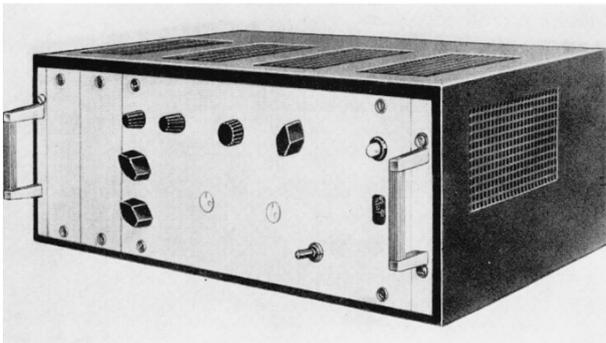


Bild 36: Modellkorrektor

Der Modellkorrektor war ein Analogrechner, der mittels 'Elektrischer Wellen' die Maschinenkoordinaten übernahm. Mittels Drehmeldern, Differenzialdrehmeldern und Funktionspotentiometern erfolgte die Reduktion der Messwerte auf die Modellmitte und die Berechnung der Höhenkorrektur sowie der Berichtigung der Höhenzählerangabe.

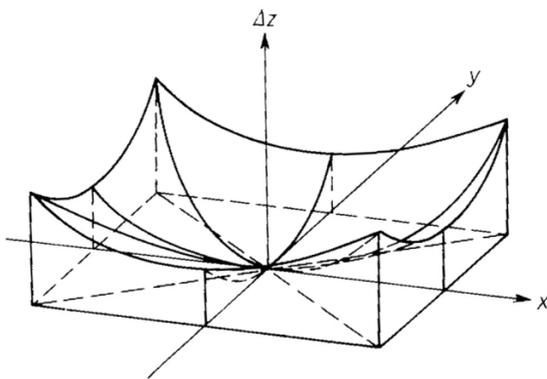


Bild 37: Modellkorrektor, Korrekturfläche

Die Bestimmung der Einstellelemente c_x, c_y, c_z konnte nach Daten der Normalatmosphäre, der Flughöhe, des geodätischen Referenzellipsoids und der Kalibrierungsergebnisse von Aufnahme- und Auswertegeräten rechnerisch erfolgen oder empirisch durch die Stützung auf bekannte Höhen von Passpunkten in den Modellecken und in der Modellmitte.

Bei praktischen Arbeiten mit dem Modellkorrektor fand man heraus, dass er auch geeignet war, in Auswertegeräten mit optischen oder mechanischen Raumlenkern affine Schrumpfungen der Messbilder zu kompensieren. In solchen Fällen berechnete man Korrekturen für die Maschinenkoordinaten nach

$$\Delta X = f(\underline{x}) \text{ oder}$$

$$\Delta Y = f(\underline{y})^{102}$$

4.12 Das Analytische Stereokartiergerät 'Dicomat'

Um die Mitte der achtziger Jahre nahm man erneut Arbeiten zur Entwicklung eines Analytischen Stereokartiergerätes auf. In diesem Rahmen kam es auch wieder zur kurzzeitigen Zusammenarbeit mit Fremdfirmen¹⁰³. Des Weiteren wurden zu dieser Zeit von anderen Produzenten photogrammetrischer Technik ohne Zusammenarbeit mit dem Jenaer Zeisswerk auf kommerzieller Basis Umrüstungen des in der Welt weit verbreiteten Topocart zu einem Analytischen Auswertegerät angeboten.

Am Ende der achtziger Jahre stellte dann das Jenaer Zeisswerk sein neues Analytisches Auswertegerät Dicomat vor^{104,105}.

Der Dicomat (Bild 38) bestand aus einem optisch-mechanischen Messgerät, einer Steuerelektronik, einem Anwenderrechner mit Drucker und einem Zeichentisch. Das optisch-mechanische Messgerät war ein Stereokomparator, dessen Bildwagen unabhängig voneinander in x' -, y' -, x'' - und y'' -Richtung unter einem feststehenden Stereomikroskop verschoben werden konnten.



38: Dicomat

Die interne Steuerelektronik bestand aus mehreren Computereinheiten, die den verschiedenen Gerätefunktionen zugeordnet werden konnten. Der Anwenderrechner (Arbeitsplatzrechner) war ein Personalcomputer IBM PC/XT bzw. Robotron EC 1834

Als Carl Pulfrich bei der konstruktiven Überarbeitung des v. Orelschens Experimentalgeräts Autostereograph im Jahre 1909 den Antrieb des mechanischen Projektionssystems auf die Modellkoordinaten X, Y und Z verlegte¹⁰⁶, besorgte das verkoppelte Linealsystem des Stereoautographen eine Transformation der Modellkoordinaten in die Bildkoordinatenpaare x', y' und x'', y'' nach denen die Bildträger unter den Objektiven eines Stereomikroskops verschoben wurden. Dieser Prozess erfolgte kontinuierlich und erlaubte es dem Operateur, das optische Modell linienhaft abzutasten. An die Stelle des gemessenen Punktes trat die 'gemessene Linie'. Bis dahin notwendige Interpolationen zwischen Stützpunkten entfielen. Im Dicomat übernahm ein schneller 16-bit-Multimikroprozessor die Transformation der Maschinenkoordinaten X, Y, und Z in Bildkoordinaten. Dieser erhielt die über Handräder und Fußscheibe eingegebenen und digitalisierten Modellkoordinaten und führte punkt-

weise Transformationen in einer Frequenz von 50 Hz aus. Bei einer Antriebsgeschwindigkeit von 25 mm/s hatten die transformierten Punkte im Bild einen Abstand von 0,5 Millimeter. Das Ergebnis dieses 'Echt-Zeit- (Real-Time-) Prozesses' war der 'gemessenen Linie' gleichwertig und auch der Operateur empfand die Bewegung der Messmarke im Modell als stetig und ruckfrei.

Alle Aktivitäten, die einen solchen Echt-Zeit-Betrieb nicht erforderten, wie z.B. die Ermittlung der Daten der relativen und absoluten Orientierung wurden dem Anwenderrechner zugewiesen.

Gegenüber den Analog-Stereokartiergeräten besaß der Dicomat eine große Flexibilität. Über seine Anwendung für das Auswerten zentralperspektiver Messbilder hinaus, konnte er bei entsprechender Gestaltung des Transformationsalgorithmus auch bei anderen Bildgeometrien (z. B. der von Streifenkammern, Panoramakammern und Scannern) verwendet werden^{107,108}.

Tafel 17: Dicomat, technische Daten

Funktionsprinzip:	Mathematische Projektion
Mess- und Betrachtungsgerät Bildformat (mm):	240 × 240 + Film 310 × 310
Messbereiche für Bildkoordinaten x' , y' und x'' , y'' (mm):	0 bis 240
Freihandführung (mm):	400 × 400
Betrachtungsvergrößerung:	8 fach
Sehfeld (mm):	30
Elektronikeinheit	
Echtzeittransformation (Hz):	50
Mindestanforderungen für den Arbeitsplatzrechner:	
Arithmetikprozessor / Hauptspeicher > 640 kByte / 1 Floppy-Disc-Laufwerk 5,25'' / Hard Disc > 20 Mbyte / Graphikbildschirm / 2 serielle Schnittstellen (RS 232C oder IFSS) / Centronics-Schnittstelle für Drucker / MS-DOS-Betriebssystem ab Version 3.0	

4.13 Registrier- und Rechnerperipherien für Stereokartiergeräte

Am Beginn der dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts hatte die Aerophotogrammetrie einen Leistungsstand erreicht, der ab 1934 zu wiederholten Versuchen führte, sie auch für die Herstellung von großmaßstäblichen Katasterplänen zu verwenden¹⁰⁹. Die Arbeiten waren durch die Ereignisse des Zweiten Weltkriegs stark verzögert worden und kamen erst Mitte der fünfziger Jahre zum erfolgreichen Abschluss^{110,111,112,113}.

Der routinemäßige Einsatz der Aerophotogrammetrie für die Herstellung großmaßstäblicher Kataster- und Grundbuchkarten fiel nahezu zusammen mit dem einsetzenden

Übergang vom graphischen Kataster zum Zahlen-Kataster. So ging die Verwendung eines mit der Auswertemaschine gekoppelten Zeichentischs bei diesen Arbeiten mehr und mehr zurück. Vielmehr wurden die Maschinenkoordinaten durch eine numerische Transformation direkt in das katastrale Koordinatensystem überführt. Dazu mussten die Maschinenkoordinaten an den bis dahin üblichen Analogzählern der Stereokartiergeräte abgelesen werden. Dies war mühsam und fehlergefährdet. Die Jenaer Stereoplanigraphen hatten deshalb bereits im Rekonstruktionsprogramm Digitalzähler für die Ausgabe der Maschinenkoordinaten erhalten. Aber eine automatische Ausgabe der Messwerte auf maschinenlesbaren Datenträgern war außerordentlich wünschenswert. Mit der Entwicklung einer solchen Geräteperipherie wurde in der zweiten Hälfte der fünfziger Jahre unter der Bezeichnung 'Coordimeter' begonnen.

4.14 Das Datenerfassungsgerät 'Coordimeter'

Das erste automatische Registriergerät für die Jenaer Stereokartiergeräte erschien im Jahr 1958¹¹⁴ mit dem Beginn der 'Coordimeter-Reihe'. Diese wurde bis zum Jahr 1984, dem jeweiligen Stand der Datenverarbeitungstechnik folgend, in acht Versionen (Coordimeter A bis Coordimeter H) fortgesetzt. Nach den Stereokartiergeräten wurden Coordimeter auch als Registrierperipherien an anderen photogrammetrischen Messgeräten verwendet.

Das Coordimeter A basierte auf einem elektromechanischen Rechenwerk des damaligen Büromaschinenwerks in Sömmerda; es verfügte über Rechenmodule für Addition, Subtraktion und Multiplikation^{115,116,117}.



Bild 39: Coordimeter A

Bild 39 zeigt das elektromechanische Rechenwerk mit Schreibmaschine (links) und dem Steuergerät (rechts). Die Messspindeln X, Y und Z des Stereokartiergeräts waren über 'Elektrische Wellen' mit dem Steuergerät verbunden. Hier wurden die Messwerte digitalisiert, angezeigt und an das Rechenwerk übergeben sowie dort in Formularen ausgedruckt. Es war auch möglich die Ergebnisse auf Lochstreifen oder/und Lochkarte zu speichern. Die gewonnenen Messwerte konnten aber auch dem Rechenwerk zur weiteren Datenverarbeitung zugewiesen werden.

Neben der Registrierung der Maschinenkoordinaten standen folgende Programme für die Weiterverarbeitung der Primär-

daten zur Verfügung: Umwandlung der Z-Koordinaten in beliebige Maßstäbe und beliebige Maßeinheiten (Meter/Feet/Inches/Miles), Registrierung der Maschinenkoordinaten unter Berücksichtigung eines affinen Verzerrungsfaktors zwischen den X-, Y- und Z-Koordinaten, Transformation der Koordinaten X und Y in das Landeskoordinatensystem, Flächenberechnung von Polygonen (in Quadratmeter oder Acres). Zwei weitere Programme unterstützten den Operateur bei der Bestimmung von Elementen der relativen und absoluten Orientierung stereoskopischer Bildpaare. Damit bildete die Kombination Coordimeter A – Auswertegerät ein leistungsfähiges computergestütztes photogrammetrisches Kartierungssystem¹¹⁸.

Im Jahr 1973 erfolgte mit der Umstellung auf das Coordimeter F der Übergang auf ein elektronisches Funktionsprinzip für die automatische Registrierung von Messwerten. Hauptfunktionselement für die Übergabe der Messwerte von der Auswertemaschine zum Coordimeter wurde jetzt der im Jenaer Zeisswerk entstandene rotatorische Inkrementalgeber IGR. Bei der Umdrehung einer codierten Scheibe lieferte er Impulse, die von einem elektronischen Zähler je nach Drehrichtung addiert bzw. subtrahiert wurden¹¹⁹. Besondere Vorzüge des elektronischen Coordimeters gegenüber seinen elektromechanischen Vorgängern war die hohe Arbeitsgeschwindigkeit. Diese erlaubte die Entnahme von Koordinaten im kinematischen Betrieb. Hierdurch war beim Abtasten von Raummodellen eine Registrierung in kurzen Zeit- oder Wegintervallen auf Profilen oder Raumkurven bei unmittelbarer Speicherung der Raumkoordinaten möglich. Dies führte in der weiteren Datenverarbeitung zur Digitalen Karte und zum Digitalen Geländemodell (DGM)¹²⁰.

Der modulare Aufbau des Coordimeters F erlaubte die Auslegung des Geräts für ein bis vier Registrierkanäle (zur Anwendung auch außerhalb der photogrammetrischen Technik). Dabei konnte der Antrieb der inkrementalen Geber direkt von der Messspindel aus oder über die Zwischenschaltung einer 'Elektrischen Welle' (insbesondere für die Nachrüstung älterer Geräte mittels einer 'Digitizerbox') vorgenommen werden.

Hauptbestandteil des Coordimeters G (1978) und seiner Erweiterung Coordimeter H (1984) wurde ein leistungsfähiger Mikrorechner mit einem Bildschirm-Display^{121,122}.

Der Mikrorechner war in der Lage, außer der Registrierung auch noch weitere Funktionen zur Entlastung des Operateurs zu übernehmen und Berechnungen auszuführen. In der On-Line-Verbindung mit einem Kleinrechner und einer

Magnetbandeinheit entstand ein leistungsfähiges Gerätesystem für die Herstellung digitaler Karten und Pläne sowie für die Generierung von Digitalen Geländemodellen¹²³.

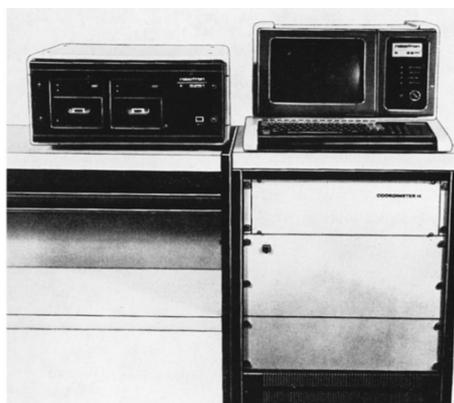


Bild 40: Coordimeter H

Tafel 18: Coordimeter H, technische Daten

Funktionsprinzip:	Inkrementale rotatorische Geber IGR + Mikrorechner
Verwendbar für:	
die Stereokartiergeräte:	Stereoautograph, Stereometrograph, Stereoplanigraph, Stereoplot, Stereotrigomat, Technocart, Topocart, Topoflex, Topomat
die Koordinatenmessgeräte:	Dicometer und Stecometer
die Präzisionskoordinatographen:	Präkordi und Cartimat
Registriereinheit (mm):	0,001; 0,01 oder 0,1
Umrechnung in andere Maßeinheiten	
Automatische Registrierung:	In Zeit- oder Wegintervallen
Ausgabedatenträger:	Drucker, Lochstreifen, Magnetband oder On-Line-Übergabe an einen Rechner. (Gleichzeitiger Anschluss von zwei Ausgabegeräten)

5.0 Die Koordinatographen und Zeichentische

Bereits im Rekonstruktionsprogramm entstand als graphische Ausgabeinheit für den Stereoautographen ein Koordinatograph. Auch die folgenden Stereokartiergeräte erhielten bis in die 1980er Jahre hinein derartige graphische externe Ausgabeperipherien unterschiedlicher Größe und Ausstattung. Insbesondere mit den Präkordis der E-Reihe, dem Cartimat und dem Digitalzeichentisch DZT stiegen die Koordinatographen zu einer Gruppe eigenständiger Geräte auf, die in beträchtlichen Stückzahlen auch außerhalb der Photogrammetrie genutzt worden sind.

5.1 Der Präzisionskoordinatograph ‘Präkordi’

In der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts gab es noch keine leistungsfähigen Rechenhilfsmittel. So empfand man es als vorteilhaft durch Nutzung der großen photogrammetrischen Analogauswertegeräte Pläne und Karten der unterschiedlichsten Maßstäbe ohne jede Rechnung aus stereoskopischen Luftbildpaaren herstellen zu können (Otto von Gruber: >Wer viel rechnet, hat vorher zu wenig nachgedacht; Photogrammetrie, das ist die Kunst, die Rechnung zu vermeiden<¹²⁴). Die Ausgabe des graphischen Ergebnisses einer Auswertung übernahm ein mit der Auswertemaschine über Maßstabsgetriebe gekoppelter Koordinatograph (Zeichentisch). Seine Zeicheneinrichtung wurde mit senkrecht zueinander stehender Primär- und Sekundärspindel bewegt. Diese beiden Antriebe konnten wahlweise mit jeweils zwei von den X-, Y.- und Z-Spindeln des Auswertegeräts zur Auftragung von Profilen oder Grundrissen verbunden werden. Ein solches Gerät mit einer freien Zeichenfläche von 800 mm × 800 mm, wie es im Jahr 1953 im Rahmen des Rekonstruktionsprogramms als Zeichentisch für den Stereoautographen wiedererstanden war, zeigt Bild 41.



Bild 41: Präkordi 80 × 80

Mit der Entwicklung der neuen Stereokartiergeräte entstanden dann bis 1979 die Koordinatographen Präkordi 90 × 120 und Präkordi 120 × 120 mit freien gläsernen Zeichenflächen von 900 mm × 1200 mm und 1200 mm ×

1200 mm¹²⁵. Als Peripheriegeräte waren sie mit den großen Auswertemaschinen durch ‘Elektrische Wellen’ verbunden. Die Auftragung erfolgte wahlweise mit Bleistiftminen, Tuscheschreibern, Kugelschreiberminen (‘Fisher-Minen’) oder durch Schichtgravur auf Folien sowie auf asphaltbeschichteten Glasplatten mit Stichelwerkzeugen¹²⁶.

Neben den Anwendungen in der Photogrammetrie hatten die Jenaer Präzisionskoordinatographen auch auf anderen Gebieten der Technik als eigenständige Geräte eine Bedeutung. In der Geodäsie dienten sie zum Auftragen von Geodätischen Netzen sowie in weiteren Disziplinen zur Festlegung hochgenauer rechtwinkliger Bezugssysteme.

Mit einigen instrumentellen Erweiterungen konnten die Präkordis sowohl als Digital-Analogwandler als auch als Analog-Digitalwandler genutzt werden. Mit Handrädern und digitalen Eingangszählern ergänzt, konnte man digitale Daten in graphische Darstellungen überführen. Bei Kopplung mit einem elektronischen Koordinatometer konnten graphische Darstellungen digitalisiert und in digitale Informationssysteme überführt werden. Dies war ein wichtiger Prozess beim Aufbau von Geographischen Informationssystemen (GIS)¹²⁷.

Am Beginn der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts entstand im Jenaer Zeisswerk das ‘Gerätesystem E’. Hier waren Geräte und Gerätekomplexe zur Herstellung und Kontrolle von Mikrostrukturen in lichtempfindlichen Schichten auf Glas, Keramik und Halbleitersubstraten zusammengefasst. Das Gerätesystem E war in erster Linie für den Bedarfskomplex photolithographischer Trockenprozesse in der Halbleiterindustrie geschaffen worden. Es beinhaltete sowohl die Geräte zur Herstellung und Kontrolle der Mikromasken als auch die Maskenverarbeitungsgeräte zur Übertragung der Mikrostrukturen auf die Halbleiter- oder Dünnschichtsubstrate. Zu den frühen Angeboten dieses neuen Geschäftsbereichs gehörten auch die bei Bildmess entwickelten Sonderformen des Präzisionskoordinatographen der E-Reihe¹²⁸.

Bei der Herstellung von elektronischen Schaltkreisen ergab sich die Notwendigkeit der graphischen Darstellung der konzipierten Schaltungen. In der Mikroelektronik hatte sich damals zur Herstellung der Schablonen- oder Mikromasken-Vorlagen die Schneidtechnik unter Verwendung von Glasplatten oder Folien mit abziehbarem Lack als vorteilhaft erwiesen, weil damit die Darstellung von großflächigen Figuren rationell möglich war und qualitativ hochwertige Schneidkanten erhalten wurden¹²⁹.

Der mit Handrädern, digitalen Handradzählern und einer Schneidvorrichtung für gerade Linien und Kreise mit veränderlichem Radius erweiterte Präkordi 90 × 120 bewährte sich für die Herstellung der Schablonen- und Maskenvorlagen (Bild 42).

In den siebziger Jahren wurden wesentlich höhere Stückzahlen von Präkordis an die elektronische Industrie geliefert

als an geodätische, kartographische und photogrammetrische Einrichtungen.

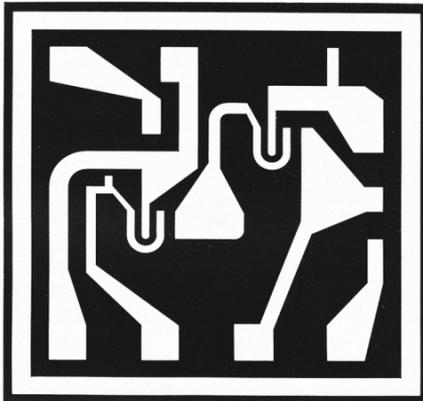


Bild 42: Prækordi E, Testbeispiel

5.2 Der Präzisions-Großkoordinatograph 'Cartimat'

Angeregt durch den zunehmenden Aufbau digitaler Datenbanken in einer Reihe von wissenschaftlichen und technischen Disziplinen entwickelte man am Ende der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts im Jenaer Zeisswerk einen automatischen Großkoordinatographen. Seine Zweckbestimmung war es, digitale Daten durch Übertragung in analoge graphische Darstellungen dem menschlichen Verständnis näher zu bringen aber auch in graphischer Form vorliegende Ergebnisse in die digitale Welt zu überführen. Die Entwicklungsarbeiten am Cartimat profitierten zunächst wesentlich von den im Stereotrigomatprojekt gewonnenen Erfahrungen und von der Übernahme dort erprobter und bewährter Baugruppen des internen Stereotrigomat-Zeichentischs^{130,131}.

Zwischen 1966 und 1981 wurden sechs Versionen des Cartimat gefertigt. Die ersten drei, Cartimat I bis III, waren vornehmlich für das Karten- und Vermessungswesen konzipiert. Die Cartimat-Typen III E, III ER¹³² und 1218¹³³ erfüllten darüber hinaus vor allem die Forderungen der elektronischen Industrie.

Der Cartimat I (1966) war vornehmlich ein Digital-Analog- und ein Analog-Digitalwandler. In seiner ersten Funktion besorgte er die Auftragung der mit der Handtastatur oder über digitale Datenträger eingegebenen rechtwinkligen Koordinaten auf einem Zeichentisch. Mit Hilfe eines digitalen Wegmesssystems erfolgte dabei der ständige Abgleich der eingegebenen und aufgetragenen Koordinaten. Die eingegebenen und gemessenen Koordinaten wurden außerdem an einer numerischen Sichtanzeige gegenübergestellt. In der zweiten Funktion geschah die Einstellung von Punkten auf Plänen und Karten nach Austausch des Punktierwerkzeugs mittels eines Mikroskops durch Handsteuerung. Ein angeschlossenes Coördimeter gab die x- und y-Koordinaten in Klarschrift oder auf digitalen Datenträgern aus.

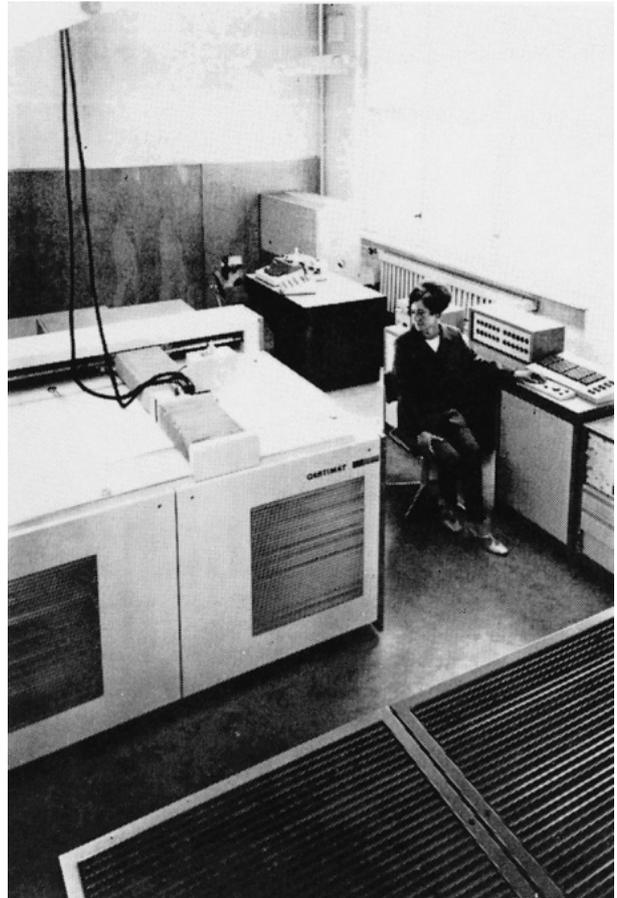


Bild 43: Cartimat

Der Cartimat II (1968) war für das Zusammenwirken mit einem Fremdrechner bestimmt. Die Funktionen einer solchen Kombination wurden auf das Zeichnen von Punktverbindungen sowie von Kurven erweitert. Für die geradlinige Verbindung zweier Punkte wurden aus ihren Koordinatendifferenzen die Steigungswinkel der Verbindungsgeraden berechnet. Die Verbindung vorgegebener Punkte durch eine Kurve (z.B. einer Isolinie) wurde auf das geradlinige Verbinden zwischen nahe beieinander liegenden interpolierten Stützpunkten zurückgeführt^{134,135}.

Der Cartimat III (1969) besaß einen eigenen integrierten Rechner mit fest verdrahteten Programmen für Maßstabs-umwandlungen, Geradliniges Verbinden, Interpolation für das Zeichnen von Kurven, Umwandlung von Polarkoordinaten in Rechtwinklige Koordinaten, und die Helmertransformation zwischen Rechtwinkligen Koordinatensystemen.

Nachdem sich die manuelle Schneidtechnik zur Herstellung von Schablonen und Masken mit Hilfe der E-Reihe des Präzisionskoordinatographen in der elektronischen Industrie bewährt hatte, entstanden für diese Aufgabe auch zwei Varianten des Cartimat. Der Typ E erhielt einen speziellen Werkzeugsatz für die Schneidtechnik und der Typ ER erhielt anstelle der Zeichen-, Gravur- und Schneidwerkzeuge einen Lichtzeichenkopf, mit dem Zeichnungen und Beschriftungen auf photoempfindlichen Film oder Glasplatten aufgetragen werden konnten.

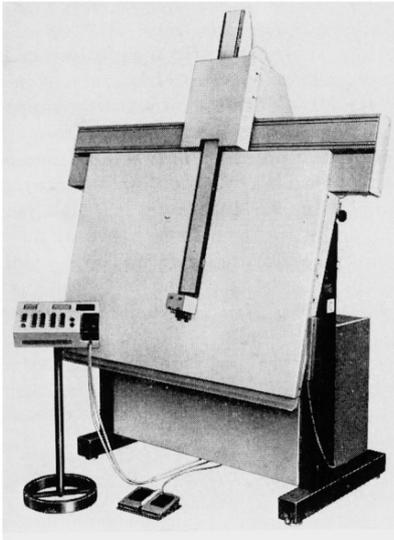


Bild 44:
DZT 90 x 120

Die Version DZT 90 x 120/RS diente als graphische Ausgabeperipherie für Computer, deren digital berechneten Punktketten aufgetragen und durch Kurvenlinien (z.B. Isolinien) verbunden wurden.

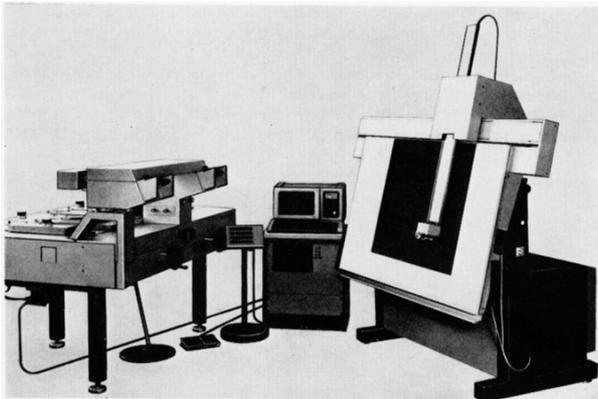


Bild 45: Das rechnergestützte Stereokartiersystem DZT 90 x 120/RGS

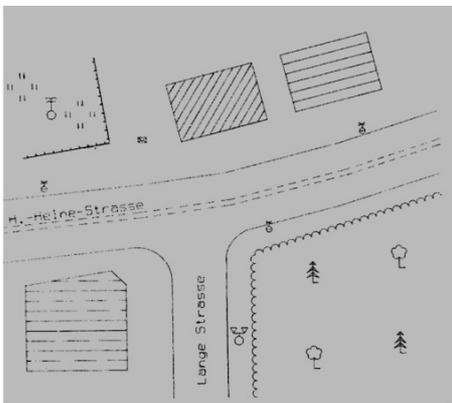


Bild 46: Ausschnitt aus einer großmaßstäblichen Stadtkartierung, ausgewertet mit dem DZT 90 x 120/RGS (ohne manuelle Nachbearbeitung)

Tafel 20: DZT 90 x 120/RGS, technische Daten

Nutzbare Zeichenfläche (mm):	900 x 120 ⁰
Neigung des Zeichentischs zur Horizontalen (°):	45, 55, 65, 75, 85
Halterung des Zeichenträgers:	Elektrostatisch
Zeichenwerkzeuge:	Kugelschreiber ('Fisher-Mine'), Bleimine, Gravurstichel
Antrieb des Kreuzschlittensystems:	Über Gleichstromstellmotoren mit Zahnstangen
Messsystem:	IGR, getrennt vom Antriebssystem
Anzahl der Zeichenwerkzeuge:	2
Arbeitsgeschwindigkeit (mm/s):	0,5; 20; 40; 80, 120, 170
Beschleunigung (m/s ²):	ca. 1
Auflösung des Zeichentisch-Messsystems (mm):	0,005
Mittlerer Positionierungsfehler (statisch) (mm):	± 0,05
Wiederholgenauigkeit (statisch) (mm):	± 0,05
Programme:	Zur Generierung von Kartensymbolen, zur Generierung von Linienarten, Gitterkartierung, Testprogramm, Beschriftung
Maßstab:	Variabel zwischen Modell und Kartierung, variabel für Linienarten, Symbole und Schrift
Koordinatenanzeige:	Modell- oder Landeskoordinaten x, y, z am Computerdisplay

Die leistungsfähigste Variante war der DZT 90 x 120RGS¹³⁹. Zwischen Stereokartiergerät und DZT arbeitete in dieser Variante ein Mikrorechner. Dieser wurde durch auswechselbare Arbeitsprogramme gesteuert, die über Diskettenlaufwerke eingegeben wurden. Dabei handelte es sich um wiederkehrende determinierte Routearbeiten, die bisher vom Stereoperateur zu leisten waren. Dazu gehörten z.B. die Berechnung von Einstellelementen für das Stereokartiergerät zur Generierung des abzutastenden Raummodells¹⁴⁰, die Transformation der Modellkoordinaten in das Landeskoordinatensystem, die Generierung von Kartenzeichen sowie Linienarten, die Erzwingung von Parallelitäten und Rechtwinkligkeiten, die Schließung von Polygonen, und die Flächenberechnung. Bild 46 zeigt den Ausschnitt einer Stadtkartierung ohne manuelle Nachbearbeitung.

6.0 Geräte der Analytischen Photogrammetrie

Vom Beginn der sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts an kam es zu einer starken Zunahme photogrammetrischer Methoden im wissenschaftlichen und industriellen Messwesen¹⁴¹. Dies und die immer schnellere Entwicklung der maschinellen Rechentechnik hatten einen erheblichen Einfluss auf den photogrammetrischen Gerätebau. Neben das Prinzip der Komplanarität¹⁴², deren Primärprozess die Ausmessung des nach dem optisch-mechanischen Orientierungsverfahren Otto von Grubers¹⁴³ generierten optischen Raummodells in den Analog-Stereokartiergeräten war, trat damals nach den Arbeiten von H. H. Schmid¹⁴⁴ und D.C. Brown das Kollinearitätsprinzip¹⁴⁵. Seine Primäreinheit war das Einzelbild.

Dessen Bildkoordinaten wurden mit Komparatoren gemessen und an einen Computer zur Bündelblockausgleichung übergeben. Dies führte zur Renaissance der Komparatoren. Das betraf zunächst den im Rahmen des Rekonstruktionsprogramms geschaffenen Stereokomparator Steko 1818. Durch die Mitwirkung einiger ausländischer Vertreterfirmen des Jenaer Zeisswerks erhielt er eine Peripherie zur Digitalisierung der Messwerte und zur Speicherung dieser auf computerkompatiblen Datenträgern. Bild 47 zeigt das von C.Z. Scientific Instruments Ltd. London modifizierte Gerät.



Bild 47: Steko 1818 mit Registrier- und Speicherperipherie der C.Z. Scientific Instruments Ltd. London



Bild 48: Monokomparator 'Ascorecord'

Aber auch das weitgehend das Abbesche Komparatorprinzip¹⁴⁶ erfüllende astronomische Koordinatenmessgerät Komess 3030¹⁴⁷ und sein späterer Nachfolger Ascorecord¹⁴⁸ kamen zur Messung von Koordinaten in photogrammetrischen Messbildern zur Anwendung.

6.1 Das Zweikoordinatenmessgerät 'Luftbildstereokomparator Stecometer'

Das Stecometer war im Jahr 1963 erstmals vorgestellt worden. Aufeinanderfolgend sind dann bis zur Mitte der achtziger Jahre die Typen A bis D produziert worden^{149,150}.

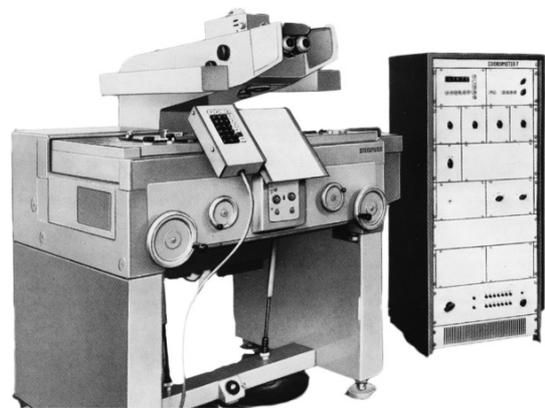


Bild 49: Stecometer C

Das Stecometer baute auf den mit dem Steko 1818 gewonnenen Erfahrungen auf. Das Bildformat wurde vergrößert auf das inzwischen allgemein übliche Maß von 240 mm × 240 mm. Weiterhin erhielt das Gerät eine automatische Registriereinrichtung, die aus dem Coördimeter abgeleitet wurde. Die Ausgabe der Messwerte erfolgte auf computerkompatiblen Datenträgern. Zunächst waren dies Lochstreifen und Lochkarten, später auch Magnetbänder. Gemessen wurden Bildkoordinaten und Bildparallaxen in Stereobildpaaren mit einer Genauigkeit von $\pm 0,002$ Millimeter. In den beiden Strahlengängen des Betrachtungsstereomikroskops angeordnete Doveprismen erlaubten die optische Drehung der Sehfelder. Damit war es möglich, Vertikalparallaxen in Horizontalparallaxen zu verwandeln und sie bei stereoskopischer Betrachtung zu messen. Ebenfalls der Steigerung der Messgenauigkeit diente die Möglichkeit der Umschaltung von orthostereoskopischer auf pseudostereoskopische Betrachtung. Aus dem linksseitigen Betrachtungsstrahlengang wurde ein Messbildausschnitt ausgeblendet, der photographisch im Bildformat 24 mm × 36 mm festgehalten werden konnte. Dies diente sowohl zur Erleichterung der Orientierung bei Wiederholungsmessungen als auch des Aufsuchens von homologen Punkten in der Überlappungszone von benachbarten Messbildern. Der Antrieb des Stecometers erfolgte mit Handrädern und Fußscheiben, sowie auch durch einen motorischen Schnellgang.

1968 wurde das elektromechanische Registrierwerk durch das elektronische Coördimeter ersetzt. Die Übertragung der Messwerte geschah dann mittels inkrementaler rotatorischer Geber, wodurch die Messgeschwindigkeit wesentlich erhöht werden konnte. Auch war es möglich, das Coördimeter durch einen Kleinststeuerrechner zu ersetzen. So kam man für eine Reihe von Anwendungen, vor allem im Bereich der Industriephotogrammetrie mit weniger umfangreichen Rechenoperationen zu einem On-Line Betrieb. Bei umfangreicheren Projekten, wie z.B. Blocktriangulationen, konnten die Komparatormessungen bereits vor ihrer Übergabe an ein Rechenzentrum hinsichtlich bekannter systematischer Fehlereinflüsse korrigiert werden. Zu nennen sind hier z.B. Fehler des Aufnahme- und Auswerteinstrumentariums, die aus Kalibrierungsprotokollen ableitbar waren, affine Schrumpfungen des Aufnahmematerials oder Auswirkungen von Refraktion und Erdkrümmung. Das Rechenzentrum erhielt sogenannte 'saubere Daten' zur Weiterverarbeitung.

Tafel 21: Stecometer C, technische Daten

Betrachtungsvergrößerung:	6, 9, 12 und 18 fach
Sehfelddurchmesser (mm):	32, 30, 25 und 17,5
Auflösungsvermögen, schwacher Kontrast (L/mm):	45, 63, 72 und 85
Optische Bilddrehung(gon): (Dove Prismen) Rasten bei:	400 0, 100, 200 und 300
Leuchtmessmarke Farbe: Helligkeit: Punktmarken-Ø (mm): Ringmarken-Ø (mm):	rot, grün, weiß regelbar 0,06, 0,04 und 0,02 0,10/ 0,07, 0,06/0,04 und 0,03/0,02 (außen/innen)
Kreuzmarke	
Messbereiche (mm): X': Y': p _x : p _y :	-140 bis +140 -140 bis +140 -10 bis +130 -40 bis +40
Bildkantung (gon):	400
Messgenauigkeit (mm):	± 0,002

6.2. Das Zweikoordinatenmessgerät 'Stereokomparator Dicometer'

Im Jahre 1985 folgte dem Stecometer, von dem über 250 Stück gebaut worden waren, als neuer Präzisions-Stereokomparator das Dicometer (Bild 50). Es war dies zugleich die erste Baustufe für das damals geplante analytische Auswertegerät Dicomat¹⁵¹.

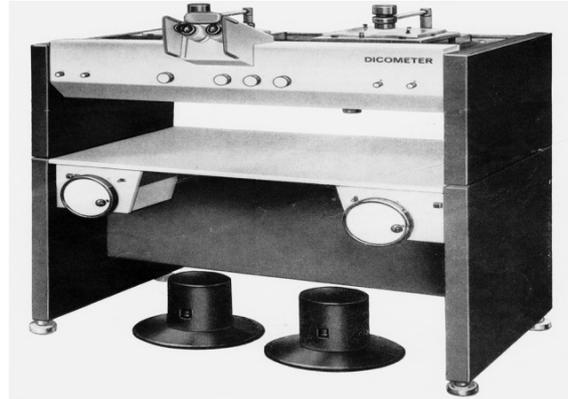


Bild 50: Dicometer

Tafel 22: Dicometer, technische Daten

Bildformat (mm):	240 × 240
Betrachtungsvergrößerung:	8, 14, 24 fach
Sehfeld (mm):	30, 17, 10
Messmarke Punktmarke (mm): Ringmarke (mm):	0,04, 0,025, 0,015 0,07, 0,11, 0,16
Optische Bilddrehung (gon):	400, einzeln und gemeinsam / Raststellungen nach je 100
Bildkoordinaten (mm) x': y': x'': y'':	+120 bis -120 +120 bis -120 +120 bis -120 +120 bis -120
Messgenauigkeit (mm):	± 0,002

Hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit und seiner Anwendungen entsprach der neue Stereokomparator im Wesentlichen seinem Vorgänger. Beim konstruktiven Aufbau nutzte man jedoch die mit dem Stereotrigomat und dem Topocart gewonnenen Erfahrungen. Die Bildträger des Dicometers wurden wie bei den genannten Geräten unter einem feststehenden Stereomikroskop in x'- und y'-Richtung bewegt. Bewegungen innerhalb des Dicometers erfolgten mittels Drehmeldern. Die Übertragungen von Mess-

werten innerhalb des Geräts und zu den Peripheriegeräten besorgten inkrementale rotatorische Geber (IGR).

Als periphere Ausgabereinheit diente das elektronische Coördimeter H mit Speicherung der Messwerte auf computerkompatiblen Datenträgern. Des Weiteren war auch eine On-Line Datenübergabe an einen Kleinsteuerrechner möglich.

6.3 Die Messung von Bildkoordinaten in Stereokartiergeräten

Bestand die Notwendigkeit zur gelegentlichen Messung von Bildkoordinaten, so konnten dafür auch die Stereokartiergeräte Stereotrigomat, Topocart und Technocart benutzt werden¹⁵². Die Nachrüstung mit inkrementalen Auflicht-Längenmesssystemen (IAL) machte diese Geräte, bei denen die Messbilder unter einem feststehenden Stereomikroskop horizontal in x- und y-Richtung verschoben wurden, zusätzlich zu ihrer Stereokartierfunktion auch zu außerordentlich leistungsfähigen Stereokomparatoren. Bild 51 zeigt das Topocart mit inkrementalen Auflicht-Längenmesssystemen (IAL), die eine Auflösung von 0.001 Millimeter besaßen.



Bild 51: Topocart mit inkrementalen Auflicht-Längenmesssystemen

6.4 Das Punktübertragungsgerät 'Transmark'

Für eine Reihe von photogrammetrischen Arbeiten erwies es sich als vorteilhaft, vor der Ausmessung bestimmte Punkte in den Messbildern zu markieren. Dies konnte bereits vor der Messbildaufnahme durch Anbringung von Signalen am Messobjekt erfolgen. In der Industrie- und Architekturphotogrammetrie war dieses Vorgehen jedoch in vielen Fällen nicht möglich. Und in der Erd- und Luftbildmessung war eine örtliche Signalisierung und deren Aufrechterhaltung über eine längere Aufnahmeperiode hinweg zu arbeitsaufwändig und kostspielig.

So entwickelte sich das Verfahren der Punktmarkierung in den Messbildern. Als Werkzeuge verwendete man Kopiernadeln oder auch Gravurwerkzeuge (snap-marker), mit denen man 'künstliche Punkte' in der photographischen Schicht der Messbilder anbrachte. Als, beginnend am Anfang der 1960er Jahre, in der Aerophotogrammetrie die

Aneinanderreihung stereoskopischer Modelle mittels instrumenteller Streifentriangulation in den großen Universalauswertegeräten zunehmend durch analytische Streifen- und Blocktriangulationen¹⁵³ ersetzt wurden, reichten diese einfachen Methoden der Punktmarkierung nicht mehr aus. Und so entstand um diese Zeit eine Reihe von Punktmarkier- und Punktübertragungsgeräten.

Nach mikroskopischen oder stereomikroskopischen Einstellungen der zu markierenden Bildpunkte wurden rotierende oder auch erhitzte Gravurwerkzeuge in den Beobachtungsstrahlengang eingeschwenkt und so die 'künstlichen Punkte' erzeugt. Die beständige optisch-mechanische Justierung, die Abnutzung der Gravurwerkzeuge und die oft unscharfen sowie durch Gravurstaub verunreinigten Markierungen, aber auch der Ausfall solcher Vorrichtungen, wenn es um die Markierung auf zwischen Glasplatten geebnetes Filmmaterial ging, ließen nach besseren Lösungen suchen. So entstand in den 1960er Jahren in Jena das Laser-Punktübertragungsgerät Transmark¹⁵⁴. Bild 52 zeigt das Gerät.

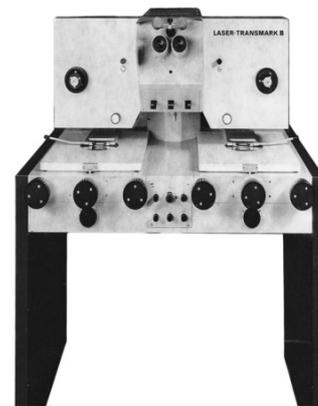


Bild 52: Transmark

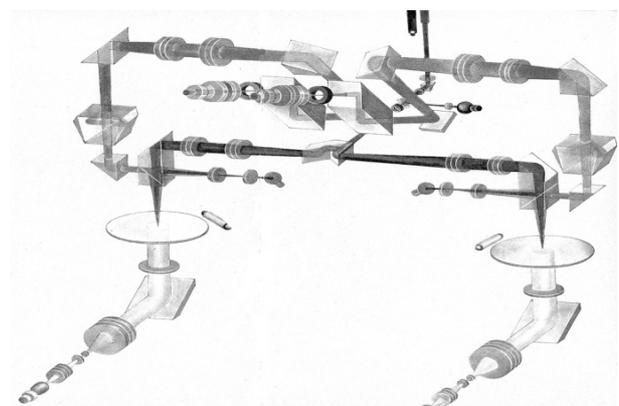


Bild 53: Transmark, optischer Strahlengang

Unter einem feststehenden Stereomikroskop befanden sich die beiden Bildträger. Hier konnten Einzelbilder oder stereoskopische Bildpaare aufgelegt werden. Die Grobverschiebung der Messbilder erfolgte von Hand. Beide Bildträger konnten daraufhin mit einem Feingang unabhängig

voneinander in x-Richtung, y-Richtung und in der Höhe, zwecks Fokussierung des Laserstrahls, verstellt werden. Bild 53 zeigt den optischen Strahlengang im Transmark.

Hinter den Okularen des Stereomikroskops befand sich ein Rubin-Festkörperlaser von 50 Millimeter Länge und einem Durchmesser von 5 Millimeter. Dieser war umgeben von einer Blitzröhre und einem Reflektor. Die ausgesandte Strahlung besaß eine Wellenlänge von 964,3 nm. Der Laserstrahl wurde wahlweise dem linken Bildträger, dem rechten Bildträger oder auch beiden Bildträgern zugeführt. Dies geschah so, dass in der Messbildebene Zielpunkt, Messmarke und Laserfokus zusammenfielen. Das Transmark erfüllte zwei Aufgaben: Das Markieren (Signalisieren) von Bildpunkten und die Erzeugung 'künstlicher (räumlicher) Punkte' in einem Stereomodell.

Zur Markierung in Einzelbildern benötigte man nur einen Bildträger des Geräts. Bei monokularer Betrachtung wurden durch Verschiebung des Messbildes der zu markierende Bildpunkt und die Messmarke des Mikroskops zur Deckung gebracht. Dann wurde der Laserblitz ausgelöst, der eine kreisrunde Markierung erzeugte. Bei der Markierung von Modellpunkten waren die auf den Bildträgern plazierten stereoskopischen Teilbilder unter binokularer Betrachtung relativ zueinander so zu verschieben bis ein räumlicher Eindruck entstand und die Messmarke räumlich mit dem zu markierenden Punkt zur Deckung kam. Der ausgelöste Laserblitz markierte in den stereoskopischen Teilbildern die homologen (einander zugeordneten) Bildpunkte.

Die Erzeugung 'künstlicher (Raum-) Punkte hatte vornehmlich den Zweck in geeigneter Anordnung Verbindungspunkte zu schaffen, mit deren Hilfe Einzelmodelle zu Streifen oder auch Blöcken verbunden werden konnten (Aerotriangulation). Zunächst war in der beschriebenen Weise ein Raummodell herzustellen. Dann wurde die Messmarke an einer gewünschten Stelle auf die Objekt Oberfläche aufgesetzt und der Laserblitz erzeugte einen neuen Modellpunkt.

Bild 54 zeigt Lasermarkierungen in einem Messbild in etwa 100 facher Vergrößerung.

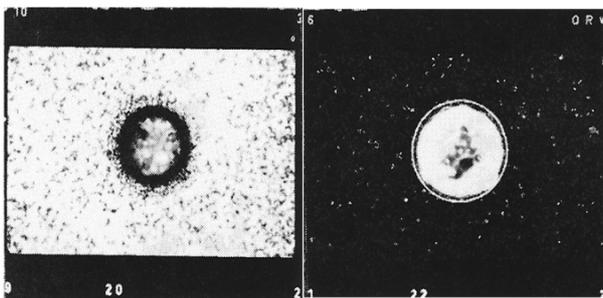


Bild 54: Markierung eines Bildpunkts

Tafel 23: Transmark B, technische Daten

Bildformat (mm):	230 × 230
Größe der Bildträger (mm.):	340 × 450
Auswertbares Gemeinsamkeitsgebiet (mm):	168 × 225
Feinbewegung beider Bildträger (mm):	unabhängig voneinander in x- und y-Richtung: -5 bis +5
Höhenverstellung beider Bildträger (mm):	unabhängig voneinander: 6
Durchmesser der Leuchtfläche zur Groborientierung der Messbilder von Hand (mm):	125
Durchmesser des beleuchteten Sehfeldes (mm):	25
Betrachtungsvergrößerung:	7, 10, 13 und 20 fach
Sehfelddurchmesser (mm):	25, 25, 22 und 16,16
Auflösungsvermögen (L/mm):	70
Optische Bilddrehung mit Schmidt-Prismen (gon):	400 mit Raststellungen bei 100, 200, 300 und 400 in beiden Strahlengängen
Messmarkendurchmesser	
Punktmarke (mm):	0,033; 0,050; 0,066
Ringmarke (mm):	0,1
Durchmesser des Markierungspunktes (mm):	0,045 bis 0,1
Fehler zwischen Punkteinstellung und Markierung (mm):	≤ 0,025 in x- und y-Richtung ^{155,156}
Markierungsgeschwindigkeit (Pkte/min):	3 bei Markierung in zwei Messbildern
Festkörper-Laser:	Rubin Resonator
Länge (mm):	50
Durchmesser (mm):	5
Wellenlänge des emittierten Lichtes (nm):	394,3
Pumplichtquelle:	Stabblitzlampe
Max. Blitzenergie für die Markierung (Ws):	250

Bei Durchlichtbetrachtung (links) erschien die Lasermarkierung als heller kreisrunder Fleck, umgeben von einem schwarzen Ring. Unter der nur wenige Mikroskunden andauernden Einwirkung der Laserstrahlung verflüssigte und verdampfte die Photoemulsion und bildete beim Erkalten eine kreisrunde Wulst. Bei Betrachtung unter

Auflicht (rechts) verschwand der Bildinhalt und sichtbar war nur die Lasermarkierung. So eigneten sich die mit dem Transmark erzeugten Punktmarkierungen besonders gut für eine objektive Ausmessung beispielsweise mit Hilfe photoelektrischer Messeinrichtungen.

Alle Einstellelemente des Transmark waren mit Merkskalen versehen und das Gerät besaß unabhängig voneinander

drehbare Schmid-Prismen in beiden Strahlengängen, mit denen Vertikal- in Horizontalparallaxen verwandelt werden konnten sowie orthostereoskopische und pseudostereoskopische Beobachtungen möglich waren. So konnten zur Steigerung der Übertragungsgenauigkeit Wiederholungseinstellungen vorgenommen und deren Mittelwerte vor der Blitzauslösung in das Transmark eingeführt werden.

7.0 Die Luftbildaufnahmetechnik

Nach dem Zweiten Weltkrieg gab es zunächst ein strenges Verbot für den Bau von Luftfahrzeugen und Luftfahrtgeräten in Deutschland. Nach der Auslegung der Sowjetischen Militär-Administration für Deutschland (SMAD) gehörten dazu auch die Luftbildmesskammern. Darüber hinaus waren bei der Demontage des Jenaer Zeisswerks im Jahr 1946 auch alle Spezialprüfgeräte für die Abstimmung und Kalibrierung photogrammetrischer Messkammern in russische Hand gefallen und nach dem Osten abtransportiert worden.

Trotzdem stellte man doch Überlegungen darüber an, welche Eigenschaften ein modernes Luftbildaufnahmegerät besitzen sollte. Wie weit diese Vorstellungen den damaligen technischen Gegebenheiten vorausseilten, zeigt als Beispiel eine Studie aus dem Jahr 1953 zur Eliminierung der bei Luftbildaufnahmen auftretenden Bildwanderung¹⁵⁷. Es dauerte noch 30 Jahre bis man das zu dieser Zeit noch eherne Postulat der starren photogrammetrischen Messkammer aufgeben konnte und in der Lage war, das angegebene Prinzip des Bildwanderungsausgleichs erstmals in der Welt in einer Luftbildmesskammer zu realisieren.

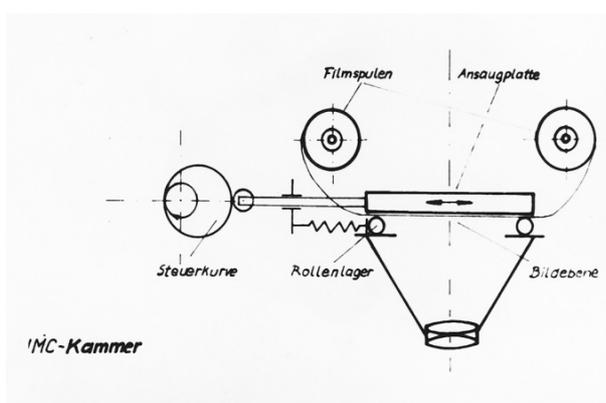


Bild 55: Schema für den Bildwanderungsausgleich einer Luftbildmesskammer¹⁵⁸

7.1 Entwicklung und Bau eines Gerätesystems für die Justierung, Abstimmung und Kalibrierung von photogrammetrischen Messobjektiven und Messkammern

Um die Mitte der 1950er Jahre war abzusehen, dass eine Genehmigung für die Entwicklung und Produktion von Geräten der Aerophotogrammetrie bald erteilt werden würde. Und so galt es, sich durch die Entwicklung und den Bau von Prüfgeräten für die Luftbildmesskammern darauf vorzubereiten.

Zwar lagen einige Erfahrungen vom Bau des Phototheodoliten im Rahmen des Rekonstruktionsprogramms vor. Aber hier war man wegen der fehlenden Prüftechnik auf die 'Feldmäßige Kalibrierung'¹⁵⁹ der Messkammern ausgewichen. Die Anwendung einer solchen Methode¹⁶⁰ war jedoch bei den Luftbildkammern mit den erwarteten weitaus höheren Produktionszahlen nicht möglich.

Der neue Jenaer Prüfkomplex wurde auf der Basis der im Jahre 1952 von der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie angegebenen 'Spezifikation und Methoden für die Kalibrierung photogrammetrischer Kammer und die Messung ihres Auflösungsvermögens, ihrer Bildausleuchtung und ihres Falschlichtanteils'^{161,162} entworfen und gebaut. Die neue Jenaer Prüftechnik für photogrammetrische Messkammern nahm in den sechziger Jahren einen führenden Platz in der Welt ein.

7.2 Der Wendekollimator

Der Wendekollimator diente der Feststellung des Auflösungsvermögens und der Festlegung der günstigsten Bildebene (Abstand vom Projektionszentrum) einer photogrammetrischen Messkammer.

Das zu prüfende Gerät wurde in seiner Gebrauchslage (mit senkrecht nach unten gerichteter optischer Achse) vor einem horizontal liegenden Kollimator, in einem Ring auskantar angeordnet (Bild 56). Der Kollimator war um eine zu ihm parallele Achse schwenkbar, die durch das Projektionszentrum des Prüflings verlief. Dem Kollimator war ein Rechtwinkelprisma vorgesetzt, das an seiner Schwenkung teilnahm. Mit diesem Aufbau war es möglich, durch Kantung der Messkammer und Schwenkung des Kollimators, ein aus ihm austretendes in sich paralleles Strahlen-

bündel unter definierten Einfallswinkeln in die Messkammer zu leiten. Zur Anpassung an die zu untersuchenden Messkammern existierten zwei austauschbare Prüfkollimatoren mit 1200 und 630 Millimeter Brennweite. In der Fokalebene des Kollimators war ein standardisiertes Drei-Linien-Testmuster angeordnet, umgeben von sechs weiteren gleichartigen Testmustern in intra- und extrafokaler Lage (Bild 57).

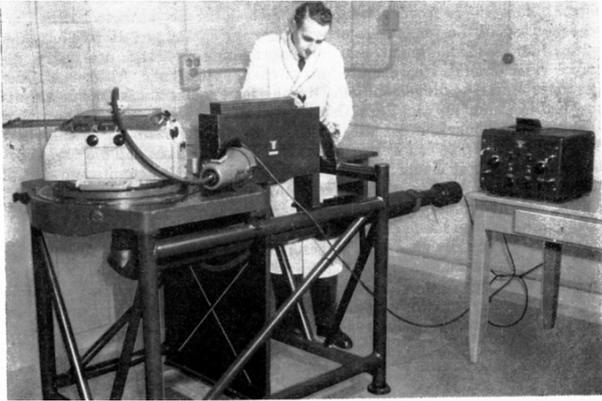


Bild 56: Wendelkollimator

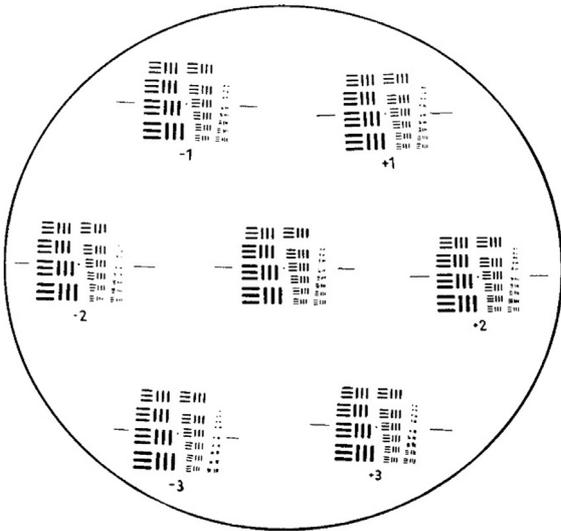


Bild 57: Testmustergruppe mit intra- und extrafokalen Drei-Linien-Testfiguren

Die Beleuchtung der Testfiguren erfolgte durch eine genormte Lichtquelle mit einer Farbtemperatur von 5400°K (Mittagssonnenlicht von Washington DC). Die Bilder der Testmuster konnten von der zu untersuchenden Messkammer auf einer vorgegebenen Gebrauchsemulsion in mehreren Diagonalen in ihrer Bildebene schrittweise bis zu einem Einfallswinkel von ± 64 gon photographisch festgehalten werden. Unter mikroskopischer Betrachtung war jenes der sieben Testmuster herauszufinden, für welches sich im Mittel über die gesamte Bildebene das beste Auflösungsvermögen ergab. Aus seiner intra- oder extra-

fokalen Lage war ableitbar, um welchen Betrag die Bildebene des Prüflings in Richtung seiner optischen Achse verschoben werden musste.

7.3 Die Ulbrichtsche Kugel

Die Innenfläche einer Ulbrichtschen Kugel besitzt einen mattweißen Innenanstrich. Das von Leuchtkörpern emittierte Licht konstanter Intensität wird an der Innenfläche vielfach zerstreut und reflektiert. Damit entspricht die Ulbrichtsche Kugel einem Lambertstrahler¹⁶³. Eine solche Kugel mit einem Innendurchmesser von drei Meter gehörte zum Prüfkomples für die photogrammetrischen Messkammern. Sie diente zur Bestimmung des Falschlichts, das bei der photographischen Aufnahme durch Reflexion und Streuung an den Linsen- und Fassungsflächen sowie an den Wandungen im Inneren einer Messkammer entstehen kann. Dies führt zu einer Überlagerung der bilderzeugenden Strahlung und damit zur Minderung des Auflösungsvermögens. Der Falschlichtanteil muss daher möglichst niedrig gehalten werden.

An der Innenwand der Kugel war eine 'Lichtfalle' angebracht. Sie bestand aus einem mit schwarzem Samt ausgekleideten Tubus. Diametral gegenüber befand sich in der Kugelwand eine kreisrunde Öffnung, vor der die zu prüfende Messkammer angeordnet wurde (Bild 58).

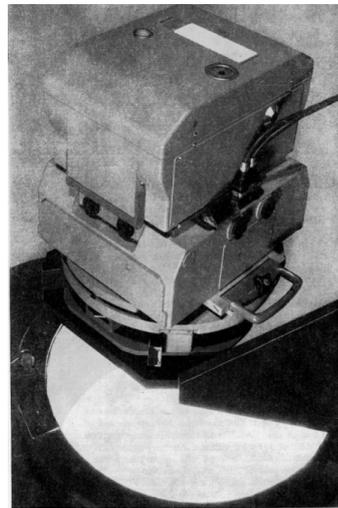


Bild 58: Messkammer vor der Austrittsöffnung der Ulbrichtschen Kugel zur Bestimmung des 'Falschlichtanteils'

Mit der auf die Lichtfalle gerichteten optischen Achse wurde mit der Messkammer bei Benutzung einer photogrammetrischen Gebrauchsemulsion das in extrafokaler Lage entstehende Bild des schwarzen Flecks aufgenommen. Der prozentuale Fremdlichtanteil ist definiert nach.

$$V = 100 I_R (I_G^{-1}) (\%)$$

wo I_R die Lichtintensität im Bild des schwarzen Flecks und I_G die Lichtintensität im Umfeld des schwarzen Flecks sind. Diese Werte konnten aus Schwärzungsmessungen (mit dem Jenauer Schnellphotometer) ermittelt werden¹⁶⁴.

7.4 Der Fächerkollimator

Der Fächerkollimator diente der Bestimmung der 'Inneren Orientierung' einer Messkammer. Die Aufgabe bestand darin, die Kammerkonstante c_k und den Ursprung eines Bildkoordinatensystems so festzulegen, dass die Gleichung der mathematischen Zentralprojektion für jeden Bildpunkt so weit wie möglich erfüllt wird.

$$(x'^2 + y'^2)^{1/2} = c_k \tan \alpha$$

Hier sind c_k die Kammerkonstante, x' und y' die Bildkoordinaten und α der Einfallswinkel eines abbildenden Strahls zur optischen Achse der Messkammer.

Die notwendigen Messungen können prinzipiell in zweifacher Weise erfolgen: Entweder man gibt die Lage der Bildpunkte mit ihren Koordinaten x' und y' in der Bildebene vor und misst mit einem Goniometer¹⁶⁵ die zugehörigen Einfallswinkel α oder der Winkel α wird vorgegeben und die zugehörigen Bildkoordinaten x' und y' werden gemessen. Im Jenaer Zeisswerk fiel die Entscheidung zugunsten der zweiten Methode. Sie hatte den Vorteil, dass sich die zu prüfende Messkammer in ihrer Gebrauchslage befand und Messbilder durch photographische Abbildungen auf einem Fliegerfilm entstanden.

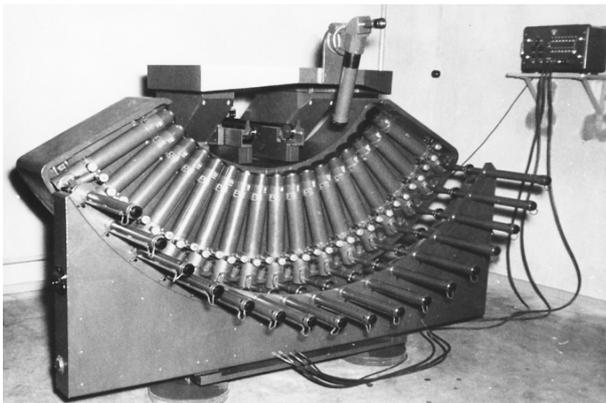


Bild 59: Fächerkollimator

Bild 59 zeigt den Fächerkollimator mit dem die unterschiedlichen Einfallswinkel α in einer das Projektionszentrum der zu prüfenden Messkammer enthaltenden Ebene vorgegeben wurden. Das Gerät bestand aus zwei Hauptteilen, die auf einer Grundplatte montiert waren und nur über diese miteinander in Verbindung standen. Der eine Hauptteil trug die 17 fächerförmig aufgehängten Kollimatoren. Diese hatten Brennweiten von 420 Millimeter und besaßen Öffnungen mit einem freien Durchmesser von 60 Millimeter. Die optischen Achsen der beiden äußeren Kollimatoren legten einen Winkel von 128 gon fest. Die inneren Kollimatoren unterteilten diesen so, dass zwei benachbarte Kollimatoren einen Winkel von 8 gon bildeten. Jeder Kollimator besaß eine auf seinen Fokalfpunkt zentrierte Marke, die von einer Lichtquelle mit einer Farbtemperatur von 5400°K ausgeleuchtet wurde und einen Verschluss. Der zweite Hauptteil trug die über dem Kollimator

system angeordnete Halterung für die zu prüfende Messkammer.

Von größter Bedeutung war eine hochgenaue gegenseitige Orientierung der Kollimatoren. Diese erreichte man durch Autokollimation der äußeren Kollimatoren auf die beiden äußeren Flächen eines hochgenau geschliffenen und mit hoher Genauigkeit ausgemessenen Prüfprismas sowie eine schrittweise folgende Winkelteilung mit Hilfe eines drehbaren Oberflächen-Planspiegels. Die Festlegung der Kollimatoren gelang so mit einer Genauigkeit von 0,5'' und erwies sich bei Wiederholungsmessungen über Jahre hinweg als stabil.

Mit der aufgesetzten zu kalibrierenden Kammer erzeugte man in der Regel nach aufeinander folgender Auskantung Abbildungen der Kollimatormarken in den beiden Messbilddiagonalen. Für deren Ausmessung nutzte man das hochgenaue Zweikoordinatenmessgerät Ascorecord, das die Bestimmung der Bildkoordinaten bis auf 0,0001 Millimeter gestattete. Nach der Beziehung

$$\Delta(x'^2 + y'^2)^{1/2} = (x'^2 + y'^2)^{1/2} - c_k \tan \alpha$$

ließ sich die den abgebildeten Kollimatormarken zuzukommende Verzeichnung¹⁶⁶ bestimmen, welche die Abweichung der Messkammergeometrie von der mathematischen Zentralprojektion angab. Durch die Variation von c_k konnte man dafür sorgen, dass die Verzeichnung bestimmten Abstimmungsbedingungen entsprach. So konnte man z.B. fordern, dass die Verzeichnungen an bestimmten Bildpunkten den Wert Null annahm oder dass die Verzeichnung, gemittelt über die Messbildfläche, die geringste Auswirkung auf die Abweichung der Bildgeometrie von der Zentralprojektion haben sollte¹⁶⁷.

Für die Verzeichnungsmessung wurde eine durchschnittliche Genauigkeit von 0,004 Millimeter und für die ermittelte Kammerkonstante eine Streuung von 0,005 Millimeter erreicht.

7.5 Das Ebenheitsprüfgerät

Bei der theoretischen Betrachtung der Arbeiten am Fächerkollimator ging man davon aus, dass die Schichtseite eines zur Verwendung kommenden stabilen (schrumpfungsfreien) Schichtträgers mit hoher Genauigkeit eben sei. Diese beiden Forderungen konnten jedoch in der Praxis nicht erfüllt werden. Allein aus diesem Grunde entschied man sich in wissenschaftlichen Instituten und bei Geräteherstellern zur Beibehaltung visueller Kalibrierungsverfahren mit Hilfe von Goniometern,

Im Jenaer Zeisswerk überwand man diese Hürde für die Nutzung der photographischen Kalibrierung durch die Entwicklung eines pneumatischen Ebenheitsmessverfahrens. Mit seiner Anwendung konnten die Durchbiegung und die Unebenheit der Schichtseite einer stabilen Photoplatte, vor ihrer Belichtung im Fächerkollimator, in Gebrauchslage festgestellt werden. Der Maximalfehler der pneumatischen Ebenheitsmessung betrug ± 0.0006 mm. Diese Ergebnisse ermöglichten dann die Korrektur der am Ascorecord ausgeführten Koordinatenmessungen.

Bild 60 zeigt das Ebenheitsprüfgerät bei der Vermessung der Filmanlegetafel einer Fliegerfilmkassette.

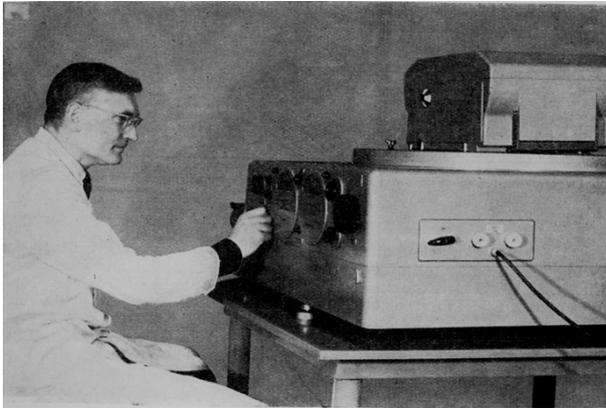


Bild 60: Ebenheitsprüfgerät, Messung einer Filmanlegetafel

Die Funktion des Geräts erläutert Bild 61.

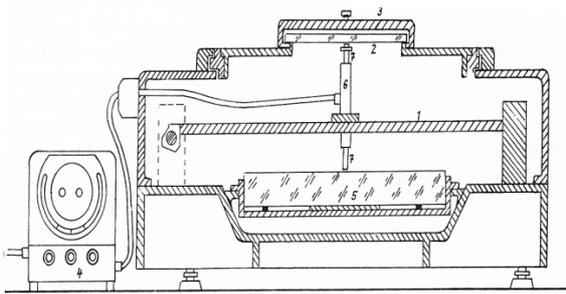


Bild 61: Schema des pneumatischen Ebenheitsmessgeräts. 1 Kreuzführung, 2 Photoplatte, 3 Plattenkassette, 4 Pneumat, 5 Vergleichsglasplatte, 6 Messdüsenverbindungsstück, 7 Messdüse

Das Wirkprinzip des Ebenheitsmessgeräts bestand darin, dass der Abstand zwischen einem hochgenau ebengeschliffenen Glasblock und einem Prüfling gemessen wurde. Der durch einen Koordinatographen gesteuerte Messdüsenkopf besaß zwei diametral gegenüberliegende Düsen zur pneumatischen Abtastung der Vergleichsfläche und des Prüflings. An den beiden Messdüsen entstand ein statischer Druck, der ihren Abständen von den angetasteten Flächen proportional war. Aus der Differenz des Druckes an beiden Messdüsen ermittelte der im Jenaer Zeisswerk entwickelte und gefertigte 'Pneumat' mit hoher Genauigkeit den Abstand zwischen der Vergleichsfläche und dem Prüfling. Aus diesen Werten ließen sich sowohl die Durchbiegung als auch örtliche Unebenheiten der Photoplatte ableiten. Der Gesamtmessbereich betrug 0.1 Millimeter; die erwartete Durchbiegung der bei der Kalibrierung benutzten mit Photoemulsion beschichteten Spiegelglasplatten lag zwischen maximal 0.02 und 0,03 Millimeter.

7.6 Die Luftbildaufnahmesysteme 'Messreihenbildner MRB 1818 und MRB 2323'

Wie erwartet, wurde im Jahr 1959 der Antrag für die Entwicklung einer Luftbildmesskammer von der staatlichen Planungsbehörde bestätigt. Dies geschah allerdings mit der Auflage, die Festlegung der zivilen staatlichen und militärischen Vermessungsdienste in den sozialistischen Ländern auf das Messbildformat $18\text{ cm} \times 18\text{ cm}$ für die großmaßstäbliche Luftbildaufnahme zu respektieren. Einige weitere Einschränkungen bei der Gestaltung der MRB folgten auch aus den damaligen fertigungstechnischen Gegebenheiten.

Es kam dann auch zu einer Vereinbarung mit dem am Flughafen Dresden-Klotzsche installierten Flugzeugbau, wonach uns dort für gelegentliche Erprobungen ein zweimotoriges Flugzeug vom Typ IL-14 zur Verfügung stand.

Vom Beginn der 1960er Jahre bis zum Beginn der 1980er Jahre wurden 7 Typen des Messreihenbildners mit Normal-, Weit- und Überweitwinkel-Objektiven gebaut. Den Luftbildmesskammern des Bildformats $18\text{ cm} \times 18\text{ cm}$ folgten dann ab 1968 auch solche des Bildformats $23\text{ cm} \times 23\text{ cm}$, die weltweit verkauft worden sind. Die Messreihenbildner waren nach einem einheitlichen modularen Schema aufgebaut¹⁶⁸. Dieses bestand aus der Aufhängung, dem Kammerkörper, der Kassette und dem Steuergerät.

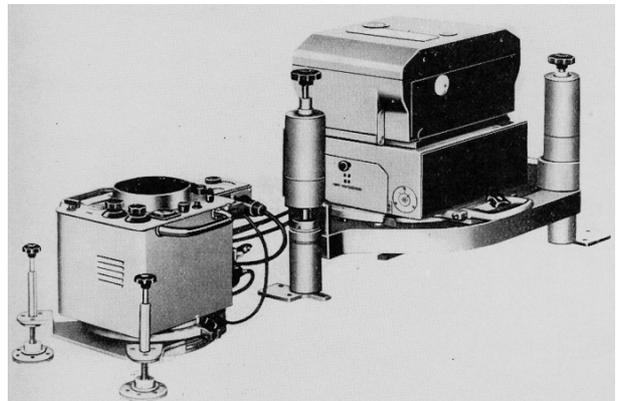


Bild 62: Messreihenbildner MRB

Die Aufhängung bestand aus einem horizontierbaren, durch drei Stoßdämpfer abgefederten Ring, auf den der Kammerkörper aufgesetzt wurde. Durch entsprechende Abstimmung der Stoßdämpfer wurde die Übertragung der von der Aerodynamik und den Flugmotoren erzeugten Schwingungen und Vibrationen auf die Messkammer weitgehend verhindert. Darüber hinaus reduzierte die Aufhängung des Kammerkörpers in seinem Schwerpunkt das Auftreten von Drehschwingungen.

Der wesentlichste Bestandteil des Kammerkörpers war der sogenannte 'Kammerkonus', ein stabiles Gussteil, das die unveränderliche Zuordnung von Messobjektiv und Messbildebene besorgte. In den Messreihenbildnern kamen die Neuberechneten photogrammetrischen Hochleistungsobjektive der Pinatar- und Lamegonfamilie zur Verwendung.

In den 1960er Jahren entwickelte sich aus der Photointerpretation heraus das umfangreiche Gebiet der Fernerkundung (Remote Sensing). In diesem Rahmen kam es auch zunehmend zur Aufnahme von Infrarotbildern. Für die bis dahin nur auf den panchromatischen Bereich ausgelegte Korrektur der Aufnahmeoptik war deshalb bei der Infrarotaufnahme der kalibrierte Abstand vom Objektiv zur Bildebene um $1/200$ der Brennweite zu vergrößern¹⁶⁹ um scharfe Abbildungen zu erhalten. Um einen Eingriff in die Innere Orientierung der Messkammer zu vermeiden, erhielten damals die bei der Aufnahme zu benutzenden Rotfilter eine sphärische Gestalt. Als in den 1970er Jahren in der Fernerkundung Color-Infrarotfilme (CIR) zur Verwendung kamen entstanden für die Jenaer Luftbildkammern die PI-Objektive mit einer chromatischen Korrektur für Wellenlängen zwischen 0.0004 und 0.0009 Millimeter.

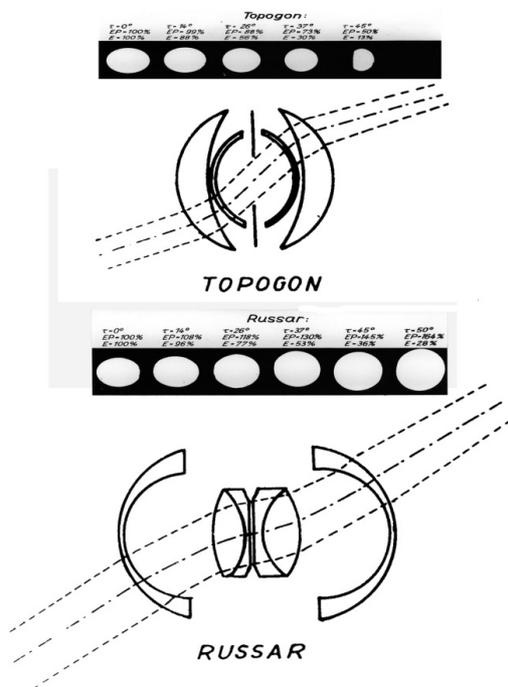


Bild 63: Abbildungsstrahlengang in Topogon und Russar

Aufbauend auf den positiven Erfahrungen, die man mit der Überweitwinkeltechnik in der damaligen Sowjetunion gesammelt hatte, entstand in den sechziger und siebziger Jahren ein weltweites Interesse am Einsatz dieser Technik. Vorteilhaft erschien die große Flächendeckung pro Bild, das Erreichen eines kleinen Bildmaßstabs aus mittleren Flughöhen sowie die mittels des erweiterten Basisverhältnisses (Flughöhe über Grund / Aufnahmebasis) verbesserte Höhenmessgenauigkeit in Stereomodellen. Ein kritischer Punkt dieser Technik war es bei Aufnahmebildwinkeln von 122° bis 135° befriedigend ausgeleuchtete Messbilder zu erhalten. Eine erhebliche Verbesserung der Lichtverteilung bei der Aufnahme von Überweitwinkelmeßbildern erreichte man mit Objektiven der Russar-Reihe des damaligen staatlichen Optischen Instituts in Leningrad (heute St. Petersburg). Den Unterschied zu den bisher üblichen Objektiv-

konstruktionen zeigt Bild 63 mit dem Vergleich von Topogon und Russar.

Die äußeren Menisken des Russar bewirkten eine Verflachung des bilderzeugenden Strahls zur optischen Achse innerhalb des Linsensystems. Dadurch entsteht mit Vergrößerung des Einfallswinkels eine flächenmäßige Zunahme der wirksamen Blende und damit eine teilweise Kompensation des natürlichen Lichtabfalls in der Bildebene einer Überweitwinkelmeßkammer. Das auf dieser Basis am Anfang der 1970er Jahre im Jenaer Zeisswerk geschaffene Superlamegon kam in den Messkammern der MRB-, UMK- und LMK-Reihe zur Anwendung.

Am Anfang der sechziger Jahre gingen von der Entwicklung und dem Bau immer leistungsfähigerer elektronischer Rechenanlagen, wozu nach der OPREMA auch der programmgesteuerte Zeiss-Rechenautomat ZRA-1 gehörte, immer stärkere Impulse zur Entstehung einer neuen analytischen Off-Line-Photogrammetrie aus. In diesem Rahmen gab es viele Versuche unregelmäßige Abweichungen von der gewollten zentralprojektiven Geometrie im Luftbild zu erfassen und in der analytischen Auswertung zu kompensieren. So kam man unter anderem auch zu den sogenannten 'Reseau-Kammern'. Diese besaßen in ihrer Bildebene eine Registerglasplatte mit einem eingravierten Gitter, das bei der Aufnahme in Kontaktkopie oder auch als Schattenprojektion das Luftbild überlagerte. Die kalibrierten Gitterkreuze dienten bei der späteren Auswertung als Bezugspunkte der Bildkoordinatenmessung. An Stelle dieses 'internen Reseau' erhielten die Messreihenbildner ein 'externes Reseau' längs der Formatseiten (Bild 64). Im Ergebnis erhielt man gleichwertige Resultate, da es sich bei den Bildfehlern nahezu ausschließlich um affine Fliegerfilmschrumpfungen handelte, die bei der Aufnahme oder während des photochemischen Prozesses entstanden waren¹⁷⁰.

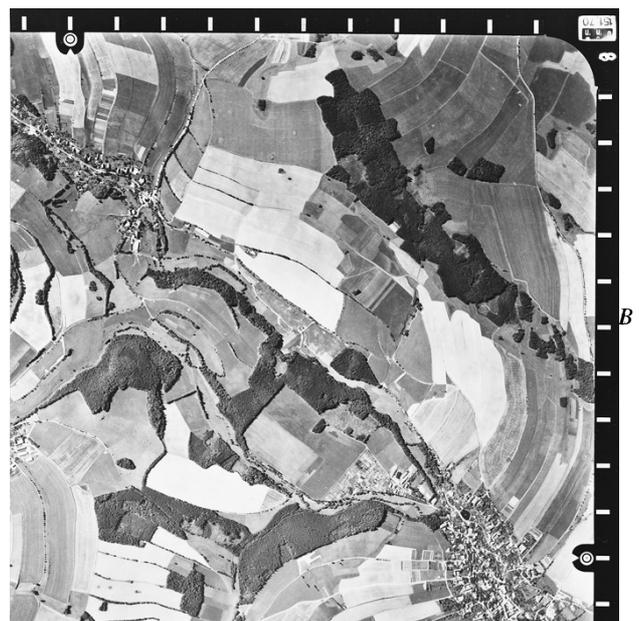


Bild 64: Externes Reseau

Die höhere Lichtstärke der photogrammetrischen Hochleistungsobjektive, die Steigerung der Empfindlichkeit von Fliegerfilmen und die Zunahme der Bildfluggeschwindigkeiten verlangten zur Eindämmung der Bildwanderung¹⁷¹ kürzere Belichtungszeiten bei der Aufnahme von Luftbildern. Diese Forderung war aber mit den bisher üblichen federgetriebenen Zentralverschlüssen nicht zu erfüllen. Im Laufe der MRB-Entwicklung entstanden zwei motorisch angetriebene Zentralverschlüsse. Das Schema des ersten Typs zeigt Bild 65.

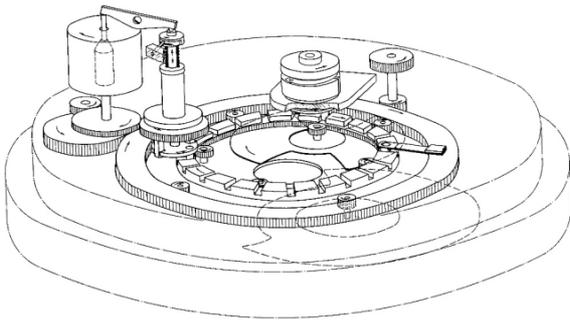


Bild 65: Drehscheibenverschluss

Der Verschluss bestand aus zwei übereinanderliegenden Drehscheibensystemen. Das untere drehte sich ständig beschleunigungsfrei mit einer zur eingestellten Belichtungszeit proportionalen Geschwindigkeit und gab bei jeder Umdrehung die Öffnung einmal frei. Im Maximalfall geschah dies 150mal in der Sekunde. Die Öffnung war jedoch durch vier darüber befindliche und symmetrisch zueinander angeordnete Drehscheiben abgedeckt, die nach einem Impuls vom Steuergerät eine halbe Umdrehung vollführten, wobei sie die Öffnung zur Belichtung freigaben. Die Bewegung beider Drehscheibenetagen war so aufeinander abgestimmt, dass der Lichtwirkungsgrad von den dauernd rotierenden Scheiben bestimmt wurde. Der Verschluss gestattete kontinuierlich einstellbare Belichtungszeiten von 1/50 bis 1/500 Sekunde mit einem Lichtwirkungsgrad von über 90 % und in einer zweiten Ausführung von 1/1000 Sekunde mit einem Lichtwirkungsgrad von über 80 %.

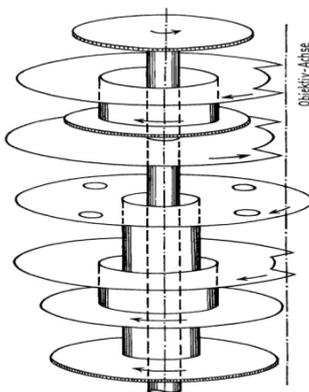


Bild 66: Einschiebe-Drehscheibenverschluss. A = Objektivachse

Im Jahr 1969 wurde für die Überweitwinkelkammer MRB 9/2323 ein sogenannter Einschiebeverschluss eingeführt. Dieser konnte von der Seite her in den Blendenraum des Objektivs eingeschoben werden. So war eine eventuell nötig werdende Auswechslung des Verschlusses ohne Demontage des optischen Systems möglich. Bild 66 zeigt schematisch die Wirkungsweise des Einschiebeverschlusses.

Der Verschluss bestand aus einer Reihe von koaxial übereinander gelagerten Antriebsrädern, sektorförmig ausgeschnittenen Verschlussdrehscheiben und einer Abdeckscheibe mit einer Vielzahl von Löchern in gleichen Abständen zueinander und zur Achse. Die beiden oberen Verschlusscheiben bewegten sich gegenläufig mit gleicher, vom Steuergerät eingeregelter Geschwindigkeit, welche die Dauer der Belichtung bestimmte. Eine dritte, mit 10 fach langsamerer Geschwindigkeit umlaufende Hilfsscheibe sorgte für eine verlängerte Zeitfolge der Freigabe der Blendenöffnung des Objektivs, um das nächstgelegene Loch der Abdeckscheibe in die Belichtungsposition zu bringen und nach Auslösung der Belichtung wieder herauszubewegen. Dieser Vorgang wurde in zwei aufeinanderfolgenden Schaltschritten nach einem Impuls des Steuergeräts durch einen Schaltmechanismus ausgelöst. Die einzelnen Drehbewegungen waren so aufeinander abgestimmt, dass die Abdeckscheibe und die Hilfsscheibe die Blendenöffnung bereits freigaben oder abdeckten, bevor die schnell rotierenden Scheiben wirksam wurden. Die kontinuierlich einstellbare Belichtungszeit lag zwischen 1/50 und 1/1000 Sekunde bei einem Lichtwirkungsgrad zwischen 90 % und 96 %.

Das Steuergerät diente zur Fernbedienung aller Messkammern der MRB-Reihe. Es handelte sich um eine nadirwärts gerichtete verschlusslose Kammer, in deren Bildebene der beidäugig betrachtende Operateur unter einer großformatigen Feldlinse das überflogene Gelände vorbeiziehen sah. Dem Gelände überlagert bewegten sich sogenannte 'Wandermarken' durch das Gesichtsfeld. Im MRB-Steuergerät formten diese Marken die Figur einer Sprossenleiter (allgemein auch als 'Stachelband' bezeichnet). Durch Auskanten des Steuergeräts und Änderung der Laufgeschwindigkeit der Leiterfigur sorgte der Aufnahmetechniker dafür, dass Geländedetails parallel zu den Leiterholmen und mit gleicher Geschwindigkeit wie die Leitersprossen durch das Gesichtsfeld zogen (siehe Bild 67).

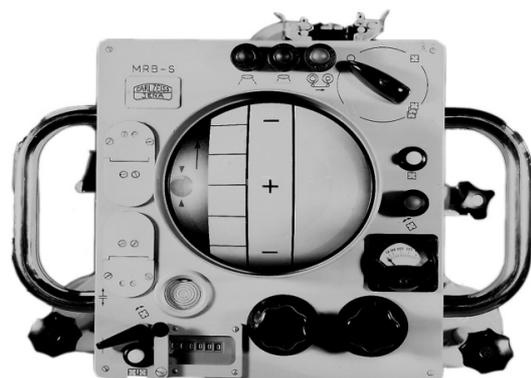


Bild 67: MRB Steuergerät, Draufsicht

Tafel 24: MRB, technische Daten

Bildformat (mm):	180 × 180	230 × 230
Kantung (gon):	± 33	± 33
Längsneigung (gon):	± 5,5	± 5,5
Querneigung (gon):	± 3,3	± 3,3
Kammerzyklus (min) (s)	2	2
Längsüberdeckung (%):	20, 30, 40, 60, 65, 70, 80, 90 für alle MRB	
Filmlänge (max) (m)	bis 120 (für Dünnfilm 150) für alle MRB	
Filmbreite (cm):	19 oder 20	24
Aufnahmekapazität (Bilder):	mindestens 540	450
	MRB 21/1818 ^{172,173}	MRB 30/2323
Objektiv:	Pinatar PI	Lamegor PI
Brennweite (mm):	210	305
Blende: (1:)	4	5,6; 8; 11
Belichtungszeiten (s):	1/100 bis 1/1000	1/100 bis 1/1000
Bildwinkel (gon):	69	60
Verzeichnung (max) (mm):	± 0,005	± 0,005
	MRB 11,5/1818 ¹⁷⁴	MRB 15/2323 ¹⁷⁵
Objektiv:	Lamegon PI	Lamegon PI
Brennweite (mm):	115	152
Blende: (1:)	4; 5,6; 8	4,5; 5,6; 8
Belichtungszeiten (s):	1/100 bis 1/1000	1/100 bis 1/1000
Bildwinkel (gon):	103	102
Verzeichnung (max) (mm):	± 0,008	± 0,008
		MRB 9/2323 ¹⁷⁶
Objektiv:		Super-Lamegon PI
Brennweite (mm):		90
Blende: (1:)		5,6; 8; 11
Belichtungszeiten (s):		1/50 bis 1/500
Bildwinkel (gon):		135
Verzeichnung (max) (mm):		± 0,008

Im Sehfeld befinden sich Kursstriche, Zielmarken und Wandermarken (Sprossenleiter)

Die Kantung wurde unmittelbar auf die Messkammer übertragen. Aus der eingeregeltten Wandermarkengeschwindigkeit ließen sich die Impulse der Verschlussauslösung für vorgegebene Überdeckungsverhältnisse in einer Bildreihe (im Allgemeinen 33 % für eine einfache und 66 % für eine stereoskopische Bildreihe) ableiten.

7.7 Der Zweitkammeradapter

Bei der zunehmenden Verwendung zweimotoriger Bildflugzeuge wurde es möglich, mehrere Aufnahmesysteme an Bord unterzubringen. Insbesondere entstand der Wunsch des Parallelbetriebs von zwei Luftbildmesskammern von einem Steuergerät aus. Dies wurde möglich mit dem Zweitkammeradapter für den Simultanbetrieb von zwei Messkammern der MRB-Familie¹⁷⁷.

Verwendet wurden sowohl gleiche Messkammern mit unterschiedlich empfindlichen Filmen (z.B. panchromatisch und infrarot sensibilisiert)¹⁷⁸ als auch Kammern unterschiedlicher Brennweiten und Bildformate. Die sich im letzteren Falle ergebenden Verhältnisse zwischen Überdeckungsverhältnissen und Bildmaßstäben sind in den Tafeln 25 und 26 angegeben. Die Überdeckung folgt aus:

$$\ddot{U}_2 = (s'_2 f_1 - s'_1 f_2 + 0,01 \ddot{U}_1 s'_1 f_2) (0,01 s'_2 f_1)^{-1}$$

und das Basisverhältnis aus:

$$B = (1 - \ddot{U}) s' f^{-1}$$

wo: \ddot{U}_1 = Überdeckungsverhältnis der Primärkammer, \ddot{U}_2 = Überdeckungsverhältnis der Sekundärkammer, s'_1 = Bildformatseite der Primärkammer in Flugrichtung, s'_2 = Bildformatseite der Sekundärkammer in Flugrichtung, f_1 = die Brennweite der Primärkammer und f_2 = die Brennweite der Sekundärkammer waren.

Tafel 25: Zweitkammeradapter, Bildmaßstäbe, bezogen auf MRB 21/1818 als Primärkammer

21/1818	11,5/1818	30/2323	15/2323	9/2323
$m_{(21/1818)} = h_g f_{(21/1818)}^{-1} = m_1$				
1,0 m_1	1,9 m_1	0,7 m_1	1,4 m_1	2,3 m_1

Tafel 26: Zweitkammeradapter. Überdeckungsverhältnisse, bezogen auf die Überdeckung der Primärkammer mit den Überdeckungsverhältnissen $\dot{U}_1 = 33\% - 66\% - 80\%$

21/1818: \dot{U}_1: 33-66-80			
MRB /11,5/ 1818 63-81-**	MRB 30/ 2323 **-61-70	MRB 15/ 2323 63-80-**	MRB 9/2323 78-**-**
MRB 11.5/1818: \dot{U}_1: 33-66-80			
MRB 21/ 1818 **-**-**	MRB 30/ 2323 **-**-**	MRB/15/ 2323 31-65-79	MRB 9/2323 59-79-**
MRB 30/2323 \dot{U}_1: 33-66-80			
MRB 21/ 1818 41-70-82	MRB 11.5/ 1818 68-84-**	MRB 15/ 2323 67-83-**	MRB 9/2323 **-**-**
MRB 15/2323, \dot{U}_1: 33-66-80			
MRB 21/ 1818 21-40-65	MRB 11.5/ 1818 35-67-81	MRB 30/ 2323 **-32-59	MRB 9/2323 60-80-**
MRB 9/2323, \dot{U}_1: 33-66-80			
MRB 21/ 1818 **-**-40	MRB 11,5/ 1818 **-44-67	MRB 30/ 2323 **-**-**	MRB 45/ 2323 **-43-**

7.8 Der 'Luftbildbelichtungsmesser Aerolux'

Bis in die 1960er Jahre hinein wurden Bildflüge im allgemeinen nur bei klarem Himmel ausgeführt. Wolkenschatten stellten vor allem bei der stereoskopischen Bildauswertung einen Störfaktor dar. Da bei vielen Aufnahmegeräten die Einstellung von Blende und Belichtungszeit vor dem Start des Bildflugzeugs geschehen musste, erfolgte dies durch subjektive Einschätzung der Szenenhelligkeit durch den Aufnahmetechniker. Unterstützt wurde er dabei eventuell durch Tabellen, die abhängig vom Sonnenstand und der Jahreszeit einige Hinweise lieferten.

Das Bestreben, die Bildflugsaison zu verlängern und auch die aufkommende Aufnahme großmaßstäblicher Luftbilder unter einer geschlossenen Wolkendecke zur Vermeidung von Schlagschatten, z.B. bei der Befliegung von Stadtgebieten, führte zu dem Verlangen, die Festlegung von Blende und Verschlusszeit auf eine objektive Messung der Szenenhelligkeit zu gründen, wie dies in der allgemeinen Photographie bereits seit langem üblich war. Auch die Verwendung von Colorfilmen, Infrarotfilmen und Color-Infrarotfilmen (CIR) in der Fernerkundung erforderte eine genauere Festlegung von Blende und Verschlusszeit.

Die meist über ein Fernsteuergerät betriebenen Luftbildmesskammern des MRB-Systems, auch zur Einstellung von Blende und Belichtungszeit, boten günstige Voraussetzungen zur Entwicklung eines Luftbildbelichtungsmessers.

Hierfür gab es zwei Wege; ein integral oder ein differentiell arbeitendes Gerät. Der integrale Belichtungsmesser bestimmte mit einem Öffnungswinkel, der etwa jenem einer Aufnahmekammer entsprach eine mittlere Szenenhelligkeit. Ein differentieller Belichtungsmesser mit einem nur schmalen Öffnungswinkel hingegen war in der Lage die maximale und minimale Helligkeit in einer Szene festzustellen und damit deren Helligkeitsumfang zu bestimmen. Er besaß darüber hinaus die potentielle Möglichkeit eine automatische Regelung der Belichtungszeit oder der Blende zu bewerkstelligen¹⁷⁹. Nach dem damaligen Stande der Technik war aber ein unter den robusten Flugbedingungen funktionstüchtiges Gerät nicht zu realisieren. So kam es zur Entwicklung des integralen Luftbildbelichtungsmessers Aerolux, dessen erstes Gerät im Jahre 1964 angeboten wurde^{180,181}.

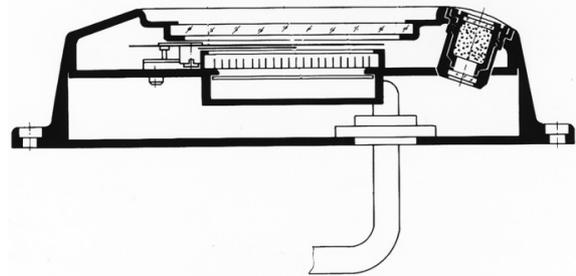


Bild 68: Aerolux, Schema des Sensors.

Vor dem Photoelement liegend, erkennt man den wabenartig angeordneten Bildwinkelbegrenzer. Hinter dem Frontschutzglas befand sich ein einfacher Lamellenverschluss, der beim Start, bei der Landung und beim Überflug von Wolkenfeldern zum Schutz des Photoelementes geschlossen werden konnte.

Der Aerolux bestand aus zwei Elementen: dem Sensor (Bild 68) und dem mit ihm durch ein Kabel verbundenen Anzeigerät (Bild 69)

Der Sensor wurde an der Unterseite des Flugzeugrumpfs so montiert, dass seine Flächennormale während des Bildflugs parallel zur Aufnahmerichtung der Messkammer war. Als Sensorelement diente eine Selen-Photozelle aus der Jenaer Zeiss-Produktion. In ihrer spektralen Empfindlichkeitsverteilung entsprach diese weitgehend derjenigen der bekannten Fliegerfilme. Das Element erzeugte einen hohen Photostrom, der die Verwendung eines robusten, dem Einsatz im Flugzeug angepassten Messwerks erlaubte. Der Auffangwinkel des Sensors entsprach dem einer Weitwinkelmesskammer.

Das Anzeigerät ließ sich mit Hilfe eines Bügels am Steuergerät des MRB-Aufnahmekammersystems befestigen (Bild 69).



Bild 69: Aerolux, Anzeigergerät am MRB-Steuergerät

Nach Einstellung von Blendenwert und Filmpflichtigkeit konnte unmittelbar die empfohlene Belichtungszeit abgelesen und in das Steuergerät der MRB eingegeben werden.

Um bei der großmaßstäblichen Aufnahme, z. B. wenn die Szene größere dunkle Waldgebiete einschloss, eine Unterbelichtung zu vermeiden, konnte der Auffangwinkel des Sensors durch das Vorsetzen einer Röhre verringert werden (Bild 70).

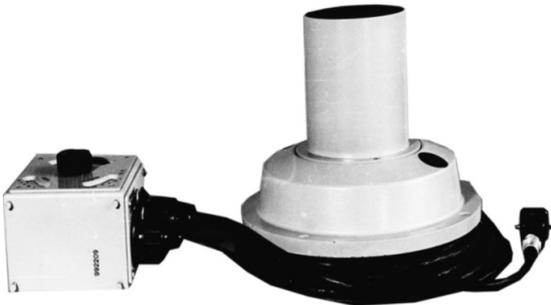


Bild 70: Aerolux mit vorgesetzter Röhre zur Begrenzung des Auffangwinkels

Tafel 27: Aerolux, technische Daten

Sensorelement:	Selen-Photozelle Typ D
Maximaler Auffangwinkel (°):	± 45
Empfindlichkeitsbereich (nm):	250 bis 850
Maximale Empfindlichkeit bei (nm):	580
Arbeitsbereich (°C):	+ 30 bis - 40
Blendenstufen:	4; 5,6; 8; 11; 16
Filmpflichtigkeit:	
(DIN)	9 bis 30
(ASA)	6 bis 800
Belichtungszeiten (s):	1/25 bis 1/2000

7.9 Das 'Bildflugnavigationsteleskop Aeroskop'

Bei der großflächigen Befliegung in parallelen Streifen und bei schlechten Sichtverhältnissen im Vorausblick sowie Nadirblick war es nützlich, einem Bildflugnavigator im Cockpit ein optisches Hilfsmittel zur Verfügung zu stellen. Im Rahmen des MRB-Aufnahmesystems entstand hierfür das Navigationsteleskop Aeroscop¹⁸² (Bild 71)

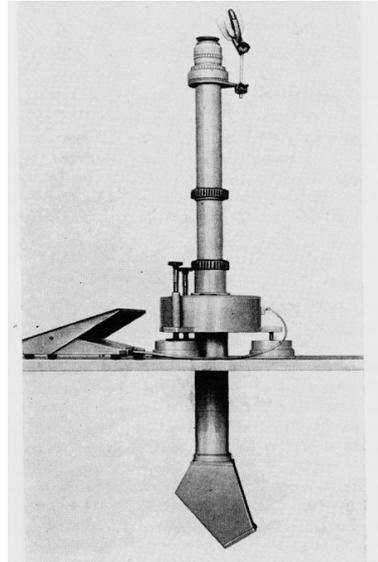


Bild 71: Navigations-teleskop Aeroscop

Es handelte sich um ein verkleinerndes Fernrohr mit abgelenktem Strahlengang, das eine gute Voraussicht bis zum Sechsfachen der Flughöhe über Grund bot. Der Sichtwinkel reichte vom Horizont bis hinter den Nadirpunkt. In der Okularbildebene befanden sich auf einer Strichplatte die in Bild 72 gezeigten Markierungen.

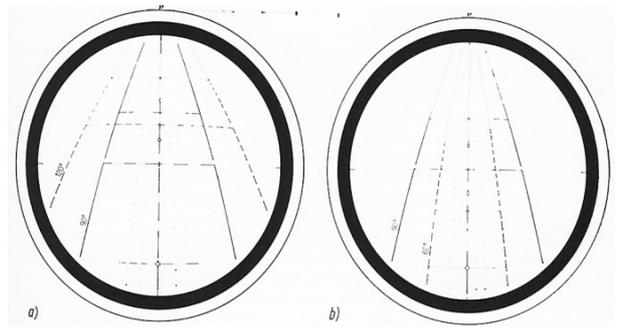


Bild 72: Markenplatten des Aeroscops für verschiedene Messkammern des MRB-Systems

Im einzelnen enthielten die Strichplatten folgende Markierungen: Den Nadirpunkt, die Kurslinie, die Begrenzungslinien des Flugstreifens bei einer Querüberdeckung von 30 %, die Einzelpunktbegrenzungslinie mit dem Nadirpunkt als Bildhauptpunkt, Toleranzlinien in Form von Punktreihen in einem Abstand von ± 7,5 % der Bildformatseite von der Kurslinie sowie Streifenanschlusspunkte für die Seiten-

navigation bei 30 % Querüberdeckung. Am Beginn eines Flugstreifens wurde das Fernrohr azimutal auf einen Zielpunkt ausgerichtet und dann geklemmt. Beim Streifenflug sollte sich dann der Zielpunkt auf der Kurslinie bewegen.

Tafel 28: Aeroscop, technische Daten

Gesamtvergrößerung:	0,6 fach
Schfeldwinkel (gon):	100
nach vorn (gon):	90
nach hinten (gon):	10
Fernrohrlänge (mm):	1235 oder 1435
Einblickhöhe vom Flugzeugboden (mm):	725 bis 1245

7.10 Das 'Registrierstoskop Regiscop'

Fehlertheoretische Betrachtungen zur Bildung von Streifen- oder Blockverbänden aus überlappenden Luftmessbildern mittels instrumenteller oder analytischer Aerotriangulation zeigten die Notwendigkeit zur Stützung solcher Verbände durch unabhängig erhobene Daten der äußeren Orientierung. Diese Daten erhielt man aus Passpunkten, die im Aufnahmegebiet mittels konventioneller terrestrisch-geodätischer Methoden eingemessen worden waren. Solche Arbeiten waren langwierig und kostspielig. Es hatte sich erwiesen, dass ihre Anzahl durch die direkte Bestimmung von Daten der äußeren Orientierung bei der Luftbildaufnahme erheblich reduziert werden konnte. Besonders hilfreich war die Einführung gemessener Höhendifferenzen über NN (Normal-Null) zwischen den Aufnahmestandorten. Solche Höhendifferenzen lassen sich an Bord von Bildflugzeugen durch eine barometrische Höhenmessung bestimmen.

Für diesen Zweck entwickelte man im Rahmen des MRB-Systems ein registrierendes Stoskop unter der Bezeichnung 'Regiscop' (Bild 73).

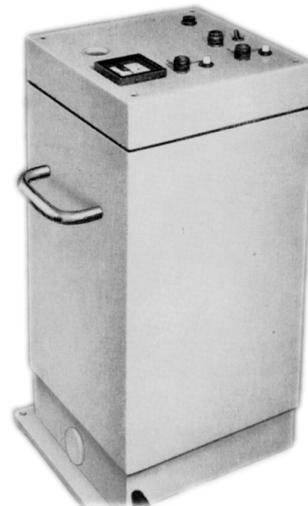


Bild 73: Regiscop

Das Gerät enthielt zwei barometrische Druckdosensysteme (Aneroid-Barometer). Bei dem einen handelte es sich um einen barometrischen Höhenmesser, wie er allgemein in der Luftfahrt als Höhenmesser zur Verwendung kam. Der andere war ein Differentialbarometer zur genauen Messung der Flughöhenabweichung aus einem vorgegebenen Niveau über NN. Sein Druckdosensatz wurde nach Erreichen der vorgegebenen Flughöhe über NN mit Außenluft 'geflutet' und dann verschlossen. Bei Höhenänderungen des Flugzeugs baute sich so zwischen dem Innendruck des aus einer Kupfer-Berylliumlegierung bestehenden Druckdosensatz (Vididosen) und dem Außenluftdruck eine Differenz auf, die zu einer messbaren Deformation der Vididosen führte. Bild 74 erläutert das Funktionsprinzip des Regiscops.

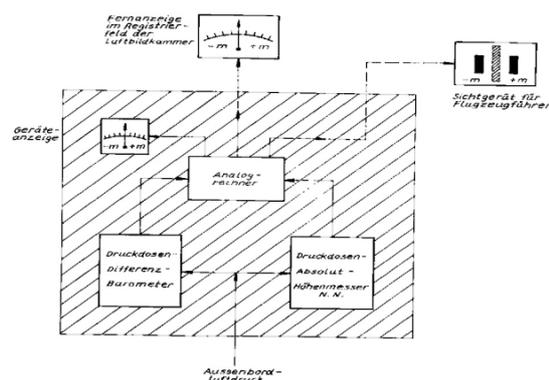


Bild 74: Funktionsprinzip des Regiscops

Der Messabgriff erfolgte mittels eines elektrischen induktiven Messwertgebers direkt an dem Druckdosensatz. Damit wurde vor allem eine weitgehend trägheitsfreie Messwertübermittlung erreicht. Der Flughöhenmesser lieferte die Flughöhe über NN mit ausreichender Genauigkeit zur Umrechnung der Druckmessung des Differential-Barometers in Meterangaben. Die Berechnung besorgte ein im Gerät

integrierter Analogrechner. Die Betriebstemperatur des Regiscops wurde mittels eines Thermostats konstant auf + 35°C gehalten. Die drei parallel geschalteten Anzeigeegeräte, von denen sich das erste am Statoskop befand, das zweite zur Registrierung der Flughöhenabweichung auf dem Randstreifen des Messbildes in die MRB-Messkammer eingeschoben wurde und das dritte mit einer entsprechenden Gestaltung der Skale beim Flugzeugführer montiert war, zeigten die Flughöhenabweichung in Meter (wahlweise in 'feet') an.

Tafel 29: Regiscop, technische Daten

Arbeitsbereich (m):	bis 8000 über NN
Umgebungstemperatur (°C):	+ 40 bis - 20
Messung der Flughöhendifferenzen (m):	± 40
Betriebstemperatur (°C):	+ 35

7.11 Der 'Laser-Flughöhenmesser Altimat'

Ein weiteres wichtiges Element zur Stützung von Bildverbänden war die Flughöhe über Grund in den Aufnahme-standorten. Hierfür kam es in der Mitte der 1960er Jahre zur Entwicklung des Lidar-Höhenmessers Altimat. Außer Bild 75 gibt es nur noch einige persönliche Erinnerungen zu diesem Projekt.

Bestimmendes Funktionselement dieses Geräts war ein Rubin-Festkörperlaser aus der Zeiss-Produktion. Mit dessen hoher Energieleistung waren Messungen aus einer Höhe über Grund bis zu 10000 Meter in einer Folge von 1 Herz möglich. Dies war in guter Übereinstimmung mit dem Kammerzyklus der Aufnahmekammern des MRB-Systems, der im Minimum 2 Sekunden betrug. Gemessen wurde die Laufzeit eines Laserimpulses vom Bildflugzeug zur Erdoberfläche und des dort reflektierten Signals zurück zum Empfänger des Altimat, woraus sich bei Stützung auf die Lichtgeschwindigkeit die Flughöhe über Grund ermitteln ließ. Die Wellenlänge der Laserstrahlung war geringer als 0,001 mm und machte so ihre sehr enge Bündelung möglich. Das an der Erdoberfläche ausgeleuchtete Gebiet hatte, abhängig von der Flughöhe, einen Durchmesser von maximal 2 Meter.



Bild 75: Altimat, Sende- und Empfangsblock

Die digitale Ausgabereinheit zeigte die Flughöhe über Grund in Meter an. Der Altimat besaß eine mittelformatige Positionskamera, die den Bodenpunkt der Laserreflexion festhielt.

Bei den Erprobungsarbeiten mit dem Gerät traten Doppelschalls auf, die offensichtlich davon herrührten, dass der Laserstrahl sowohl an der Vegetationsdecke als auch am Boden reflektiert wurde. So bestand die potentielle Möglichkeit, z.B. im Forstwesen, Bewuchshöhen zu bestimmen. In Kombination mit dem Regiscop erschien auch eine direkte Aufnahme von Geländeprofilen, zur Generierung von digitalen Geländemodellen oder zur Steuerung einer Off-Line Differentialentzerrung realisierbar (Bild 76).

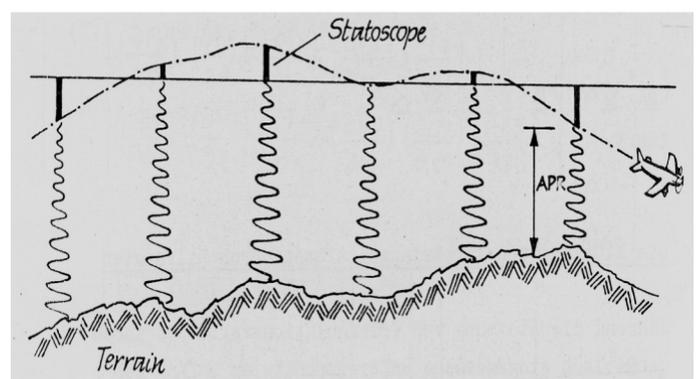


Bild 76: Digitale Profilaufnahme mit Regiscop und Altimat

Tafel 30: Altimat, technische Daten

Lasergenerator:	Impulsgesteuerter CZ-Rubin-Festkörperlaser
Wellenlänge (mm):	< 0,001
Bündelung (°):	~ 1
Ausleuchtungsradius am Boden aus 7000 m Höhe (m):	2
Messgenauigkeit aus 10000 Höhe (1 σ) (m):	± 1

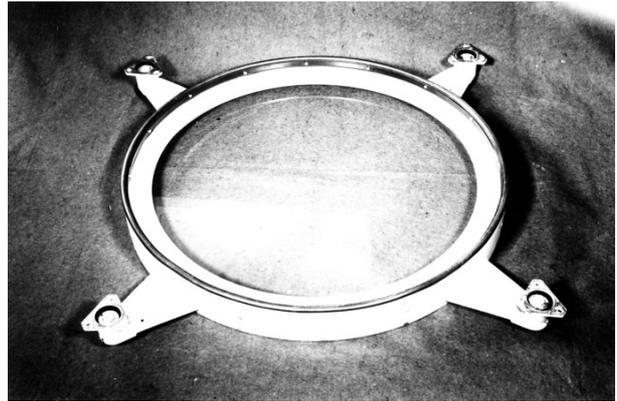


Bild 78: Abschlussfenster

7.12 Bildflugzeuge und Abschlussfenster

In der zweiten Hälfte der sechziger Jahre kam es zu Kontakten mit Flugzeugproduzenten, die für den Bildflug geeignete Maschinen herstellten. Ziel war das gemeinsame Angebot von Bildflugzeugen, die mit dem Zeiss-MRB-System ausgerüstet werden sollten. Es gab unter den damaligen Gegebenheiten drei mögliche Partner für ein solches Projekt: Die rumänischen Flugzeugwerke mit dem Lizenzbau des 'Islander' von Britten-Norman, die polnischen Flugzeugwerke mit der Spezialkonstruktion MD-12.F und die Flugzeugwerke der damaligen CSSR mit der L-410 (Bild 77).

In diesem Zusammenhang entstanden dann auch die Abschlussfenster (Bild 78). Diese wurden vor der Messkammer angebracht und schlossen die Kammerluke des Bildflugzeugs nach außen ab. Sie schützten sowohl das Aufnahmegerät als auch die Besatzung vor ungünstigen Klimaeinflüssen und sie waren unbedingt erforderlich für den Bildflug in großer Höhe¹⁸³. Die Abschlussfenster wurden mit Durchmessern bis zu einem Meter und Dicken bis zu 60 Millimeter gefertigt. Da sie im Abbildungsstrahlengang lagen, galten für sie die gleichen engen Fertigungstoleranzen hinsichtlich Planparallelität wie für die Farbfilter der Messkammer. Auch durften Differenzen zwischen Kabineninnen- und Außenluftdruck nicht zu unzulässigen Durchbiegungen der Abschlussfenster führen.



Bild 77: Bildflugzeug L-410 UVR

7.13 Das Luftbildaufnahmesystem 'Luftbildmesskammer LMK 2323'

Bereits in den 1970er Jahren stießen die Hersteller von Luftbildmesskammern bei der ständigen Erhöhung von deren Leistungsfähigkeit an physikalische und technische Grenzen. Dies betraf die Lichtleistung der Objektive, deren Blendendurchmesser bereits über 50 Millimeter betrug. Die Öffnungszeiten der Hochleistungs-Drehscheibenverschlüsse erreichten Belichtungen von 1/2000 Sekunde. Die Kammergeometrie wich für alle Bildpunkte der Normal- bis Weitwinkelkammern (Öffnungswinkel 53° bis 90°) um maximal 0,002 Millimeter und jene der Überweitwinkelkammer (Öffnungswinkel 122°) um maximal 0,005 Millimeter von der mathematischen Zentralprojektion ab. Das photographische Auflösungsvermögen, bestimmt nach den Definitionen der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie, überschritt den Wert von 60 Linien pro Millimeter (für schwachen Kontrast).

Aber die Forderungen nach Leistungssteigerung der Luftaufnahmetechnik stiegen weiter. Sie wurden objektiv begründet mit der zunehmenden Anwendung von Luftbildern in wissenschaftlichen Instituten und in technischen Bereichen der Volkswirtschaft. Dies führte zur Ausweitung der täglichen und saisonalen Bildflugaktivitäten in Tages- und Jahreszeiten hinein, die man bisher aus meteorologischen Gründen ungenutzt ließ. Auch die sich stark entwickelnde Fernerkundung der Erde mit der Verwendung feinkörniger, geringer empfindlicher Filme, sowie von Color-, Infrarot-Color/Infrarot (CIR-) -Filmen führte auf das gleiche Problem. Es war gewiss, ohne durchgreifende Innovationen kam man in der Luftbildaufnahme nicht weiter.

Im Jenaer Zeisswerk stellte man sich dieser Herausforderung mit der Luftbildmesskammer LMK (Bild 79) im Jahr 1982¹⁸⁴. Bereits seit dem Jahr 1953 hatte man Ideen und während der MRB-Phase Erfahrungen für die Gestaltung einer neuen Generation von Luftbildmesskammern gespeichert. In den ausgehenden 1970er Jahren waren notwendige mikroelektronische Bauelemente für die Realisierung eines solchen Projekts verfügbar. Das Konzept der neuen Jenaer Luftbildmesskammern zeichnete sich durch folgende Eigenschaften aus:

1. Aufgabe des Prinzips der starren Messkammer
2. Bildwanderungsausgleich
3. Differentielle Messung der Szenenhelligkeit
4. Automatische Steuerung der Blende und Belichtungszeit
5. Kreiselgestützte Stabilisierung der Messkameraaufhängung

Die LMK ist bis in die beginnenden 1990er Jahre in drei sich ablösenden Versionen gebaut worden. In dieser Zeit haben auch andere Hersteller das neue Jenaer Konzept vollständig oder teilweise übernommen.

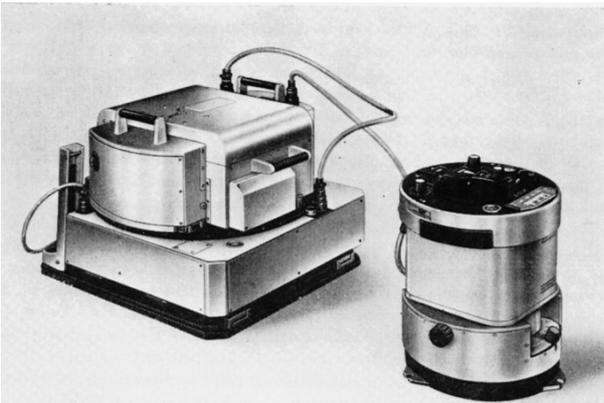


Bild 79: Luftbildmesskammer LMK

Bildwanderung^{185,186} entsteht, wenn die Messkammer mit geöffnetem Verschluss (siehe Bild 80) von A (Öffnen des Verschlusses) nach E (Schließen des Verschlusses) verschoben wird.

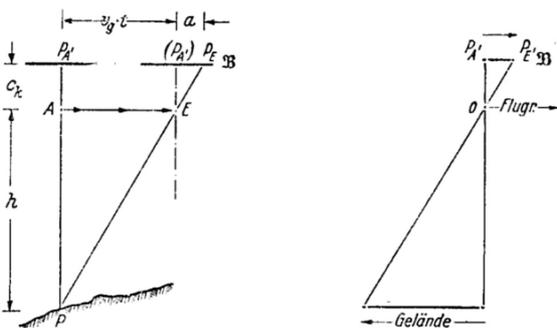


Bild 80: Bildwanderung

Der Geländepunkt P wird in der Bildebene B zur Strecke $(P_{A'})-P_{E'} = a$. Bei der Luftbildaufnahme ist A-E jene Strecke, die das Bildflugzeug mit geöffnetem Verschluss zurücklegt; so wird $A-E = v_g t$, wo v_g die Fluggeschwindigkeit über Grund und t die Belichtungszeit sind. Mit h_g als Flughöhe über Grund und c_k als Kammerkonstante (Brennweite) erhält man den Betrag der Bildwanderung a für den Geländepunkt P zu:

$$a = v_g t c_k h_g^{-1}$$

wovon erfahrungsgemäß 20 bis 50% in der Bildebene photographisch wirksam werden¹⁸⁷.

Zur Kompensation der Bildwanderung muss offensichtlich der Film in der Kammerkassette während der Belichtungszeit eine Verschiebung in Flugrichtung mit einer Geschwindigkeit v_g' erfahren. Mit $a = v_g t$ erhält man

$$v_g' = v_g c_k h_g^{-1}$$

Die in der LMK vorgesehene Kompensationsgeschwindigkeit von 64 mm/s war ausreichend um die bei einem Bildflug auftretenden Bildwanderungen zu kompensieren, die durch die Vorwärtsbewegung des Bildflugzeugs entstanden. Das Ergebnis einer Bildwanderungskompensation zeigt Bild 81.

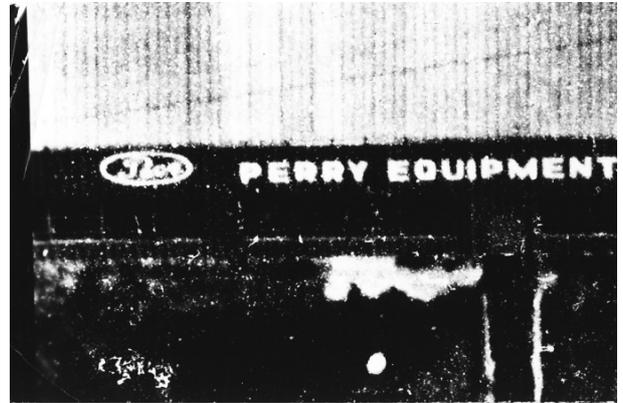


Bild 81: Etwa 50fach vergrößerter Ausschnitt aus einem Messbild, aufgenommen im Maßstab 1:3680 mit einer Weitwinkel-LMK. Die Belichtungszeit betrug 1/165 s. Kompensiert wurde eine auf die Ausschnittsvergrößerung bezogene Bildwanderung von 5 Millimeter. Deutlich erkennbar sind die Dachstruktur und der Firmenname.

Eine exakte Kompensation der Vorwärts-Bildwanderung ist nur für Geländepunkte gleicher Höhe (im Bereich eines Luftbildes) möglich. Geländepunkte die oberhalb oder unterhalb der Bezugsebene liegen, erzeugen im Messbild eine Sekundärbildwanderung. Ihre Größe beträgt:

$$\Delta a = [v_g c_k (h_g - \Delta h_g)^{-1} - v_g c_k h_g^{-1}] dt$$

wo v_g die Fluggeschwindigkeit über Grund in m/s, c_k die Kammerkonstante (Brennweite) in Meter, h_g die Flughöhe über Grund in Meter, Δh_g die Höhendifferenz eines Geländepunktes zur Kompensationsebene in Meter und dt die Belichtungszeit in s sind.

Genau genug ist im allgemeinen die Näherung:

$$\Delta a \sim v_g c_k \Delta h_g dt (h_g^2)^{-1}$$

Geländepunkte, die oberhalb einer Kompensationsebene liegen (ihr Abstand h_g zum Flugzeug wird geringer) erzeugen eine Sekundärbildwanderung in Flugrichtung und Geländepunkte unterhalb dieser Ebenen (ihr Abstand h_g zum Flugzeug wird größer) erzeugen eine Sekundärbildwanderung entgegen der Flugrichtung. Die Beträge der

Sekundärbildwanderung sind meist so klein, dass sie unter der photographischen Wahrnehmungsgrenze liegen.

Die Bildwanderungskompensation erlaubte die Wahl längerer Belichtungszeiten und führte so zur Ausdehnung der täglichen und saisonalen Bildflugtätigkeit auf Zeiten, die bisher wegen der meteorologisch bedingten Abnahme der Szenenausleuchtung nicht genutzt werden konnten. Sie erleichterte weiterhin auch die Verwendung feinkörnigerer, hochauflösender Fliegerfilme geringerer Empfindlichkeit sowie von Spezialemulsionen (Color-, Infrarot- und Color/Infrarotfilme) die zunehmend in der Fernerkundung zum Einsatz kamen.

Die allgemeine Verlängerung der Belichtungszeiten machte eine sorgfältige Untersuchung aller jener Störquellen erforderlich, deren Auswirkungen zu einer Minderung der Bildgüte führen konnten¹⁸⁸. Bisher war es gelungen, diese Auswirkungen durch die Anwendung extrem kurzer Belichtungszeiten und im MRB-System zusätzlich durch die Gestaltung der Messkammeraufhängung in vertretbaren Grenzen zu halten. Zunächst übernahm man von der MRB-Reihe die Schwerpunktaufhängung und die Abstimmung der Eigenfrequenz der Aufnahmekammer um zu verhindern, dass aerodynamisch begründete Schwingungen und von den Triebwerken des Bildflugzeugs ausgehende Vibrationen in Drehschwingungen der Messkammer umgesetzt wurden.

Eine weitaus befriedigendere Lösung gelang im System der im Jahre 1989 vorgestellten LMK 2000¹⁸⁹.

Bei der passiven Isolierung von hochfrequenten Vibrationen, die im wesentlichen von den Flugmotoren ausgingen, war man durch den Einsatz von Dämpfungsmitteln und Wahl einer geeigneten Eigenfrequenz der Messkammer erfolgreich gewesen. Den damals gelegentlich auftretenden niederfrequenten Störungen unterhalb der Eigenfrequenz, verursacht durch meteorologische und aerodynamische Einflüsse sowie durch die Flugzeugführung, konnte man aber nur wirksam durch aktive Vorkehrungen begegnen. Diese bestanden darin, eine stabilisierte Kammeraufhängung zu schaffen¹⁹⁰. Es war Aufgabe einer solchen Stabilisierung, Änderungen in der Horizontierung und azimutalen Ausrichtung der Messkammer während der Verschlussöffnung nur in sehr engen Grenzen zu tolerieren. Wesentlicher Bestandteil einer entsprechenden Vorrichtung war ein Sensorsystem, welches Drehungen der Messkammer in einem nach der Lotrichtung orientierten dreiachsigen, rechtwinkligen Koordinatensystem ermitteln konnte. Im Aufnahmesystem der LMK 2000 war dies eine Anordnung von Richtkreisel, die durch Elektrolytblibellen gestützt wurden. Aus ihren Messwerten erhielt man Steuergrößen, die hydraulisch auf die Einstellelemente für Kantung, Längs- und Querneigung der LMK-Aufhängung übertragen wurden¹⁹¹. Die stabilisierte Aufhängung der LMK 2000 ist auch als Plattform für andere flugzeuggetragene Geräte zum Einsatz gekommen.

Im Rahmen der LMK-Entwicklung entstand ein neuer mechanisch-elektronischer Drehscheibenverschluss, der für alle vier Varianten des LMK-Systems zur Verwendung kam und der als sogenannter 'Einschiebeverschluss' in den

Blendenraum zwischen Vorder- und Hinterglied des Objektivs von der Seite her eingeschoben werden konnte, ohne die kalibrierte Anordnung der optischen Glieder zu verändern¹⁹².

Gegenüber dem MRB-System gab es auch am Steuergerät einige Veränderungen. Die bedeutendste betraf den Überdeckungsregler. Die Seitenverkehrung des unter der großen Feldlinse durchlaufenden Geländebildes wurde durch Einführung einer zusätzlichen spiegelnden Fläche in den Projektionsstrahlengang aufgehoben. Der Kammeroperator konnte so das vorbeiziehende Geländebild direkt mit seiner Navigationskarte vergleichen.

Mit dem Übergang auf das LMK-Aufnahmesystem im Jahr 1982 ersetzte man die integrale Lichtmessung mit dem Aerolux durch eine in die Messkammer integrierte automatische Belichtungsregelung auf der Basis einer differentiellen Lichtmessung zur Bestimmung des Helligkeitsumfangs der Aufnahmeszene¹⁹³. Es war das Ziel dieser Entwicklung, ein System zu schaffen, das insbesondere auch den ungeübten Operateur mit wenig praktischen Erfahrungen in die Lage zu versetzen, Luftbilder höchster Qualität herzustellen. So war dafür zu sorgen, dass keine Unterbelichtungen vorkamen und es wurde eine Empfehlung für den photographischen Entwicklungsprozess gegeben mit dem Ziel, den Helligkeitsumfang in jenen Dichtebereich der Aufnahmeemulsion zu verlegen, der das höchste Auflösungsvermögen besaß.

Die differentielle Helligkeitsmessung besorgte ein optisches System geringen Öffnungswinkels (1,4 gon), das einen Ausschnitt des überflogenen Geländes der auf Siliziumbasis arbeitenden Photodiode (Durchmesser 1,2 mm) zuführte. Ein Sperrfilter begrenzte deren spektrale Empfindlichkeit auf Strahlungen unter 700 nm. Der Sensor zur Erfassung der Helligkeit war in jedem der LMK-Kammerstützen unmittelbar neben dem photographischen Messobjektiv angeordnet. Während des Bildflugs wurden die Helligkeiten mit einer Frequenz von 38 Hz. erfasst, digitalisiert und einem Mikroprozessor zugeleitet. Aus einer Folge von 100 Messwerten isolierte dieser fünf Maximalwerte und Minimalwerte, deren jeweilige Mittel den Helligkeitsumfang der Szene festlegten. Unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit des verwendeten Fliegerfilms und der gewählten Blendeneinstellung berechnete der Mikroprozessor die Belichtungszeit für das dunkelste Detail und aus der Helligkeitsdifferenz zwischen Maximum und Minimum die Gradationsempfehlung für den photographischen Entwicklungsprozess¹⁹⁴.

Die LMK war als Stützenkammer konzipiert. In ihrer letzten Ausführung LMK 2000 besaß sie vier austauschbare Stützen des Normalwinkeltyps, Zwischenwinkeltyps, Weitwinkeltyps und Überweitwinkeltyps.

Tafel 31: LMK 2000, technische Daten

Stabilisierung	
Horizontierung (°):	± 5
Kantung (°):	± 25
Maximale Kompensationsgeschwindigkeit (°/s):	10
Maximale Nadirdistanz (°):	1
Objektivstutzen:	
LC 2030	
Objektiv:	Lamegor PI 5,6/300B
Brennweite (mm):	305
Öffnungswinkel (°):	53
Verzeichnung (mm):	± 0,002
Blendenzahlen:	5,6; 6,3; 8; 9,5; 11; 13; 16
LC 2021	
Objektiv:	Lamegoron PI 5,6/210A
Brennweite (mm):	210
Öffnungswinkel (°):	72
Verzeichnung (mm):	± 0,002
Blendenzahlen:	5,6; 6,8; 8; 9,5; 11; 13; 16
LC 20015	
Objektiv:	Lamegon PI 4/150D
Brennweite (mm):	152
Öffnungswinkel (°):	90
Verzeichnung (mm):	± 0,002
Blendenzahlen:	4; 4,8; 5,6; 6,8; 8; 9,5; 11; 13; 16

LC 2009	
Objektiv:	Superlamegon PI 5,5/90C
Brennweite (mm):	89
Öffnungswinkel (°):	119
Verzeichnung (mm):	± 0,005
Blendenzahlen:	5,6; 6,8; 8; 11
Kammerkörper	
Bildformat (nutzbares) (mm):	228X 228
Filmbreite (mm):	240
Filmlänge (m)	
Dicke 0,08 mm:	210 (790 Aufnahmen)
Dicke 0,11 mm:	150 (555 Aufnahmen)
Dicke 0,15 mm:	120 (440 Aufnahmen)
FMC (Vorwärts-Bildwanderung) (mm/s):	0.3 bis 64
Belichtungszeiten	
manuelle Einstellung (s ⁻¹):	60, 85, 125, 175, 250, 350, 500, 700, 1000
automatisch (s ⁻¹):	64 bis 1024
Längsüberdeckung (%):	1 bis 99

7.14 Das 'Bildflug-Navigations- und Steuergerät NCU 2000'

Im Rahmen des LMK-Systems entstand im Jahr 1988 das Navigations-Steuergerät NCU 2000¹⁹⁵. Es war dies die Kombination eines Navigationsteleskops und eines monokularen Überdeckungsreglers. In seiner letzten Ausbaustufe konnte es, insbesondere bei der Nutzung von Flugzeugen mit beschränkter Geländeeinsicht nach vorn, das normale Steuergerät ersetzen. Als Navigationsteleskop besaß es nahezu den Aufbau und die technischen Daten des Aerokops im MRB-System.

8.0 Die Geräte für die photographische Bildverarbeitung

Als im Jahr 1961 mit der MRB 21/1818 das erste Gerät einer neuen Generation von Luftbildmesskammern angeboten wurde, gab es im damaligen Hauptabsatzgebiet des Jenaer Zeisswerks große Schwierigkeiten die hohe Qualität der MRB nutzbar zu machen. Es fehlten leistungsfähige Geräte für die Entwicklung, Trocknung und die Kopie der bis zu 120 Meter langen und 19 Zentimeter breiten Fliegerfilme. Solche Geräte für die rationelle photographische Bildverarbeitung waren hier nur schwer oder auch überhaupt nicht zu beschaffen. So begann man in den 1960er Jahren im Zeisswerk mit der Entwicklung und der Produktion derartiger Ausrüstungen. Die mit den neuen Hochleistungsobjektiven erreichbare wesentliche Verbesserung der Bildqualität machte es möglich, allgemein zu kleineren Bildmaßstäben überzugehen und so die Produktivität der photogrammetrischen Arbeiten entscheidend zu erhöhen. Und so wurde es auch erforderlich, das im Rekonstruktionsprogramm wiedererstandene Entzerrungsgerät SEG I durch neue Konstruktionen abzulösen.

8.1 Das 'Fliegerfilmentwicklungsgerät EG 120' und der 'Trockenschrank TS 120'

Die Geräte EG 120 (Bild 82) und TS 120 (Bild 83) wurden ab 1961 gefertigt. Sie dienen der Entwicklung, Fixage, Härtung und Trocknung der bis zu 160 Meter langen und bis zu 24 Zentimeter breiten Fliegerfilme.

Das EG 120 (Bild 82) war ein Umspulgerät. Das Filmband wurde von zwei gegenüberliegenden Spulen in wechselnder Richtung motorisch durch das Entwickler-, Fixier- oder Härtungsbad gezogen. Ein besonderer Schaltmechanismus sorgte dafür, dass bei Umkehr der Laufrichtung das Filmband keiner ruckartigen Belastung ausgesetzt wurde. Dadurch konnte eine sonst mögliche affine Verformung der Messbilder vermieden werden. Die Laufgeschwindigkeit bei der Entwicklung des Filmbandes war innerhalb weiter Grenzen zur Anpassung an den Bildkontrast veränderlich.



Bild 82: Filmentwicklungsgerät EG 120

Tafel 32: EG-120, technische Daten

Filmbreite (mm):	bis 240
Filmlänge (m):	bis 150
Umspulgeschwindigkeit (U/min):	50 bis 200
Badmenge (l):	20 bis 33

Im TS 120 wurde das nasse durchlaufende Filmband mit leicht erwärmter trockener Luft angeblasen. Unter der Annahme, dass 30 Meter Film, einer Breite von 240 Millimeter, etwa einen Liter Flüssigkeit enthalten, betrug die Durchlaufgeschwindigkeit ca. 1,20 m/min. Um die Gefahr zu mindern, dass bei dem erheblichen Luftdurchsatz Staubpartikel auf den Film geblasen werden, war der TS 120 mit einem hochwirksamen Luftfilter versehen worden.



Bild.83: Trockenschrank TS 120

Tafel 33: TS-120, technische Daten

Filmbreite (mm):	190, 200, 240
Filmlänge (m):	bis 120
Transportgeschwindigkeit des Films (m/h):	15 bis 70
Temperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur (°C):	30, 40, 50
Trockenzeit für 120 m Film (h):	1,5 bis 8,0

8.2 Das 'Elektronische Kopiergerät Elcop'

Die immense Zunahme der Verwendung von Luftbildern im Karten- und Vermessungswesen, in der Landesplanung, in der Forst- und Landwirtschaft, im Verkehrswegebau sowie im Umweltschutz brachte es mit sich, dass bei der erheblichen zeitlichen Ausweitung der Bildflugaktivitäten gelegentlich auch Luftbilder mit großen Schwärzungsunterschieden, zum Beispiel hervorgerufen durch Wolken- oder Schlagschatten, entstanden. Damit wurde die Detailerkennbarkeit im Bereich hoher Schwärzungen (Schatten) und niedriger Schwärzungen (Lichter) stark eingeschränkt. Auch die bei der Luftbildaufnahme aus über 2000 Meter Flughöhe über Grund spürbare atmosphärische Trübung führte zu ganz ähnlichen Störungen. Den durch die Trübung verursachten Abfall des Detailkontrastes versuchte man durch die Verwendung von hart arbeitendem Kopiermaterial (das bei der Einwirkung geringer Helligkeitsdifferenzen größere Schwärzungsunterschiede hervorbringt) zu begegnen. Auch hierdurch konnte es in den Lichtern und Schatten zu Informationsverlusten kommen. Eine Lösung des Problems brachte die elektronisch gesteuerte Bildkopie¹⁹⁶. Das Funktionsprinzip des Elcop, das im Jahr 1966 vorgestellt wurde, erläutert Bild 84.

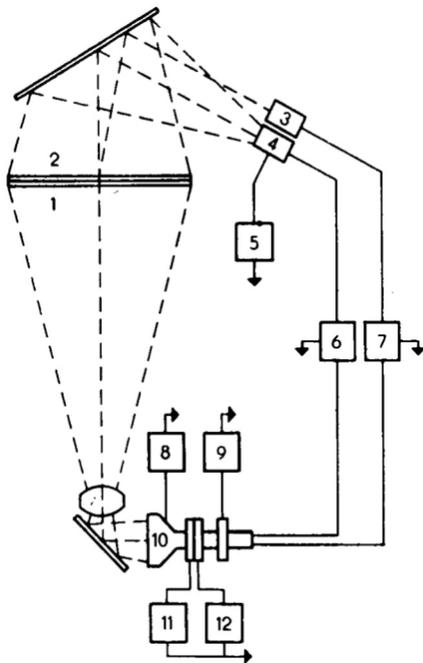


Bild 84: Funktionsprinzip des Elektronischen Kopiergeräts Elcop. 1 Messbildnegativ, 2 Kopiermaterial (Film oder Photopapier), 3 und 4 Sekundärelektronenvervielfacher, 5 Hochspannungsgenerator, 6 Regelverstärker, 7 Belichtungsautomat, 8 Hochspannungsgenerator, 9 Fokussierung, 10 Elektronenstrahlröhre, 11 Ablenkgenerator vertikal, 12 Ablenkgenerator horizontal¹⁹⁷

Als Lichtquelle diente eine Elektronenstrahlröhre, die mit einer Anodenspannung von 12 kV betrieben wurde. Diese Röhre besaß einen Planschirm mit blauem Leuchtstoff, dessen spektrale Emission für das Kopiermaterial günstig war. Das Abtasten des Negativs mit dem darüberliegenden lichtempfindlichen Photomaterial (Film oder Photopapier)

erfolgte punktweise durch einen wandernden Leuchtpunkt (Flying Spot). Zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Abtastgeschwindigkeit wurde der Elektronenstrahl magnetisch durch zwei symmetrisch lineare Dreieckströme geringen Frequenzunterschieds ausgelenkt. Die auf dem Schirm der Elektronenstrahlröhre entstehende Figur war ein Rechteck, dessen jeweils gegenüberliegende Seiten sich in ihrer Länge periodisch von Null bis zu einem Maximalwert und wieder zurück auf Null veränderten. Dieser Frequenzunterschied musste der verwendeten Leuchtpunktgröße und dem Negativformat angepasst werden und war deshalb von 0 Hz bis 4 Hz regelbar. Die Fokussierung des Elektronenstrahls, wie auch seine Auslenkung in vertikaler und horizontaler Richtung waren getrennt verstellbar. Beim Kopierprozess wurde das durch das Negativ- und Positivmaterial dringende Licht von der Photokathode eines 12-stufigen Sekundärelektronenvervielfachers aufgenommen und die am Arbeitswiderstand desselben anfallende Spannung wurde über einen Impedanzwandler dem Regelverstärker zugeführt. Dieser lieferte die Spannung zum Steuern des Gitters der Elektronenstrahlröhre. Traf der Abtastpunkt auf Stellen geringerer Transparenz (Schatten) im Negativ, wurde die Intensität des Strahls der Elektronenstrahlröhre erhöht und bei Stellen großer Transparenz verringert. Die Einstellung des Kontrastausgleichsgrades war bis zu einem vom Negativ- und Kopiermaterial abhängigen Maximalwert kontinuierlich möglich. Die Dauer des Kopiervorgangs wurde von einem Belichtungsautomaten gesteuert. Dazu wurde das durch das Negativ- und Positiv dringende Licht von der Photokathode eines 10stufigen Sekundärelektronenvervielfachers erfasst und die erzeugte Spannung dem Ladekondensator des Belichtungsautomaten zugeleitet. Zum Ausgleich der unterschiedlichen Positivmaterialien war die Betriebsspannung des Sekundärelektronenvervielfachers regelbar. Die dadurch erreichte Änderung des Belichtungsverhältnisses von 1:80 ermöglichte es, die richtige Belichtung für das jeweilige Kopiermaterial einzustellen.

Das Ergebnis einer elektronischen Luftbildkopie zeigen die Bilder 85 a und b.



Bilder 85 a und b: Elektronische Kopie eines Luftbildausschnitts

Wurde die Fläche des abtastenden Leuchtflecks kleiner gewählt als ein bestimmter Bildausschnitt (hier die Wolken-

schatten), so trug nur dieser zur Kontrastkompression bei, während der Kontrast für Details, die innerhalb des Abtastflecks lagen, erhalten blieb. Darüber hinaus verminderte die Kontrastkompression den Schwärzungsumfang der elektronischen Kopie beträchtlich, so dass infolge der hierdurch möglichen Verwendung eines hart arbeitenden Positivmaterials eine weitere Steigerung des Detailkontrasts erreicht werden konnte.

Das Elcop wurde auch mit Erfolg in der medizinischen Röntgendiagnostik zum Einsatz gebracht^{198,199,200} (Bild 86):

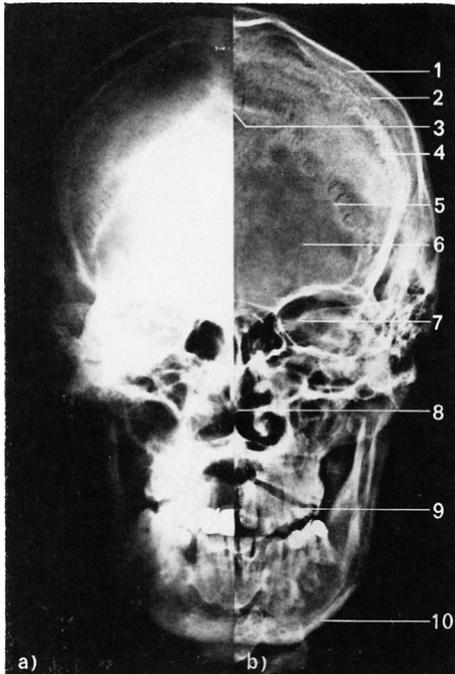


Bild 86: Anwendung des Elcop in der medizinischen Röntgendiagnostik. Links normale Kopie, rechts elektronische Kopie. 1 Äußeres Blatt des Schädeldaches, 2 Inneres Blatt des Schädeldaches, 3 Pfeilnaht, 4 Kronennaht, 5 Lambdanaht, 6 Stirnbein, 7 Oberer Augenhöhlenrand, 8 Knöchernen Nasenscheidewand, 9 Oberkiefer, 10 Unterkiefer

Dem Elcop A des Jahres 1966 folgte 1978 die Weiterentwicklung Elcop B. Die wesentlichen funktionellen Veränderungen waren der Ersatz der Intensitätssteuerung der Kathodenstrahlröhre durch eine Steuerung der Abtastgeschwindigkeit sowie die zeilenweise Abtastung. Dies führte zu einer Verkürzung der Kopierzeit. Der Elektronenstrahl überfuhr das zu kopierende Material mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der örtlich wechselnden Transparenz des Negativs. Dies hatte u.a. auch den Vorteil, dass die Größe (Durchmesser) des Abtastflecks, der bei der Intensitätssteuerung 'atmete', konstant blieb. Dies war für einige Nutzer des Geräts von erheblicher Bedeutung. Des Weiteren führte die stärkere Nutzung des Elcop in der Röntgenologie zur Vergrößerung des Bildformats auf maximal 46 cm × 46 cm und zu regelbaren größeren Durchmessern des Abtastflecks.

Tafel 34: Elcop B, technische Daten

Bildformate (cm):	6 × 6, 19 × 19, 22 × 20, 24 × 24, 27 × 27, 30 × 30, 46 × 46
Auflösungsvermögen (L/mm):	120
Rollfilmspulen	
Filmlänge (m):	max. 120
Filmbreite (cm):	19, 20, 24, 32
Vorwählfaktor für Belichtungszeit:	ca. 1:80
Blendenzahl:	2,8 bis 22
Belichtungszeit für das Luftbildformat 23cm × 23 cm (s):	ca. 10
Kontrastausgleich (%):	max 100
Abtastleuchtpunkt	
Durchmesser (mm):	2, 3, 4, 5, 7, 8, 14
Filmtransport	
Langsamgang (cm/s):	10
Schnellgang (cm/s):	40

8.3 Das 'Präzisionsentzerrungsgerät Rectimat'

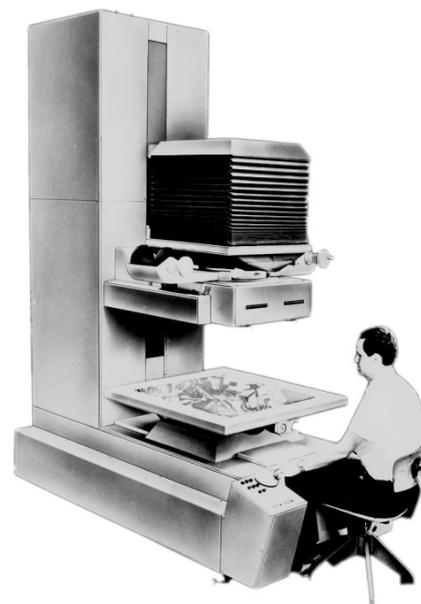


Bild 87: Präzisionsentzerrungsgerät Rectimat

Das in dem Rekonstruktionsprogramm wiedererstandene Entzerrungsgerät vom Typ SEG I entsprach in den ausgehenden 1960er Jahren nicht mehr dem fortgeschrittenen Leistungsstand der Photogrammetrie. Die neuen Anforderungen an ein leistungsfähigeres Entzerrungsgerät ergaben sich aus der zunehmenden Verbreitung der Analytischen Blocktriangulation, aus der Einführung von Hoch-

leistungsobjektiven für die Luftbildmesskammern und den Möglichkeiten für die Bildaufnahme aus dem Weltraum. So kam es am Ende der 1960er Jahre auf der Basis umfangreicher Vorarbeiten²⁰¹ zur Entwicklung des Präzisionsentzerrungsgeräts Rectimat^{202,203,204} (Bild 87).

Die Entzerrung (Umbildung) eines Luftmessbilds war erforderlich, da es nicht möglich war, aus einem Bildflugzeug oder von einer anderen bewegten Plattform aus, Aufnahmen mit genau vertikal gestellter Aufnahmerichtung zu machen. Des Weiteren gab es auch in anderen Bereichen der Photogrammetrie, z.B. in der Architekturphotogrammetrie, Aufgaben, die eine photographische Umbildung erforderlich machten. Das zeitaufwendige konventionelle optisch-mechanische Arbeitsverfahren bestand darin, das auf den Tisch projizierte Messbild durch Tischkippen, Messbildverschiebung und Änderung der Projektionsentfernung mit vier aufgetragenen Passpunkten, welche die zu entzerrende Fläche umschlossen, empirisch manuell in Übereinstimmung zu bringen²⁰⁵. In der Mitte der 1960er Jahre hatte die Analytische Photogrammetrie einen Entwicklungsstand erreicht, der es ermöglichte, diese mit Gewinn (auch mittels einer der Entzerrung vorausgehenden Block-Triangulation) zur Bestimmung der Äußeren Orientierung der Messbilder zu nutzen. Aus diesen Ergebnissen konnten Einstellwerte für ein Entzerrungsgerät berechnet werden. Eine solche Arbeitstechnologie führte zum Wegfall der zeitaufwändigen empirischen Einpassung und damit zu einer besseren Auslastung des Entzerrungsgeräts. Dies verlangte die sehr genaue Einführung von berechneten Einstellwerten in das Gerät. Deshalb musste auch die bei Vorläufergeräten im Projektionsstrahlengang kippende Glasandruckplatte zur Ebnung des Negativmaterials entfallen. Sie wurde ersetzt durch eine Filmansaugplatte zwischen Kondensator und Negativ.

Die verbesserte Bildqualität und die Verfügung über Aufnahmeplattformen im Weltraum führten zur Forderung nach höheren Vergrößerungen in den Entzerrungsgeräten. Um die Bauhöhe des Rectimat in erträglichen Grenzen zu halten entstand das neue weitwinkliger Projektionsobjektiv Transformar und der voluminöse Spiegelkondensator, der in früheren Konstruktionen zur Anwendung kam, wurde durch einen Fresnel-Kondensator ersetzt^{206,207,208}.

Bei der Veränderung von fünf Einstellelementen liefen die inneren Funktionen des Rectimat automatisch so ab, dass immer ein über seine gesamte Fläche scharfes Projektionsbild auf dem Tisch entstand. Diese Steuerungen betrafen die Erfüllung der allgemeinen Newtonschen Linsengleichung ($x \cdot x' = f^2$) und der Scheimpflugbedingung (gemeinsame Spur der Negativebene, Objektivhauptebene und Projektionsebene). Als Option wurde auch die Erfüllung der Perspektivbedingung (Drehsatz der Perspektive) durch eine Fluchtpunktsteuerung angeboten. Bei der Entzerrung auf eine horizontale Bezugsfläche genügten mit ihrer Unterstützung dann für die Entzerrung drei unabhängige Einstellelemente²⁰⁹. Bei den Geräten Rectimat A (1968) und Rectimat B (1970) handelte es sich um mechanische bzw. elektro-mechanische Steuergetriebe (Inversoren). Mit der Version C des Rectimat (1983) ging diese Erfüllung der genannten Bedingungen auf einen Mikroprozessor (8 bit-

Mikrorechner mit 1-K-RAM-Speicher und 15-K-PROM-Speicher) über²¹⁰.

Tafel 35: Rectimat C, technische Daten

Vergrößerung (wechselbare Objektive)	
für f = 150 mm:	0,85 bis 8 fach
für f = 70 mm:	3 bis 18 fach
Tischneigungen	
ω' (gon):	-15 bis +36
φ' (gon):	-15 bis +15
Bildverschiebung	
x'-Richtung (mm):	-40 bis +40
y'-Richtung (mm):	-40 bis +120
Bildformat, max. (mm):	300 × 300
Projektionsobjektive	
Transformar I	
Brennweite (mm):	150
Transformar II	
Brennweite (mm):	70
Bildwinkel (gon):	94.4
Blendenzahl:	5,6 bis 22
Tischformat (mm):	1100 × 1200
Gerätesoftware ²¹¹ :	
MAN	Entzerrung nach Passpunkten. Manuelle Veränderung der fünf Einstellelemente
AUT	Entzerrung nach Einstellwerten. Automatisches Einfahren bekannter Einstellwerte.
EXP 1	Schwarz-Weiß-Belichtung. Steuerte Verschluss, Filter und Belichtungsanzeige.
EXP 2	Farbbelichtung. Im additiven Verfahren erfolgte die Belichtung nacheinander mit den Farbfiltern blau, grün und rot, entsprechend der eingegebenen Belichtungszeit. Gleichzeitig wurde die Halogenlampe in die der Farbe entsprechende Stellung gebracht.
MEM	Speicherung der momentanen Geräteeinstellung. Das Programm speicherte die durch den Operateur eingestellten Werte.
Option:	Fluchtpunktsteuerung

In den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gab es vor allem in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Umweltschutz einen steigenden Bedarf für die Nutzung multispektraler Informationen. Die Aufnahme erfolgte damals überwiegend mit photographischen Multispektralkammern oder auch mit großformatigen Kammerkombinationen. Für die visuelle Auswertung benutzte man sogenannte Multispektralprojektoren (Additive Color Viewers), mit denen die in verschiedenen Spektralkanälen erhaltenen Bilder in einer überlagernden Projektion zu Farb-Synthese-Darstel-

lungen (Color Composites) verarbeitet werden konnten²¹². Es bestand aber das Verlangen für unterschiedliche Verwendungen dauerhafte maßstäbliche Farbsynthesebilder zu erhalten. Hierfür war es erforderlich in zeitlicher Folge eine additive Projektion entzerrter multispektraler Teilbilder aufeinander vorzunehmen. Hierfür entstand die Version CM des Rectimat. Bei nur geringen Veränderungen der Hardware des Rectimat C, betraf die notwendige Erweiterung vor allem die Gerätesoftware^{213,214}.

9.0 Die Photointerpretation und die Fernerkundung

Das photogrammetrische Messbild ist Träger unterschiedlicher Informationen. Im Allgemeinen unterscheidet man die geometrischen Informationen von den nicht-geometrischen Informationen. Letztere werden oft auch als semantische Informationen bezeichnet. Obwohl bei einer Auswertung die beiden Arten der Information korreliert sind, steht doch jeweils eine der Informationen im Vordergrund der Auswertung. Geht es primär um die Entnahme der nicht-geometrischen (semantischen) Inhalte, so spricht man von Interpretation. Man definiert diese vornehmlich als eine Methode der Auswertung von Bildern mit Hilfe quantitativer und qualitativer Analysen, logischer Kombinationen und subjektiver Erfahrungen zur Gewinnung von Informationen über die Existenz und den physikalischen Zustand eines Objekts. Dabei steht der messtechnische Aspekt nicht im Vordergrund. In der Phase des 'Kalten Krieges' nach dem Zweiten Weltkrieg erlangte die Luftbild-Photointerpretation einen hohen Stellenwert bei der Ausspähung der militärischen und wirtschaftlichen Ressourcen des Gegners. Dies führte zu einer sprunghaften Weiterentwicklung auf methodischem und instrumentellem Gebiet. In den USA prägte man Mitte der 1950er Jahre für diese neue erweiterte Technik der (vor allem aerokosmischen) Photointerpretation den Begriff des 'Remote Sensing'. Im deutschsprachigen Raum hat sich hierfür der Begriff der 'Fernerkundung' durchgesetzt²¹⁵. In diesem Rahmen entwickelte sich auch die Multispektraltechnik^{216,217,218}. Auf diesem Gebiet arbeiteten im Anfang der 1970er Jahre auch die Akademien der Wissenschaften in Moskau und Berlin. Deren Ergebnisse führten zu instrumentellen Studien im Jenaer Zeisswerk²¹⁹. Weiterführende konstruktive Arbeiten wurden im Zeisswerk aus 'Sicherheitsgründen' einem speziellen Team übertragen, das sich mit der Forschung und Entwicklung für Militärtechnik befasste. Die Forschung und Entwicklung für die Multispektraltechnik verblieb bis zum Ende der 1980er Jahre in dem 1979 gegründeten Militärforschungszentrum U²²⁰. Als man in den ausgehenden siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts eine Kommerzialisierung der Multispektraltechnik versuchte, wurde diese deshalb in einem Applikationsbereich des Außenhandelsbetriebs mit der Geodäsie, Photogrammetrie und Technischen Messtechnik zusammen gebracht.

9.1 Das stereoskopische Bildinterpretationsgerät 'Interpretoskop'

Im Jahr 1965 zeigte die Erzeugnisgruppe Bildmess auf der Leipziger Frühjahrsmesse erstmalig das Interpretoskop^{221,222} (Bild 88). Bis zu diesem Zeitpunkt bestand die photogrammetrische Instrumentation für Photointerpreten im Wesentlichen aus vergrößernden Lupen, sowie Taschen- und Spiegelstereoskopen geringer Vergrößerung, wie sie im Rekonstruktionsprogramm wiedererstanden waren²²³.



Bild 88: Interpretoskop

Durch seine Anpassung an die veränderten Bedingungen bei der Aufnahme von Messbildern aus erdfesten Stationen, aus Flugzeugen und von Raumflugkörpern aus, wurde das Interpretoskop weltweit schnell zu einer Standardausrüstung für die Fernerkundung. Das Gerät war bis in die 1980er Jahre hinein in vier aufeinander folgend weiterentwickelten Versionen in der Fertigung.

Haupteinsatzgebiet des Interpretoskop war die Auswertung von Messbildern, die aus Bildflugzeugen und von Raumflugkörpern aus mit Hochleistungskammern oder später auch mit Scannern aus größeren Flughöhen über Grund aufgenommen worden waren. Um die Informationen aus den damals kleinmaßstäblicher werdenden Luftbildern für

die Belange der Forst- und Landwirtschaft, des Bauwesens, der Geologie, der Geographie, der Landes-, Landwirtschafts-, Siedlungs- und Verkehrsplanung sowie auch für militärische Zwecke extrahieren zu können, war vor allem eine wesentlich höhere Betrachtungsvergrößerung notwendig, als diese mit den bisherigen Gerätschaften erreichbar war. Nur so bot sich die Aussicht, räumliche Zusammenhänge in häuslicher Bearbeitung an einem optischen Raummodell mit Erfolg zu studieren und die zeitaufwändige und kostspielige Feldarbeit auf ein Minimum zu beschränken. Die in weiten Grenzen kontinuierlich änderbare Betrachtungsvergrößerung vermittelte dem Auswerter am Interpretoskop die Illusion einer Ballonfahrt über das Gelände in wechselnder Flughöhe über Grund.

Das neue Gerät bot aber auch eine Reihe von wesentlichen Verbesserungen im Ablauf von Interpretationsarbeiten. So war es jetzt auch möglich geworden, stereoskopische Teilbildpaare auf langen unzerschnittenen Fliegerfilmen räumlich zu betrachten, unabhängig davon wie die stereoskopischen Teilbilder auf dem Filmstreifen angeordnet waren. In den Betrachtungsstrahlengängen zu den beiden stereoskopischen Teilbildern befanden sich unabhängig voneinander regelbare Flüssigkeitslichtstromfilter, womit eine Helligkeitsveränderung ohne Farbverschiebung möglich war. Die optische Konstruktion des Betrachtungssystems (siehe Bild 89) ließ es auch zu, dass Teilbilder sehr unterschiedlichen Maßstabs (z.B. aus einer Hoch- und einer Tiefbefliegung) zur Bildung eines Raummodells herangezogen werden konnten. Eine weitere beachtenswerte Eigenschaft des Interpretoskop war sein Doppeleinblick. Dieser war vorteilhaft für die Ausbildung und für die gemeinsame Betrachtung eines Stereomodells durch zwei Auswerter aus unterschiedlichen Fachgebieten.

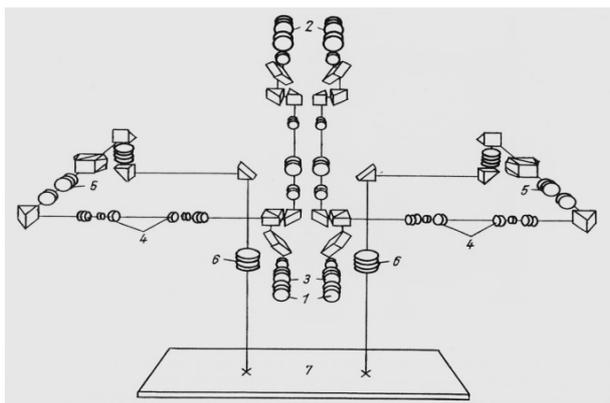


Bild 89: Betrachtungsstrahlengang des Interpretoskop. 1 Erstes Doppelokular, 2 Zweites Doppelokular²²⁴, 3 Okularbildebene (Messmarke), 4 Pankratisches Vergrößerungssystem (1:3), 5 Zwischenbildebene (Messschablone)²²⁵ 6 Wechselobjektive für Vergrößerungsstufen (1:2,5), 7 Bildebene

In der Marktperiode des Interpretoskop entwickelten sich in der Photointerpretation neue Arbeitsmethoden, denen das Gerät in seinen Folgeversionen nachkam. Erwähnenswert ist hier die Messinterpretation für die ein Satz transparenter Schablonen entstand, die auswechselbar in den Beob-

achtungsstrahlengang des Interpretoskop eingeschoben werden konnten. Auch für die Punktübertragung und Punktmarkierung in stereoskopischen Bildpaaren und die Ergänzung und Nachführung topographischer Karten ist das Interpretoskop mit Erfolg zur Anwendung gekommen.

Tafel 36: Interpretoskop B und C, technische Daten

Maximales Bildformat (mm):	(B): 300 × 300 oder (C): 240 × 240
Betrachtungsvergrößerung (Zoom)	2 bis 6 fach und 5 bis 15 fach
Vergrößerungsausgleich zwischen linkem und rechtem Messbild mit Pankrat + Objektivrevolver:	Max. 1:7,5
Stereoskopisches Sehfeld Durchmesser (mm):	200: v (v = Vergrößerung)
Bildkantung (optisch) (gon):	400 (unabhängig für jedes Teilbild)
Gemeinsame Verschiebung der Objektivwagen (mm)	
in X-Richtung:	200 (B und C)
in Y-Richtung:	300 (B), 230 (C)
Parallaxenbereich (mm)	
in X-Richtung:	90 bis 310 (B), 90 bis 415 (C)
in Y-Richtung:	-65 bis +65 (B), -115 bis +115 (C)
Räumliche Punktmessmarke in beiden Doppelokularen, Durchmesser (mm):	0,04

9.2 Das Multispektralbildinterpretations- und Kartenergänzungsgerät 'Kartoflex'

Die zunehmende Anwendung des Interpretoskop für die Kartenergänzung und die Messinterpretation führte dazu, in dem Nachfolgegerät diese beiden Anwendungen, sowie auch die Generierung von großformatigen Farbsynthesen aus multispektralen Teilbildern und deren visuelle Auswertung in das Konzept des Geräts aufzunehmen. Dieses Interpretations- und Kartenergänzungsgerät erschien 1984 unter der Bezeichnung 'Kartoflex'^{226,227,228} (Bild 90).

Das Gerät besaß drei Bildträger (B1, B2 und B3). B1 und B2 befanden sich in nahezu vertikaler Stellung (links und rechts vom Doppelokular); B3 war in horizontaler Lage in Form eines Bearbeitungstisches ausgebildet. Die Bildträger konnten wahlweise mit Stereobildpaaren, Stereoorthophotos oder Karten (-ausschnitten), sowie Passpunktvorlagen auf Film, Glasplatten bzw. Papier besetzt werden. Das Doppelokular konnte mittels wählbarer optischer Strahlengänge zur Einzelbildbetrachtung mit B1, B2 oder B3; zur Stereobetrachtung und Horizontalparallaxenmessung mit B1 und

B2; sowie zur additiven Mischprojektion mit B1, B2 und B3 verbunden sein. Um eine möglichst vollständige Deckung bei additiver Projektion und eine querparallaxenfreie stereoskopische Betrachtung im Sehfeld zustande zu bringen, konnten die Vorlagen in ihrem Bildträger gekantet und durch individuelle Vergrößerung mittels unabhängiger pankratischer Systeme angeglichen werden. Darüber hinaus war in der Version M im Strahlengang zum Bildträger B3 ein mikroprozessorgesteuerter optischer Korrekturmechanismus für eine Kompensation von Verzerrungen (verursacht durch ungewollte Nadirdistanzen bei der Bildaufnahme), Verzeichnungen und Verbildungen vorhanden.

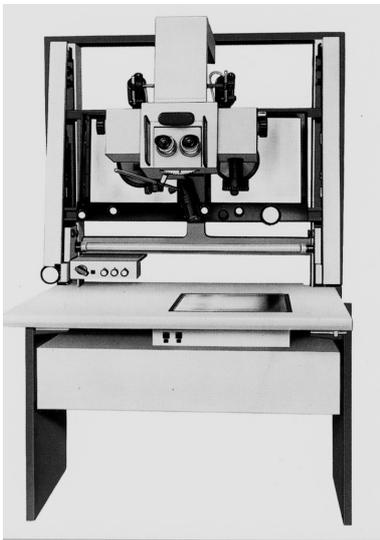


Bild 90: Kartoflex M

Die stereoskopische Betrachtung, vorzugsweise von Luftbildern, in den Bildträgern B1 und B2 entsprach völlig der Wirkungsweise des Vorläufergeräts Interpretoskop. Die exakte Überlagerung eines Luftbilds (oder Orthophotos) im Bildträger B1 mit einer Karte (oder einer Passpunktvorlage) im Bildträger B3 und die Benutzung des mikroprozessorgesteuerten Korrekturmechanismus fügte die Funktion eines Luftbildumzeichners hinzu, der durch die weitere Hinzunahme eines Stereopartners im Bildträger B2 zum Stereoluftbildumzeichner wurde. Diese Version diente vorzugsweise der Kartennachführung und Kartenergänzung.

Weitere fest installierte Programme des Mikrorechners besorgten die Berechnung von Flächeninhalten, die Berechnung von Streckenlängen und die Bestimmung von Geländehöhen.

Vor allem in der Land- und Forstwirtschaft begann man damals mit der Mehrfachaufnahme eines Gebiets in unterschiedlichen Spektralbereichen (z.B. im panchromatischen oder infraroten Bereich) und aus unterschiedlichen Flughöhen. Solche Luftbilder (auch in unterschiedlichen Bildformaten), aus bis zu drei Spektralkanälen stammend, konnte man im Kartoflex bei Verwendung von farbigen Projektionsfiltern in additiver Projektion zu visuell auswertbaren Farbsynthesen zusammenführen.

Tafel 37: Kartoflex M, technische Daten

Maximales Format der Bildträger (mm):	300 × 300
Betrachtungsvergrößerung	
für Bildträger B1 und B2:	2,4 bis 12 fach
für Bildträger B3:	0,8 bis 12fach
Vergrößerungsausgleich	
zwischen B1 und B2:	bis 1:5
zwischen B1 /B2 und B3:	1:0,2 bis 1:15
Sehfelddurchmesser (mm):	205 : Vergrößerung
Bildträgerkantung B1 und B2 (gon):	-10 bis +10
Gemeinsame Verschiebung B1 und B2 (mm)	
X-Richtung:	-150 bis +150
Y-Richtung:	-150 bis +150
Horizontalparallaxe B1 zu B2 (mm):	0 bis 150
Vertikalparallaxe (mm):	-15 bis +15
Messmarkendurchmesser (mm):	0,04

9.3 Die aerokosmische 'Multispektralaufnahmekammer MKF-6'

Am 15. September 1976 startete auf dem Raketenversuchsgelände bei Baikonur (Kasachstan) das Raumschiff Sojus-22 mit den Kosmonauten V. Akxionow und V. Bykowsky²²⁹. Die neuntägige Weltraummission diente dem Experiment 'Raduga'²³⁰ zur multispektralen photographischen Fernerkundung der Erde. An Bord befand sich die Multispektralkammer MKF-6²³¹ (Bild 91). Dieses Gerät war nach vorausgegangenen Laborversuchen am Moskauer Institut für Kosmosforschung in enger Zusammenarbeit der Akademien der Wissenschaften in Moskau und Berlin, sowie einer Sonderentwicklungsgruppe des Jenaer Zeisswerks entstanden. Während des neuntägigen Raduga-Experiments sind mehr als 2500 Multispektralbildsätze aus Flughöhen über Grund von etwa 250 km aufgenommen worden²³². Jedes der Einzelbilder deckte ein Gebiet von 115 km × 165 km auf der Erdoberfläche.

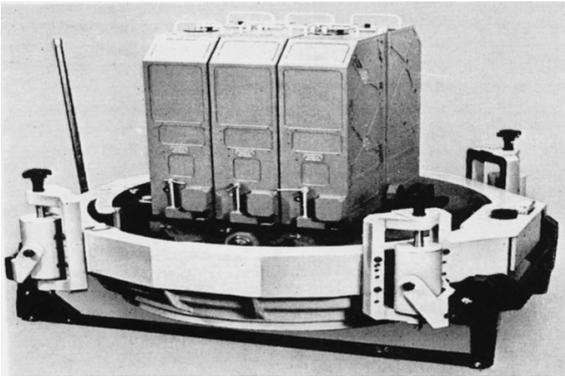


Bild 91: Multispektralkammer MKF-6

Die MKF-6 war eine Koppelkammer, die aus einem System von sechs gleichartigen mittelformatigen Einzelkammern bestand, von denen jede Schwarz-Weiß-Bilder in einem anderen Bereich des elektromagnetischen Spektrums aufnahm (Bild 92).

Wegen der notwendigen scharfkantigen Begrenzung der genutzten Frequenzbänder im elektromagnetischen Spektrum durch Metall-Interferenzfilter war der Öffnungswinkel der Einzelkammern im Vergleich zu denen von Luftbildmesskammern mit 36° quer zur Flugrichtung und 25° in Flugrichtung schmäler und das Basisverhältnis (Aufnahmebasis zur Flughöhe über Grund) betrug bei stereoskopischer Bildüberdeckung (von 66 %) in Flugrichtung 0,15. Trotzdem ist aber doch versucht worden, die MKF-6-Bilder auch für die Herstellung, Berichtigung und Nachführung topographischer Karten einzusetzen^{233,234}. Dem kam sicher die außerordentlich hohe Bildqualität der MKF-6 zugute. Erreicht wurde diese wohl nicht zuletzt durch einen Mechanismus zur Kompensation der bei geöffnetem Verschluss auftretenden Bildwanderung in Flugrichtung. Dank des nur geringen Öffnungswinkels in Flugrichtung konnte die Kollinearität von Geländepunkt, Projektionszentrum und Bildpunkt²³⁵ für die sechs Einzelkammern durch eine gesteuerte gemeinsame Kippung der MKF-6 um eine horizontale zur Flugrichtung senkrecht stehende Achse während der Belichtungszeit bewerkstelligt werden. Die MKF-6 war damit das erste photogrammetrische Aufnahmegerät mit Bildwanderungsausgleich, das in Jena gebaut worden ist. Mit der Bezeichnung MKF-6 M gab es 1978 eine weitere Version²³⁶ der Multispektralkammer, die in der wissenschaftlichen Orbitalstation 'Salut 6' und später in dem Weltraumlaboratorium 'Mir' zum Einsatz gekommen ist. Eine speziell adaptierte Variante der MKF-6 M war auch für den Einbau in größere Bildflugzeuge (z.B. der AN-30) vorgesehen.

Die photographische (analoge) Multispektraltechnik war bis in die 1990er Jahre hinein eine außerordentlich leistungsfähige Technologie der Fernerkundung; auch heute noch behauptet sie sich bei einer Reihe von Anwendungen neben den inzwischen entwickelten Methoden der digitalen Multispektraltechnik.

Tafel 38: MKF-6, technische Daten²³⁷

Objektive:	Pinatar PI 4/125
Brennweite (mm):	125
Blendenzahlen:	4 bis 16
Rotationsdreh Scheibenverschlüsse Belichtungszeiten (s):	1/15 bis 1/150
Bildformat (mm)	
in Flugrichtung:	55
quer zur Flugrichtung:	81
Filmbreite (mm):	70 (unperforiert)
Filmlänge pro Kassette (m):	220 (nach Filmdicke)
Bilder pro Kassette:	>1000 bzw. >2000
Längsüberdeckung (%):	20 bis 80
Reseaupunkte (Bezugsgitter):	9
Kammerzyklus (s):	4
Spektralbereiche (nm)	
Kanal I:	460 bis 500
Kanal II:	520 bis 560
Kanal III:	580 bis 620
Kanal IV:	640 bis 680
Kanal V:	700 bis 740
Kanal VI:	790 bis 890
Auflösungsvermögen (L/mm)	
Kanäle I bis IV:	>160

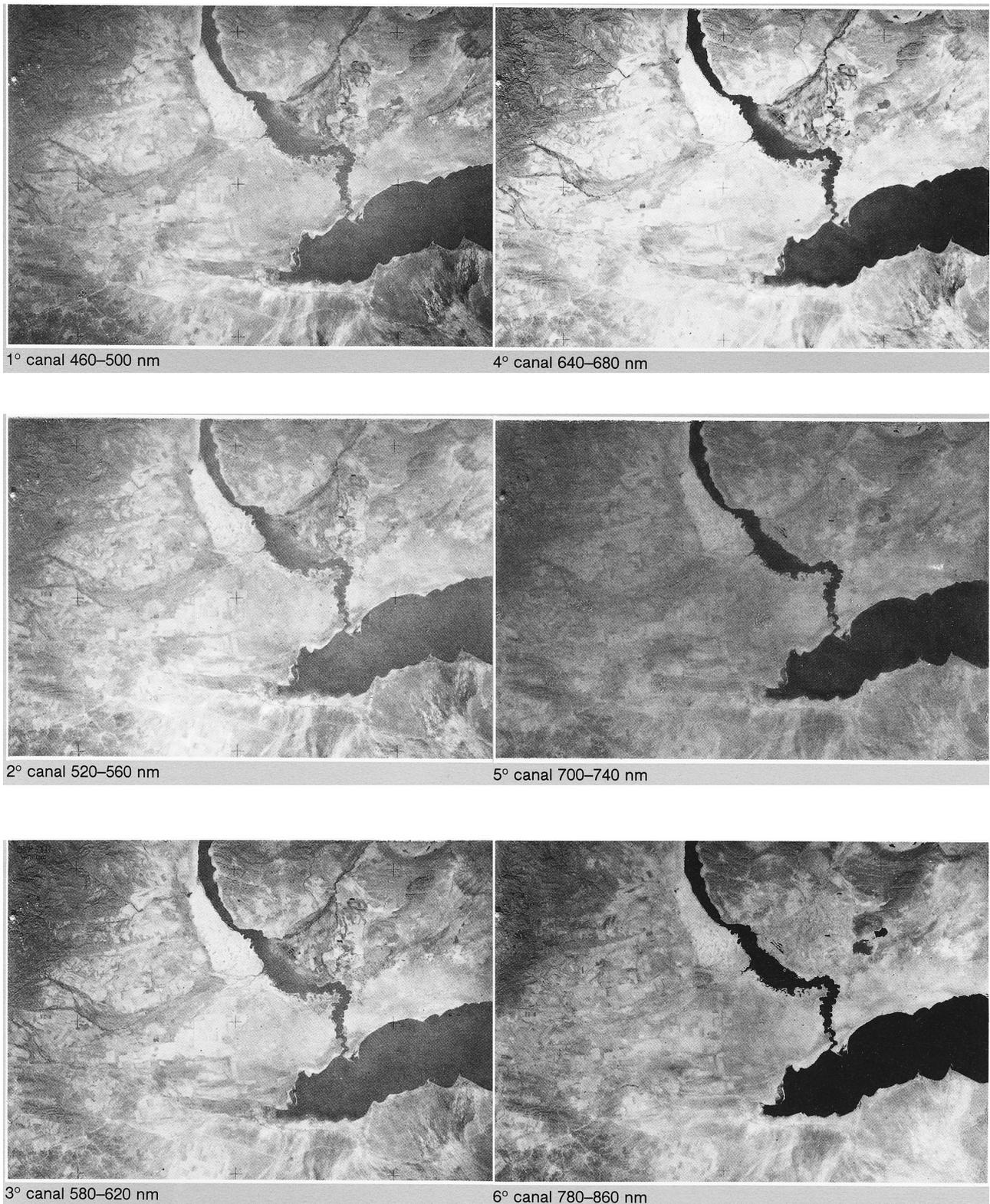


Bild 92: Multispektralbildsatz der MKF-6

9.4 Die 'Luftbild-Multispektralaufnahmekammer MSK-4'

Die Multispektralkammer MKF-6 war mit wesentlicher Beteiligung des Moskauer Instituts für Kosmosforschung geschaffen worden. Zeiss-Jena benötigte deshalb die Zusage seines Partners für ein kommerzielles Angebot seines Gerätesystems der Multispektraltechnik auf dem Weltmarkt. Die Regierung der damaligen Sowjetunion untersagte jedoch den allgemeinen Export jeglicher Geräte, aus denen Rückschlüsse auf die sowjetische Raumfahrttechnik möglich gewesen wären²³⁸. Dies betraf vor allem die MKF-6. Damit wurden aber auch die anderen Spezialgeräte für die Multispektraltechnik, die auf den Parametern der MKF-6 aufbauten, unverkäuflich. So galt es, ein Aufnahmegerät zu entwickeln, mit dem man den Rahmen der sowjetischen Vorbehalte respektierte.

Das Ergebnis dieser Arbeiten war im Jahr 1982 die MSK-4 (Bild 93). Diese baute zwar auf den Grundparametern der MKF-6 auf, enthielt aber keine kosmospezifischen Baugruppen und war für die Aufnahme multispektraler Bildsätze in vier Spektralbändern aus Flugzeugen bestimmt²³⁹.

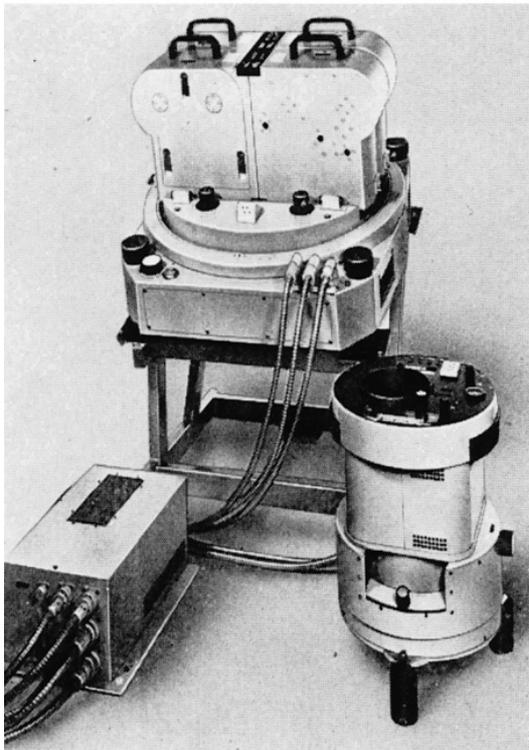


Bild 93: Multispektralkammer MSK-4

Tafel 39: MSK-4, technische Daten

Objektive:	4 × Pinatar PI 4/125
Brennweite (mm):	125
Öffnungsverhältnis:	1:13,5 bis 1:4
Bildwinkel (°) in Flugrichtung: quer zur Flugrichtung:	24,8 35,5
Bildformat (mm) in Flugrichtung: quer zur Flugrichtung:	55 80
Dielektrische Bandpassfilter (nm) Kanal 1: Kanal 2: Kanal 3: Kanal 4: Austauschfilter (nm):	480 Halbwertsbreite 34 540 Halbwertsbreite 42 660 Halbwertsbreite 54 840 Halbwertsbreite 82 600 Halbwertsbreite 48, 720 Halbwertsbreite 60
Drehscheibenverschluss Belichtungszeiten (ms):	7; 10; 14; 20; 28; 40; 56
Bildwanderungsausgleich Drehung um die Querachse (mrad/s):	10 bis 40
Bildüberdeckung in Flugrichtung (%):	20; 60; 62, 80
Kammerzyklus (s):	<3
Kassette für unperforierten Rollfilm Filmbreite (mm):	70
Filmlänge (m):	120 (bei 0,09 mm Dicke)
Aufnahmekapazität:	>1250 pro Kanal bei 0,09 Filmdicke
Abdriftkompensation (°/gon):	-15 bis +15 / -17 bis +17
Horizontierung (°):	-3 bis +3

9.5 Der 'Präzisionskopierautomat PKA' und der 'Präzisions-Projektionsautomat PPA'

Die Geräte PKA und PPA dienen den Vorarbeiten zur Auswertung der mit der MKF-6 und später auch der MSK-4 aufgenommenen Multispektralbildsätze.

Der Präzisionskopierautomat PKA erschien im Jahr 1981, gefolgt vom PKA-B im Jahr 1983. Er besorgte die Kopie der Original-Multispektralbildsätze für eine große Anzahl

von speziellen Anwendern. Das computergesteuerte Gerät war dabei in der Lage, durch Manipulation der Kopierlichtverteilung bestimmte Bildanteile oder Motive in den Kopien entsprechend dem vorgesehenen Verwendungszweck besonders hervorzuheben.

Tafel 40: PKA, technische Daten Präzisionskopierautomat PKA

Film für Eingabe und Ausgabe:	
Filmbreite (mm):	70
Filmlänge (m):	max. 300
Filmdicke (mm):	0,070 bis 0,14
Bildformat (mm):	max. 66 × 90
Auflösungsvermögen (L/mm):	100 (auf Dünnschichtfilm)
Kopierzyklus (s):	7 bis 10

Der Präzisions-Projektionsautomat PPA entstand im Jahr 1983 und wurde gefolgt vom PPA-B im Jahr 1984. Seine Aufgabe war es, die Bildformate der MKF-6 und der MSK-4 auf die in der Photogrammetrie international üblichen Fliegerfilmbreiten von 190, 240 und 320 Millimeter umzulegen. Das war die Voraussetzung dafür, Multispektralbillsätze der MKF-6 und der MSK-4, soweit diese mit stereoskopischer Längsüberdeckung aufgenommen worden waren, auch in den analogen photogrammetrischen Zweibildkartiergeräten weiterverarbeiten zu können. Auch in diesem Vergrößerungsprozess waren gewisse Grauwertmanipulationen möglich.

Tafel 41: PPA, technische Daten

Originalfilm	
Filmbreite (mm):	70
Filmlänge (m):	max. 300
Bildformat (mm):	66 × 81
Ausgabefilm	
Filmbreite (mm):	190, 240, 320
Auflösungsvermögen (L/mm):	> 140
Vergrößerung:	2,4 fach und 4,6 fach
Durchlaufzeit pro Vergrößerung (min):	0,5

9.6 Der 'Multispektralprojektor MSP-4'

Der Multispektralprojektor MSP-4 wurde erstmalig auf der Leipziger Frühjahrsmesse im Jahr 1977 gezeigt. Es gab dann noch zwei Folgemodelle, den MSP-4 B im Jahr 1978 und den MSP-4 C im Jahr 1979.

Der MSP-4 (Bild 94) war ein analoges Auswertegerät für multispektrale Billsätze, die mit der Multispektralkammer MKF-6 oder später auch mit der MSK-4 aufgenommen wurden²⁴⁰.



Bild 94: Der Multispektralprojektor MSP 4C

Tafel 42: MSP-4C, technische Daten

Beleuchtungseinrichtung	
Vier Halogenlichtwurf Lampen (V/VA):	24/250
Beleuchtungsstärke je Projektor (lx):	2400
Reglung der Beleuchtungsstärke:	1:200
Streulicht (%):	< 3
Maximales Bildformat der Projektoren: (mm)	70 × 91
Projektionsobjektive:	Achtlinsiger Projektionspankromat
Blende:	1:5,6
Brennweite (mm):	175
Vergrößerung:	5 fach
Projektionsschirm (mm):	350 × 455
Visuelles Auflösungsvermögen auf dem Schirm (L/mm):	> 13

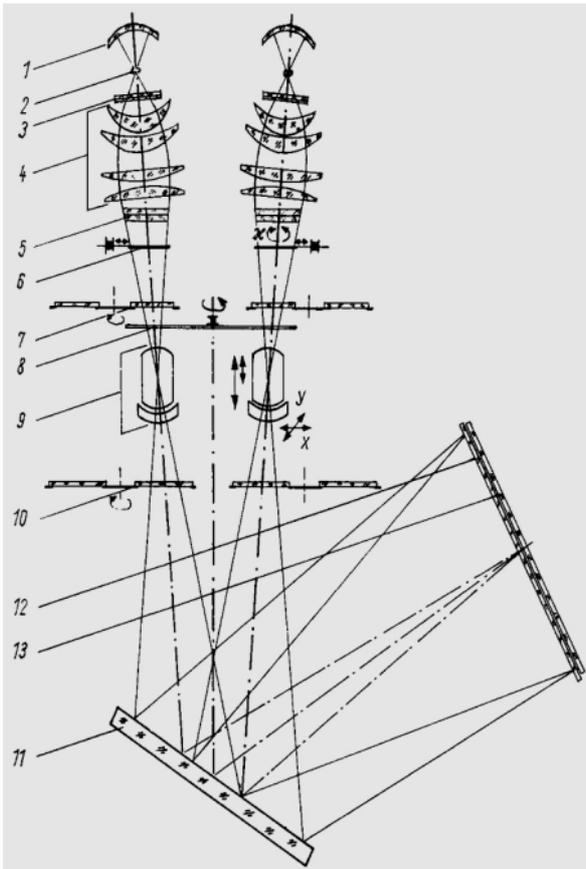


Bild 95: Wirkprinzip des Multispektralprojektors, dargestellt an zwei Projektoren. 1 Hohlspiegel, 2 Halogenlichtwurf Lampe, 3 Wärmeschutzfilter, 4 Kondensorlinsen, 5 Bildhalterung, 6 Verschluss, 7 Farbfilterrad, 8 Klarglas, 9 Projektionsobjektiv, 10 Neutralfilterrad, 11 Dezentrierungsspiegel, 12 Durchlichtprojektionsschirm, 13 Bildfresnellinse.

Der Multispektralprojektor konnte vier ausgewählte Teilbilder eines Multispektralbildsatzes aufnehmen. Diese wurden von vier unabhängigen optischen Systemen mit vorgesetzten unterschiedlich gefärbten Filtergläsern deckungsgleich auf einen Durchlichtschirm (siehe Bild 95) übereinander projiziert (Additive Projektion).

Der Auswerter besaß die Aufgabe durch empirischen Wechsel von Beleuchtungsstärke und Auswahl unterschiedlicher Farbfilter in jedem der vier Projektionssysteme auf dem Bildschirm ein solches Farbsynthesebild zu erzeugen, das den gesuchten Sachverhalt am aufgenommenen Objekt im größtmöglichen Farbkontrast zeigte. Das Ergebnis dieser Manipulation konnte photographisch festgehalten werden.

9.7 Der Bildscanner 'Film-Eingabe- und Ausgabegerät FEAG'

Das leistungsfähigste Verfahren für eine (nahezu) vollständige Ausschöpfung nicht-geometrischer (semantischer) Bildinformationen ist die visuelle Photointerpretation. Das menschliche System Auge-Gehirn mit ständig abrufbarem Grundwissen und Erfahrungen steht unübertreffbar an erster Stelle. Aber diese Methode ist zeit-, sowie kostenaufwändig und verlangt hochspezialisierte Operateure.

Eine weitgehend automatisierte Arbeitsweise ist aber dort erreichbar, wo die vorgelegte spezielle Interpretation determiniert beschrieben und mit einem mathematischen Algorithmus modelliert werden kann. Gelingt dies, so kann die Realisierung einem Computersystem übertragen werden, das man Bildverarbeitungssystem nennt. Es gibt eine Reihe von Anwendungen der Multispektraltechnik, die so von der analogen Sphäre in die digitale Sphäre transferiert werden können. Mit solchen Fragen hat sich, beginnend am Ende der 1970er Jahre, das Zentralinstitut Physik der Erde, eine Institution der ehemaligen Akademie der Wissenschaften der DDR, beschäftigt. Es ging damals u.a. um Fragen der Landnutzung und des Umwelt-Monitoring.

Ein geeignetes Bildverarbeitungssystem entstand zunächst durch Adaption des russischen Computersystems SM4 und dann am Anfang der 1980er Jahre unter der Bezeichnung A-6471 im Unternehmen Robotron²⁴¹. Zur Überführung eines analogen Bildes in die digitale Sphäre und der Rückübertragung der Ergebnisse der digitalen Bildverarbeitung in die analoge Form entwickelte man 1982 im Zeisswerk das durch einen Mikrorechner gesteuerte Filmeingabe- und Ausgabegerät FEAG^{242,243,244,245}. Es konnte im Zusammenwirken mit einem Bildverarbeitungssystem On-Line oder Off-Line mit Zwischenspeicherung des digitalen Bildes oder auch des Verarbeitungsergebnisses auf einem Datenträger betrieben werden.

Zur Digitalisierung eines analogen (Mess-) Bildes wurde dieses auf der Oberfläche eines sich drehenden transparenten Zylinders befestigt und zeilenweise mit einem feststehenden Laserstrahl abgetastet. Die Fortschaltung von Zeile zu Zeile besorgte ein Schrittmotor und die Digitalisierung in der Zeile ein Impulsgeber. Das Ergebnis war ein 'Digitales Bild', dessen Matrixelemente Koordinaten und digitalisierten Schwärzungen von Bildpunkten (Pixeln) waren. Die Wirkungsweise des FEAG erläutern Bilder 96 und 97.

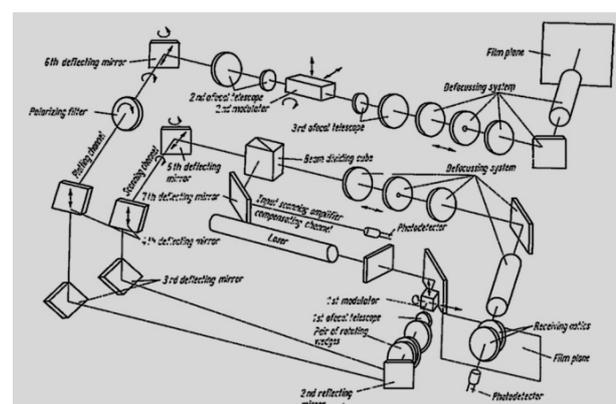


Bild 96: Optik des FEAG. Afocal Telescope / Afokales System, Beam Dividing Cube / Strahlenteilungswürfel, Deflecting Mirror / Ablenkspiegel, Defocussing System / Defokussierungssystem, Film Plane / Filmebene, Input Scanning Amplifier Compensating Channel / Scanning-Eingangsverstärker Kompensations Kanal, Laser, Modulator, Pair of Rotating Wedges / Drehkeilpaar, Photodetector, Plotting Channel / Auswertekanal, Polarizing Filter / Polarisationsfilter, Receiving Optics / Empfangsoptik, Scanning Channel / Scanningkanal.

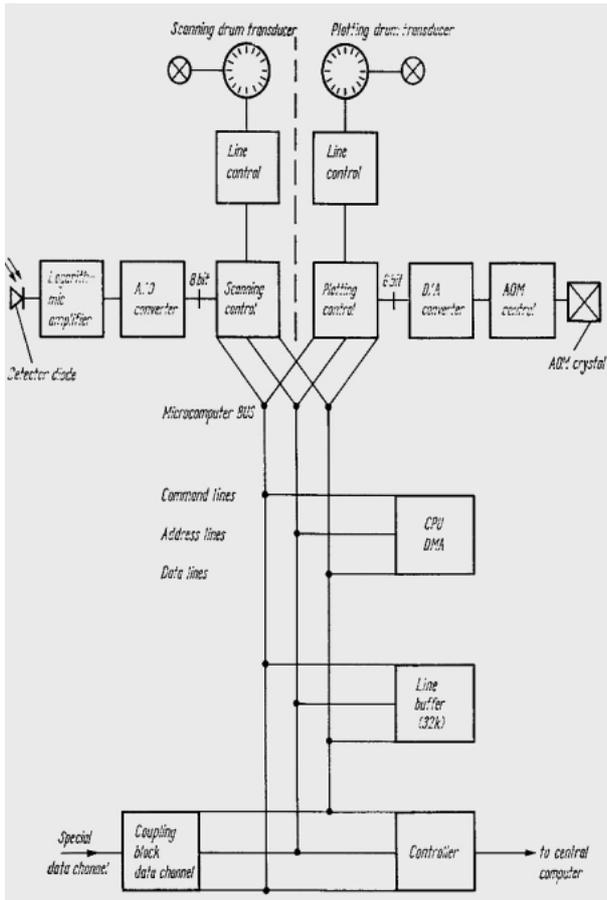


Bild 97: Scanning- und Auswertekanal des FEAG. A/D Converter / Analog-Digitalwandler, AOM (Acousto-optical Modulation Control) / Akustisch-optische Modulationssteuerung, D/A Converter / Digital-Analogwandler, Line Control / Zeilensteuerung, Logarithmic Amplifier / Logarithmischer Verstärker, Plotting Control / Ausgabesteuerung, Plotting Drum Transducer / Ausgabetrommel, Scanning Control / Scanningsteuerung, Scanning Drum Transducer / Scanningtrommel.

Ein intensitätsstabilisierter He-Ne-Laserstrahl wurde durch einen Modulator in zwei Teilstrahlen, für die Abtastung und für die Aufzeichnung, zerlegt.

Der Abtaststrahl durchlief eine Defokussiereinrichtung, die einen Abtastfleck gewünschter Größe auf dem Messbild erzeugte. Hinter dem abzutastenden Messbild war ein Photoempfänger angeordnet, der in Abhängigkeit von der Transparenz des einzelnen Bildpunktes innerhalb einer 256-stufigen Grauwertskala eine Digitalisierung besorgte.

Bei der Aufzeichnung auf Film wurde der Laserstrahl ebenfalls mittels eines Defokussiersystems so verändert, dass ein Aufzeichnungsfleck gewünschter Dimension entstand. Weiterhin sorgte ein Polarisationsfilter für die Steuerung der notwendigen Strahlungsintensität. Ein akustooptischer Modulator bewirkte die Steuerung der Helligkeit von Aufzeichnungsfleck zu Aufzeichnungsfleck innerhalb einer Skala von 64 Grauwertstufen.

Dem FEAG 200 folgte im Jahr 1987 die leicht veränderte Version FEAG 400.

Tafel 43: FEAG 200, technische Daten

Bildformat (mm):	70 × 91 (58 × 86,5)*; 70 × 93 (58 × 86,5)*; 190 × 195 (181 × 181)*; 240 × 260; 240 × 261,5 (230 × 230)*; 240 × 264 (230 × 230)*; 240 × 264 (230 × 230)*; 240 × 268
Aufzeichnung (mm):	105 × 148 (103 × 136)*; 240 × 300 (238 × 286)*
Pixelgröße	
Abtastung (mm):	0,010; 0,020; 0,040; 0,080
Aufzeichnung (mm):	0,010; 0,020; 0,040
Dichteauflösung (Graustufen)	
Abtastung:	256
Aufzeichnung:	64
Datenrate (kByte/s):	200

*Abtastbares bzw. aufzeichnenbares Bildformat

10.0 Nichttopographische Anwendungen, Industriephotogrammetrie und Nahbereichsphotogrammetrie

Im Jahr 1950 erschien das Buch von Otto Lacmann 'Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nicht-topographischen Gebieten'²⁴⁶. Hier beschrieb der Autor Arbeiten, die von ihm selbst oder unter seiner Leitung in zwei zurückliegenden Jahrzehnten ausgeführt wurden. Diese Publikation wirkte weltweit als ein Katalysator für die weitere Entwicklung der Photogrammetrie zu einem allseits anerkannten selbständigen physikalischen Messverfahren und befreite sie von der bisherigen vorwiegend wahrgenommenen einseitigen Bindung an die topographische Landesvermessung. Es bildeten sich Institute und Ingenieurbüros, die sich ausschließlich dieser 'nichttopographischen' Photogrammetrie zuwandten. Unbefriedigend war die zwar umfassende, aber negierende Beschreibung dieses stark wachsenden Arbeitsgebiets. So entstanden die Begriffe der 'Industriephotogrammetrie'²⁴⁷ oder auch als Übersetzung der 'Close Range Photogrammetry' die 'Nahbereichsphotogrammetrie'.

Zunächst benutzte man in diesem Arbeitsgebiet Geräte, wie den Phototheodolit 19/1318, den Stereokomparator Steko 1818 und den Stereoautographen 1318, die im Rekonstruktionsprogramm der Jahre 1953 bis 1956 wiederentstanden waren. Dies führte jedoch zu großen Unzuträglichkeiten und Einschränkungen insbesondere bei der Messbildaufnahme. Im Jahre 1969 begannen die Arbeiten für die Schaffung einer speziellen Gerätegruppe für diesen Arbeitsbereich der Photogrammetrie.

10.1 Die terrestrische 'Universalmeßkammer UMK'

Als Standardaufnahmegerät für die Industriephotogrammetrie erschien am Ende der 1960er Jahre die Universalmeßkammer UMK (Bild 98)^{248,249}.

Die hervorstechendste Eigenschaft der Universalmeßkammer war ihre Anpassungsfähigkeit an unterschiedlichste Aufnahmedispositionen.

Bild 98 zeigt die Aufhängung in einer Gabel, ähnlich einem geodätischen Theodolit mit Drehung um die Stehachse und Kippung um eine mitgeführte (sekundäre) Horizontalachse. In der Alhidangabel befand sich ein Horizontalkreis zur Richtungsmessung. Wahlweise gab es eine Gabelaufhängung auch ohne Richtsystem und eine dritte Vorrichtung erlaubte nadirwärts gerichtete Messbildaufnahmen z.B. von Brücken, Kranbahnen oder Ballonen aus.

Aufnahmematerial waren Photoplaten im handelsüblichen Format von 13 cm × 18 cm oder auch 20 cm breiter Film. Durch Kantung konnte die lange Bildseite zur Anpassung an des Aufnahmeobjekt in die Horizontale oder die Vertikale gelegt werden. Um auch bei der Aufnahme im Infrarotbereich scharfe Messbilder zu erhalten, sorgte zunächst ein Umschaltmechanismus für die notwendige Verlängerung der Kammerkonstante (Brennweite). Später sind auch hier die neueren PI-Objektive zur Verwendung

gekommen, die für den gesamten Spektralbereich von 0,0004 mm bis 0,0009 mm korrigiert waren.

Die Rollfilmversionen der UMK, sowie die synchronisierte Auslösung der Hochleistungsverschlüsse erlaubten es, auch bewegte Vorgänge mit mehreren Messkammern aus unterschiedlichen Standorten gleichzeitig aufzunehmen.

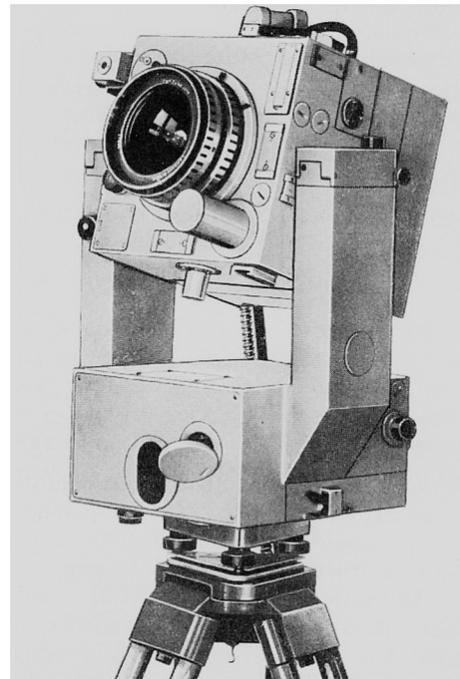


Bild 98: Universalmeßkammer UMK

Erstmals im photogrammetrischen Gerätebau wurde mit der UMK das Prinzip der 'starrten Meßkammer' verlassen. Zur stufenweisen Fokussierung im nahen Aufnahmebereich wurde durch Verschiebung des Meßobjektivs längs der optischen Achse dessen Abstand zur Meßbildebene veränderbar gemacht. Die Verschiebung geschah auf einer hochgenau geschliffenen Schlittenbahn (Bild 99). So war man in Verbindung mit der Objektivblende in der Lage, scharfe Meßbilder in einem Entfernungsbereich von einem Meter bis Unendlich anzufertigen.

Damit ergab sich zwangsweise die Notwendigkeit, die Innere Orientierung der Meßkammer (Kammerkonstante, Bildhauptpunkt und Verzeichnung) für jede Fokussierstufe mikrometergenau zu erfassen. Dies erfolgte auf dem großen Fächerkollimator für die Objektentfernung 'Unendlich', wie bei den Luftbildkammern und eine nachträgliche rechnerische Übertragung der erhaltenen Werte auf endliche Aufnahmeentfernungen²⁵⁰.

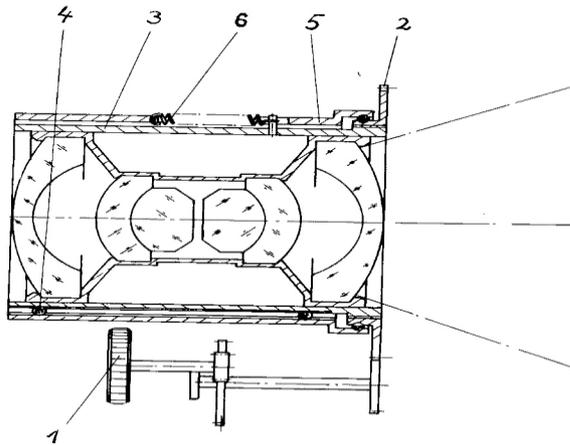


Bild 99: Schlittenführung für die UMK-Fokussierung.

Über den Stelltrieb (1) drehte sich der Ring (2). Sein Innengewinde übertrug die Drehbewegung in eine Verschiebung des Objektivschlittens (3) innerhalb der feststehenden Hülse (5) auf der Kugelbahn (4). Die Feder (6) verhinderte durch einseitige Anlage einen Umkehrfehler.

Die erste UMK wurde als Weitwinkelkammer mit einem Objektiv von 10 Zentimeter Brennweite gebaut. Es folgten im Jahr 1979 eine Normalwinkelkammer mit 20 Zentimeter Brennweite und eine Schmalwinkelkammer mit 30 Zentimeter Brennweite. Speziell für die Architekturphotogrammetrie (in engen Straßen und Gassen) erschien im Jahr 1982 eine Überweitwinkelversion mit 6,5 Zentimeter Brennweite.

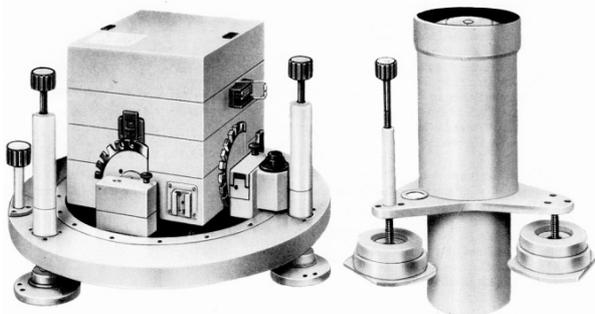


Bild: 100 Luftbild-UMK

Letztes Glied in dieser Kette war im Jahr 1984 die 'Luftbild-UMK' (Bild 100). Sie bestand aus dem unveränderten Kammerkörper der UMK 10/1318, einer Senkrechtaufhängung und einem Intervalometer; sie war für die Luftbildaufnahme aus Kleinflugzeugen und Ballonen in niedrigen Flughöhen bestimmt.

Tafel 44: UMK, technische Daten

Nutzbares Bildformat (mm):	120 × 166
Verschlusszeiten (s):	1 bis 1/400 sowie T und B
Messkammerneigungen (gon/°):	+ 100 / 90; + 88 1/3 / 75; + 66 2/3 / 60; ± 33 1/3 / 30; ± 16 2/3 / 15; 0 / 0
bei Querformat mit Filmkassette:	max. ± 33 1/3 / 30
Aufnahmematerial	
Photoplatten (cm):	13 × 18 (bis 6 mm Dicke)
Film (m):	9 (20 cm Breite); ca. 60 Aufnahmen; und Filmpack
UMK 6,5/1318 B	
Objektiv:	Superlamegon 5,6/64 PI
Brennweite (mm):	64
Standardverzeichnung (mm):	± 0,004 (8 m Abstimmfernung)
Blenden:	1:5,6 bis 1:32
Fokussierung auf (m):	8
Nutzbarer Bildwinkel	
Lange Seite (gon / °):	116 / 104
Kurze Seite (gon / °):	95 / 86
UMK 10/1318 U	
Objektiv:	Lamegon 8/100 B
Brennweite (mm):	99
Standardverzeichnung (mm):	± 0,010 (alle Fokussierstufen)
Blenden:	1:5,6 bis 1:32
Fokussierung auf (m):	∞; 25; 12; 8; 6; 5; 4,2; 3,6; 3,2; 2,8; 2,6; 2,3; 2,1; 2,0; 1,8; 1,7; 1,6; 1,5; 1,4.
Nutzbarer Bildwinkel	
Lange Seite (gon / °):	116 / 104
Kurze Seite (gon / °):	95 / 86
UMK 20/1318	
Objektiv:	Lametar 5/200
Brennweite (mm):	200
Standardverzeichnung (mm):	± 0,004 (alle Fokussierstufen)
Blenden:	1:8 bis 1:32
Fokussierung auf (m):	∞; 67; 34; 22; 17; 14; 11; 9,5; 8,5; 7; 7; 6,3; 5,8.
Nutzbarer Bildwinkel	
Lange Seite (gon / °):	50 / 45
Kurze Seite (gon / °):	37 / 33

UMK30/1318	
Objektiv:	Lametar 11/300
Brennweite (mm):	300
Standardverzeichnung (mm):	±,002 (Fokussierung 50 m); ± 0,00 5 (Fokussierung 5 m)
Blenden:	1:11 bis 1:32
Fokussierung auf (m):	50 (Option 5)
Nutzbarer Bildwinkel	
Lange Seite (gon / °):	34 / 31
Kurze Seite (gon / °):	25 / 22

10.2 Die terrestrischen 'Stereomesskammern 1318'

In den sechziger und siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts kamen die Methoden der rechnergestützten Konstruktion und Fertigung auf. Diese verlangten von der Messtechnik eine Festlegung von Objektpunkten in einem dreiachsigen rechtwinkligen Koordinatensystem. Hierzu dienten die Drei-Koordinatenmessgeräte mit einem Messvolumen von mehreren hundert Kubikmeter. Für größere Objekte stand die geodätische Ingenieurvermessung mit Verwendung elektronischer Tachymeter bereit. Im Bereich von 1 000 bis etwa 15 000 Kubikmeter, vor allem bei dichterem Messpunktbesatz, bewährte sich auch die Anwendung von Methoden der Industriephotoграмmetrie mit der Aufnahme stereophotogrammetrischer Bildpaare und deren Auswertung am Stereokomparator. Die Berechnung der Raumkoordinaten erfolgte nach den einfachen Beziehungen:

$$X = b x' p^{-1}$$

$$Y = b f_1 p^{-1}$$

$$Z = b z' p^{-1}$$

mit: $o = (u - c) (1 + u c)^{-1}$; $p = x' - o f_1$; $c = \tan \gamma$ und $u = x'' f_2^{-1}$;

Es sind weiterhin: b die Aufnahmebasis, x' , z' die Bildkoordinaten im linken Stereoteilbild, x'' die Bildkoordinate im rechten Stereoteilbild, γ der (zentrisch über der Basis liegende) Konvergenzwinkel der beiden Aufnahmerichtungen (optischen Achsen) sowie f_1 , f_2 die Brennweiten (Kammerkonstanten) der linken und rechten Messkammer²⁵¹.

(Koordinatenursprung ist das Projektionszentrum der linken Messkammer; die X-Achse fällt mit der Basisrichtung zusammen; die Y-Achse ist senkrecht zur X-Achse und liegt in der durch die Aufnahmerichtungen (Optischen Achsen) der beiden Messkammern aufgespannten Ebene; die Z-Achse steht senkrecht zur Y-Achse und senkrecht zur X-Achse.)

Im Jenaer Zeisswerk sind zwei Typen von photogrammetrischen Messständen gebaut worden. Im Jahr 1970 entstand die transportable Stereomesskammer mit den Basiseinstellungen 320, 580 und 840 Millimeter (Bild 101).

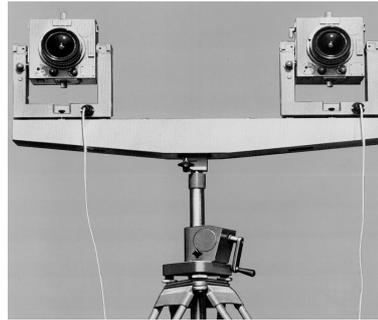


Bild 101: Stereomesskammer 1318

Die stationäre Industriemesskammer IMK (Bild 102) folgte im Jahr 1971. Auch sie benutzte die Messkammern der unveränderten Standardversion der UMK 10/1318. Die Aufnahmebasis war einstellbar zwischen den Längen 350 und 1600 Millimeter.

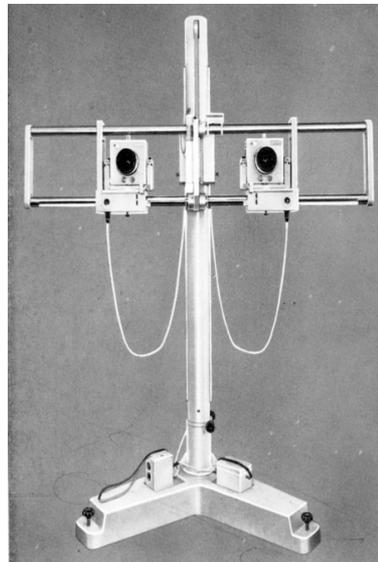


Bild 102: Industriemesskammer IMK

10.3 Die terrestrischen 'Stereomesskammern 0808'

Im Jahr 1968 entstanden für die Nahbereichsphotogrammetrie zwei Stereomesskammern des Bildformats 8 cm x 8 cm (Bilder 103 und 104). Ihr Grundprinzip entsprach dem der Doppelkammer von 1934. Die neuen Konstruktionen nutzten den inzwischen weit fortgeschrittenen Entwicklungsstand des optisch-mechanischen Instrumentenbaus.

Die SMK 5,5/0808 mit einer festen Basis von 0,4 Meter war für Aufnahmeentfernungen von 2 bis 10 Meter und die der Kammer mit einer festen Basis von 1,2 Meter für eine Aufnahmeentfernung von 5 bis 25 Meter bestimmt.

Bevorzugte Anwendungsgebiete der beiden Stereomesskammern gab es bei der Katastrophen- und Unfallaufnahme (Verkehrsunfälle), im Modellbau, in der Architektur, in der Anthropometrie, in der Archäologie, in der Biomechanik, in der Denkmalspflege, in forensischen Bereichen (Tatbestandsaufnahmen), in der Geologie, in den Sportwissenschaften, in der Tierzucht und in der Zoologie.

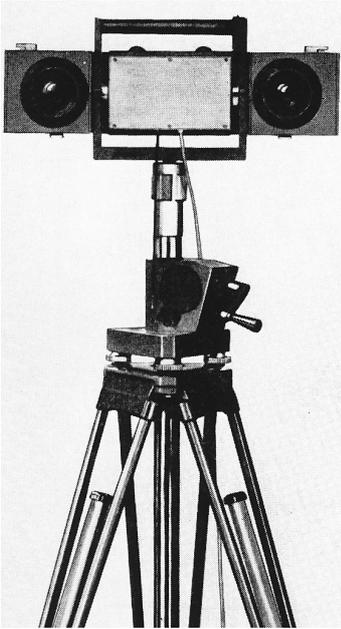


Bild 103: Stereomesskammer SMK 5,5/0808/40

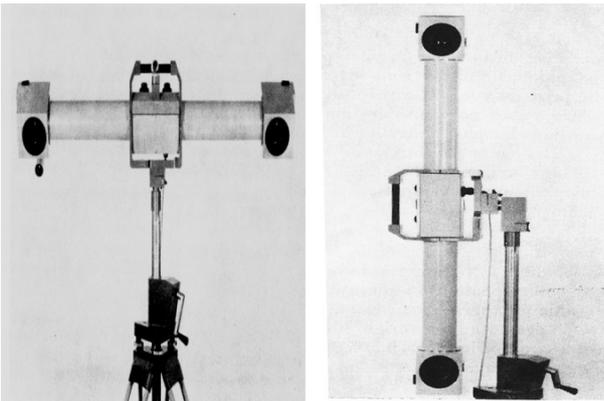


Bild 104: Stereomesskammer 5.5/0808/120 in horizontaler und vertikaler Montierung

Tafel 45: SMK 5,5/0808, technische Daten für die Stereomesskammern 5,5/0808

Objektive:	Lamegon 5,6/55
Brennweite (mm):	56
Standardverzeichnung (mm):	max. $\pm 0,005$
Abstimmfernung (maximale Bildschärfe) (m):	
SMK 5,5/40	4
SMK 5,5/0808/120:	8
Blenden:	1:5,6 bis 1:22
Belichtungszeiten (s):	1 bis 1/500 und B
Nutzbare Bildformat (mm):	80 × 80
Nutzbarer Bildwinkel in den Formatseiten (gon / °):	79 / 74
Kammerneigungen	
Stufen (gon / °):	je 16 2/3 / 15 (im Bereich 400 gon / 360°)
Aufnahmematerial	
Photoplatten (mm):	
Breite/Länge/Dicke	89 $\pm 0,5$ / 119 $\pm 0,5$ / 1,2 bis 2,2
Basislängen (m):	
SMK 5,5/0808/40:	0,4
SMK 5,5/0808/120:	1,2
Kammermontierungen	
Hochstellstativ (m):	1,3 bis 2,5
Vertikalaufhängung für Krananlagen und Brücken	

11.0 Die Endphase des photogrammetrischen Gerätebaus in Jena

Nach dem politischen und ökonomischen Zusammenbruch der DDR kam es am Beginn der 1990er Jahre zur Entflechtung der volkseigenen Betriebe und deren Rücküberführung in Privatgesellschaften²⁵². So entstand am 29.06.1990 aus dem VEB Carl Zeiss Jena die Carl Zeiss Jena GmbH²⁵³. Unter den damaligen Verhältnissen erwies sich diese Konstruktion jedoch in dem neuen wirtschaftlichen Umfeld nicht als lebensfähig. Schließlich kam es zur Bildung von zwei Nachfolgeunternehmen des Jenaer Zeisswerks. Es waren dies die unabhängige Jenoptik GmbH und eine neue Carl-Zeiss-Jena GmbH unter dem Dach der Oberkochener Zeiss-Gruppe. Dies geschah unter Freisetzung von ca. 16 000 Beschäftigten und der Aufgabe umfangreicher Betriebsanlagen, darunter auch das historische Hauptwerk im Stadtzentrum (Bild 105), das heute ein Geschäfts- und Handelszentrum, sowie Heimstatt von Einrichtungen der Friedrich-Schiller-Universität und der Fachhochschule Jena ist.



Bild 105: Umbau des Zeiss-Hauptwerks zu einem Handels- und Geschäftszentrum

Die photogrammetrischen Aktivitäten der Fernerkundung lagen im Bereich der neuen Jenoptik; sie liefen nach wenigen Jahren aus. In der Carl-Zeiss-Jena-GmbH (unter dem Dach der Oberkochener Zeiss-Gruppe) gab es bis Mitte der 1990er Jahre noch eine Arbeitsgruppe für Photogrammetrie. Hier modernisierte man noch einige Interpretationsgeräte, sowie Ergänzungseinheiten aus dem Jenaer Photogrammetrieprogramm, soweit sie der Komplettierung der Oberkochener Bildmessproduktion dienlich waren. Bis zum Auslauf der Jenaer Photogrammetrie sind noch zwei bemerkenswerte neue Geräte in dieser Phase entstanden.

11.1 Das Bildinterpretationsgerät 'Visopret'

Das Visopret (Bild 106) war ein einfach aufgebautes hochleistungsfähiges Gerät für die visuelle Bildinterpretation.

Bild 106 zeigt das Gerät mit Stereomikroskop und PC. Bei geringeren Anforderungen konnte das Stereomikroskop durch ein Spiegelstereoskop ersetzt werden. Das Gerät eignete sich für die Auswertung stereoskopischer Mess-

bildpaare, die aus erdfesten Stationen, aus Flugzeugen und von Raumflugkörpern aus aufgenommen worden waren.



Bild 106: Visopret mit Stereomikroskop, Stereometer und Personal-Computer

Nach der Übergabe der gemessenen Bildkoordinaten und Parallaxen sowie der Eingabe der Systemkonstanten übernahm der PC die Benutzerführung und berechnete nach dem Aufruf von Softwareprogrammen die innere, äußere und absolute Orientierung der Bildpaare, sowie Affintransformationen, Strecken und Flächen.

Tafel 46: Visopret, technische Daten

Bildformat (mm):	240 × 240 (300 × 300 bei abschnittsweiser Auswertung)
Basiseinstellung b_x (mm):	0 bis 115
y-Parallaxe b_y (mm):	-15 bis +15
Visopret 10 (mit Zoom-Stereoskop)	
Vergrößerung:	3,5 fach bis 15,5 fach; mit Messmarken 7 fach bis 31fach
Sehfelddurchmesser (mm):	220: Vergrößerung
Auflösungsvermögen (L/mm):	100
Visopret 20 (mit Spiegelstereoskop)	
Vergrößerung:	3,5 fach und 8 fach
Sehfelddurchmesser (mm):	60 und 25
Messmarkenabstand (mm):	260
Optionen:	Zweiteinblick PC (IBM-kompatibel)

11.2 Das Industriemesssystem InduSCAN

Bereits in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts gab es Überlegungen zum Aufbau eines photogrammetrischen Industriemesssystems (Bild 107).

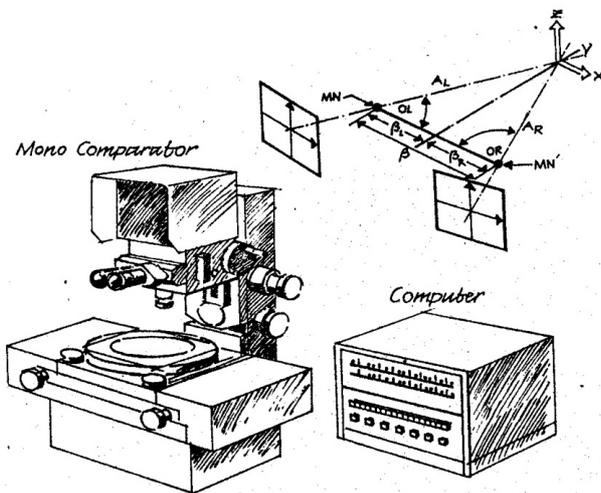


Bild 107: Industriemesssystem²⁵⁴

Mit photographischen Kameras sollten Strukturen aufgenommen werden, in denen die zu messenden Punkte durch geeignete Markierung kenntlich gemacht waren. Nach automatischer Ausmessung der Bilder in einem Komparator war die Datenverarbeitung in einem Personal-Computer vorgesehen. Es kam aber dann nicht zu einer Realisierung dieser Idee. Als in der ersten Hälfte der neunziger Jahre die digitalen Aufnahmegeräte JenaScan und UMK-SCAN zur Verfügung standen, griff man dieses Projekt wieder auf. Das Ergebnis war das Industriemesssystem InduSCAN. Dieses bestand aus digitalen Messkameras hoher Auflösung, die im photogrammetrischen Nahbereich hohe Genauigkeiten garantierten. Eine präzise rechnerische Orientierung der digitalen Kamerabilder im Objektraum gestattete eine automatische Bildverarbeitung zur Berechnung räumlicher Objektkoordinaten.

InduSCAN war ein mobiles Messsystem mit wenigen Hardwarekomponenten, die mit leistungsfähigen Softwaremodulen für die jeweilige Messaufgabe konfiguriert werden konnten. Die Aufnahmestation wurde durch den variablen Einsatz von scanning oder still-video Kameras dem jeweiligen Messproblem hinsichtlich Objektgröße, Messzeit, und Messgenauigkeit angepasst. InduSCAN war bestimmt für Aufgaben, wo berührungsfrei Oberflächen mit einer hohen Punktdichte zu erfassen waren, wo die Messobjekte unzugänglich oder sehr groß waren und man das Objekt nur eine kurze Zeit für die Messung in Anspruch nehmen durfte. Vorteilhaft war, dass die gespeicherten digitalen Bilder auch später noch für ergänzende Messungen oder die weitere Entnahme von Informationen zur Verfügung standen.

Tafel 47: InduSCAN, technische Daten

Digitalkameras JenaScan	
Scanningzeit (Aufnahme) (s):	max. 5
Bildformat (mm):	8,2 × 5,6
Anzahl der Pixel:	max. 4 488 × 3 072
Pixelgröße (mm):	0,0018 × 0,0018 bis 0,011 × 0,011
Radiometrische Auflösung (bit):	8 (s/w)
Objektiv:	Lamegon 3,5/14
Brennweite (mm):	14
Bildwinkel (Formatseiten) (°):	32 × 23
Max. Objektgröße (m ³):	< 1
Messgenauigkeit bei 1,5 m Aufnahmeentfernung Oberfläche (mm):	± 0,1
Signalisierte Punkte (mm):	± 0,03
Universalmesskammer UMK-SCAN	
Scanningzeit (Aufnahme) (min):	max. 5,5
Bildformat (mm):	169,5 × 121,4
Anzahl der Pixel:	max. 15 414 × 11 040
Pixelgröße (mm):	0,011 × 0,011
Radiometrische Auflösung (bit):	8 (s/w)
Objektiv:	Lamegon 8/100 B
Brennweite (mm):	100
Bildwinkel (Formatseiten) (°):	80 × 62
Max. Objektgröße (m ³):	> 1
Messgenauigkeit (bei 1,5 m Aufnahmeentfernung Oberfläche (mm):	± 0,2
Signalisierte Punkte (mm):	± 0,03
Kamera-Optionen:	Kodak DCS 420, 1,5 × 10 ⁶ Pixel; Kodak DCS 460, 6 × 10 ⁶ Pixel; Jena Cam 2/3“ Chip Kamera 758 × 512 Pixel
Computer Hardware:	PC-Scan Station zur Bildaufnahme und Bildorientierung; Silicon Graphics WS zur automatischen 3D-Punktberechnung; Ethernet Verbindung PC-Station <> Silicon Graphics Workstation; Optical Disk LW (230 Mbyte oder 1300 Mbyte) zur Bildarchivierung

Mit dem Einsatz spezieller Software konnten in kurzer Zeit die Koordinaten von Tausenden dreidimensionaler Punkte berechnet werden. So vergingen beispielsweise von der Aufnahme eines 1:1 Pkw-Modells bis zum im CAD-System auswertbaren Datensatz nur etwa drei Tage (Bild 108).

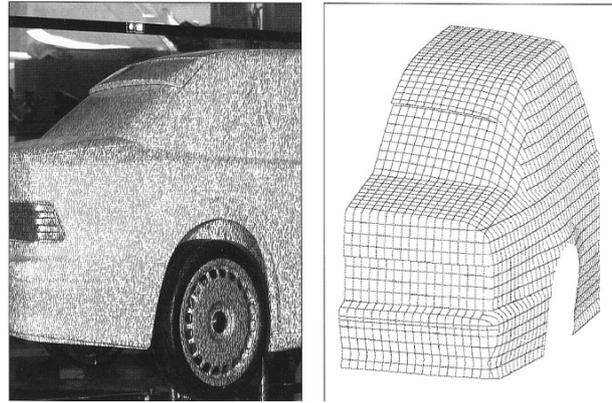


Bild 108: Vermessung von Design-Modellen in der Automobilindustrie

12.0 Die Entwicklung von photogrammetrischen Hochleistungsmessobjektiven

Als nach der Unterbrechung von einem Jahrzehnt im Jenaer Zeisswerk wieder Luftbildmesskamern entwickelt und gebaut werden durften war es zunächst erforderlich eine neue Generation von Messobjektiven zu schaffen, die in ihren Leistungen dem inzwischen fortgeschrittenen Stand der Technik entsprach. In den folgenden 40 Jahren gelangen dann weitere erhebliche Verbesserungen, vor allem auch unter Nutzung der im Zeisswerk entstandenen Optischen Rechenmaschine OPREMA und des folgenden Zeiss-Rechenautomaten ZRA. In dieser Periode kam es zu einer wesentlichen Erhöhung der Lichtstärke der im Bildmessbereich verwendeten optischen Systeme. Die Übereinstimmung der Bildgeometrie mit der mathematischen Zentralprojektion verbesserte sich von $\pm 0,010$ auf unter $\pm 0,003$

Millimeter. Das photographische Auflösungsvermögen in der optischen Achse erhöhte sich, bezogen auf einen logarithmischen Kontrast von 0,2 (wie er bei der Luftbildaufnahme üblicherweise vorhanden ist) von 20 auf etwa 40 Linien pro Millimeter. Und die chromatische Korrektur der Aufnahmeobjektive gelang in der PI-Reihe auf einen Wellenlängenbereich von 400 bis 900 Nanometer. Letzteres war vor allem bedeutungsvoll bei dem Aufkommen von CIR-Filmen (Color/Infrarotemulsionen) für Aufnahmen aus dem Luft- und Weltraum.

Nachfolgende Tafel 48 gibt einen Überblick auf die nach dem Jahr 1955 entwickelten und gebauten photogrammetrischen Hochleistungsobjektive.

Tafel 48: Bildmessobjektive

Objektiv	Typ	Öffnung-Brennweite	Bildwinkel	Verwendung
Lamegon 3,5/14	Weitwinkel	3,5 – 14 mm	36 gon \times 26 gon/ 32° \times 23°	InduScan
Lamegon 5,6/55 mit Planplatte	Weitwinkel	1:5,6 – 55 mm	102 gon/92°	SMK
Lamegon 8/100	Weitwinkel	1:8 – 99 mm	102 gon/92°	UMK
Lamegon 8/100 N	Weitwinkel	1:8 – 99 mm	102 gon/92°	UMK; IMK
Lamegon 8/100 B	Weitwinkel	1:8 – 99 mm	102 gon/92°	UMK; IMK
Lamegon 8/100 U	Weitwinkel	1:8 – 99 mm	102 gon/92°	UMK; Flug-UMK
Lamegon 4/115	Weitwinkel	1:4 – 115 mm	106 gon/95°	MRB
Lamegon PI 4,5/150	Weitwinkel	1:4,5 – 152 mm	102 gon/92°	MRB

Lamegon PI 4.5/150 B	Weitwinkel	1:4.5 – 152 mm	102 gon/92°	MRB; LMK
Lamegon PI 4,5/150 C	Weitwinkel	1:4,5 – 152 mm	102gon/92°	LMK
Lamegon PI 4/150 D	Weitwinkel	1:4 – 152 mm	102 gon/92°	LMK
Lamegor PI 5,6/300	Normalwinkel	1:5,6 – 305 mm	59 gon/53°	MRB; LMK
Lamegor PI 5,6/300B	Normalwinkel	1:5,6 – 305 mm	59 gon/53°	LMK
Lamegoron PI 5,6/210 A	Zwischenwinkel	1:5,6 – 210 mm	80 gon/72°	LMK
Lametar 8/200	Normalwinkel	1:8 – 200 mm	56 gon/51°	UMK
Lametar 11/300	Schmalwinkel	1:11- 300 mm	39 gon/35°	UMK
Pinatar 4/210 mit Anlegeglasplatte	Schmalwinkel	1:4 – 125 mm	42 gon/38°	MKF-6; MSK-4
Pinatar 4/210	Normalwinkel	1:4 – 210 mm	69 gon/62°	MEB
Superlamegon PI 5,6/64	Überweitwinkel	1:5,6 – 64 mm	124 gon/112°	UMK
Superlamegon 5,6/90	Überweitwinkel	1:5,6 – 90 mm	136 gon/122°	MRB
Superlamegon PI 5,6/90 B	Überweitwinkel	1:5,6 – 88, 5 mm	168 gon/122°	MRB
Superlamegon PI 5,6/90 C	Überweitwinkel	1:5,6 – 89 mm	132 gon/119°	LMK
Transformar 5.6/70	Weitwinkel	1:5,6 – 70 mm	93 gon/84°	Rectimat
Transformar8/150	Weitwinkel	1:8 – 125 mm	93 gon/84°	Rectimat

13.0 Personen und Sachregister

(Die Hinweiszahlen beziehen sich auf die Abschnittsnummerierung des Inhaltsverzeichnisses auf den Seiten 3 und 4)

ABBEsches Komparatorprinzip: 6.0, 14.0 (146). ABBES 'Schiefe Projektion': 3.8. Abschlussfenster: 7.12, 14.0 (183). Abstimmung: 7.1.

Additive Color Viewer: 8.3. Additive Projektion: 9.2, 9.6.

Aerolux: 7.8. Aerophotogrammetrie: 3.5. Aeroscop: 7.9. Aerialtriangulation: 6,4, 7.10, 8.3, 14.0 (153). Äußere Orientierung: 7.10.

Affin-Auswertegerät: 4.2. Affinentzerrung: 3.8. Affines Raummodell: 4.1.

Alliiertes Kontrollrat: 1.0. D'ALMEIDA, Joseph, Charles: 3.9, 14.0 (41). Altimat: 7.11.

Anaglyphenverfahren: 3.9. Analog-Digitalwandler: 5.1, 5.2. Analytische Photogrammetrie: 6.0. Analytisches Auswertegerät: 4.2, 4.3, 4.12. Aneroid-Barometer: 7.10. Anlagenbau: 14.0 (141). Anthropometrie: 10.3.

Archäologie: 10.3. Architekturphotogrammetrie: 3.4, 3.6, 3.8, 4.6, 4.10, 6.4, 8.3, 10.1, 10.3, 14.0 (87).

Ascorecord: 6.0, 7.4, 14.0 (148).

Atmosphärische Refraktion: 4.11. Atmosphärische Trübung: 8.2.

Auflösungsvermögen 7.2, 7.3, 7.13, 12.0. Autostereograph: 4.12.

AXIONOW, V.: 9.3.

BAEMISH, Jerry K: 14.0 (141). **BAKKEN**, Rolf: 14.0 (141). **BANSEMER**, Hartmut: 14.0 (210). Barometrischer Höhenmesser: 7.10. Basisverhältnis: 9.3. **BAUER**, Gerhard: 14.0 (89, 105). **BAUERSFELD**, Walther: 3.9, 3.11, 4.0, 14.0 (35). **BAUERSFELDSCHES** Vorsatzsystem: 3.11, 4.0. Bauwesen: 4.6, 9.1, 14.0 (141).

BECK, Bernhard: 14.0 (122). **BECK**, Hans Gerhard: 14.0 (148). **BEIER**, Lothar: 14.0 (139, 151). Bekleidungsindustrie: 5.2. Belichtungsreglung: 7.13, 14.0 (193, 194). Belichtungszeit: 7.6, 7.8, 7.13. **BELZNER**, Hans: 14.0 (6). Bewegungsmessungen: 14.0 (141).

Bildbetrachtung: 3.11, 4.0. Bildflug: 7.8. Bildflugnavigationsgerät: 7.9, 7.14. Bildflugzeug: 7.6, 7.7, 9.3. Bildformat: 3.11, 7.6, 9.5. Bildgeometrie: 4.12, 12.0. Bildinterpretation: 11.1. Bildkorrelator: 4.3, 4.5. Bildmaßstab: 8.0. Bildmesslabor: 2.0. Bildscanner: 9.7. Bildtrennung: 3.9. 4.7. Bildverarbeitung, photographische: 8.0. Bildverarbeitungssystem A-6471: 9.7, 14.0 (241). Bildwanderung: 7.0, 7.6, 7.12, 7.13, 9.3, 14.0 (5, 157, 186, 187). Biomechanik: 10.3.

BLANKENBURG, Peter: 14.0 (154). **BLUMENTRITT**, Sigmar: 14.0 (141).

BÖGELSACK, Gerhard: 14.0 (67).

Braunkohlentagebau: 3.4. **BROWN**, D. C.: 6.0. **BRUCKLACHER**, Walter: 14.0 (113).

Bündelblockausgleichung: 6.0. **BÜRGER**, Manfred: 14.0 (79).

BYKOWSKI, V.: 9.3.

Camera lucida: 3.7. Carl Zeiss in Jena 1945-1990: 14.0 (4).
Cartimat: 4.2, 4.14, 5.0, 5.2, 14.0 (130,131, 132, 133, 134, 135). Chromatische Korrektur: 12.0.

Close Range Photogrammetry: 10.0.

Color-Aufnahme: 7.8. Color-Infrarot-Aufnahme (CIR): 7.8. Color Composite: 8.3. Color-Infrarot-Aufnahmematerial (CIR): 7.6. Coordimeter: 4.13, 4.14, 5.1, 5.2, 6.1, 6.2, 14.0 (114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 127). COULTHART, Donald E: 14.0 (39).

CROIX, Harald de la: 14.0 (90).

Dagor: 3.8.

Deformationsmessungen: 3.4, 14.0 (141, 141). DEHN ROTFELSER, Heinrich von: 14.0. Demontage: 1.0, 7.0. Denkmalspflege: 10.1, 10.2, 10.3. DETER, Christhard: 14.0 (242, 243). Deutsche Wiedervereinigung: 11.0.

Dichtebereich, photographischer: 7.13. Dicomat: 4.12, 6.2, 14.0 (104, 105, 107, 108). Dicometer: 4.14, 6.2, 14.0 (151). Dielektrische Bandpassfilter: 9.4. DIETE, Norbert: 14.0 (189,191). Differentialbarometer: 7.10, 7.11. Differentialentzerrung: 4.3. Digital-Analogwandler: 5.1, 5.2. Digitale Karte: 4.14. Digitales Bild: 9.7. Digitales Geländemodell (DGM): 4.14, 7.11. Digitalzeichentisch DZT: 5.0, 5.3, 14.0 (136, 137, 138). Digitizerbox: 4.14.

DÖHNEL: 14.0 (6). DOMSCHKE, Peter: 14.0 (130, 131, 133) Doppelprojektoren: 14.0 (40).

Drehzahl der Perspektive: 8.3. Drehschwingung (Luftbildkammer): 7.6, 7.13. Drei-Koordinatenmessgeräte: 10.2. Drei-Linien-Test: 7.2.

DÜRNELD, Hans-Joachim: 14.0 (94).

DZT 90 × 120 / RGS: 14.0 (139).

Ebenheitsprüfgerät: 7.5.

EHRHARDT, J.: 14.0 (195).

Eigenfrequenz (Luftbildkammer): 7.13. Einschiebeverschluss: 7.6, 7.13.

Elcop: 8.2, 14.0 (196, 197, 198, 199, 200). Elektrische Welle: 4.1. Elektronenmikroskopie: 4.6, 14.0 (141). Elektrooptischer Abtastkopf EOAK: 5.2.

Entwicklung, photographische: 8.0. Entwicklungsgerät EG 120: 8.1. Entzerrung: 3.6, 3.10, 4.7, 14.0 (27). Entzerrungsgerät: 3.8, 3.10, 8.3. Entzerrungsgerät SEG I: 3.8, 8.0. Entzerrungsgerät SEG IV: 3.8.

Erdrückung: 4.11.

E-System: 5.1, 14.0 (128).

Externes Réseau: 7.6.

Fächerkollimator: 7.4, 10.1. Falschlicht: 7.3. Farb-Synthese-Bilder: 8.3, 9.2, 9.6, 14.0 (178, 212, 213).

FEHLKAMM, G. 14.0 (148): FELBINGER, Ernst: 14.0 (6). Feldentzerrungsgerät: 3.8. Fernerkundung: 7.6, 7.8, 7.13, 9.0, 9.1, 9.3.

Filmdeformation: 4.11. Film-Eingabe- und Ausgabegerät FEAG: 9.7, 14.0 (242, 243, 244, 245).

Fluchtpunktsteuerung: 8.3, 14.0 (27). Flüssigkeitslichtstromfilter: 9.1. Flugzeugbau: 14.0 (141).

Flurbereinigung: 14.0 (109, 110, 111, 112, 113).

Forensik: 3.6, 10.3. Formlinien: 3.6. Forstwirtschaft: 9.1.

Fresnel-Kondensator: 4.7, 8.3.

FUCHS, Peter: 14.0 (76).

GASSER, Max: 3.9, 4.0, 14.0 (33). GEHLER, Steffen: 14.0 (244, 245). Gemessene Linie: 4.12. Geographie: 9.1. Geographisches Informationssystem (GIS): 5.1. Geologie: 9.1, 10.3.

GÖRLICH, Paul: 14.0 (196). Goniometer: 7.4, 7.5.

GREINER: 14.0 (6). GRUBER, Otto von: 4.0, 5.1, 6.0, 14.0 (2). GRUNEWALD, Hans Jürgen: 14.0 (130).

GULDBRANDSEN, Henry: 14.0 (6, 56). GUTU, A.: 14.0 (141).

HÄRRY, Hans: 14.0 (112). Halbleiterindustrie: 5.1. HANF, Reinhard: 14.0 (242, 243). HARTING, Hans: 3.5, 14.0 (21). HARTWIG, Horst: 14.0 (70).

HECKER, Gerhard: 14.0 (6). Helligkeitsumfang: 7.8, 7.13. HELLMUTH, Edith: 14.0 (4). HENSSGE: 14.0 (6). HERDA, Klaus: 14.0 (23, 156, 196, 197, 199, 221, 222, 223, 224, 225). HESS, Kurt: 14.0 (202). Heyde GmbH: 14.0 (50). HEYDE, Gustav: 4.0. HEYROTH, Alexander: 14.0 (66, 70, 128).

Hochleistungsmessobjektive:, photogrammetrische: 12.0. HOFMANN, Otto: 14.0 (18, 45, 46, 47, 55, 115, 116, 117, 118).

HUGERSHOFF, Reinhard: 4.0, (49).

ILLHARDT, Egon: 14.0 (78, 102, 234).

InduSCAN: 11.2. Industriemesskammer IMK: 10.2. Industriemesssystem: 11.2. Industriephotogrammetrie: 4.6, 6.1, 6.4, 10.0, 10.1, 10.2, 14.0 (247). Informationen (geometrische und semantische): 9.0. Infrarotaufnahme: 7.6, 7.8. Ingenieurvermessung: 10.2. Inkrementaler rotatorischer Geber IGR: 4.14. Inkrementales Aufricht-Längenmesssystem: 5.2, 5.3, 6.3. Innere Orientierung: 7.4, 7.6. Internzeichentisch: 4.8. Interpretation: 14.0 (223). Interpretoskop: 9.1, 9.2, 14.0 (221, 224, 225). Intervalometer: 10.1. Inversoren: 3.8, 8.3. 'Islander': 7.12.

Jahresbericht BMS 1945/46: Jahresbericht Bms 1950: 14.0 (11). 14.0 (7). Jalta-Beschlüsse: 1,0.

JEHNE, Gerhard: 14.0 (130). JELISAROW, N.F.: 14.0 (48). Jenaer Rundschau: 14.0. JenaSCAN: 11.2. Jenoptik GmbH: 11,0.

Journal for Photogrammetrists and Surveyors: 14.0.

JÜRSHIK, Gerhard: 14.0 (242). Justierung: 7.1.

Kalibrierung: 7.0, 7.1, 14.0 (7, 9, 160, 161, 162, 164, 167, 250). 'Kalter Krieg': 9.0. Kammergeometrie: 7.13. Kammerkonstante: 7.4. Kammerkonus: 7.6. KARNAHL, Volkerr: 14.0 (139). KARNAPP, Alfred: 14.0 (148). Kartenergänzung: 9.1, 9.2, 14.0 (237). Kartenergänzungsgerät: 9.2. Kartoflex: 9.2, 10.0 (226, 227, 228). Katasterpläne: 4.13.

KERN, H. G.: 14.0 (234). KEUCHER: 14.0 (6).

Kleinentzerrungsgerät: 3.10, 14.0 (24). KLOSE, Heinrich: 14.0 (190, 194). KLUDAS, T.: 14.0 (108). KLUKOWSKI, Kerstin: 14.0 (244).

KOCH, Raimund: 14.0 (203, 204). Kollinearitätsprinzip: 6.0. Komess 3030: 6.0, 14.0 (147). Komparator: 11.2. Kompendium Photogrammetrie: 14.0 Kompensationsplatten: 4.11,

- 14.0 (100). Komplanarität: 6.0. Kontrast: 8.2. Koordinatographen: 5.0. Kopiergerät, elektronisches: 8.0, 8.2. KOWANDA, W.: 14.0 (95).
- KRÄMER, Joachim: 14.0 (141, 233, 234). KRAFT, Heinrich: 14.0 (6). KRIZ, Vaclav: 14.0 (120).
- ‘Künstliche Punkte’: 6.4. Kugelschraubtrieb: 14.0 (67). KULISCH, Horst: 14.0 (133). KUNZE, Werner: 14.0 (79, 80). KUSCH, Manfred: 14.0 (74).
- L**ACMANN, Otto: 4.3, 10.0, 14.0 (68, 110, 246). LAMBERT-Strahler: 7.3. Lamegon: 4.7, 7.6, 7.13, 10.1, 10.3, 11.2, 12.0. Lamegor: 7.6, 7.13. Lamegoron: 7.13. Lametar: 10.1. Landesplanung: 9.1. Landnutzung: 9.7. Landwirtschaft: 9.1. Laser-Flughöhenmesser: 11. Laser-Punktübertragung: 6.4. LAUENROTH, Gerhard: 14.0 (80).
- Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung: 14.0.
- Lichtabfall: 7.6. Lichtleistung: 7.13, 12.0. Lichtmessung: 7,13. Lichtzeichenkopf: 5.2, LITH, Nailja: 14.0 (241).
- L**OBANOW, A.n.: 14.0 (82).
- Luftbildaufnahmetechnik: 7.0, 14.0 (182). Luftbildbelichtungsmesser: 7.8, 7.13, 14.0 (180, 181). Luftbildmesskammer LMK: 7.13, 14.0 (186,187,189). Luftbildmesskammern: 7.0, 8.0. Luftbild-UMK: 10.1. Luftbildumzeichner: 3.7, 9.2, 14.0 (24).
- L-410: 7.12.
- M**AHLER: 14.0 (6, 11). MANEK, Franz: 2.0, 14.0 (9, 59). MARCKWARDT, Werner: 14.0, 14.0 (72, 73, 134, 135, 137, 138, 139, 227). MAREK, Karl-Heinz: 14.0 (217). MARK: Rolf-Peter: 14.0 (104, 107, 119, 123, 150). Markierung: 6.4, 9.1. MARTIN, Herbert: 14.0 (77). MATTIGK, Herbert: 14.0 (197).
- MD-12 F: 7.12.
- Mechanische Projektion: 3.3, 4.0, 4.1. MENZ, Joachim: 14.0 (141). Messinterpretation: 9.1, 9.2. Messobjektive, photogrammetrische: 8.3. Messreihenbildner MRB: 7.6. Messstand, photogrammetrischer: 10.2. Metall-Interferenzfilter: 9.3. MEYER, Rudolf: 14.0 (87).
- MIEHLE, K.: 14.0 (141). Mikroelektronik: 5.1. Mikroskope: 3.6. Militärwesen: 9.1. ‘Mir’ (Weltraumlaboratorium): 9.3.
- MKF-6: 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 14.0 (219, 229, 231, 233, 234, 236, 238).
- Modellbau: 10.3. Modellkorrektor: 4.9, 4.11, 14.0 (101, 102). Modellverbiegung: 4.11. MÖBIUS, Wilfried: 14.0 (198, 200). MOTTWEILER: 14.0 (6).
- MRB 9/2323: 14.0 (167). MRB 11,5/1818: 14.0 (174). MRB 21/1818: 14.0 (172, 173). MRB-Steuergerät: 7.6.
- MSK-4: 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 14.0 (239). MSP-4: 9.6, (240).
- MÜHLFRIEDEL, Wolfgang: 14.0 (4). MÜLLER, Gerd: 14.0 (121,122). MÜLLER, Wilfried: 14.0 (90, 101)). Multiplex: 3.9, 14.0 (36, 37, 39). Multispektralbildsatz: 9.3, 9.5, 9.6, 14.0 (217). Multispektralkammer: 6.3, 9.3, 9.4. Multispektralprojektor: 8.3, 9.2, 9.6. Multispektraltechnik: 9.0, 9.2, 9.3, 9.4, 14.0 (218, 230).
- N**ahbereichsphotogrammetrie: 4.10, 10.0.
- NCU 2000: 7.14, 14.0 (195).
- Neigungsrechner: 4.9, 4.10, 14.0 (94, 95, 96). NEUMANN, Jörg: 14.0 (206). NEWTONsche Linsengleichung: 8.3.
- Nichttopographische Anwendungen: 4.10, 10.0. NICOLAI, Gerhard 14.0 (239). NIETSCHMANN: 14.0 (6).
- O**bjektive: 7.13. Oprema, Optische Rechenmaschine: 12.0. Optische Projektion: 3.9, 3.11, 4.0. Optisches Vorsatzsystem: 3.11, 4.0. Optische Systeme: 14.0 (206).
- OREL, Eduard von: 3,3, 4.12. Orientierung: 4.11. Orograph: 4.3, (76). Oromat: 4.5. Orthopädie: 14.0 (141). Orthophot: 4.4, 4.5. Orthophoto: 4.3, 7.11.Orthophotokarten: 4.2. Orthoprotar: 3.1.
- P**ankrat: 9.1, 9.2. Panoramakammer: 4.12. Parallaxenmessung: 3.6. Passpunkte: 7.10. PASTORELLI, A.: 14.0 (111).
- PERGANDE, J.-W.:14.0 (137). Perspektivbedingung: 8.3. PETER, H.: 14.0 (155).
- PFITZER, Albert: 41.0 (1).
- Photogrammetrische Messobjektive: 1.0. Photogrammetrischer Gerätebau in Jena 1895-1945: 14.0 (3).Photointerpretation: 7.6, 9.0, 9.7. Photolithographie: 5.1. Photopret: 3.6. Phototheodolit Photheo 19/1318: 3.1, 4.6, 10.0, 14.0 (13).
- Pinatar: 7.6, 9.3, 9.4. PI-Objektive: 7.6. Pixel: 9.7, 11.2.
- PKA: 9.5.
- PLISCHKE, F.: 14.0 (191).
- Pneumat: 7.5.
- POITZ, H.: 14.0 (214). PORRO, Ignazio: 14.0 (53). PORRO-KOPPEsches Prinzip: 4.0.
- Präkordi: 4.14, 5.0, 5.1, 14.0 (125, 127,129). Präzisionskopierautomat PKA: 9.5. Präzisions-Projektionsautomat PPA: 9.5. Prüfgeräte: 7.1. Prüftafel für stereoskopisches Sehen: 2.0.
- PULFRICH, Carl: 3.3, 4.12. PULFRICHsches Prinzip: 3.2. Punktübertragung: 6,4, 9.1. Punktübertragungsgerät: 6.4.
- Q**uerentzerrung: 4.4, 4.5.
- ‘**R**aduga’: 9.3.
- Rectimat: 8. 3, 14.0 (202, 203, 204, 210, 211, 214). Regiscop: 7.10, 7.11. Registriergeräte: 14.0 (122). Registrierstoskop: 7.10. REICHEL, Wilfried: 14.0 (245). REINHOLD, Artur: 14.0 (178, 212). Rekonstruktionsprogramm: 3.0. Remote Sensing: 7.5, 9.0. REMPKE, W.: 14.0 (192). Reseau-Kammern: 7.6, 14.0 (170).
- RGW (Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe): 3.11, 4.2.
- Richtkreisel: 7.13. RIEDESEL, Paul: 14.0 (244). RITTER, Otto: 14.0 (197).
- Röntgendiagnostik, medizinische: 8.2. Röntgenologie: 3.6, 4.6, 14.0 (82).
- RUDOLF: 14.0 (6). RULF, Joachim: 14.0 (204, 213). Russar: 7.6. RUSSINOW, M.: 4.2. Russische Werkkommission: 1.0.
- RYCHLEWSKI, G.: 14.0 (141).
- S**AAL, Walter: 14.0 (140). SAEDLER, Jürgen: 14.0 (241). SAGDEJEW, R.S.: 14.0 (230). SALLEN, Reiner: 14.0 (178). Salut 6’: 9.3. SANDER, Willy: 4.2, 14.0 (19, 60).
- Scanner: 4.12, 5.2, 14.0 (216).
- SCHARFENBERG: 14.0 (5). SCHEIMPFLUG, Theodor: 3.9, 14.0 (31, 32). SCHEIMPFLUG-Bedingung: 3.8, 8.3. Schichtgravur: 5.1. Schiffbau: 14.0 (141). SCHIRMER, W.: 14.0 (113). Schlagschatten: 7.8, 8.2. SCHMID, Helmut Heinrich.: 6.0,

- 14.0 (144). SCHMIEDER, Helmut: 14.0 (249). SCHNEIDER, Friedrich: 14.0 (6). Schneidtechnik: 5.1. SCHÖLER, Horst (H): 14.0. 14.0 (2, 10, 17, 32, 33, 40, 56, 57, 58, 59, 65, 69, 70, 79, 81, 96, 97, 141, 147, 153, 157, 158, 167, 168, 172, 178, 179, 186, 188, 196, 212, 216, 218, 222). SCHRADE, Hugo: 2.0, 14.0 (8). Schräg-Luftbildpaar: 4.10. SCHRUMPF, Hermann: 14.0 (6, 168). SCHULZ, Rüdiger, 14.0 (178). SCHUMANN, Rudolf: 1.0, 14.0 (3, 204). Schwerpunktaufhängung: 7.6, 7.13. Schwingungen: 7.6.
- 36 Jahre Photogrammetrie: 14.0 (10). Sekundärbildwanderung: 7.13.
- Signalisierung: 6.4.
- SMIDRKAL, Josef: 14.0 (141). SMK 5.5(0808): 10.3.
- Sojus-22: 9.3, 01.0 (229). Sowjetische Besatzung: 1.0. Sowjetische Militäradministration für Deutschland (SMAD): 1.0, 7.0.
- SPATA, Paul: 14.0 (203, 204). Spiegelstereometer: 2.0. Spiegelstereoskop: 3.6, 9.10, 11.1. SPORBERT, W.: 14.0 (234). Sportwissenschaften: 10.3.
- Stabilisierte Aufhängung: 7.13, 14.0 (5, 190, 191). STAROSCZIK, Herbert: 14.0 (83, 85, 91, 126, 136, 151, 228). Stecometer: 4.14, 6.1, 6.2. 14.0 (149, 150). Stereoautograph: 3.0, 3.3, 4.0, 4.2, 4.6, 4.12, 4.14, 5.1, 10.0, 14.0 (17, 18, 19, 52, 60, 84). Stereodicomat: 4.3. Stereokomparator: 3.0, 3.2, 4.12, 6.0, 10.0, 14.0 (14, 141). Stereokomparator Steko 1818: 3.2, 6.0, 10.0, 14.0 (14, 141). Stereoluftbildumzeichner: 9.2. Stereomesskammern: 10.2, 10.3. Stereometrograph: 4.1, 4.8, 4.14, 5.3, 14.0 (55, 57, 58, 152). Stereoorthophoto: 4.10. Stereopantometer: 3.6. Stereoplanigraph: 3.11, 4.0, 4.6, 4.10, 4.13, 4.14, 14.0 (46, 47, 48). Stereoplot: 4.8, 4.14, 14.0 (91). Stereoskope: 3.6. Stereotrigomat: 4.2, 4.3, 4.5, 4.14, 5.2, 6.2, 6.3, 14.0 (65, 66, 67). STERNISKO, Horst: 14.0 (160). STRAUBE: 14.0 (6). Streifenkammer: 4.12.
- Superlamegon: 7.6, 7.13, 10.1.
- SZANGOLIES, Klaus: 14.0, 14.0 (58, 84, 89, 101, 127, 146, 233, 237). Szenenhelligkeit: 7.8, 7.13.
- T**achymeter: 10.2. Taschenstereoskop: 2.0, 9.1.
- Technocart: 4.2, 4.6, 4.14, 6.3, 14.0 (83, 84, 85). Teilmesskammern: 4.6. Telezentral: 2.0. Tellurium: 2.0. Terrestrische Photogrammetrie: 3.0, 4.10. Terrestrisch-photogrammetrisches Gerätesystem: 3.4.
- Theorie der umgeformten Strahlenbündel: 4.1. THOMAS, H.: 14.0 (108). TIEDECKEN, Robert: 14.0 (206). TIEDECKEN, Werner: 14.0 (77, 151, 224). Tierzucht: 10.3. TIETSCH, Rolf: 14.0 (148).
- TÖPPLER, Joachim: 14.0 (61, 94, 152, 247). Topocart: 4.2, 4.5, 4.6, 4.8, 4.12, 4.14, 6.2, 6.3, 14.0 (61, 85). Topocart-Orthophot: 4.2, 4.4, 4.10, 14.0 (72, 73, 74). Topoflex: 4.7, 4.14, 14.0 (89, 90). Topogon: 7.6. Topomat: 4.2, 4.5, 4.14, 14.0 (77, 78, 79, 80). Topopret: 3.6. Totalstation: 10.2.
- Transformar: 9.3. Transformation: 4.10. Transmark: 6.4, 14.0 (154, 155, 156). Trockenschrank TS 120: 8.1. Trocknung von Photomaterial: 8.0.
- TSCHERNIJ, A.N.: 14.0 (82).
- TZSCHOPPE, Wolfgang: 14.0 (240).
- Ü**berweitwinkelkammern: 4.6, 7.6. Überweitwinkelmultiplex: 3.9. Überweitwinkel-Stereokartiergeräte: 4.2. Überweitwinkeltechnik: 3.9, 4.1, 4.2.
- ULBRICHTSche Kugel: 7.3.
- Umgeformte Strahlenbündel: 14.0 (57). UMK-SCAN: 11.2. Umwelt-Monitoring: 9.7.
- Universalmesskammer UMK: 10.1, 14.0 (248, 249, 250).
- U.S. Corps of Engineers: 1.0, 3.9.
- V**erkehrswesen: 4.6, 9.110.3. Vermessungsinformationen: 14.0. Vermessungstechnik: 14.0. Verschluss: 14.0 (192). Verzeichnung: 4.11, 7.4.
- Vibrationen (Luftbildkammer): 7.6, 7.13, 14.0 (188). Vididosen: 7.10. Visopret: 11.1.
- VOGL, W.: 14.0 (141,). Vorspurspeicherung: 4.5. VOSS, Günther: 14.0 (170, 184, 195, 248, 249).
- W**AGNER, H.: 14.0 (137).
- WEIBRECHT, Otto: 14.0 (13, 14, 24, 27, 69, 70, 76, 129, 130, 132, 149, 154, 202). Wendelkollimator: 7.2.
- WIEMANN: 14.0 (6). WILHELMI, Wolfgang: 14.0 (241). WIRTH, H.: 14.0 (217).
- WOLF, Erich: 14.0 (36, 37). Wolkenschatten: 7.8, 8.2.
- WÜRTZ, Gerhard: 14.0 (100, 162, 173, 174, 176, 182, 250). WÜSTEMANN: 14.0 (7).
- Z**AHN, Horst: 14.0 (211).
- Zeichenstereometer: 3.6. Zeichentische: 5.0. Zeichen- und Gravurwerkzeuge: 14.0 (126). Zeiss-Bildmessrechner: 4.3. Zeiss-Hauptwerk: 11.0. Zeiss-Rechenautomat ZRA: 4.2, 12.0. Zeisswerk Jena (Umgestaltung 1990-1995): 11.0. ZEMANN, Arnold: 14.0 (125, 126, 127, 226, 227). Zentralverschluss: 7.6. ZETH, Ulrich: 14.0 (177, 180, 181, 183, 184, 193, 194).
- ZICKLER, Achim: 14.0 (219, 229, 231, 236, 238). ZIEGERT, Adolf: 14.0 (6).
- Zoologie: 10.3.
- Zweibildkartiergeräte: 9.5. Zweiter Weltkrieg: 1.0. Zweitkammeradater: 7.7, 14.0 (177).

14.0 Anmerkungen und Literaturhinweise

Kompodium Photogrammetrie: Erschienen im VEB Carl Zeiss Jena (Bände I bis IX) und in der Akademischen Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. Leipzig (Ab Band X) Herausgeber: Horst H. Schöler (Bände I bis XIV), Klaus Szangolies (Bände XV bis XVIII) und Werner Marckwardt (Ab Band XIX).

Jenaer Rundschau: Werkzeitschrift des VEB Carl Zeiss Jena.

Vermessungsinformationen: Erschienen im VEB Carl Zeiss Jena in unregelmäßiger Folge.

Vermessungstechnik: Fachzeitschrift für das Karten- und Vermessungswesen in der DDR (Ab 1953). Erschienen im ehemaligen VEB Verlag für Bauwesen (letzte Hefte im Verlag Wichmann Karlsruhe).

Journal for Photogrammetrists and Surveyors JPS: Erschienen im VEB Carl Zeiss Jena / Jenoptik GmbH. Herausgeber: 1981 – 1985 Horst H. Schöler; ab 1985 Heinrich von Dehn Rottfeller.

Horst H. Schöler: Lexikon für Photogrammetrie und Fernerkundung. (3 Bände). Erschienen 1989/90 im Forschungszentrum des VEB Geodäsie und Kartographie Leipzig. (Heute: Bundesamt für Geodäsie und Kartographie, Frankfurt a.M.).

- 1 Albert Pfitzer (1882 – 1948), Dr.-Ing. E.h.: Ministerialdirigent im Reichsinnenministerium, Chef des Deutschen Vermessungs- und Kartenwesens.
- 2 Schöler, Horst H: Otto von Gruber – ein bedeutender Geodät und Wegbereiter der Photogrammetrie. In: Jenaer Jahrbuch 2003, S. 8 . Jena (2003)
- 3 Schumann, Rudolf: Die Entwicklung der photogrammetrischen Geräte in Jena von der Jahrhundertwende bis zum Jahre 1945. In: Kompodium Photogrammetrie, Band XVIII (1986).
- 4 Mühlfriedel, Wolfgang; Hellmuth, Edith: Carl Zeiss in Jena 1945 – 1990. Die Geschichte eines Unternehmens. S. 4. Köln/Weimar/Wien 2004.
- 5 Der Jahresbericht Bildmess 1945/46 nennt die folgenden Themen: Stabilisierter Reihenbildner Rb 20/30, Russar-Multiplex mit 6 WW-Projektoren, Spezialverschluss mit vergrößertem Arbeitsbereich, Reihenbildner Rb 75/30 mit Bildwanderungsausgleich, Bildfolgegeber mit erweiterten Bedingungen, Vakuum-Gebläse mit höherer Leistung, Kassette mit Heizung für tiefe Temperaturen, Vergrößerungsapparat.
- 6 Aus dem F/E-Bereich: Dipl.-Ing. Schneider, Dipl.-Ing. Belzner, Dipl.-Ing. Scharfenberg, Ing. Döhnel, Ing. Greiner, Ing. Guldbrandsen, Ing. Hecker, Ing. Kraft, Ing. Nietschmann, Ing. Schrumpf, Ing. Straube, Ing. Wiemann, Ing. Ziegert; aus der Fertigung: Ing. Mahler, Ing. Mottweiler, Werkmeister Henßge, Werkmeister Keucher, Mechaniker Felbinger, Mechaniker Rudolf.
- 7 Wüstemann: Jahresbericht 1945/46 der Abteilung BMs (Manuskript). Jena 1946.
- 8 Hugo Schrade (1900 – 1974): Professor Dr., Dr. h.c., Werkleiter und Generaldirektor des Jenaer Zeisswerks.
- 9 Franz Manek (1883 – 1963): Dr.-Ing. E.h. wissenschaftlicher Mitarbeiter und Abteilungsleiter bei Zeiss-Aerotopograph Jena und Carl Zeiss Jena.
- 10 Schöler, Horst H: 36 Jahre Photogrammetrie (Forschung-Entwicklung-Applikation) im VEB Carl Zeiss Jena. Manuskript. Stadtsteinach 1999.
- 11 Manek, Franz: Jahresbericht des Bildmesslabors 1950 (Manuskript). Jena 1951.
- 12 nach einem Konzept von Franz Manek.
- 13 Weibrecht, Otto: Die terrestrisch-photogrammetrische Aufnahme mit dem Phototheodolit 19/1318. In: Kompodium Photogrammetrie. Band I, S. 142 (1958).
- 14 Weibrecht, Otto: Der Stereokomparator und seine Anwendung. In: Kompodium Photogrammetrie, Band I, S. 174 (1958).
- 15 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band III, S. 124. Leipzig 1990.
- 16 Schumann, Rudolf: Die Entwicklung der photogrammetrischen Geräte in Jena. In: Kompodium Photogrammetrie, Band XVIII, S. 93, 164, 185 u. 198. (1986).
- 17 Schöler, Horst: Grundlagen der automatischen Kartierung und das terrestrische Zweibildkartiergerät Stereoautograph. In: Carl-Zeiss-Jena-Nachrichten. Heft 5-8. S. 439 (1954).
- 18 Hofmann, Otto: Der Stereoautograph 1318. In: Kompodium Photogrammetrie, Band I, S. 246 (1958).
- 19 Willy Sander (1886 – 1957), Dr.-Ing. Patentingenieur im Jenaer Zeisswerk, hat in seiner im Jahre 1918 der Technischen Hochschule Hannover über den Orel-Pulfrichschen Stereoautographen vorgelegten Dissertation diesen Analogrechner als 'einen Mechanismus zur Auflösung mathematischer Gleichungen' bezeichnet.
- 20 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3, S. 104. Leipzig 1990.
- 21 Hans Harting (1868 – 1951) Dr. Geheimrat, Präsident des Reichspatentamtes, Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Wissenschaftlicher Hauptleiter im Jenaer Zeisswerk.
- 22 'Vorschläge zum wissenschaftlichen Lenken und Ausbau des VEB Carl Zeiss Jena' an den Leiter des Zentralamtes für Forschung und Technik in der Staatlichen Plankommission vom 29. Januar 1951. Betriebsarchiv Carl Zeiss Jena Nr. 23795.
- 23 Herda, Klaus: Über die Vorbereitung zur Auswertung von Karten und Plänen an Hand von Luftbildern. In: Kompodium Photogrammetrie, Band VIII, S. 101 (1971) u. Internationales Archiv für Photogrammetrie 17 (1969).
- 24 Weibrecht, Otto: Die Arbeit mit dem Luftbildumzeichner und dem Kleinentzerrungsgerät. In: Kompodium Photogrammetrie, Band II, S. 353 (1958).

- 25 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung. Band 1. S. 93. Leipzig 1989.
- 26 ↓
- 27 Weibrecht, Otto: Wirtschaftliche Entzerrungsverfahren. In: Kompendium Photogrammetrie, Band II, S. 379 (1958). Weibrecht, Otto: Möglichkeiten der Erfüllung der Perspektivitätsbedingung in Entzerrungsgeräten. Dissertation, TH Dresden 1959 u. Jenaer Jahrbuch 1960/I, S. 78. Jena 1960.
- 28 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 73. Leipzig 1989.
- 29 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung. Band 3, S. 82. Leipzig 1990.
- 30 Schöler, Horst: Otto von Gruber – ein bedeutender Geodät und Wegbereiter der Photogrammetrie. In: Jenaer Jahrbuch 2003, S. 8. Jena 2003.
- 31 Theodor Scheimpflug (1865 – 1911): Hauptmann, Kapitän. Pionier der Stereophotogrammetrie. 1896: Photospektrograph zur Umbildung von Luftbildern. Fixierung der Scheimpflug-Bedingung für die >Schiefe Projektion<. 1902: Angabe des Scheimpflugprinzips als Grundstein späterer Luftbild-Stereokartiergeräte. 1904: Bau einer Luftbildpanoramakammer mit 140° Öffnungswinkel. 1909: Patente für eine (Radial-) Aerotriangulation. >Der Gedanke das Licht nicht nur bei der Aufnahme, sondern auch bei der Rekonstruktion zu verwenden, eröffnet eine weite, berauschende Perspektive, ein Zukunftsbild ist die Karte als Photographie. Der Weg dahin ist weit<.
- 32 Schöler, Horst: Vor 125 Jahren wurde Theodor Scheimpflug geboren. In: Vermessungstechnik, Heft 10, S. 35. (1990).
- 33 Max Gasser (1862 – 1955): Dr.-Ing. Privatdozent für Geodäsie an der Technischen Hochschule Darmstadt. Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei den Firmen Hahn in Kassel und Carl Zeiss Jena. 1909: Gründung der AGGA (Aerogeodätische Gesellschaft Dr. Gasser) in Kalkberge (heute Rüdersdorf).
- 34 Schöler, Horst: Zur Erinnerung an Max Gasser. In: Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 155 (1972) u. Vermessungstechnik, Heft 3, S.112 (1972) u. Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 9 (1974).
- 35 Walther Bauersfeld (1879 – 1959): Professor Dr.-Ing. Dr. rer. nat h.c. Dr.-Ing E.h. Ehrenmitglied der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie. Professor für Physik an der Universität Jena und der Technischen Hochschule Stuttgart. Geschäftsleiter bei Carl Zeiss Jena und danach bei Zeiss Oberkochen. 1921: Erfindung des Optischen Vorsatzsystems als wichtigstes Bauelement des Stereoplanigraphen.
- 36 Wolf, Erich: Die Arbeit mit dem Multiplex. In: Kompendium Photogrammetrie. Band III, S. 696. (1958).
- 37 Wolf, Erich: Der Multiplex, Triangulations-, Auswerte- und Demonstrationsgerät. In: Kompendium Photogrammetrie. Band IV, S. 81. (1961).
- 38 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 81. Leipzig 1989.
- 39 Coulthart, Donald E.: Multiplex test results. In: Vermessungsinformationen, Heft 14, S. 34 (1963)
- 40 Schöler, Horst: Über die Dimensionierung und Leistungsfähigkeit von Doppelprojektoren des Gasser-Typs. In: Kompendium Photogrammetrie. Band VI, S. 150. (1963).
- 41 Joseph, Charles d'Almeida (1822 – 1898): Professor der Physik an der Universität Paris.
- 42 Weibrecht, Otto: Die Arbeit mit dem Luftbildumzeichner und dem Kleinentzerrungsgerät. In: Kompendium Photogrammetrie, Band II, S. 353 (1958).
- 43 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3, S. 102. Leipzig 1990.
- 44 Schumann, Rudolf: Die Entwicklung der photogrammetrischen Geräte in Jena von der Jahrhundertwende bis zum Jahre 1945. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XVIII, S. 178. (1986).
- 45 Hofmann, Otto: Der Stereoplanigraph. In: Kompendium Photogrammetrie, Band II, S. 426. (1958).
- 46 Hofmann, Otto: Die Justierung des Stereoplanigraphen. In: Kompendium Photogrammetrie, Band II, S. 461. (1958).
- 47 Hofmann, Otto: Die Arbeit mit dem Stereoplanigraphen. In: Kompendium Photogrammetrie, Band II, S. 494. (1958).
- 48 Jelisarow, N.F.: Handbuch für die Arbeit mit dem Stereoplanigraphen (russisch). Moskau 1956.
- 49 Reinhard Hugershoff (1882 – 1941) Dr.-Ing. Professor für Geodäsie und Photogrammetrie an der Forstakademie Tharandt und der Technischen Hochschule Dresden. Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei den Firmen Aerotopograph-Dresden und Zeiss-Aerotopograph-Jena. 1920: Bau des Autokartographen als erstes serienmäßig gefertigtes Luftbildstereokartiergerät der Welt. 1926: Mitbegründer der Aerotopograph GmbH in Dresden.
- 50 Gustav Heyde GmbH, Werk für Feinmechanik in Dresden. Hier baute man nach Angaben und Patenten von Hugershoff ab 1919 photogrammetrische Geräte. Nach einer Phase loser Zusammenarbeit gründeten Heyde, Hugershoff und Messter (Berlin) im Jahr 1926 das Vertriebsunternehmen Aerotopograph Dresden GmbH. Dieses fusionierte im Jahr 1931 mit der Bildmessabteilung von Carl Zeiss Jena zur Zeiss-Aerotopograph Jena GmbH mit Sitz in Jena. In Dresden wurde der Bau von photogrammetrischen Geräten eingestellt.
- 51 Schöler, Horst: Zur Erinnerung an Max Gasser. In: Vermessungstechnik, Heft 3, S. 112 u. (erweiterte Fassung) Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 9 (1974).
- 52 Stereoautograph: Erstes Stereokartiergerät, gebaut nach einem Vorschlag von E. v. Orel im Jahr 1906 unter der Leitung von C. Pulfrich im Jenaer Zeisswerk. Das Gerät war zur Auswertung von terrestrisch aufgenommenen Messbildern bestimmt.
- 53 Schöler, Horst: Lexikon für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3. S. 51. Leipzig 1990. Ignazio Porro (1801 – 1875). Carl Koppe (1844 – 1910): Dr.-phil., Professor für Geodäsie an der Technischen Hochschule Braunschweig.
- 54 Schöler, Horst: Kernebenen. Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 91. Leipzig 1989.

- 55 Hofmann, Otto: Der Stereometrograph. In: Kompendium Photogrammetrie, Band IV, S. 7 (1961).
- 56 Guldbrandsen, H; Schöler, Horst: DDR-Patentschriften DDR 45517 und 17225 (1958).
- 57 Schöler, Horst: Die Theorie umgeformter Strahlenbündel und ihre praktische Anwendung im Stereometrograph aus Jena. In: Vermessungsinformation, Sonderheft B, S. 10 (1964).
- 58 Schöler, Horst; Szangolies, Klaus: Zur Auswertung von Luftmessbildern mit geänderter Bildweite in klassischen Zweibildkartiergeräten. In: Vermessungstechnik, Heft 9, S. 342 (1965).
- 59 Manek, Franz; Schöler, Horst: DDR-Patent 36280 (1965).
- 60 Sander, Willy (1886 – 1957): Dr.-Ing. Patentingenieur bei Carl Zeiss Jena. >Der Stereoaograph ist eine Vorrichtung zur Auflösung von Gleichungen<. In: Ferienkurs in Photogrammetrie, S. 204. Stuttgart 1930.
- 61 Töppler, Joachim: A simple explanation of the analogue computer used in Topocart. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XIV, S. 170 (1980).
- 62 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3, S. 29. Leipzig 1990.
- 63 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 106. Leipzig 1989.
- 64 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 58. Leipzig 1989.
- 65 Schöler, Horst: Über den Aufbau eines universellen Kartierungssystems Stereotrigomat. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VIII, S. 5. (1968).
- 66 Heyroth, Alexander: Neue Wege bei der Konstruktion photogrammetrischer Geräte unter besonderer Berücksichtigung des Stereotrigomat. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VIII, S. 40. (1968).
- 67 Bögelsack, Gerhard: Die Kugelschraubtriebe im Stereotrigomat. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VIII, S. 67. (1968).
- 68 Otto Lacmann (1887 – 1961): Dr.-Ing. habil., Professor für Photogrammetrie an der Technischen Universität Berlin. Photogrammeter in Norwegen und in der Sowjetunion. Initiator des Zusammenschlusses der Zeiss-Jena-Bildmessabteilung und der Aerotopograph-Dresden zur Zeiss-Aerotopograph GmbH Jena.
- 69 Schöler, Horst; Weibrecht, Otto: DDR-Patentschrift 42696, 1965.
- 70 Schöler, Horst, Weibrecht, Otto, Hartwig, Horst und Heyroth, Alexander: DDR-Patentschrift 42993.
- 71 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 106. Leipzig, 1989.
- 72 Marckwardt, Werner: Digitalisierereinrichtung und Querneigungskorrektur – zwei Zusatzbausteine für das Differentialentzerrungssystem Topocart-Orthophot des VEB Carl Zeiss Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 1. S. 5 (1977).
- 73 Marckwardt, Werner: The optical and mechanical magnification of the Topocart-Orthophot differential rectification equipment. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XV, S. 109. (1981).
- 74 Kusch, Manfred: OFF-DE 78 – ein Programmpaket für die Off-Line Differentialentzerrung. In: Vermessungsinformation, Neue Folge, S. 16 (1980).
- 75 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 68. Leipzig 1989.
- 76 Fuchs, P.; Weibrecht, O.: Der Orograph, eine wirkungsvolle neue Zusatzausrüstung zum Stereotrigomatsystem. In: Jenaer Rundschau, Messeheft, S.81.(1966).
- 77 Tiedeken, Werner; Martin, Herbert: Topomat – konstruktiver Aufbau eines neuen photogrammetrischen Auswertegerätes mit automatischer Parallaxenelimination. In: Vermessungsinformation 36, S. 8. (1979).
- 78 Bürger, Manfred; Illhardt, Egon: Genauigkeit und Zuverlässigkeit des vollautomatischen photogrammetrischen Auswertesystems Topomat A. In: Vermessungsinformation, Neue Folge, S. 21 (1980).
- 79 Schöler, Horst; Kunze, Werner: Anordnung zur Vermeidung der Unterbrechung der automatischen Profilabtastung. DDR-Patent 138362, (1979).
- 80 Kunze, Werner; Lauenroth, Gerhard: Eine Weiterentwicklung des automatischen Stereoauswertesystems Topomat aus Jena. In: Vermessungsinformation, Neue Folge, Heft 1, S. 32 (1980).
- 81 Schöler, Horst: Photogrammetrie, ein allgemeines physikalisches Messverfahren und Betrachtungen zur Geometrie photogrammetrischer Messkammern. Vortrag. Manuskript. (1974).
- 82 Lobanov, A. N.; Tschernij, A.N.: Solution of an X-ray photogrammetric problem with the Steko-1818 Stereocomparator from Jena. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XIX, S. 156 (1987).
- 83 Starosczyk, Herbert: Technocart – Ein neues Stereokartiergerät für die terrestrische Photogrammetrie. In: Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 197 (1970) u. Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 112 (1974).
- 84 Szangolies, Klaus: Betrachtungen zur terrestrisch-photogrammetrischen Auswertung mit Technocart und Stereoaograph des VEB Carl Zeiss Jena. In: Vermessungsinformation, Heft 24, S. 11 (1972) u. Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 124 (1974)
- 85 Starosczyk, Herbert: Topocart D und Technocart D. In: Vermessungstechnik, Heft 12, S. 396 (1980) u. Kompendium Photogrammetrie XV, S. 87 (englisch), (1981)
- 86 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3. S. 123. Leipzig 1990,
- 87 Meyer, Rudolf: Eine Überweitwinkel-Messkammer für die Architektur-Photogrammetrie. In: Vermessungstechnik, Heft 2, S.62 (1976).
- 88 z.B. Wild WH-6 und Zeiss-Oberkochen DP-1.

- 89 Szangolies, Klaus; Bauer, Gerhard: Topoflex – ein neuer Doppelpjektor für Stereokartierung, Kartenergänzung und Ausbildung. In: Vermessungstechnik, Heft 8, S. 282 (1975) u. Vermessungsinformation, Heft 32, S. 20 (1976) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XII, S. 242 (1976) u. Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 159 (1985).
- 90 Müller, Wilfried; de la Croix, Harald: Das Stereokartiergerät Topoflex – Aufbau und neue Lösungswege in der Konstruktion. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 163 (1975) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XII, S. 249 (1976).
- 91 Starosczyk, Herbert: Das neue analoge Stereokartiergerät Stereoplot. In: Vermessungstechnik, Heft 5, S. 166 (1984) u. Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 180 (1987) u. Sensing the Earth, Heft II, S. 38 (engl.). (1984) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XVII, S. 85 (englisch) (1985).
- 92 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 66. Leipzig 1989.
- 93 Lacmann, Otto: Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nicht-topographischen Gebieten. Leipzig 1950.
- 94 Dürnfeld, Hans-Joachim; Töppler, Joachim: Der Einsatz des Neigungsrechners des VEB Carl Zeiss Jena für die Auswertung verschwenkter terrestrischer Aufnahmen. In: Vermessungstechnik, Heft 11, S. 383 (1977) u. Vermessungsinformationen, Heft 36, S. 2 (1980) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIII, S. 81 (1978).
- 95 Kowanda, W.: Einsatz eines Neigungsrechners bei der photogrammetrischen Auswertung. In: Vermessungstechnik, Heft 3, S. 78 (1962).
- 96 Schöler, Horst, H.: Stereoplotting from Photographs of Extreme Nadir Distance. In: Journal for Photogrammetrists and Surveyors, Heft 1, S.4 (1982).
- 97 Schöler, Horst: Kalibrierung von Messkammern auf Grund resultierender Modelldeformationen. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VI, S. 78 (1963).
- 98 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 146. Leipzig 1989.
- 99 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 94. Leipzig 1989.
- 100 Würtz, Gerhard: Über Kompensationsplatten für die Verzeichnung, ihre zweckmäßigste Verwendung und Herstellung. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VI, S. 70 (1963).
- 101 Müller, Wilfried; Szangolies, Klaus: Modellkorrektor, ein Gerät zur Kompensation von Modellverbiegungen bei der photogrammetrischen Auswertung von Stereobildpaaren. In: Vermessungstechnik, Heft 4, S. 125 (1972) u. Vermessungsinformation, Heft 20, S. 15 (1972) u. Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 172 (1974).
- 102 Illhardt, Egon: Eine Sonderanwendung des Modellkorrektors vom VEB Carl Zeiss Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 2, S. 51 (1981).
- 103 Zusammenarbeit mit Renault (Frankreich) für die Entwicklung eines photogrammetrischen Industriemesssystems und mit Helava (USA) zur Kombination des Topocart mit einem HAI-Computer.
- 104 Mark, Rolf-Peter: Ableitung und Untersuchung eines Algorithmus für ein Analytisches Auswertegerät. Habilitationsschrift. Dresden 1986.
- 105 Bauer, Gerhard: Dicomat – das Analytische photogrammetrische Auswertesystem vom Kombinat VEB Carl Zeiss Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 4, S. 113 (1990) u. Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 144 (1990).
- 106 Schöler, Horst: Otto von Gruber – ein bedeutender Geodät und Wegbereiter der Photogrammetrie. In: Jenaer Jahrbuch 2003, S. 15. Jena 2003.
- 107 Mark, Rolf-Peter: Ein universeller Algorithmus für den Echt-Zeit-Prozess eines Analytischen Auswertegerätes. In: Vermessungstechnik, Heft 6, S. 196 (1986) u. (engl.) Kompendium Photogrammetrie, Band XIX, S. 90 (1987).
- 108 Kludas, T.; Thomas, H.: Photogrammetrische Auswertung von Drei-Medien-Aufnahmen mit dem Analytischen Auswertegerät Dicomat des VEB Carl Zeiss Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 7, S. 236 (1990).
- 109 1934: Flurbereinigung St. Wendel-Baumholder, 1938: Maraunen, 1940: Helmstadt, 1953: Malvaglia (Schweiz) und 1955: Flurbereinigung Bergen.
- 110 Lacmann, Otto: Gutachten über die bei der luftphotogrammetrischen Versuchsmessung in Helmstadt erreichte Genauigkeit. Berlin 1941.
- 111 Pastorelli, A.: Organisation et exécution de la mesuration photogrammétrique de Malvaglia. Lugano 1953.
- 112 Härry, Hans: Genauigkeitsnachweis und Kostenfrage zur photogrammetrischen Grundbuchvermessung Malvaglia. Bern 1953.
- 113 Schirner, W.; Brucklacher, Walter: Luftphotogrammetrische Vermessung der Flurbereinigung Bergen. Lengerich 1955.
- 114 N.N.: Registriergerät Coordimeter. In: Jenaer Rundschau, Messeinformationen, S. 8. (1958).
- 115 Hofmann, Otto: Das Coordimeter, ein programmgesteuertes Registrier- und Rechengerät für photogrammetrische Auswertegeräte aus Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 8, S. 237 (1960).
- 116 Hofmann, Otto: Das Zeiss-Coordimeter. In: Jenaer Rundschau, Messeheft, S. 40. (1964).
- 117 Hofmann, Otto: Das Coordimeter. In: Kompendium Photogrammetrie, Band IV, S. 26 (1961) u. Vermessungsinformationen, Heft 12, S. 34 (1961).
- 118 Hofmann, Otto: Die Bedienung des Coordimeter. In: Kompendium Photogrammetrie, Band IV, S. 52. (1961).
- 119 Mark, Rolf-Peter: Coordimeter F, ein neues elektronisches Registriergerät aus Jena.. In: Vermessungstechnik, Heft 10, S. 368 (1973) u. Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 99 (1974) u. Jenaer Rundschau, Heft 6, S. 159 (1974).
- 120 Kriz, Vaclav: Betriebsprüfung der Registriereinrichtung Coordimeter F. In: Jenaer Rundschau, Heft 2, S. 97 (1975) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XII, S. 117 (1976).

- 121 Müller, Gerd: Coordimeter G – ein neues Gerät zur Datenerfassung auf der Basis eines Mikrorechners. In: Vermessungstechnik, Heft 3, S. 84 (1980) u. Vermessungsinformationen, Sonderheft I, S. 27 (1980) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XV, S. 160 (englisch) (1981).
- 122 Müller, Gerd; Beck, Bernhard: Neue Geräte zur Registrierung photogrammetrischer Messwerte. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 179 (1986) u. Vermessungstechnik, Heft 11, S. 374 (1986) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIX, S. 63 (englisch) (1987).
- 123 Mark, Rolf-Peter: Datenerfassung bei der digitalen Kartenherstellung mit Coordimeter G und Kontrollzeichentisch KZT 300. In: Vermessungstechnik, Heft 3, S. 87 (1980) u. Vermessungsinformation, Sonderheft 1, S. 30 (1980) u. Kompendium Photogrammetrie XIV, S. 205 (englisch) (1980).
- 124 Schöler, Horst, H.: Otto von Gruber – ein bedeutender Geodät und Wegbereiter der Photogrammetrie. In: Jenaer Jahrbuch, S. 8. Jena 2003
- 125 Zemann, Arnold: Der Präzisionskoordinatograph 120 X 120 – Genauigkeit und Anwendungsmöglichkeiten. In: Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 129 (1979) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIV, S. 222 (englisch) (1980).
- 126 Starosczyk, Herbert; Zemann, Arnold: Über einige Erfahrungen mit neuen Zeichen- und Gravurwerkzeugen am Koordinatographen. In: Vermessungstechnik, Heft 6, S. 217 (1974) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XI, S. 223 (1975).
- 127 Szangolies, Klaus; Zemann, Arnold: Coordimeter und Zeichentisch als neue Gerätekombination. In: Vermessungstechnik, Heft 6, S. 220 (1966).
- 128 Heyroth, Alexander: Das Gerätesystem E des VEB Carl Zeiss Jena. In: Jenaer Rundschau, Heft 1, S. 3 (1973).
- 129 Weibrecht, Otto: Der Präzisionskoordinatograph Präkordi E – Arbeitsweise und Leistungsfähigkeit in der elektronischen Industrie. In: Jenaer Rundschau, Heft 1, S. 20 (1973).
- 130 Domschke, Peter; Grunewald, Hans Jürgen; Jehne, Gerhard; Weibrecht, Otto: Cartimat – ein neuer automatischer Großkoordinatograph. In: Jenaer Rundschau. Messeheft, S. 58 (1966).
- 131 Domschke, Peter: Neuzeitliche automatische Großkoordinatographen – ihr Aufbau und ihr zweckmäßiger Einsatz in Forschung und Industrie. In: Feingerätetechnik, Heft 6, S. 241 und Heft 7, S. 292 (1967) u. Internationales Archiv für Photogrammetrie, Kommission II, Band 17/6 (1969).
- 132 Weibrecht, Otto: Neue Werkzeugköpfe für das Cartimat System und ihre Anwendung in Vermessung und Kartierung. In: Vermessungstechnik, Heft 6, S. 215 (1972) u. Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 200 (1974).
- 133 Kulisch, Horst; Domschke, Peter: Cartimat 1218 – eine neue Generation automatischer Präzisionskoordinatographen. In: Jenaer Rundschau, Heft 5, S. 186 (1981).
- 134 Marckwardt, Werner: Das kubische Interpolationsprogramm des Cartimat III. In: Rechentechnik – Datenverarbeitung. Heft 7, S. 34 (1970) u. Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 187 (1974).
- 135 Marckwardt, Werner: Das Zeichnen von Kurvenzügen mit dem Cartimat-System aus Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 6, S. 220 (1974) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XII, S. 265 (1976).
- 136 Starosczyk, Herbert: The Jena DZT 90 X 120 – a new digital plotting table. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XVI, S. 121 (1983).
- 137 Marckwardt, W.; Pergande, J.-W.; Wagner, H.: Der Digitalzeichentisch DZT 90 X 120 – ein Hilfsmittel für die graphische On-Line Datenausgabe. In: Feinwerkgerätekunst, Heft 9, S. 399 (1983).
- 138 Marckwardt, Werner: Die Digitalzeichentischfamilie aus Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 11, S. 367 (1985) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIX, S. 81 (englisch) (1987).
- 139 Beier, Lothar; Karnahl, Volker; Marckwardt, Werner: Das rechnergestützte Stereokartiersystem DZT 90 X 120/RGS aus dem VEB Carl Zeiss Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 5, S. 160 (1984) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XVII, S. 92, (englisch) (1985).
- 140 Schöler, Horst H: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung. Band 3, S. 20. Leipzig 1990.
- 141 Saal, Walter: Die Messung von Form- und Größenänderungen mit dem Stereokomparator 1818. In: Vermessungsinformationen, Heft 4, S. 15 (1957). Smidrkal, Josef: Deformationsmessung an der Moldaubrücke bei Zdakov. In: Jenaer Rundschau, Heft 2, S. 121 (1958). Vogl, W.: Die Genauigkeit photogrammetrischer Bewegungsmessungen an Absetzerkippenböschungen. In: Vermessungstechnik, Heft 8, S. 239 (1961). Menz, Joachim: Die räumliche Auswertung elektronen-mikroskopischer Stereoaufnahmen mit dem Stereokomparator. In: Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 185 (1970). Gutu, A.: Zur Berechnung der Deformation eines Kranes mit Hilfe der Photogrammetrie. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 172 (1975). Vogl, W.; Miehle, K.: Photogrammetrische Deformationsmessungen an der 42-Meter-Abraumförderbrücke II. In: Jenaer Rundschau, Heft 2, S. 101 (1976). Smidrkal, Josef: Industriephotogrammetrie bei der Messung von Fertigbetonteilen. In: Jenaer Rundschau, Heft 2, S. 62 (1978). Schöler, Horst H; Baemish, Jerry, K: Die Anwendung der photogrammetrischen Messtechnik in der Luft- und Raumfahrt. Applikationsinformation. (1978). Bakken, Rolf; Schöler, Horst H: Über die photogrammetrische Vermessung von Kugeltanks. In: Vermessungsinformation, Heft 2, S. 31 (1980). Krämer, Joachim; Schöler, Horst H: Photogrammetric Measurement of Piping Systems. In: Application Manual I, S. 5 (1982). Rychlewski, G.: Messung der Deformationen eines Drachengleiters während des Fluges nach Methoden der analytischen Photogrammetrie. In: Jenaer Rundschau, Heft 1, S. 35 (1984). Blumentritt, Sigmar; Schöler, Horst H: Photogrammetric Measuring Methods in Orthopedics. In: Journal for Photogrammetrists and Surveyors, Heft 1, S. 11 (1984).
- 142 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3, S. 20. Leipzig 1990.
- 143 Schöler, Horst H: Otto von Gruber – ein bedeutender Geodät und Wegbereiter der Photogrammetrie. In: Jenaer Jahrbuch, S. 8. Jena 2003.

- 144 Schmid Helmut Heinrich (1914 – 1998). Dr.-Ing., Dr.-Ing.h.c. Studium der Geodäsie und Photogrammetrie an der Technischen Hochschule in Dresden. Während des Zweiten Weltkriegs Spezialist für ballistische Photogrammetrie an der Heeresversuchsanstalt in Peenemünde. Nach dem Zweiten Weltkrieg Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Wernher-von-Braun-Gruppe in den USA. Danach Mitarbeiter im US-militärischen Vermessungswesen und als Direktor für Forschung und Entwicklung beim Coast and Geodetic Survey. Leiter der Arbeitsgruppe zur Schaffung des Pageos-Weltreferenznetzes nullter Ordnung. 1974 – 1984 Professor für Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.
- 145 Schöler, Horst H: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3, S. 20. Leipzig 1990.
- 146 Szangolies, Klaus: Das Abbesche Komparatorprinzip und seine Anwendung in photogrammetrischen Geräten. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VI, S. 96 (1963).
- 147 Schöler, Horst: Einsatz des Koordinatenmessgerätes Komess 3030 in der analytischen Photogrammetrie. In: Jenaer Rundschau, Heft 5, S. 230 (1963).
- 148 Beck, Hans Gerhard; Fehlkamm, G.: Ascorecord – ein Koordinatenmessgerät mit Koordinatenregistrierung. In: Vermessungsinformationen, Sonderheft A, S. 19 (1964). Beck, Hans Gerhard; Tietsch, Rolf; Karnapp, Alfred.: Koordinatenmessgerät Ascorecord 3 DP aus Jena. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XI, S. 145 (1974).
- 149 Weibrecht, Otto: Das Stecometer mit automatischer Registriereinrichtung. In: Vermessungstechnik, Heft 11, S. 385 (1963) u. Kompendium Photogrammetrie, Band VII, S. 285 (1966).
- 150 Mark, Rolf-Peter: Neuerungen am Stecometer C. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 170 (1975) u. Vermessungstechnik, Heft 5, S. 179 (1976) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XII, S. 133 (1976).
- 151 Starosczyk Herbert; Tiedeken, Werner; Beier, Lothar: Höchste Genauigkeit in der Photogrammetrie – der neue Stereokomparator Dicometer. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 175 (1986) u. Vermessungstechnik, Heft, Heft 7, S. 223 (1986) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIX, S. 38 (englisch) (1987).
- 152 Töppler, Joachim: Der Stereometrograph des VEB Carl Zeiss Jena im Einsatz als Stereokomparator. In: Jenaer Rundschau, Heft 6, S. 280 (1975) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XII, S. 139 (1976).
- 153 Schöler, Horst: Aerotriangulation. Applikationsinformation VEG, Heft 3. Jena 1981.
- 154 Blankenburg, Peter; Weibrecht, Otto: Punktübertragung mittels Laser. In: Internationales Archiv für Photogrammetrie 17, Kommission II, 14 Seiten (1969) u. Kompendium Photogrammetrie, Band IX, S. 138 (1971).
- 155 Peter, H.: Das Transmark – ein Punktübertragungsgerät mittels Laser – ein Jahr im praktischen Einsatz in der DDR, In: Vermessungstechnik, Heft 8, S 293 (1971).
- 156 Herda, Klaus: Zur Leistungsfähigkeit des Laser-Punktübertragungsgerätes Transmark. In: Vermessungstechnik, Heft 10, S. 368 (1976) u. Jenaer Rundschau, Heft 2, S. 82 (1978) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIII, S. 162, (englisch) (1979).
- 157 Schöler, Horst: Zur Frage des Bildwanderungsausgleiches bei Reihenmesskammern. In: Vermessungstechnik, Heft 1, S. 8 (1953). Schöler, Horst H: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 80. Leipzig 1989.
- 158 Schöler, Horst: Geräte und Ausrüstungen der Photogrammetrie. Manuskript. Jena 1975.
- 159 Schöler, Horst H: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 75 u. Band 3, S. 148. Leipzig 1989/1990.
- 160 Sternisko, Horst: Kammerkalibrierung mit Hilfe von Sternaufnahmen. In: Vermessungstechnik, Heft 8, S. 293 (1968) u. Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 193 (1970) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XI, S. 93 (1975).
- 161 International Society for Photogrammetry: Specification and Methods of Calibrating Photogrammetric Cameras and Measuring their Resolution, Image Illumination and Vailing Glare. International Archives for Photogrammetry. Washington 1952.
- 162 Würtz, Gerhard: Prüfung photogrammetrischer Messobjektive und Kalibrierung von Aufnahmekammern. In: Kompendium Photogrammetrie, Band II, S. 337 (1958). Würtz, Gerhard: Prüfung und Kalibrierung von Luftbildmesskammern in Jena. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VII, S. 7 (1966).
- 163 Schöler, Horst H: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 117. Leipzig 1989.
- 164 Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie: Empfohlene Verfahren zur Kalibrierung von Kammern und darauf bezogene optische Tests. In: Internationales Archiv für Photogrammetrie, Vol. XIII. (englisch) (1961).
- 165 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung. Band 3, S. 149. Leipzig 1990.
- 166 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3, S. 146. Leipzig 1990.
- 167 Schöler, Horst: Kalibrierung von Messkammern auf Grund von Modelldeformationen. In: Optik, Heft 10/11 (1961) u. Kompendium Photogrammetrie, Band VI, S. 78 (1963) u. Vermessungsinformationen, Sonderheft A, S. 2 (1964). Schöler, Horst: Umrechnung von Kammerkonstanten bei wechselnden Abstimmungsbedingungen. In: Vermessungstechnik, Heft 10 (1963) u. Kompendium Photogrammetrie, Band VI, S. 93 (1963) u. Vermessungsinformationen, Sonderheft A, S. 8 (1964).
- 168 Schrupf, Hermann; Schöler, Horst: Gebrauchsmuster Luftbildkammer. DDR-Gebrauchsmuster 8544. 1959.
- 169 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 67. Leipzig 1989.

- 170 Voß, Günther: Die Verwendung von Maßstabsrandleisten an einer Luftbildmesskammer im Sinne eines Reseau. In: Vermessungstechnik, Heft 11, S. 411 (1967) u. Internationales Archiv für Photogrammetrie, Kommission I. (1969) u. Kompendium Photogrammetrie, Band IX, S. 77 (1971).
- 171 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 80. Leipzig 1989.
- 172 Schöler, Horst: Die Luftbildmesskammer MRB 21/1818 mit Hochleistungsobjektiv Pinatar 4/210. In: Vermessungstechnik, Heft 8 (1960) u. Die Technik, Heft 4, S. 285 (1960) u. Jenaer Rundschau, Messeheft, S. 52 (1960) u. Vermessungsinformation, Heft 12, S. 20 (1961).
- 173 Würtz, Gerhard: Die neue automatische Luftbildmesskammer MRB 21/1818. In: Kompendium Photogrammetrie, Band V, S. 270 (1961).
- 174 Würtz, Gerhard: Die neue Luftbildmesskammer MRB 11,5/1818 mit Weitwinkelobjektiv Lamegon 4/115. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VIII, S. 219 (1968) u. Vermessungsinformation, Heft 20, S. 39 (1969)
- 175 ↓
- 176 Würtz, Gerhard: MRB 9/2323, eine neue Überweitwinkel-Luftbildmesskammer aus Jena. In: Kompendium Photogrammetrie, Band IX, S. 11 (1971).
- 177 Zeth, Ulrich: Der Zweitkammeradapter zum Aufnahmesystem Luftbildmesskammer MRB. In: Vermessungsinformation, Heft 2, S. 30 (1980) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XV, S. 34 (englisch). (1981).
- 178 Reinhold, Artur; Schöler, Horst; Schulz, Rüdiger; Sallen, Reiner: Verfahren zur optischen Herstellung von Farbsynthesebildern aus großformatigen Schwarzweiß-Doppelkammerluftbildaufnahmen. DDR-Patent 227 269 A 1 (1984).
- 179 Schöler, Horst: Die Geräte und Ausrüstungen für die Photogrammetrie, S. 523, Manuskript Jena 1975.
- 180 Zeth, Ulrich: Einige Gesichtspunkte zur Kalibrierung aerophotogrammetrischer Belichtungsmesser. In: Kompendium Photogrammetrie, Band VI, S. 11 (1963).
- 181 Zeth, Ulrich: Aerolux, ein photoelektrischer Belichtungsmesser für die Luftbildphotographie. In: Jenaer Rundschau, Heft 10, S. 157 (1985) u. Internationales Archiv für Photogrammetrie 15 (1965) u. Kompendium Photogrammetrie, Band VIII, S. 226 (1968) u. Vermessungsinformation, Heft 20, S. 44 (1969).
- 182 Würtz, Gerhard: Neuentwicklungen von Geräten der Luftbildaufnahmetechnik des VEB Carl Zeiss Jena 1972 bis 1976. In: Jenaer Rundschau, Heft 2, S. 79 (1977) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIV, S. 65 (englisch) (1980).
- 183 Zeth, Ulrich: Zur Eignung von Floatglas als Abschlussfenster für die Luftbildaufnahmetechnik. In: Vermessungstechnik, Heft 10, S. 335 (1988).
- 184 Voss, Günther; Zeth, Ulrich: Das Aufnahmesystem Luftbildmesskammer LMK. Vermessungstechnik. Heft 3, S. 78 (1983) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XVI, S. 25 (englisch) (1983).
- 185 Schöler, Horst: Zur Frage des Bildwanderungsausgleiches bei Reihemesskammern. In: Vermessungstechnik, Heft 1, S. 3 (1953).
- 186 Schöler, Horst H: An FMC-Equipped Aerial Mapping Camera (Best Practical Paper of the Year). In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (ASPRS), No. 2, P 161 (1984).
- 187 Schöler, Horst H.: FMC Aerial Surveying Cameras. Some Considerations on Forward Motion Compensation and the Image Motion Control of the new Jena LMK Aerial Camera. In: Application Manual for Photogrammetry & Surveying III, S. 5 (1985).
- 188 Schöler, Horst: Der Einfluss der Vibration (Flugzeugschwankungen) auf die Bildgüte von Luftaufnahmen. Manuskript, 7 Seiten, CZ Jena 1952. Schöler, Horst: Die Geräte und Ausrüstungen für die Photogrammetrie. Manuskript, S. 445. Jena 1975. Schöler, Horst H: FMC Aerial Surveying Cameras. Some Considerations on Forward Motion Compensation and the Image Motion Control of the new Jena LMK Aerial Camera. In: Application Manual for Photogrammetry & Surveying III. S. 5 (1985).
- 189 Diete, Norbert: Die LMK 2000 – ein neues Luftbildaufnahmesystem. In: Vermessungstechnik, Heft 9 (1989).
- 190 Klose, Heinrich: Die neue kreiselstabilisierte Aufhängung für Luftbildkammern LMK. In: Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 138 (1990) u. Vermessungstechnik Heft 1, S. 13 (1990).
- 191 Diete, Norbert; Plischke, F.: Aspekte und erste Resultate des Einsatzes der Winkelbewegungskompensation im Luftbildaufnahmesystem LMK. In: Vermessungstechnik, Heft 9, S. 288 (1990).
- 192 Rempke, W.: Konstruktive und elektronische Untersuchungen über die Anwendung eines neuen Schaltblendenprinzips zur Leistungssteigerung der in aerokosmischen Aufnahmegeräten enthaltenen Drehscheibenverschlüsse. Diss. Technische Hochschule Ilmenau 1982.
- 193 Zeth, Ulrich: Die Belichtungsmessung und –reglung im Aufnahmesystem Luftbildmesskammer LMK. In: Vermessungstechnik, Heft 5, S. 117 (1984) u. Sensing the Earth, Heft 2, S. 21 (englisch) (1984).
- 194 Zeth, Ulrich; Klose, Heinrich: Bemerkungen zu Problemen der Belichtungsmessung in der Luftbildphotographie. In: Vermessungstechnik, Heft 5, S. 149 (1987).
- 195 Voß, G.; Ehrhardt, J.: Das Navigationssteuergerät NCU 2000. In: Vermessungstechnik, Heft 2, S. 40 (1988).
- 196 Görlich, Paul; Herda, Klaus; Schöler, Horst: Kontrastgesteuerte Kopien mit elektronischen Mitteln (Vortrag beim 1. Internationalen Kongress für Photographie und Film in Industrie und Technik in Köln 1966) u. Internationales Archiv für Photogrammetrie, Kommission I, 17 (1969) u. Kompendium Photogrammetrie, Band IX, S. 117 (1971).
- 197 Herda, Klaus; Mattigk, Herbert; Ritter, Otto: Das elektronische Kopiergerät Elcop. In: Jenaer, Rundschau, Messe-Sonderheft, S. 69 (1966).
- 198 Möbius, Wilfried: Über die Anwendung des elektronischen Kopiergerätes Elcop in der geburtschilflichen Röntgen-diagnostik. In: Jenaer Rundschau, Heft 1, S. 15 (1968).

- 199 Herda, Klaus: Zur Anwendung des Elcop B in der Medizin. In: Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 97 (1980) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XV, S. 36 (englisch) (1981) u. JPS, Heft 1, S. 13 (englisch) (1983).
- 200 Möbius, Wilfried: Geburtshilfliche Strahlen- und Röntgen-diagnostik, Berlin 1967.
- 201 Weibrecht, Otto: Über die Möglichkeiten zur Erfüllung der Perspektivbedingung in Entzerrungsgeräten. Diss. der Technischen Hochschule Dresden. In: Jenaer Jahrbuch I, S. 78 (1960).
- 202 Heß, Kurt; Weibrecht, Otto: Rectimat – ein neues Präzisionsentzerrungsgerät. In: Internationales Archiv für Photogrammetrie, Kommission II (1969) u. Kompendium Photogrammetrie, Band IX, S. 151 (1971).
- 203 Spata, Paul; Koch, Raimund: Rectimat C, ein Entzerrungsgerät der neuen Generation. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 173 (1983) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XVI, S. 66 (englisch) (1983).
- 204 Koch, Raimund; Rulf, Joachim; Schumann, Rudolf; Spata, Paul: Jena Rectimat-C A New High-Precision Photogrammetric Rectifier. In: Sensing the Earth, Heft 1, S. 5 (1984).
- 205 Schöler, Horst.: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 143. Leipzig 1989.
- 206 Neumann, Jörg; Tiedeken, Robert: Neue optische Bauelemente in den photogrammetrischen Geräten aus Jena. In: Kompendium Photogrammetrie, Band X, S. 50 (1974).
- 207 Müller, Wilfried: Fresnel structures for multifocal condensers, annular lenses and special reflectors. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XVI, S. 99 (1983).
- 208 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2, S. 100. Leipzig 1989.
- 209 Schöler, Horst.: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 140 u. 142. Leipzig 1989.
- 210 Bansemer, Hartmut: The electronic system of the Rectimat C. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XVI, S. 85 (1989).
- 211 Zahn, Horst: Software für das rechnergestützte Entzerrungsgerät Rectimat C. In: Vermessungstechnik, Heft 8, S. 237 (1983) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XVI, S. 92 (englisch) (1983).
- 212 Reinhold, Arthur; Schöler, Horst H.: Optische Erzeugung von Farbsynthesebildern auf der Grundlage großformatiger Schwarz-Weißluftbilder für land- und forstwirtschaftliche Interpretationsaufgaben. In: Vermessungstechnik, Heft 7, S. 237 (1987).
- 213 Rulf, Joachim: Rectimat CM – Multispektralprojektor und Präzisionsentzerrungsgerät. In: Vermessungstechnik, Heft 12, S. 401 (1988).
- 214 Poitz, H.: Berechnung der Einstellwerte bei der Entzerrung mit dem Rectimat CM. In: Vermessungstechnik, Heft 4, S. 122 (1989).
- 215 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 2 S. 18. Leipzig 1989.
- 216 Schöler, Horst.: Über aerokosmische Scanner. In: Vermessungstechnik, Heft 5, S. 148 (1981).
- 217 Wirth, H.; Marek, Karl-Heinz: Combined analysis of multispectral photographs and scanner data for land use mapping. In: JPS, Heft 1, S. 16 (1988).
- 218 Schöler, Horst: Multispectral Technology. Presented Paper. Annual Meeting of the British Remote Sensing Society at Durham University, Dec. 1978 u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIV, S. 27 (1980):
- 219 Zickler, Achim: Die Multispektralkamera MKF-6. In: Jenaer Jahrbuch 2001, S. 101 (2001).
- 220 Mühlfriedel, Wilfried; Hellmuth, Edith: Carl Zeiss in Jena. 1945 –1990. S. 318. Köln / Weimar / Wien 2004.
- 221 Herda, Klaus: Das Interpretoskop – ein neues Gerät zur Photointerpretation. In: Jenaer Rundschau, Heft 3, S. 106 (1965) u. Vermessungstechnik, Heft 12, S. 457 (1965) u. Kompendium Photogrammetrie, Band VIII, S. 236 (1968).
- 222 Herda, Klaus; Schöler, Horst: DDR-Patentschriften 52226 und 95933.
- 223 Herda, Klaus: Stand der instrumentellen Technik zur Luftbildinterpretation. In: Vermessungstechnik, Heft 12, S. 441 (1974).
- 224 Herda, Klaus; Tiedeken, Werner: Das Interpretoskop mit zwei Okulareinblicken. In: Jenaer Rundschau, Messeheft, S. 93 (1966) u. Kompendium Photogrammetrie, Band IX, S. 136 (1971).
- 225 Herda, Klaus: Erweiterte Anwendungsmöglichkeiten des Interpretoskops aus Jena. In: Vermessungstechnik, Heft 7, S. 252 (1972) u. Vermessungsinformation, Heft 25, S. 31 (1972) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XI, S. 132 (1975).
- 226 Zemann, Arnold: Kartoflex – ein neues Gerät zur Laufendhaltung von Karten. In: Vermessungstechnik, Heft 5, S. 168 (1984) u. Sensing the Earth, Heft 2, S. 45 (englisch) (1984) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XVII, S. 118 (englisch) (1985).
- 227 Marckwardt, Werner; Zemann, Arnold: Kartoflex. Ein Gerät für die rechnergestützte Bildinterpretation und Kartenergänzung. In: Jenaer Rundschau, Heft4, S. 183 (1987).
- 228 Starosczyk, Herbert: Neuerungen am Kartoflex. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 187 (1988).
- 229 Zickler, Achim: Sojus 22 und die Multispektralkamera MKF-6. In: Jenaer Rundschau, Heft 6, S. 263 (1977).
- 230 Sagdejew, R.S (Herausgeber): Atlas zur Interpretation aerokosmischer Multispektralaufnahmen. Methodik und Ergebnisse. Berlin 1982.
- 231 Zickler, Achim: Die Multispektralkamera MKF-6. In: Jenaer Jahrbuch 2001, S. 101 (2001).
- 232 N.N.: Messevorschau der Jenaer Rundschau 1977.
- 233 Szangolies, Klaus: Rationalisierung der Kartenherstellung und Kartenergänzung mit modernen automatisierten und digitalisierten photogrammetrischen Geräten und Technologien. In: Vermessungstechnik, Heft 4, S. 109 (1979) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIV, S. 9. (1980).

- 234 Krämer, Joachim; Szangolies, Klaus: Kartenherstellung auf der Grundlage von MKF-6-Weltraumfotos. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 187 (1986) u. ISPRS-Symposium, Com. 2, Baltimore, May (1986) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIX, S. 20 (englisch) (1987).
- 235 Illhardt, E.; Kern, H.G.; Krämer, J.; Sporbert, W.: Die Verwendung von MKF-6-Flugzeugaufnahmen mit dem Bildmaßstab 1: 20 000 für die Herstellung von großmaßstäbigen Karten. In: Vermessungstechnik, Heft 12 (1982).
- 236 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 1, S. 23. Leipzig 1989.
- 237 Zickler, Achim: Die Multispektralkamera MKF-6 M aus Jena. In: Vermessungsinformation, Heft 2, S. 8 (1980) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIV, S.43 (englisch) (1980).
- 238 Zickler, Achim: Die Multispektralkammer MKF-6. In: Jenaer Jahrbuch 2001, S. 116. (2001).
- 239 Nicolai, Gerhard: Das neue Hochleistungsaufnahmesystem Multispektralkammer MSK-4. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 165 (1983) u. Sensing the Earth, Heft II, S. 26 (englisch) (1984) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XVII, S. 46 (englisch) (1982).
- 240 Tzschoppe, Wolfgang: Der Multispektralprojektor MSP-4 – ein Farbsynthesegerät zur Auswertung von Multispektralaufnahmen. In: Jenaer Rundschau, Heft 6, S. 266. (1977) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIV, S. 50 (englisch) (1980). Tzschoppe, Wolfgang: Der Multispektralprojektor MSP 4 C – ein Farbsynthesegerät zur Auswertung von Multispektralaufnahmen. In: Vermessungsinformation, Heft 2, S. 10 (1980)
- 241 Wilhelmi, Wolfgang; Saedler, Jürgen; Lith, Nailja: The A-6471 Image Processing System. In: Sensing the Earth, Heft 1, S. 31 (1984).
- 242 Deter, Christhard; Jürschik, Gerhard; Hanf, Reinhard: FEAG Digital Film Scanning and Writing System from Jena – a high-speed rotating drum digital scanning and writing system for handling black-and-white films. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XVI, S. 108 (1983).
- 243 Hanf, Reinhard; Deter, Christhard: Automatische digitale Bildverarbeitung, Analyse und Auswertung mit dem Film-Ein/Ausgabe-Gerät FEAG. In: Jener Rundschau, Heft 4, S. 175 (1983) u. Sensing the Earth, Heft I, S. 31 (englisch) (1984).
- 244 Gehler, Steffen; Riedesel, Paul; Klukowski, Kerstin: Untersuchungen zur geometrischen Genauigkeit bei Abtastung und Aufzeichnung mit dem FEAG. In: Jenaer Rundschau, Heft 4, S. 185 (1987).
- 245 Gehler, Steffen; Reichel, Wilfried: FEAG 200 for the digital evaluation of remote sensing photographs. In: JPS, Heft I, S. 14 (1987)
- 246 Lacmann, Otto Professor für Photogrammetrie an der Technischen Hochschule / Universität Berlin-Charlottenburg: 'Die Photogrammetrie in ihrer Anwendung auf nicht-topographischen Gebieten' Leipzig 1950.
- 247 Töppler, Joachim: Einige Gedanken zu Fragen der Industriephotogrammetrie. In: Vermessungsinformation, Heft 32, S.2 (1976) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XII, S. 52 (1976).
- 248 Voß, Günther: Das Aufnahmesystem Universalmesskammer UMK 10/1318. In: Jenaer Rundschau, Messeheft, S. 63 (1973) u. Vermessungsinformation, Heft 27, S. S. 21 (1969) u. Kompendium Photogrammetrie, Band X. S. 37 (1974). Voß, Günther: 10 Jahre Universalmesskammer UMK 10/1318. In: Jenaer Rundschau, Heft 1, S. 14 (1980) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XV, S. 61 (englisch) (1981). Voß, Günther: The UMK System in the year 1984. In: Kompendium Photogrammetrie, Band XVII, S. 54 (1985). Voß, Günther: Neuheiten im UMK-Programm. In: Vermessungstechnik, Heft 11, S. 369 (1985).
- 249 Schmieder, Helmut; Voß, Günther: Neue Geräteeinheiten im Aufnahmesystem Universalmesskammer UMK 1318. In: Vermessungstechnik, Heft 3, S. 80 (1983) u. Kompendium Photogrammetrie, Band XVI, S. 38 (englisch) (1983) u. Sensing the Earth, Heft II, S. 26 (englisch) (1984).
- 250 Würtz, Gerhard: Mathematische Modelle für die Kalibrierungsdaten terrestrisch-photogrammetrischer Messkammern und der Einfluss der Restfehler auf das stereophotogrammetrische Ergebnis. Dissertation der Technischen Universität Dresden 1976 u. Kompendium Photogrammetrie, Band XIII, S. 26 (englisch) (1979). Würtz, Gerhard: On the inner Orientation in the focusable UMK 10/1318 Universal Measuring Camera from Jena. Presented Paper at ISP-Symposium, Commission V, Stockholm 1978 u. Kompendium Photogrammetrie, Band. XI, S. 71 (1980).
- 251 Schöler, Horst: Lexikon der Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 3, S. 129. Leipzig 1990.
- 252 Mühlfriedel, Wolfgang; Hellmuth, Edith: Die beginnende Transformation im VEB Carl Zeiss Jena. In: Carl Zeiss in Jena 1945 – 1990. Köln/Weimar/Wien 2004.
- 253 Mühlfriedel, Wolfgang; Hellmuth, Edith: Carl Zeiss in Jena 1945-1990, S. 348. Köln / Weimar / Wien 2004.
- 254 Baemish, Jerry K.; Schöler, Horst H: Die Anwendung der photogrammetrischen Messtechnik in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Applikationsinformation 1978.