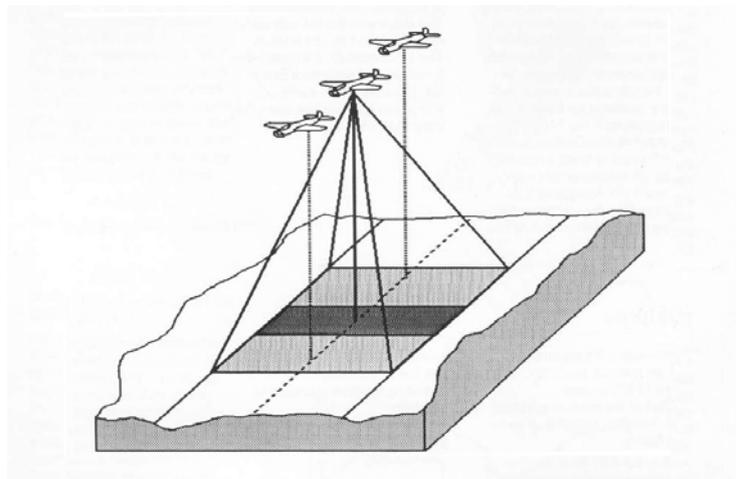


**Dierk Hobbie**

**Die Entwicklung  
photogrammetrischer Verfahren und Instrumente  
bei Carl Zeiss in Oberkochen**



**München 2010**

---

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



Dierk Hobbie

Die Entwicklung  
photogrammetrischer Verfahren und Instrumente  
bei Carl Zeiss in Oberkochen

München 2010

---

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](mailto:hornik@dgfi.badw.de) • <http://dgk.badw.de>

Adresse des Autors:

**Dr. Dierk Hobbie**

Fliederweg 7 • D-89551 Königsbronn

e-mail [dierk.hobbie@T-Online.de](mailto:dierk.hobbie@T-Online.de)

---

© 2010 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

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Vorgeschichte .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Wiederbeginn in Oberkochen.....</b>	<b>6</b>
<b>4. Rekonstruktion.....</b>	<b>7</b>
4.1 Stereoskope und Luftbildumzeichner .....	7
4.2 Radialschlitzstanzen.....	8
4.3 Laborgeräte.....	8
4.4 STEREOPLANIGRAPH.....	10
<b>5. Ergänzung durch Neukonstruktion.....</b>	<b>12</b>
5.1 STEREOTOP.....	12
5.2 Entzerrungsgerät SEG.....	13
5.3 RMK 21/18 mit TOPAR 4/210.....	16
5.4 RMK 15/23 mit PLEOGON 5,6/153.....	17
5.5 Stoskop S 2 c .....	18
5.6 REDUKTOR .....	18
<b>6. Neuentwicklungen nach 1956.....</b>	<b>19</b>
<b>7. Luftbildaufnahme .....</b>	<b>20</b>
7.1 RMK-Familie mit A-Charakteristik.....	20
7.2 Überweitwinkelkammer RMK A 8,5/23 .....	22
7.3 Geräte zur Kammersteuerung.....	22
7.4 RMK A im Weltraumeinsatz.....	25
7.5 Bildwanderungskompensation.....	28
7.6 RMK TOP und T-AS.....	28
7.7 Bildflugnavigation T-Flight.....	30
7.8 DMC.....	30
7.9 Kammerkalibrierung .....	30
<b>8. Luftbildauswertung photographisch.....</b>	<b>30</b>
8.1 Orthoprojektor GIGAS ZEISS (GZ 1) .....	30
8.2 Optische Interpolation im GZ 1 .....	30
8.3 Höhendarstellung im GZ 1 .....	30
8.4 ITEK Korrelator EC 5.....	30
8.5 ORTHO-3-PROJEKTOR.....	30
8.6 ORTHOCOMP Z 2.....	30
8.7 Programmsystem HIFI.....	30
8.8 PHODIS-OP.....	30
<b>9. Luftbildauswertung numerisch.....</b>	<b>30</b>
9.1 Koordinatenregistrierung.....	30
9.2 Präzisions-Stereokomparator PSK.....	30
9.3 Präzisionskomparator PK 1 .....	30
9.4 Punktmarkiergeräte .....	30

---

<b>10.</b>	<b>Luftbildauswertung graphisch.....</b>	<b>30</b>
10.1	Prototypentwicklungen 1960 – 1963.....	30
10.2	Doppelprojektor DP.....	30
10.3	PLANIMAT.....	30
10.4	PLANICART.....	30
10.5	PLANITOP.....	30
10.6	Graphische Ausgabe.....	30
10.7	Graphische Datenerfassung.....	30
<b>11.</b>	<b>Luftbildauswertung analytisch.....</b>	<b>30</b>
11.1	STEREOCORD.....	30
11.2	PLANICOMP C 100.....	30
11.3	Weiterentwicklung C 100.....	30
11.4	"ZIP" - ZEISS-INTERGRAPH Projekt.....	30
11.5	PLANICOMP P-Serie.....	30
<b>12.</b>	<b>Luftbildauswertung digital.....</b>	<b>30</b>
12.1	PHOTOSCAN.....	30
12.2	SCAI.....	30
12.3	PHODIS.....	30
<b>13.</b>	<b>Terrestrische Photogrammetrie.....</b>	<b>30</b>
13.1	Terrestrische Messkammern.....	30
13.2	TERRAGRAPH.....	30
13.3	Sonstiges.....	30
<b>14.</b>	<b>Sonderanwendungen.....</b>	<b>30</b>
14.1	Ballistische Messkammern.....	30
14.2	Stereo-Röntgenkomparator StR.....	30
14.3	Differenzen-Sichtprüfgerät VITEST.....	30
14.4	GEOS-1.....	30
<b>15.</b>	<b>Fernerkundung &amp; Aufklärung.....</b>	<b>30</b>
15.1	Reihenbildner KRb und TRb.....	30
15.2	Modulares Aufklärungssystem KS-153.....	30
15.3	Fernerkundung.....	30
<b>16.</b>	<b>Die Photogrammetrie-Entwicklung und ihre Mitarbeiter.....</b>	<b>30</b>
16.1	Die Entwicklung in einigen Zahlen.....	30
16.2	Patente und Publikationen.....	30
16.3	Sonstige Tätigkeiten.....	30
16.4	Mitarbeiter und Abteilungen.....	30
16.5	Der Weg in die Zukunft.....	30
<b>17.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>30</b>

## 1. Einleitung

Mit der Gründung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie im Jahr 1909 und der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie 1910 kann das Gebiet der systematischen Bildmessung derzeit auf ein hundertjähriges Bestehen zurückblicken. Es ist eng verbunden mit der photogrammetrischen Verfahrens- und Geräte-Entwicklung bei der Firma CARL ZEISS in Jena, zumal der Beschluss zur Gründung der Deutschen Gesellschaft anlässlich eines Ferienkurses von ZEISS in Jena erfolgte. Auch wenn bereits 50 Jahre früher erste metrische Photographien und Stereobildmessungen erfolgten, so wurde die Vervollkommnung der photogrammetrischen Verfahren erst mit Beginn des 20. Jahrhunderts durch ZEISS forciert und in den ab 1909 zunächst ein- bis zweimal jährlichen Ferienkursen (später "Photogrammetrische Woche" genannt) mit den praktischen Anwendungen diskutiert und weiterentwickelt (JUNG 1960).

Als Folge des zweiten Weltkrieges wurde auch CARL ZEISS, wie die deutsche Nation, geteilt. Bevor die Amerikaner gemäss der Vereinbarung von Jalta im Februar 1945 Thüringen an die Russen übergaben, evakuierten sie Ende Juni 1945 die wichtigsten Köpfe und Unterlagen in ihr Besatzungsgebiet auf die Schwäbische Alb. Die Russen deportierten ab Oktober 1945 die "zweite Garnitur" und die meisten Produktionsanlagen nach

Russland (HERRMANN 1989). Erst ab 1948 bzw. 1949 konnten die Photogrammeter von Zeiss in West (später als Stiftungsbetrieb CARL ZEISS, OBERKOCHEN) und Ost (als volkseigener Betrieb VEB CARL ZEISS JENA) wieder ihre Arbeit aufnehmen. Mit der Wiedervereinigung fanden dann nach 1989 auch die beiden ZEISS-Unternehmen wieder zusammen (SCHREINER et al. 2006). Aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus wurden die Oberkochener und Jenaer Photogrammetrie-Bereiche Ende 1995 in Oberkochen zusammengefasst und ab April 1999 in ein Gemeinschaftsunternehmen mit der Fa. INTERGRAPH, Huntsville, Alabama/USA ausgegliedert. CARL ZEISS hat sich mit der Übertragung seines 40%-Anteils an diesem Joint Venture namens "Z/I IMAGING" an INTERGRAPH zum 30. September 2002 schliesslich, bis auf Zulieferung anspruchsvoller Komponenten (u. a. Luftbildobjektive) und Kalibrierdienste, ganz aus der Photogrammetrie verabschiedet.

Über die photogrammetrischen Vorkriegsaktivitäten bei ZEISS ist in (SCHUMANN 1986) berichtet worden. SCHÖLER hat in der vorliegenden Schriftenreihe den Bau von Bildmessgeräten in Jena in der Nachkriegszeit dokumentiert (SCHÖLER 2006). In der vorliegenden Arbeit soll über die photogrammetrischen Instrumentenentwicklungen in Oberkochen berichtet werden.

## 2. Vorgeschichte

Die Anfänge der Photogrammetrie und auch der Firma CARL ZEISS liegen beide um das Jahr 1850. In Frankreich entwickelte AIMÉ LAUSSE DAT ab 1851 unter der Bezeichnung "Iconométrie" die Stereobildmessung für topographische Zwecke und verfeinerte sie bis 1859 zur "Métrophotographie". In Deutschland wurden, unabhängig von LAUSSE DAT, die ersten photogrammetrischen Aufnahmen 1858 von ALFRED MEYDENBAUER für Architekturzwecke angefertigt (SCHWIDEF SKY 1963). Auch die ersten Aufnahmen aus einem Ballon durch den Pariser Photographen GASPARD-FELIX TOURNACHON, genannt NADAR, geschahen 1858 und bildeten damit den Anfang der Luftbildaufnahme.

Der Mechanikus CARL FRIEDRICH ZEISS (1816-1888) gründete nach einer gründlichen beruflichen und wissenschaftlichen Ausbildung im Frühjahr 1846 in Jena eine eigene Werkstätte und beschäftigte sich in den folgenden Jahrzehnten zunehmend erfolgreich mit der Fertigung und ständigen Verbesserung von Mikroskopen (HELLMUTH et al. 1996). Erst ab 1888 betrat Zeiss weitere Geschäftsfelder. PAUL RUDOLF entwickelte Photoobjektive, von denen einige später auch für die Photogrammetrie bedeutsam werden sollten. Und CARL PULFRICH (1858-1927) leitete ab 1890 die neue Abtei-

lung für optische Messgeräte, die u. a. Refraktoren und Komparatoren entwickelte.

Angeregt durch Feldgeräte für stereoskopisches Beobachten und Messen entwickelte PULFRICH 1901 mit dem Stereokomparator zur Messung von Koordinaten und Parallaxen das erste photogrammetrische Instrument von CARL ZEISS. Neben der ständigen Verbesserung des Stereokomparators und der Entwicklung passender Aufnahmegeräte, z. B. Stereometerkammern und Phototheodolite, entstanden weitere grundlegende, photogrammetrische Geräte. 1909 wurde der Stereoautograph nach EDUARD VON OREL als erstes Stereokartiergerät zur graphischen Auswertung im ersten Ferienkurs vorgestellt und dürfte damit auch den euphorischen Impuls zur Gründung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie ausgelöst haben. Dieser Autograph für terrestrische Auswertungen wurde in der Folgezeit weiterentwickelt und 1945 als Klein-Autograph C/3 angeboten. Für die Stereoauswertung geeigneter Luftbilder wurde nach Ideen von PULFRICH und WALTER BAUFELD (1879-1959), und nach dem Prinzip der Bildmesstheodolite, ab 1918 der STEREOPLANIGRAPH C/1 entwickelt, 1921 vorgestellt und ab 1937 als weiterentwickeltes Modell C/6 ausgeliefert.

Mit fortschreitender Entwicklung der Flugzeuge und Luftschiffe entstanden ab 1911 mehrere Ballon- und Fliegerkameras, was 1922 zur ersten präzisen Reihenbildmesskammer RMK C/1 führte. Mit der Entwicklung von zahlreichen Varianten, verschiedenem Zubehör wie z. B. Stoskop und Navigationshilfen, sowie Weitwinkelobjektiven ab 1933 durch ROBERT RICHTER (1886-1956), entstand dann eine komplette Familie RMK P, die auch bis zum zweiten Weltkrieg noch aktuell war.

Eine weitere wichtige Gerätelinie waren die Entzerrungsgeräte. Nachdem zunächst 1921 ein Umbildegerät entstanden war, wurde ab 1924 das Selbstfokussierende Entzerrungsgerät C/2 entwickelt. 1939 wurde das Modell C/8a in SEG IV umbenannt. Schliesslich sind weitere Geräte zu nennen wie u. a. Taschen- und Spiegelstereoskope (bereits ab 1902), Zeichenstereometer und Luftbildumzeichner (beide ab 1934), der Aeroprojektor MULTIPLEX (1933) und der Radialtriangulator (1940), die dann nach dem zweiten Weltkrieg beim Wiederbeginn in Oberkochen eine Rolle spielen sollten.

1930 übernahm OTTO VON GRUBER (1884-1942) die nach PULFRICHS Tod neu gegründete Bildmessabteilung. Bereits ab 1922 war er, nach drei Jahren externer Mitarbeit, bei ZEISS eingetreten und in der Entwicklung geodätischer Instrumente tätig gewesen. Auch während

seiner zwischenzeitlichen Professur für Geodäsie in Stuttgart von 1926 bis 1930 war er mit ZEISS in enger Verbindung geblieben.

1931 übernahm CARL ZEISS einen 50%-Anteil an der in Jena neugebildeten ZEISS-AEROTOPOGRAPH GmbH (ZA), die aus der 5 Jahre zuvor in Dresden gegründeten Firma AEROTOPOGRAPH GmbH hervorging. Dieser Wettbewerber im Bildmessgeräte-Markt, der die von REINHARD HUGERSHOFF mit der Fa. HEYDE entwickelten Instrumente vertrieb, war von EDUARD OSKAR MESSTER (1893-1982) geführt worden, der in der Folgezeit auch die "ZA" als Vertriebs- und Servicegesellschaft leitete und massgeblich die Produktpolitik der Bildmessabteilung von CARL ZEISS mitbestimmte (WALTER 2000). Der Bau der Instrumente erfolgte weiterhin in den Werkstätten von ZEISS. Nachfolger von OTTO VON GRUBER als wissenschaftlicher Leiter wurde nach dessen frühen Tod 1942 KURT SCHWIDEFSKY (1905-1986), einer der wissenschaftlichen Mitarbeiter war seit 1932 WALTER BRUCKLACHER (1910-1995).

Nach Kriegsende verliessen bei der von den Amerikanern angeordneten Evakuierung Ende Juni 81 Mitarbeiter von ZEISS und 3 von ZEISS-AEROTOPOGRAPH mit ihren Familien Jena, u. a. auch BAUERSFELD, MESSTER, SCHWIDEFSKY, RICHTER und BRUCKLACHER. Letzterer war gerade vom Militär zurückgekehrt.

### 3. Wiederbeginn in Oberkochen

Weil im Prinzip sowohl geeignete Betriebsstätten der Firmen DECKEL, STEINBEIL und LINHOFF in München als auch das CONTESSA-Werk der ZEISS IKON in Stuttgart in Trümmern lagen und damit nach vorheriger Inspektion durch die Jenaer Geschäftsleitung wenig geeignet erschienen, trafen die Armeelastwagen mit den ZEISSianern in der Nacht vom 24. zum 25. Juni 1945 in Heidenheim an der Brenz ein. Hier wurden die Familien zunächst in der Polizeischule einquartiert, später dann in Privatzimmer in der Stadt und in der weiteren Umgebung eingewiesen. MESSTER und BRUCKLACHER von ZEISS-AEROTOPOGRAPH verliessen Jena erst am 30. Juni mit dem letztmöglichen Transport vor der Übergabe an die Russen Richtung München, da MESSTER dorthin bereits Kontakte hatte.

Nachdem man im weiteren Umfeld mehrere verlassene Fabriken in Esslingen, Schwäbisch Gmünd und Immenstadt besichtigt hatte, entschied man sich für die in Oberkochen leer stehende, wenige Jahre alte Fabrik für Messerschmidt-Flugzeugfahrwerke der Fa. LEITZ. Ausschlaggebend war, dass man hier einigermaßen willkommen war, dass es Hilfszusagen von Landkreis und Gemeinden gab, und dass keine weitere Umsiedlung der

Familien nötig wurde. Schliesslich war die bewaldete Hügellandschaft der schwäbischen Ostalb der verlassenen Jenaer Heimat sehr ähnlich. Eine erste Arbeitserlaubnis für die auf sich gestellten ZEISSianer wurde erst nach vier Monaten Wartezeit erteilt: die Genehmigung für einen "Optical Repair Shop". Mit Leihmaschinen von der Heidenheimer Maschinenfabrik PILTZ, die schon vor dem Krieg CARL ZEISS in Jena beliefert hatte, begann man, verschiedene optische Instrumente in Stand zu setzen und so das erste Geld zu verdienen.



Bild 3.1: Oberkochen im Jahr 1950

Am 14. Juni 1946 erteilte auf Anweisung der amerikanischen Militärregierung das Wirtschaftsministerium für Württemberg und Baden die Produktionsgenehmigung für die "Firma CARL ZEISS, Werk Oberkochen". Die offizielle Gründung erfolgte mit dem Gesellschaftervertrag am 4. Oktober 1946 und mit der Eintragung in das Handelsregister am 30.10.1946: "OPTON Optische Werke Oberkochen GmbH" (ab 31.01.1947 ZEISS-OPTON), mit der CARL ZEISS STIFTUNG als Mehrheitsgesellschafter. Damit konnte man beginnen, mit Hilfe der wenigen

mitgebrachten Unterlagen die ersten Geräte zu rekonstruieren. Im Juli 1947 war das erste Stereomikroskop fertiggestellt. Der Wiederbeginn der Bildmess-Produktion erfolgte allerdings erst 1949.

Bereits 1950 hatte sich das Oberkochener Ortsbild deutlich verändert, sowohl durch neue Siedlungshäuser für die bisher noch in Privatquartieren und Baracken untergebrachten Zeissianer als auch durch eine Verdoppelung der Gebäudeflächen im Werksgelände (Bild 3.1).

## 4. Rekonstruktion

Bereits 1946 konnte EDUARD OSKAR MESSTER von München aus, mit Hilfe seines liechtensteinischen Reisesepasses, wieder für ZEISS-AEROTOPOGRAPH seine Auslandsreisen aufnehmen. Die Teilnahme am Internationalen Kongress für Photogrammetrie 1948 in Scheveningen als einziger Deutscher (BARING 1963) ermöglichte es ihm, mit vielen Photogrammetern aus fast allen Erdteilen die alten Kontakte aufzufrischen. Nach dem Kongress beschloss er die Wiederaufnahme des Baus photogrammetrischer Geräte und erteilte im Winter 1949/50 den Oberkochener Kollegen den ersten Serienauftrag zur "Rekonstruktion und Herstellung von Stereoplanigraphen neuester Konstruktion" (WEIMANN 1952). Nach diesem Wiederbeginn übernahm ab Juni 1951 (und bis zu seiner Berufung auf die Professur in Karlsruhe 1960) KURT SCHWIDEFSKY die "Technische Leitung Bildmess" in Oberkochen, nachdem er vorher ab 1947 als wissenschaftlicher Leiter bei der mehrheitlich zu Zeiss gehörenden HENSOLDT AG in Wetzlar tätig war und dort u. a. auch bereits die Entwicklung eines neuen Entzerrungsgerätes begann.

ZA begann in München und in einer in Oberkochen, vor den Toren von CARL ZEISS gelegenen Baracke mit der Rekonstruktion der einfachen Geräte und beauftragte mit der Herstellung kleinere Firmen in München, Wetzlar und Berlin. Dabei entstanden in enger Anlehnung an entsprechende Vorkriegsversionen u. a. verschiedene Stereoskope, Radialschlitzstanzen sowie Laborgeräte für Filmentwicklung, Filmtrocknung und Herstellung von Kontaktkopien.

### 4.1 Stereoskope und Luftbildumzeichner

Das Taschenstereoskop TS 4 für ein Bildformat bis 6 x 13 cm und mit einer Prüftafel für stereoskopisches Sehen wurde ab 1950 das erste und, mit fast 80.000 Stück, insgesamt auch meistverkaufte Produkt. Ein ähnlich kleines "Brückenstereoskop" traf auf nur geringes Interesse und wurde nur von 1959 bis 1971 angeboten (Bild 4.1). Das Spiegelstereoskop OV von 1953 als erstes Stereoskop für vollformatige Kontaktabzüge von

Luftbildern war, ebenso wie das dem Jenaer STEREO-PANTOMETER von 1939 nachempfundene Zeichenstereometer (Bild 4.2) ebenfalls wenig erfolgreich. Erst das Spiegelstereoskop N2 wurde von 1965 an, wie das TS 4, ein grosser Erfolg, in grossen Stückzahlen produziert und häufig in der erweiterten Ausstattung mit Fernrohrvorsatz und Stereomikrometer geliefert (Bild 4.3).

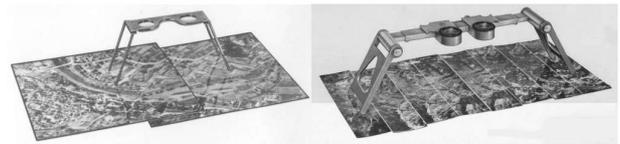


Bild 4.1: Taschenstereoskop TS 4 und Brückenstereoskop

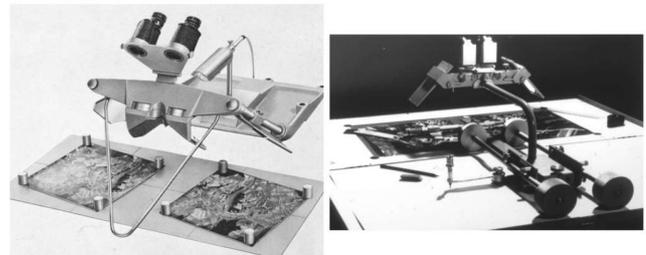


Bild 4.2: Spiegelstereoskop OV und Zeichenstereometer

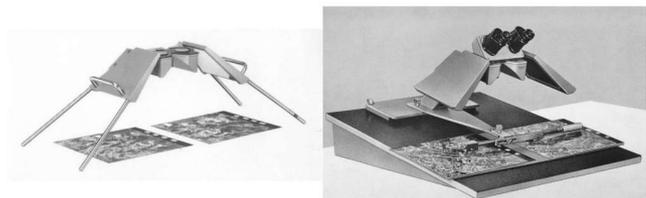


Bild 4.3: Spiegelstereoskop N 2, rechts mit Fernrohrvorsatz, 3-fach, Stereomikrometer SMM und Schrägpult

Diese Stereoskope wurden von kleinen Zulieferfirmen gefertigt, und die erfolgreichen Modelle wurden fast unverändert über nahezu 50 Jahre weltweit vertrieben. Einige Details dieser Stereoskope waren durch Gebrauchsmuster und Patente geschützt (ZEISS-AEROTOPOGRAPH 1954 & SONNBERGER 1954e).

Auch der ab 1953 angebotene, fremdgefertigte Luftbildumzeichner LUZ mit monokularer Betrachtung und optischer Überlagerung von zu aktualisierender Vorlage mit einem aktuellen Luftbild (Bild 4.4) für einfache Kartennachführung war sehr gefragt und wurde bis Ende der 1980er Jahre über 3.000mal verkauft.

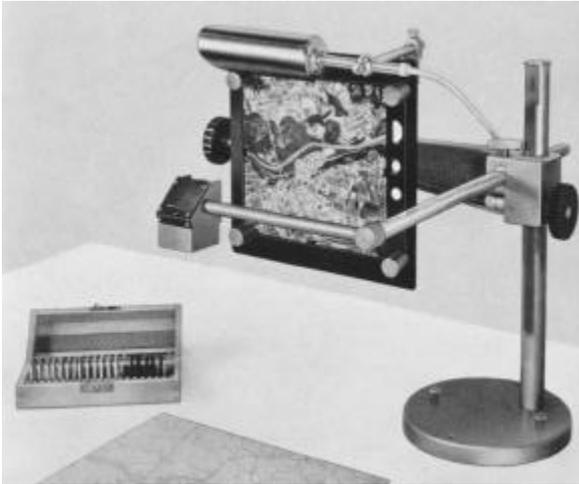


Bild 4.4: Luftbildumzeichner LUZ (1953)

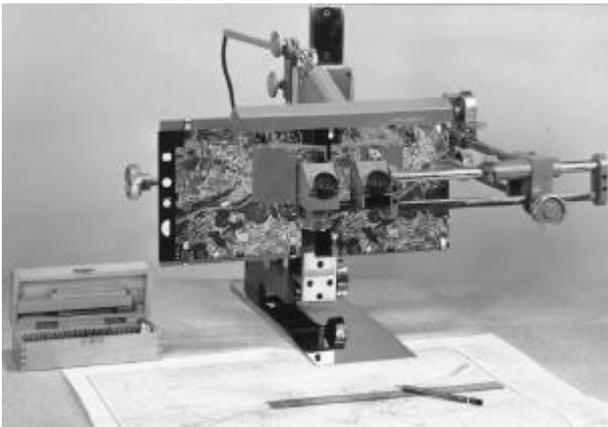


Bild 4.5: Stereo-LUZ (Prototyp 1967)

1967 wurde in der Oberkochener Bildmess-Abteilung eine Stereo-Version des Luftbildumzeichners entworfen (Bild 4.5). Diese Entwicklung kam aber über das Prototyp-Stadium nicht hinaus.

#### 4.2 Radialschlitzstanzen

Für die Bildtriangulation wurde 1951 der RADIALSECATOR RS I (Bild 4.6) vorgestellt, der der noch 1945 in Jena fertig gestellten zweistöckigen Schlitzstanze C/3 entsprach. Dazu waren auch die, während des Krieges erfolgten, Patentanmeldungen 1954 beim Deutschen Patentamt erneuert worden (SCHWIDEFSKY 1954a & 1954b). Während die zu triangulierenden Luftbilder als Papierabzug in die obere Etage eingelegt wurden, ließen sich unten Schablonen einlegen, die im Massstab 0,5- bis 1,5-fach (beim Bildformat 23 cm x 23 cm) bzw. bis 2-fach (bei 18 cm x 18 cm) abweichen durften. Die oben liegenden Kontaktabzüge blieben unbeschädigt.

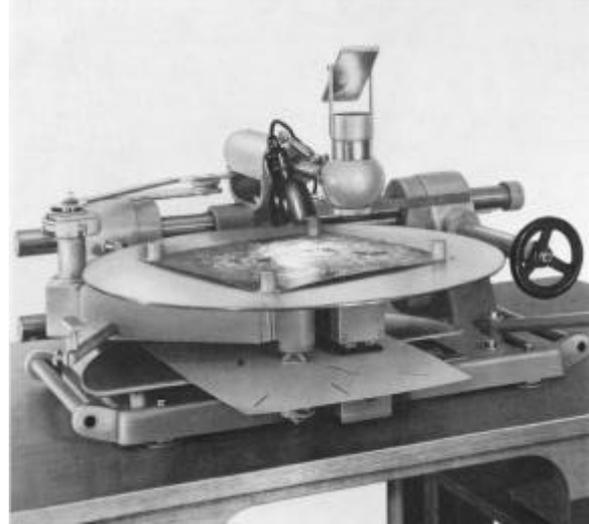


Bild 4.6: RADIALSECATOR RS I (1951)

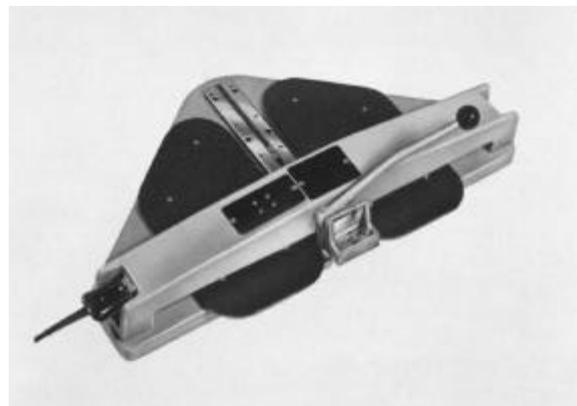


Bild 4.7: RADIALSECATOR RS II

Für die Arbeit direkt in Bildkopien im Massstab 1 : 1 entstand 1955, in Anlehnung an die bereits 1941 in Jena entwickelte Bildschlitzstanze C/1, dann als einfache Version der RADIALSECATOR II (Bild 4.7). Von beiden Modellen wurden bis Mitte der 1970er Jahre 125 bzw. 230 Stück gebaut.

#### 4.3 Laborgeräte

Auch Geräte für die Entwicklung und Trocknung von Luftbildfilmen und ein Kontaktkopiergerät waren schon 1937 im Programm von ZEISS-AEROTOPOGRAPH in Jena gewesen. Entsprechend wurden auch nach dem zweiten Weltkrieg ab 1953 das Filmentwicklungsgerät FE 120 (Bild 4.8), dessen Neuentwicklung durch drei Gebrauchsmuster geschützt wurde (ZEISS-AEROTOPOGRAPH 1953a, 1953b & 1953c), und ab 1958 das Trocknungsgerät TG 24 (Bild 4.9) von Kleinbetrieben zugeliefert. Von diesen Geräten wurden bis Ende der 1980er Jahre insgesamt über 750 bzw. 550 Stück abgesetzt. Auch nach zunehmender Verbreitung grösserer Entwicklungslabors und der Farbfilme blieb diese feldtaugliche Laborausstattung interessant, um bei entfernten Bildflugprojekten abends die Qualität von Probeaufnahmen oder endgültigen Filmen beurteilen zu können.



Bild 4.8: Filmentwicklungsgerät FE 120

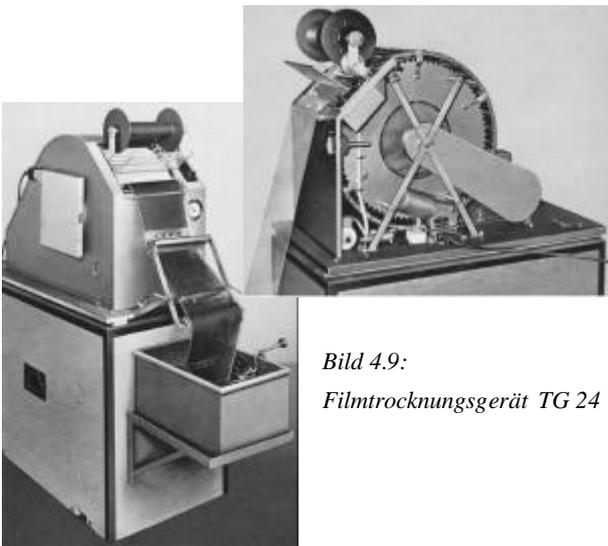


Bild 4.9:  
Filmrocknungsgerät TG 24

Ergänzend sei noch erwähnt, dass 1959 von Bildmess in Oberkochen für die Laborbearbeitung der Luftbildfilme ein "Lichtstift" als Schreibgerät zur Beschriftung des photographischen Materials zum Gebrauchsmuster angemeldet wurde (Zeiss 1959), jedoch nicht in Serie ging.

Ab 1954 wurde das sehr erfolgreiche, in Berlin gefertigte Kontaktkopiergerät KG 30 (Bild 4.10) angeboten und insgesamt nahezu 1.000mal verkauft.



Bild 4.10: Kontaktkopiergerät KG 30

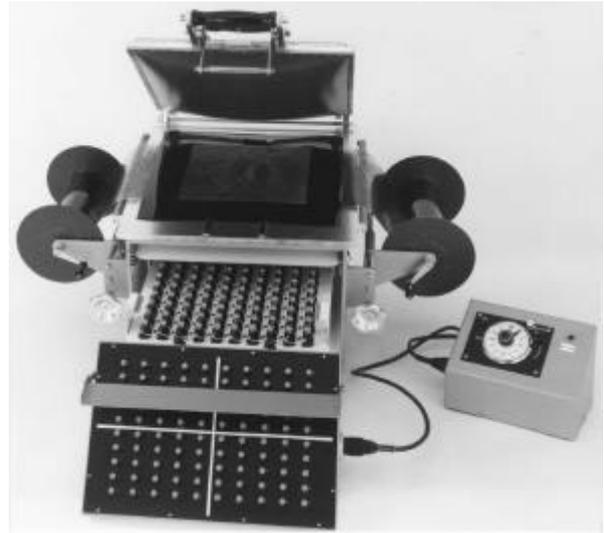


Bild 4.11: "Kaleda"-Einschub zum KG 30 (1971)

1971 sollte ein besonderer Beleuchtungs-Einschub, bestehend aus einer Matrix mit 10 x 10 einzeln schaltbaren Lämpchen (Bild 4.11), eine preiswerte Möglichkeit sein, einen partiellen Kontrastausgleich zu ermöglichen, ähnlich wie er seinerzeit mit den teuren, automatisch arbeitenden Dodging-Geräten amerikanischer Hersteller möglich wurde. Dieser "Kaleda"-Einschub konnte sich jedoch nicht durchsetzen.

Schliesslich gehörten noch Leuchttische für die Durchmusterung von Rollfilmen zum Programm der Labor- und Interpretationsgeräte, die zunächst bei ZA in München entwickelt und später von Bildmess in Oberkochen betreut, aber wie die Stereoskope bei kleinen Femdfirmen gefertigt wurden. Bild 4.12 zeigt bereits ein späteres Modell. Sondermodelle zur vergleichenden Interpretation mehrerer, nebeneinander liegender Filme verschiedenen Formats für militärische Auftraggeber sollen hier nicht weiter erwähnt werden.



Bild 4.12: Leuchtpult L 3 (1985)

#### 4.4 STEREOPLANIGRAPH

Eine sehr viel schwierigere Aufgabe war in Oberkochen die Rekonstruktion des Jenaer STEREOPLANIGRAPHEN. Dieses universelle Stereoauswertegerät I. Ordnung mit einer strengen Lösung nach dem Prinzip der subjektiven optischen Projektion (Bild 4.13) war bereits 1918 von

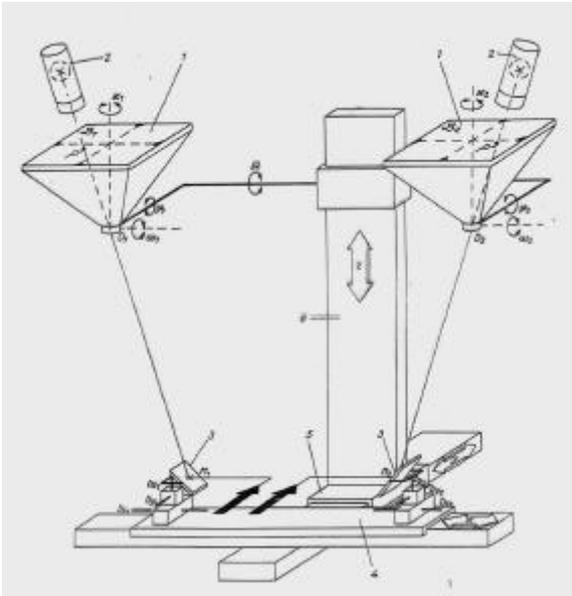


Bild 4.13: Konstruktionsschema des STEREOPLANIGRAPHEN: "Subjektiv-optische Projektion"

CARL PULFRICH konzipiert und nach der Erfindung des optischen Vorsatzsystems zur Scharfabbildung durch WALTER BAUERSFELD 1920 (Bild 4.14) ein Jahr später als STEREOPLANIGRAPH C/1 erstmals gebaut worden. In den folgenden Jahren wurde das Instrument ständig verbessert, ab 1937 war der C/5 die letzte Version aus Jena (Bild 4.15), ein 1945 konzipierter C/6 kam nicht mehr zum Tragen. Im Winter 1949/50 erteilte ZEISS-AEROTOPOGRAPH der damaligen

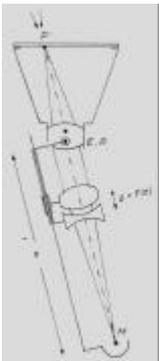


Bild 4.14: Vorsatzsystem nach BAUERSFELD zur Scharfabbildung

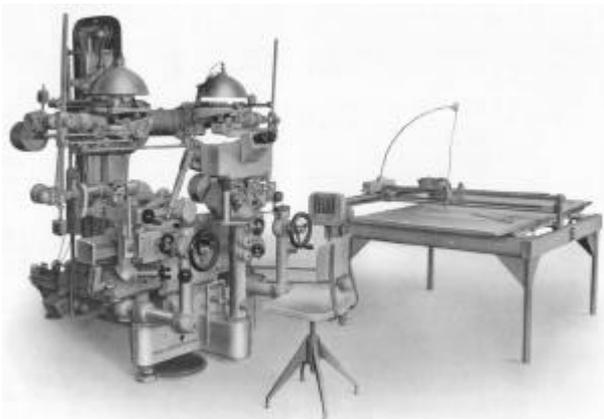


Bild 4.15: STEREOPLANIGRAPH C/5 mit Zeichentisch (1937)

ZEISS-OPTON in Oberkochen den ersten Nachkriegsauftrag, den STEREOPLANIGRAPHEN zu rekonstruieren und gleichzeitig wesentlich zu verbessern. Für dieses, aus ca. 2.600 gezeichneten und 5.000 gefertigten Einzelteilen bestehende feinmechanisch-optische Instrument gab es allerdings in Oberkochen keinerlei Zeichnungs- und Fertigungsunterlagen. Nach einigen Überlegungen gelang es, einen C/5 für 5.000 US-Dollar zurückzukaufen. Das Gerät war 1944 in Jena gebaut worden und sollte per Lasten-U-Boot nach Japan verschifft werden, doch zuvor sank der Transport auf dem Main. Das als Seefracht verpackte Instrument war 1945 geborgen und von einer halbamtlichen Verwertungsgesellschaft erworben worden (BARING 1963).

Auch stand BAUERSFELD, der das Instrument in Jena mitgestaltet hatte und inzwischen Mitglied der Oberkochener Geschäftsleitung war, hilfreich zur Verfügung, ebenso der Werkmeister KURT WOLF, der bereits 1912 bei ZEISS in Jena angefangen und ab 1921 in verschiedenen Werkstätten an der Fertigung von Bildmessgeräten und des STEREOPLANIGRAPHEN gearbeitet hatte. WOLF war 1949 nach Oberkochen gekommen und leitet die Bildmess-Werkstatt "MJ 6" (Bild 4.16). Unter Einbeziehung der Erfahrung zahlreicher Geräteanwender, eigener Untersuchungen und neuer Fertigungsverfahren wurden wesentliche Verbesserungen vorgesehen und 1951 auf der 21. Photogrammetrischen Woche (der ersten in München) als STEREOPLANIGRAPH C 7 vorgestellt, welcher bereits ein Jahr zuvor auf der Geodätischen Woche in Köln angekündigt worden war (SCHWIDEFESKY 1950). Die wesentlichen Verbesserungen waren:

- Bildformat bis 24 cm x 24 cm (bisher bis zu 18 x 24),
- Kompensationsplatten zur Verzeichnungskorrektur,
- Messmarke als Leuchtmarke mit wählbarer Form, Farbe und Helligkeit (bisher nur schwarze Marke),
- vergütete Optik,
- z-Schnellgang (für Auswertung im Hochgebirge),
- Höhenablesung wahlweise in englischen Fuss,
- höhere Genauigkeit der Messungen und Ableesungen.



Bild 4.16: Serienfertigung STEREOPLANIGRAPH in der Bildmess-Montage und -Justierung MJ 6 (1952)

Von den ersten Kunden wurde "bemängelt", dass in den Prospekten die erreichbare Höhengenaugigkeit mit 0,02 ‰ der Flughöhe als um den Faktor 2 zu schlecht angegeben war. Bereits ein Jahr später, im September 1952, wurde der konstruktiv gleiche (Bild 4.17), aber verbesserte STEREOPLANIGRAPH C 8 auf dem VII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Washington vorgestellt (HOFMANN 1953). Gegenüber dem C 7 waren u. a. Universal-Bildträger für verschiedene Kammerkonstanten, verbesserte Ableseuhren sowie ein

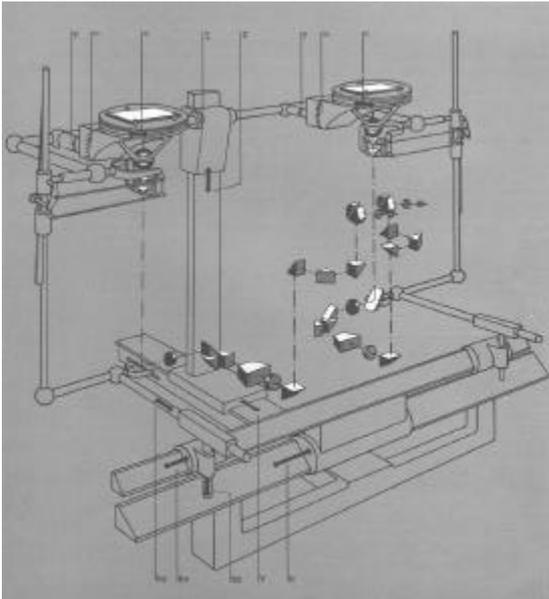


Bild 4.17: Schematischer Aufbau des C 7 und C 8.



Bild 4.18: Druckzählwerk zum C 8

patentiertes Druckzählwerk (ZEISS-AEROTOPOGRAPH 1951) entwickelt worden (Bild 4.18). Dieses Druckzählwerk ersetzte die bisher so mühsame und unsichere Koordinaten-Ablesung und -Notierung durch einen Druckvorgang. Dabei wurden die x- und y-Koordinaten in 0,01 mm-Einheiten im Maschinenmassstab und die z-Koordinate mittels Getriebe direkt als Höhenwert in 13 verschiedenen Massstäben (Meter und Fuss) erfasst.

Die wesentlichen Geräteparameter für den C 8 (Bild 4.19) waren:

- Kammerkonstante / Bildformat in mm:  
von 100 / 140 x 140 bis 610 / 240 x 240,
- phi: -20 bis +30 gon,
- omega: -10 bis +10 gon,
- kappa:  $\pm 400$  gon,
- gemeinsames omega: -20 bis +60 gon,
- bx: -290 mm bis +310 mm,
- by:  $\pm 30$  mm,
- bz:  $\pm 20$  mm,
- x:  $\pm 275$  mm,
- y: -425 mm bis +275 mm,
- z: 170 mm bis 605 mm.

Bis 1974 wurden 144 STEREOPLANIGRAPHEN C 7 und C 8 geliefert (MEIER 1986), zusammen mit den 150 Vorkriegsmodellen (BRUCKLACHER 1952) also insgesamt etwa 300 Geräte dieses so genannten "Universal-Stereoauswertegerätes I. Ordnung", welches mehr als 50 Jahre lang gefertigt worden ist.

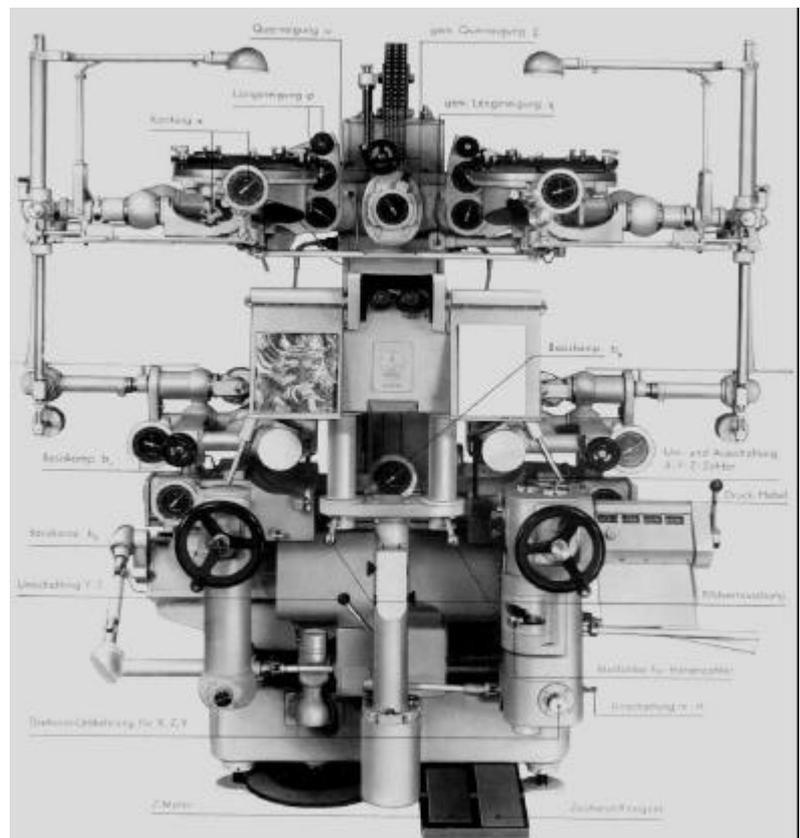


Bild 4.19: STEREOPLANIGRAPH C 8 (1952)

## 5. Ergänzung durch Neukonstruktion

Obwohl 1949 der STEREOPLANIGRAPH C 7 als Rekonstruktion des Jenaer Vorkriegsmodells C/5 begonnen wurde, so sind doch C 7 und kurz darauf C 8 eine wesentliche Weiterentwicklung geworden. Zusammen mit den ebenfalls begonnenen, neuen Entwicklungen beginnt deshalb bereits 1950 auch eine Phase der Erneuerung. Schon auf der ersten Photogrammetrischen Woche der Nachkriegszeit in München 1951 wird (neben C 7 und den vorgenannten Kleingeräten) das Entzerrungsgerät SEG V vorgestellt, auf dem 7. Internationalen Kongress für Photogrammetrie 1952 in Washington das STEREOTOP sowie ein neues Luftbildobjektiv, und auf dem 8. Internationalen Geometer-Kongress 1953 in Paris die dazu gehörende neue Luftbildkammer.

### 5.1 STEREOTOP

Neben STEREOPLANIGRAPH als Stereoauswertegerät I. Ordnung war der weltweite Bedarf nach einem einfachen Kartiergerät für mittlere und kleine Maßstäbe (1 : 25.000 bis 1 : 100.000) erkannt worden. Mit der Idee, das Stereometer (als Spiegelstereoskop mit einfacher Zeichenmöglichkeit) um ein einfaches Rechengetriebe zur Verringerung der durch die perspektivischen Bildverzerrungen erzeugten Modellfehler zu erweitern, entstand das STEREOTOP (Bild 5.1), welches bereits

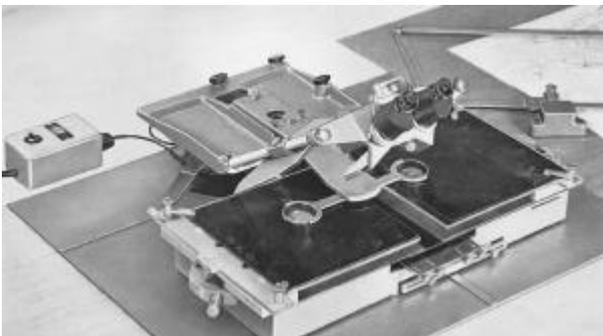


Bild 5.1: STEREOTOP mit Durchlichtzusatz (1953)

1952 in einem Vormuster auf dem Kongress in Washington vorgestellt wurde (HOFMANN 1953 & BRUCKLACHER 1954). Durch zwei ebene, mechanische Rechengetriebe werden Näherungsformeln realisiert, die die perspektivischen Lageabweichungen und die Höhenfehler (Bild 5.2) als Folge der resultierenden Modellverbiegung reduzieren. Bild 5.3 und 5.4 zeigen die Einstellschrauben der Rechengetriebe, welches vom Konstrukteur HEINRICH SONNBERGER, der in Jena Erfahrungen mit mechanischen Rechnern für militärische Zielgeräte gesammelt hatte, entwickelt wurde (DEKER 1956 & 1959). Untersuchungen der Folgezeit stellten fest, dass die Höhengenaugigkeit durch bestimmte Messverfahren weiter gesteigert werden kann (KUPFER 1957a & 1957b). Dazu wurde 1959 noch der Parallaxenrechner (Bild 5.5) als Zusatz vorgestellt (MONDON 1959a).

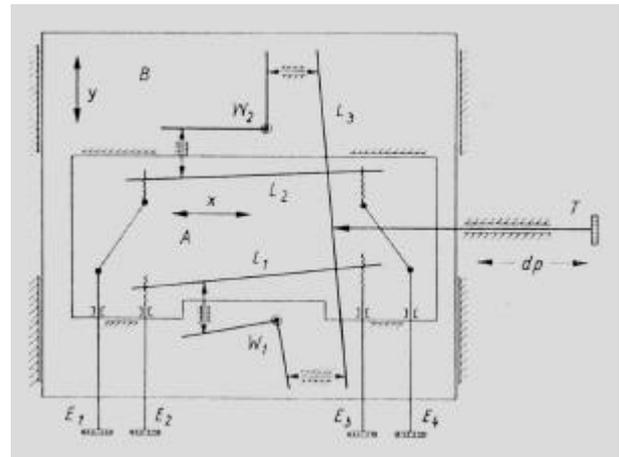


Bild 5.2: Schema des Modellrechners I des STEREOTOP mit den Einstellschrauben E1 bis E4 (SCHWIDEFSKY 1963)



Bild 5.3: Einstellschrauben E1 bis E4 des Modellrechners I und Lagerechners II a

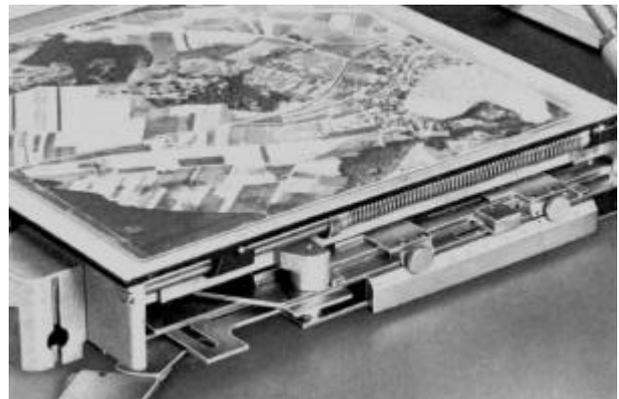


Bild 5.4: Lagerechner II b an der Rückseite



Bild 5.5: Parallaxenrechner zum STEREOTOP

Patentanmeldungen für eine verfeinerte Rechnerlösung zum STERETOP (DEKER 1953 & 1954, SONNBERGER 1954f) kamen nicht mehr zum tragen. Bis 1976 wurden vom STERETOP als Stereoauswertegerät III. Ordnung 840 Geräte verkauft. Und noch 1980 wurde über die Auswertung von LANDSAT-Aufnahmen mit diesem erfolgreichen Gerät berichtet (CLERICI et al. 1980). Als vereinfachte Version ohne Rechengetriebe, aber mit Parallaxenschraube und Zeichenpantograph, war schon 1957 das fremd gefertigte STEREORET für Photointerpretation und einfache Zeichenarbeiten abgeleitet und bis 1986 über 600mal geliefert worden (Bild 5.6).



Bild 5.6: STEREORET (1957)

## 5.2 Entzerrungsgerät SEG

In Jena waren bereits seit 1924 selbstfokussierende Entzerrungsgeräte mit der Bezeichnung SEG entwickelt und gebaut worden, die letzte "vollwertige" Version des SEG I entstand 1939 als C/9, gleichzeitig erschien mit dem SEG IV eine leichte, transportable Version. Dennoch war das seit 1950 angekündigte und 1952 vorgestellte Oberkochener SEG V (später SEG 5 geschrieben) eine vollständige und patentgeschützte Neuentwicklung (HOFMANN 1953), die von SCHWIDEFESKY noch in Wetzlar begonnen worden war (Bild 5.7).

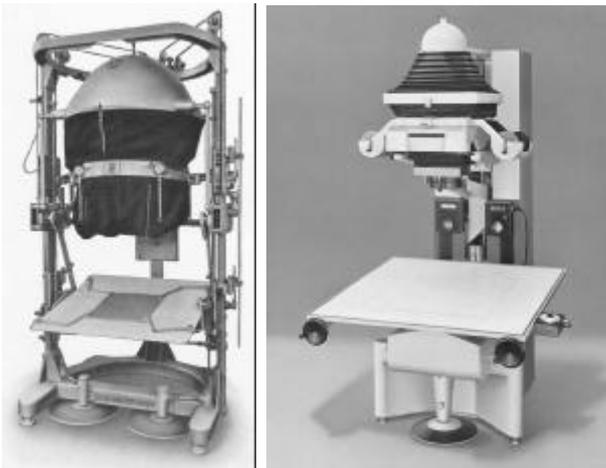


Bild 5.7: Selbstfokussierende Entzerrungsgeräte SEG I (1937) und SEG 5 (Stand 1972)

Neu gegenüber den Vorgängermodellen waren u. a. ein erweiterter Vergrößerungsbereich, eine neue Optik mit von 200  $\mu\text{m}$  auf 50  $\mu\text{m}$  reduzierter Verzeichnung und innovativer Beleuchtungseinrichtung, die stets senk-

rechte optische Achse, sowie nicht zuletzt die Einstellung von nur noch 3 der 5 Freiheitsgrade, nämlich die Vergrößerung durch Höhenänderung des Objektivwagens sowie die beiden Tischneigungen.

Zur Scharfabbildung ist bei Entzerrung geneigter Aufnahmen als Abstandsbedingung in der optischen Achse die Newton'sche Linsengleichung einzuhalten (Bild 5.8), ausserhalb der Achse ausserdem die Scheimpflug-Bedingung. Im SEG 5 wird der Bildwagen zum Objektivwagen motorisch (M) verstellt, wobei die Abstandsänderung  $\Delta b$  mittels einer patentierten Schaltdose (SD) von einer Steuerkurve (SK) abgegriffen wird.

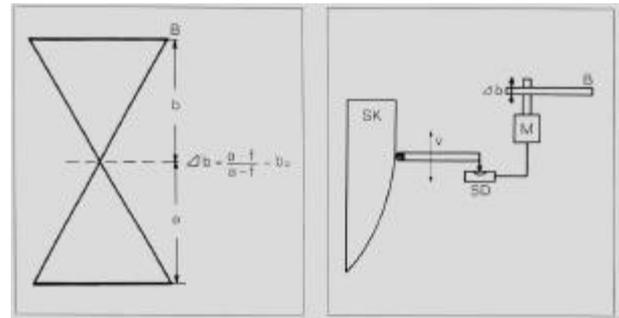


Bild 5.8: Newton'sche Abstandsbedingung und Steuerung

Nach der Scheimpflugbedingung müssen sich Bild-, Objektiv- und Projektionsebene in einer Geraden schneiden (Bild 5.9). Diese wird durch eine stabile mechanisch-räumliche Stange in der Gerätesäule als so genannter Carpentier-Inversor realisiert, die über Hebel den kalottengelagerten Projektionstisch und die in zwei Achsen kippbare Bildebene entsprechend neigt.

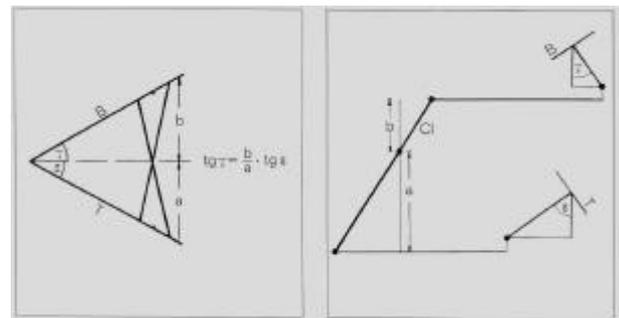


Bild 5.9: Scheimpflug-Bedingung und Steuerung

Als geometrische Bedingung für eine korrekte Entzerrung ist schliesslich die Fluchtpunkt-Bedingung einzuhalten, also die projektive Beziehung zwischen Bild und Karte (Bild 5.10). Die am SEG 5 erstmals realisierte automatische Fluchtpunkt-Steuerung ist als eine Bildverschiebung  $\Delta s$  realisiert (EBNER 1966), die analog elektrisch im Gerätesockel gerechnet (Bild 5.11) und am Bildwagen motorisch eingesteuert wird (Bild 5.12).

Sowohl die einzigartige Tischkalotte als auch die Steuerungen waren durch mehrere Patente geschützt (BAUERSFELD et al. 1953a, SONNBERGER 1953a & 1953b, SONNBERGER et al. 1954).

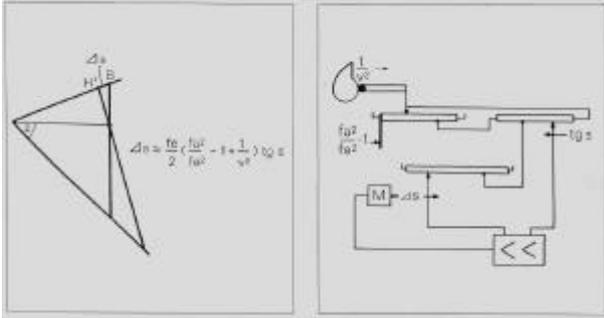


Bild 5.10: Fluchtpunktbedingung und Steuerung

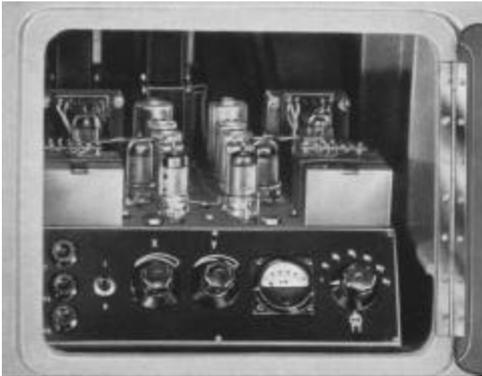


Bild 5.11: Analoger Fluchtpunktrechner zum SEG 5

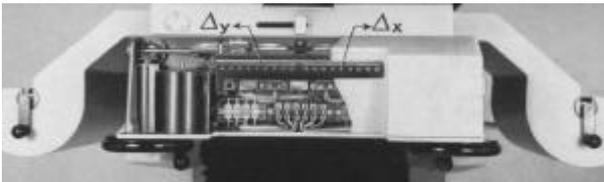


Bild 5.12: Elektrische Fluchtpunktverschiebung zum SEG 5

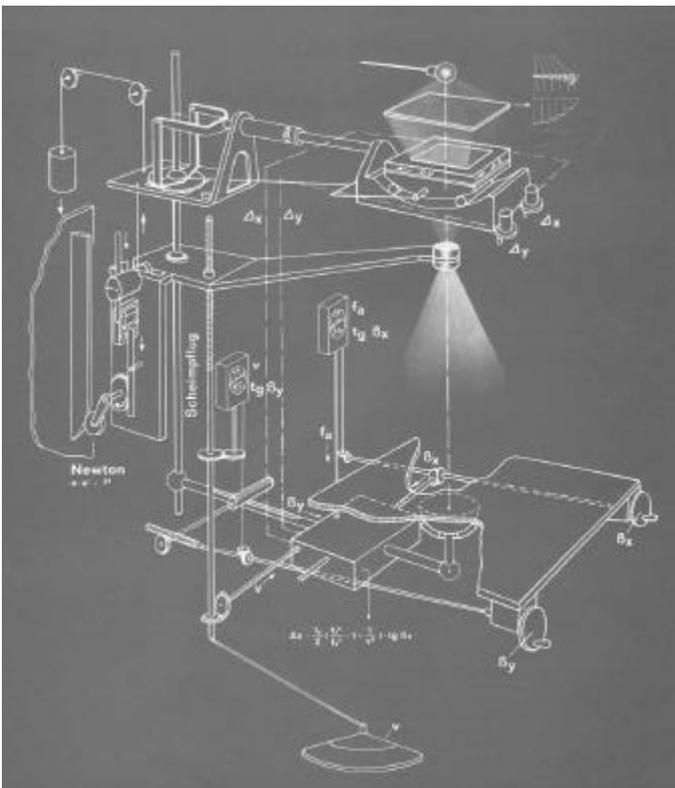


Bild 5.13: Schematischer Aufbau SEG 5

Bild 5.13 zeigt schematisch die verschiedenen Funktionen des SEG. Dort wird auch die Kompaktheit der Ausleuchtung mittels eines speziell entwickelten Fresnellinsen-Kondensors mit vier wirksamen Rillenflächen deutlich. Dieser wurde in optischer Qualität auf einer speziell angefertigten Präzisionsmaschine in Acrylglas geschnitten (Bild 5.14). In den späteren Overhead-Projektoren wurden ähnliche Linsen verwendet, die allerdings in einem preiswerten Schallplatten-Pressverfahren hergestellt wurden. Dieser "Rillenlinsen-Kondensor" war fest mit dem Bildwagen verbunden. Wegen des, von der Vergrößerung abhängigen, variablen Abstandes zwischen Objektiv und Bildwagen musste auch der Abstand Lampe zu Kondensor mit einer einfachen Steuerung jeweils entsprechend angepasst werden.

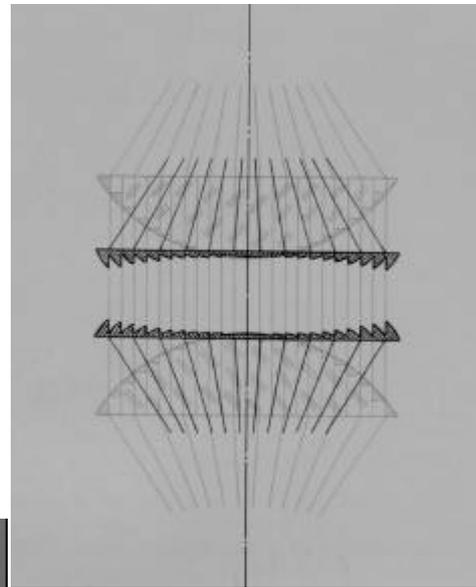


Bild 5.14: Fresnellinsen-Kondensor zur Verringerung der Bauhöhe und zur Gewichtsersparnis (vereinfachte Darstellung)

Als Abbildungsobjektiv wurde für den Vergrößerungsbereich 0,5- bis 6,5-fach das TOPOGON V 6,3/180 neu gerechnet und mit einer internen Rotlichtblende zur automatischen Belichtungssteuerung über eine Schaltuhr ausgestattet.

Die wesentlichen Geräteparameter des SEG 5 waren:

- Vergrößerungsbereich: 0,5- bis 6,5-fach,
- Negativformate: bis 30 cm x 30 cm,  
Projektionsformat: bis 23 cm x 23 cm,
- Tischformat: 1 m x 1 m,
- maximale Tischneigung: in jeder Achse  $\pm 14$  gon,
- Projektionsobjektiv TOPOGON V 6,3/180,
- Blendenstufen: 6,3 / 9 / 12,5 / 18 / 25 / 36 / 50,
- Fresnellinsen-Kondensor 40 cm x 40 cm,
- Quecksilberdampf Lampe HQA 125 W,
- vollautomatische Scharfabbildung,
- vollautomatische Fluchtpunktsteuerung.

Wichtiges Zubehör zum SEG wurden die Gitterkopier-einrichtung (Bild 5.15) und der Ansaugtisch zur besse- ren Filmplanlage (Bild 5.16).

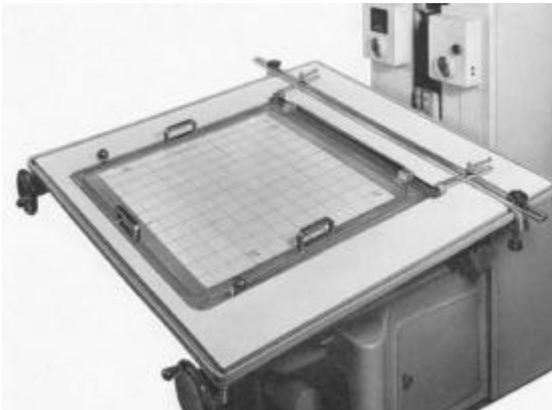


Bild 5.15: Gitterkopiereinrichtung zum SEG (50 mm x 50 mm)



Bild 5.16: Ansaugtisch zum SEG

1963 wurde für die Topographie-Einheiten der Bundeswehr eine mobile Version des Entzerrungsgerätes als SEG Vb abgeleitet. Wegen der beschränkten Fahrzeughöhe musste der Vergrößerungsbereich auf max. 3,5-fach beschränkt und die Beleuchtungseinheit durch eine Flächenleuchte ersetzt werden. Später wurde diese Lichtquelle durch eine gekühlte 4.000 W-Version mit einer höheren Beleuchtungsstärke ersetzt (Bild 5.17).

1972 war das Objektiv zum TOPOGON V2 6,3/180 weiterentwickelt worden und dank der gesteigerten Abbildungsqualität konnte nun als grösste Öffnung für die Belichtung  $f/9$  statt  $f/12,5$  benutzt werden, 1979 wurde das Objektiv nochmals verbessert und auf die Blendenreihe 5,6 / 8 / 11 / 16 umgestellt, mit  $f/5,6$  als grösster Belichtungsblende.

1977 schliesslich wurde auf der Photogrammetrischen Woche in Stuttgart das Modell SEG 6 vorgestellt (HOBIE 1977a). Dabei wurden der prinzipielle Aufbau und die Arbeitsbereiche des Gerätes beibehalten, jedoch Mechanik und Elektrik im Hinblick auf eine kostengünstigere Fertigung und neue Bauelemente optimiert. U. a. wurde die gesamte Elektrik in einem "Rucksack" an der Geräterückseite zusammengefasst (Bild 5.18) und die Lampensteuerung verbessert.

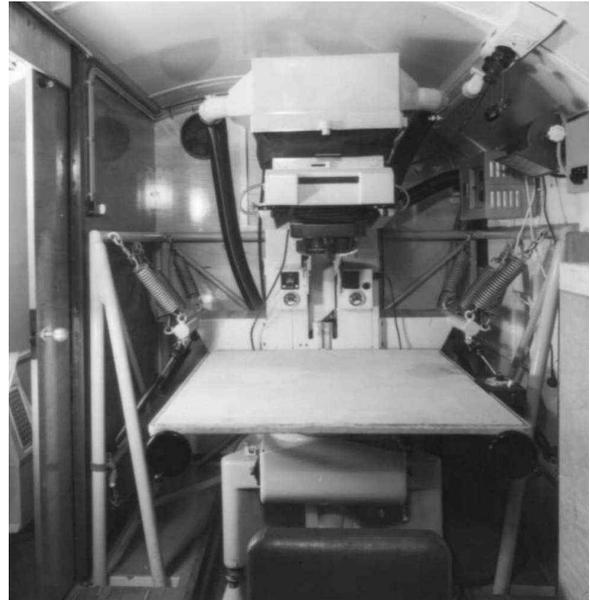


Bild 5.17: Mobiles Entzerrungsgerät SEG Vb im Fahrzeug



Bild 5.18: SEG 6 mit geöffneter Elektrik an der Säule und Orientierungseinrichtung OCS 1

Auch der Ansaugtisch (mit jetzt weisser Oberfläche) war nun serienmässig. Neu war eine optionale motorische Vergrößerungsverstellung, die durch Anstossen der Fusscheibe gestartet und gestoppt wurde. Bild 5.18 zeigt auch die, bereits 1976 am SEG 5 vorgestellte, Orientierungseinrichtung OCS 1 zur numerischen Einpassung. Sie bestand aus der Positionsmessung projizierter Passpunkte mittels Seillängen im Bogenschlagverfahren, der zugehörigen elektronischen Zähl- und Interface-Einheit DIREC 1, dem angeschlossenen Tisch-

rechner HP 9815 und dem Orientierungsprogramm (HOBBIE 1976a). Mittels räumlichen Rückwärtseinschnittes wurden dann die Einstellwerte für Vergrößerung und Tischneigungen direkt berechnet.

Die Entwicklung von SEG 6 und OCS 1 war unter dem Titel "Automatische Entzerrung" durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert worden (HOBBIE 1979a).

Entsprechend des Fortschritts bei Elektronik und Rechnern wurde 1985 noch die Version OCS 2 mit DIREC 2 und HP 85 B vorgestellt (FAUST 1985). Bereits ein Jahr zuvor war über den Farbmischkopf CLS 2000 der Fa. DURST als Option berichtet worden (Faust 1984), der mit einer 2.000 W-Halogenlampe und einem dichroitischen Filtersatz eine stufenlos farbkorrigierte Belichtung ermöglichte (Bild 5.19). Dieses SEG 6 C war für professionelle Colorarbeiten gedacht.



Bild 5.19: Farbmischkopf CLS 2000 der Fa. Durst am SEG 6

SEG V bzw. 5 und SEG 6 waren weltweit ausserordentlich erfolgreich und nach dem zweiten Weltkrieg das meist verkaufte Entzerrungsgerät auf dem Markt. Insgesamt wurden etwa 400 Stück ausgeliefert, zusammen mit den SEG der Vorkriegszeit also ca. 700 Geräte.

### 5.3 RMK 21/18 mit TOPAR 4/210

In Jena waren vor dem Krieg seit 1932 zuletzt die Reihenmesskammer RMK P 21 mit dem Objektiv ORTHOMETAR 4,5/210 als Normalwinkelkammer (Bild 5.20) und ab 1936 die Weitwinkelkammern RMK P 10 (Bild 5.21), beide für das Bildformat 18 cm x 18 cm, sowie P 20/3030 für das Format 30 cm x 30 cm sehr erfolgreich gewesen. Schliesslich erschien 1938 noch die Stutzen-Reihenmesskammer HS 1818 mit auswechselbaren Objektiven  $f = 21$  cm und  $f = 10$  cm. Während die P 21 mit einem Kugellamellenverschluss Belichtungszeiten von  $1/75$  sec bis  $1/150$  sec ermöglichte, stand bei den Weitwinkelkammern mit dem TOPOGON 6,3/100



Bild 5.20: Normalwinkelkammer RMK P 21 (1932)



Bild 5.21: Weitwinkelkammer RMK P 10 (1936)

bzw. 6,3/200 und jeweils einem Drehscheibenverschluss der Bereich  $1/25$  sec bis  $1/200$  sec zur Verfügung. Der Film wurde mittels Druckluft oder Staudruck gegen die ebene Rückplatte angepresst.

Nach dem verlorenen Krieg waren zunächst alle Fragen der Luftfahrt scharfen Restriktionen unterworfen, und erst mit der Genehmigung für eine erste Kataster-Befliegung in Hessen im Frühjahr 1952 war eine Lockerung absehbar. In der Oberkochener Entwicklung war man jedoch nicht untätig geblieben und hatte eine völlig neue Reihenmesskammer konzipiert. 1952 wurde das neue Normalwinkelobjektiv TOPAR 4/210 (Bild 5.22) für das Bildformat 18 cm x 18 cm publiziert (RICHTER 1952) und auf dem Kongress in Washington mit grossformatigen Vergleichsaufnahmen von TOPAR und ORTHOMETAR die erreichbare Qualitätssteigerung vorge-



Bild 5.22:

Querschnitt des TOPAR  
1 : 4,  $f = 21$  cm (1952)

führt. Im Hinblick auf eine vergleichbare Bodenauflösung wurde eine Verdoppelung der Flughöhe und damit eine Vervierfachung der Flächenleistung möglich. Darüber hinaus war das TOPAR mit einer maximalen Verzeichnung von  $4\ \mu\text{m}$  nach damaligen Massstäben praktisch verzeichnungsfrei.

Auch bei der Vorstellung der vollständigen neuen RMK 21/18 (Bild 5.23) ein Jahr später auf dem 8. Internationalen Geometer-Kongress in Paris im Herbst 1953 wurden die 10-fach vergrösserten Leuchtdias bestaunt (N.N. 1953). Der neue, kontinuierlich drehende Rotationslamellenverschluss AEROTOP (Bild 5.24) mit zusätzlicher, langsamer drehenden Auswahllamelle und einer Einschlagblende zur Belichtungsfreigabe war patentiert worden (SONNBERGER 1954c) und ermöglichte Verschlusszeiten im Bereich von  $1/100\ \text{sec}$  bis  $1/1000\ \text{sec}$  bei einem Lichtwirkungsgrad von fast 90 %.



Bild 5.23: RMK 21/18 mit IRU (1953)

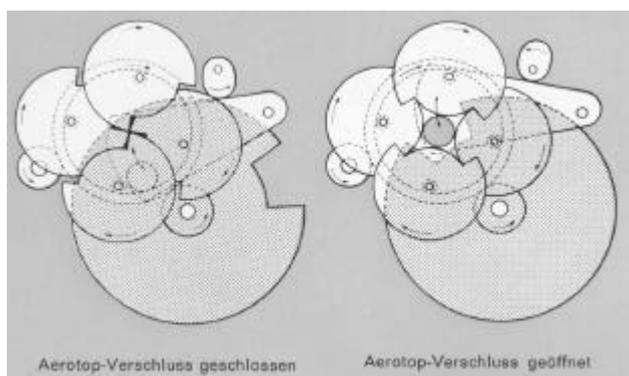


Bild 5.24: Rotationslamellenverschluss AEROTOP (Schema)

Auch in der ebenfalls völlig neu entwickelten Filmkassette waren etliche Details patentgeschützt (ZEISS 1954a, SONNBERGER 1954b & 1955, SONNBERGER et al. 1954). In ihr wurde der Film jetzt durch Ansaugung und damit zuverlässiger geebnet, auch die Gefahr der reibungsbedingten Verblitzungen war jetzt reduziert. Und es fanden jetzt 120 m statt nur 60 m Film Platz (BRUCKLACHER 1954). Der Universal-Überdeckungsregler IRU, ebenfalls patentiert (SONNBERGER 1954d), konnte kontinuierlich zwischen 20 und 90 % eingestellt werden und war als eigenständiges Gerät ausgeführt, so

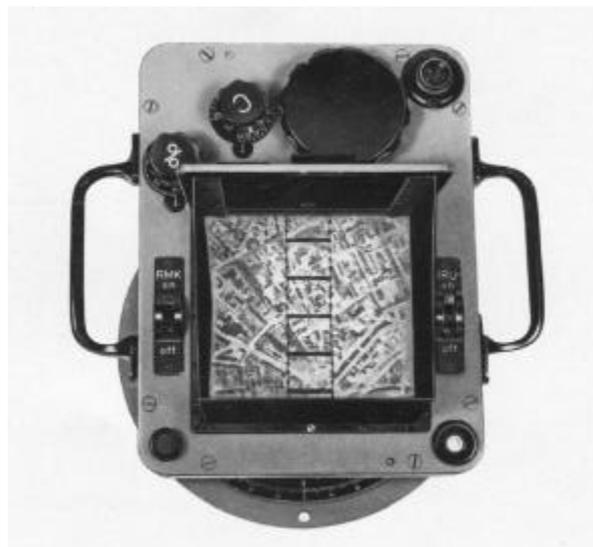


Bild 5.25: Universal-Überdeckungsregler IRU

dass es auch entfernt von der Kammer eingebaut werden konnte (Bild 5.25). Schliesslich war auch die Art der Einbelichtung von Hilfsabbildungen neu und zum Patent angemeldet worden (SONNBERGER 1954a).

Die RMK 21/18 wurde 1956 auch als Konvergenzkammer  $2 \times$  RMK 21/18 in einer besonderen Aufhängung (Bild 5.26) mit dem Ziel vorgestellt, grosse Modellflächen bei grossem Basisverhältnis zu liefern (BRUCKLACHER 1956 & ACKERMANN 1956). Dieser Ansatz wurde jedoch durch das zunehmend bevorzugte "amerikanische" Bildformat  $23\ \text{cm} \times 23\ \text{cm}$  ( $9'' \times 9''$ ) überflüssig.

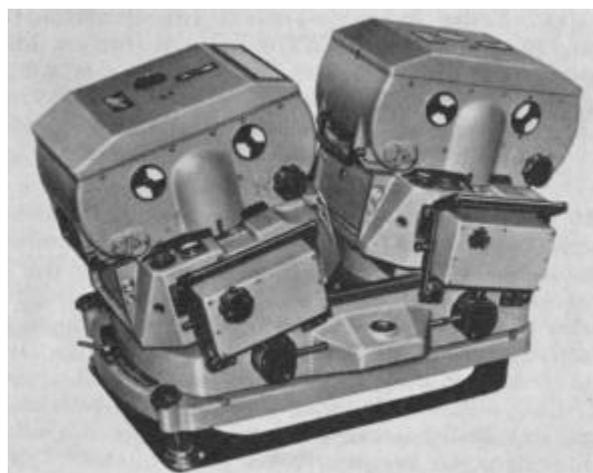


Bild 5.26: Konvergenzkammer  $2 \times$  RMK 21/18 (1956)

#### 5.4 RMK 15/23 mit PLEOGON 5,6/153

Bereits 1953 während der Premiere der RMK 21/18 befand sich ein neues Weitwinkelobjektiv für eine ebenfalls neue Reihennesskammer für dieses an Bedeutung gewinnende, in den USA eingeführte Bildformat  $9'' \times 9''$  in Entwicklung. 1955 wurde das bezüglich Bildebahnung, Randausleuchtung und chromatischer Korrektur erheblich verbesserte Weitwinkelobjektiv PLEOGON  $1 : 5,6$  vorgestellt (RICHTER 1955 & SCHWIDEFKY 1956a),



Bild 5.27: TOPOGON  
als Weitwinkelobjektiv  
von 1932

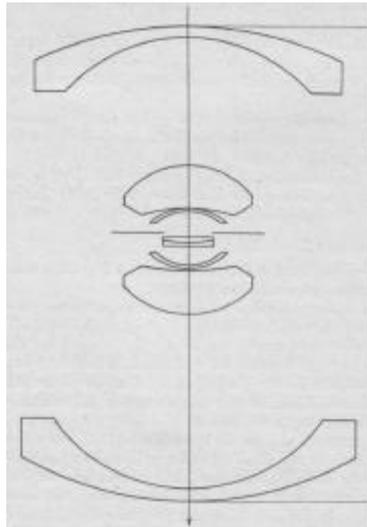


Bild 5.28:  
PLEOGON 5,6/153  
(1955)

welches aus dem 1932 entstandenen TOPOGON abgeleitet worden war (Bilder 5.27 & 5.28).

Das PLEOGON 5,6/153 mit einer Verzeichnung von  $5 \mu\text{m}$  (statt  $50 \mu\text{m}$  beim Weitwinkelobjektiv TOPOGON 6,3/100 in der RMK HS 1818 von 1938) war für die neue Reihemesskammer RMK 15/23 (Bild 5.29) vorgesehen, welche im Jahr darauf erstmals auf dem 8. Internationalen Kongress für Photogrammetrie 1956 in Stockholm vorgestellt wurde. Die RMK 15/23 war damit das erste Modell einer grossen erfolgreichen RMK-Familie aus Oberkochen für das Bildformat  $23 \text{ cm} \times 23 \text{ cm}$ , die zu Beginn dieselben Bauelemente und dasselbe Zubehör wie die RMK 21/18 aufwies, und mit vielen Detailverbesserungen und Ergänzungen, jedoch in der Grundkonstruktion unverändert, fast 35 Jahre lang gefertigt wurde. Nach zahlreichen Untersuchungen hatte man in Oberkochen ganz konsequent auf den ständig verbesserten Film gesetzt (BRUCKLACHER et al. 1956 & AHREND 1957), während der Schweizer Wettbewerb zunächst noch eine Plattenkammer angeboten hatte.

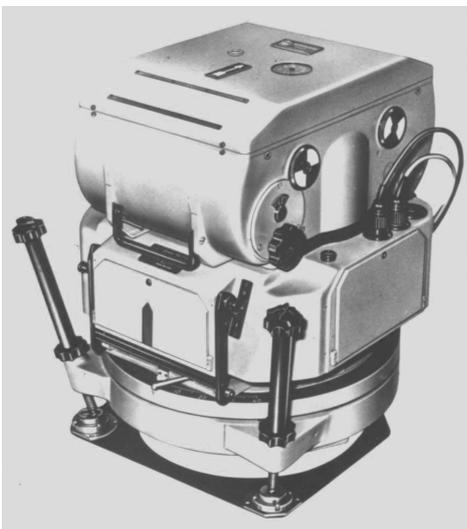


Bild 5.29: Reihemesskammer RMK 15/23 (1956)

### 5.5 Statoskop S 2 c

Ebenfalls 1956 in Stockholm wurde das neue registrierende Statoskop zur barometrischen Messung geringer Flughöhenänderungen vorgestellt, welche für die Aero-triangulation eine wertvolle Zusatzinformation waren (MEIER 1956). Dabei wurde eine Änderung des statischen Aussendruckes im Steigrohr kapazitiv-elektrisch abgegriffen und als analoge Zeigerstellung sowohl dem Piloten angezeigt als auch am Bildrand abgebildet. Um Temperatureinflüsse auszuschalten, befand sich der barometrische Glaskörper im Eis-Wasser-Gemisch eines Isoliergefässes (Bild 5.30). Die Genauigkeit der im Bildflug gemessenen Höhendifferenzen betrug 1 bis 2 m.



Bild 5.30: Statoskop S 2c von 1956

### 5.6 REDUKTOR

1956 wurde das in Oberkochen entwickelte Präzisions-Umbildeggerät REDUKTOR vorgestellt (Bild 5.31).



Bild 5.31: REDUKTOR (1956)

Bei der frühen Vielfalt der Luftbildkammern bezüglich der Aufnahmebrennweite (präziser: Kammerkonstante), des Bildformates (bis 30 cm x 30 cm) und einer zunächst noch nennenswerten Objektivverzeichnung einerseits, und der beschränkten Auswertemöglichkeiten der Stereoauswertegeräte andererseits, war es in manchen Fällen notwendig, die auszuwertenden Luftbilder optisch auf eine passende Kammerkonstante oder ein kleineres Bildformat umzubilden, oder aber die Verzeichnung optisch zu korrigieren bzw. zu reduzieren. Bereits vor dem zweiten Weltkrieg hatte es Verkleinerungsgeräte (z. B. im Hinblick auf die Auswertung im Aeroprojektor MULTIPLEX) und in Jena ab 1939 auch das Universal-Reduktionsgerät gegeben.

Das maximal nutzbare Format für die Bildebene und für die motorisch herauschwenkbare Filmkassette war

23 cm x 23 cm, der insgesamt durch das Gerät abgedeckte Vergrößerungsbereich betrug 0,18- bis 5,5-fach. Mit dem praktisch verzeichnungsfreien Standardobjektiv TOPAR 8/200 war eine Massstabsänderung zwischen 0,65- und 1,55-fach möglich, was in vielen Fällen ausreichte. Die Positionseinstellung von Objektivwagen und Filmkassette erfolgte an beleuchteten Skalen mit Schätzung auf 0,01 mm genau. Zur Korrektur von Luftbildern mit zu grosser Verzeichnung konnten speziell angepasste asphärische Korrektionsplatten geliefert werden (SCHWIDEFSKY 1956b).

Mit zunehmender Standardisierung der Luftbildkammern auf das Bildformat 23 cm x 23 cm und die für die Stereoauswertung dominierenden Aufnahmebrennweiten von 85 / 88 mm, 153 mm und 305 mm wurde der REDUKTOR ab etwa 1970 überflüssig.

## 6. Neuentwicklungen nach 1956

Bereits zwei bis drei Jahre nach Wiederbeginn in Oberkochen waren Stereoskope, Stereometer, RADIALSEKTOR I & II, Entzerrungsgerät SEG V und STEREOPLANIGRAPH C 7 und C 8 vorgestellt worden (SCHWIDEFSKY 1952a). Zum 8. Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Stockholm im Sommer 1956, also nach insgesamt 7 Jahren, war das Angebot von CARL ZEISS in Oberkochen und ZEISS-AEROTOPOGRAPH in München mit Laborgeräten, den vorher beschriebenen Neuentwicklungen STERETOP, den Reihenmesskammern RMK 21/18 und 15/23 samt Zubehör sowie dem REDUKTOR damit weitgehend abgerundet (HOFMANN 1956). In den darauf folgenden Jahren begann nun eine intensive Zeit der ständigen technologischen Modernisierung des Bildmess-Programms und von Neuentwicklungen als Folge neuer Kundenbedürfnisse. Der besseren Übersichtlichkeit halber soll die Schilderung der umfangreichen und vielfältigen Entwicklungsergebnisse dieser weiteren 45 Jahre der Oberkochener Photogrammetrie-Entwicklung zwischen 1957 und 2002 (dem Jahr der vollständigen Übergabe an die Fa. INTERGRAPH) in mehrere Kapitel unterteilt werden.

Eine mögliche Einteilung könnte sich an den überlappenden Technologiestufen der vergangenen Jahrzehnte orientieren:

- 1957 - 1980 *mechanisch-elektrische Phase,*
- 1973 - 1987 *elektronisch-rechnergestützte Phase,*
- 1984 - 2002 *digitale Phase.*

Demnach ergäben sich in Fortsetzung der bisherigen Gliederung, bezogen auf die dominierende Entwicklungstätigkeit und Technolo-

gie, in etwa folgende Epochen der photogrammetrischen Nachkriegsentwicklung in Oberkochen:

- 1948 - 1951 *Rekonstruktion,,*
- 1952 - 1956 *Erneuerung,*
- 1957 - 1973 *Analoge Geräte,*
- 1974 - 1987 *Analytische Systeme,*
- 1988 - 2002 *Digitale Systeme.*

Eine solche Gliederung erscheint hier nicht optimal, da dabei Instrumente für vergleichbare Anwendungen jeweils in verschiedenen Abschnitten dargestellt werden. Deshalb sollen im Folgenden die Geräte primär nach Aufgabenstellung gegliedert und teilweise über die verschiedenen Technologiestufen hinweg zusammenhängend beschrieben werden. Die im Folgenden bevorzugte, übergeordnete Unterteilung folgt demnach den in Bild 6.1 aufgeführten Anwendungsbereichen.

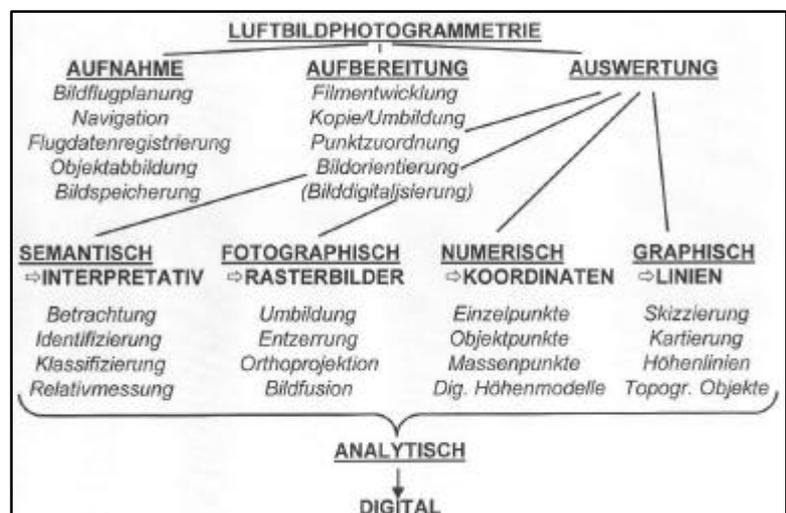


Bild 6.1: Die Arbeitsschritte in der Luftbildphotogrammetrie

Das sind neben der, bezüglich Gerätevielfalt, Stückzahlen und wirtschaftlichem Erfolg dominierenden, Luftbildphotogrammetrie (Kapitel 7 bis 12) im wesentlichen die terrestrische Photogrammetrie für topographische Situationen und für Objektvermessung (Kapitel 13), die nicht-topographischen Sonderanwendungen (Kapitel 14) sowie die zivile und militärische Fernerkundung (Kapitel 15), letztere auch als Aufklärung bezeichnet. Die für die Praxis interessanteste Luftbildphotogrammetrie soll entsprechend den Arbeitsschritten nach Aufnahme (Kapitel 7), Aufbereitung und Auswertung untergliedert werden.

## 7. Luftbildaufnahme

In der Verfahrenskette der Aerophotogrammetrie stehen die Luftbildmesskammern zu Beginn und haben damit für das Qualitätspotential der nachfolgenden Auswertung eine Schlüsselfunktion. Deshalb hatte CARL ZEISS Oberkochen (CZO) auch bald nach dem Wiederbeginn an die jahrzehntelange und erfolgreiche Vorkriegstradition angeknüpft und in den Jahren 1950 bis 1955 die Reihenmesskammer-Familie RMK, wie oben beschrieben, erneuert und damit eine erhebliche Leistungssteigerung erreicht. Mit zahlreichen Arbeiten beschäftigten sich die wissenschaftlichen Mitarbeiter bei CZO und ZA auch in der Folgezeit mit den Aspekten des Bildfluges und deren Wirkung auf die Bildqualität, was sich in regelmässigen Vorträgen bei den, zu dieser Zeit fast jährlich stattfindenden, Photogrammetrischen Wochen in München sowie in Veröffentlichungen niederschlug (BRUCKLACHER 1957, MEIER 1960a, SCHWIDEFSKY 1960a & 1960b). Als Folge begann man, sich insbesondere der Kontrastübertragungsfunktion und einer Kontraststeigerung zu widmen. Dieses führte schliesslich zu einer neuen Objektivgeneration mit der so genannten "A-Charakteristik".

### 7.1 RMK-Familie mit A-Charakteristik

Wissenschaftliche Veröffentlichungen hatten gezeigt, dass die höhere Remission von Blattgrün im Infrarotbereich bei Verwendung entsprechend sensibilisierter Luftbildfilme grössere Objektkontraste erzeugt und damit zu einer besseren Bildinterpretation im Vegetationsbereich führt. Während bisher überwiegend panchromatische Filme für Wellenlängen zwischen etwa 400 nm und 700 nm zum Einsatz kamen, war zukünftig mit einem gesteigerten Interesse an Infrarotemulsionen (bis 900 nm) zu rechnen. Deshalb wurde für das PLEOGON 5,6/153 die Objektivberechnung so geändert, dass nicht nur minimale chromatische Längsabweichung zwischen den Wellenlängen 435 nm und 500 nm besteht, sondern dass bis ins Infrarot bei 800 nm keine nennenswerte Fokusänderung mehr auftritt (Bild 7.1).

Bei der Auswertung wiederum ist eine Unterteilung nach semantischer, photographischer (Kapitel 8), numerischer (Kapitel 9) und primär graphischer Auswertung (Kapitel 10) sinnvoll. Nur die analytischen Stereoauswertegeräte und die digitalen photogrammetrischen Systeme erfordern eigene Kapitel 11 und 12, da sich bei ihnen die Anwendung mehr in der Software als im Gerätebau manifestiert. Andererseits sollen die wenigen Oberkochener Entwicklungen der neueren Zeit zu Aufbereitung und zu semantischer Auswertung nicht in eigenen Abschnitten, sondern an anderer, passender Stelle aufgeführt werden.

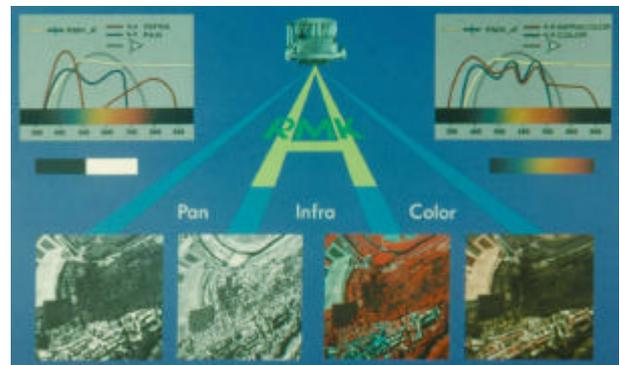


Bild 7.1 Achromatisch korrigierte Luftbildobjektive auch für Infrarot- und Colorfilme

Diese achromatische Korrektur wurde "A-Charakteristik" genannt. Sie gelang WOLFGANG ROOS und RUDOLF WINZER erstmals 1960 mit dem Weitwinkel-Objektiv PLEOGON A 5,6/153, welches 1961 in der RMK A 15/23 (Bild 7.2) in Serie ging (MEIER 1962).



Bild 7.2: RMK A 15/23 in Aufhängung AS II und mit IRU sowie Auslöseanzeige für den Piloten (1961)

Nach diesem Durchbruch wurden auch das Normalwinkelobjektiv TOPAR A 5,6/305 sowie in der Folgezeit ein Zwischenwinkelobjektiv TOPARON A 4/210 und ein Schmalwinkelobjektiv TELIKON A 6,3/610 mit der A-Charakteristik ausgestattet (Bild 7.3) und in entsprechenden Kammerstutzen RMK A 21/23, RMK A30/23

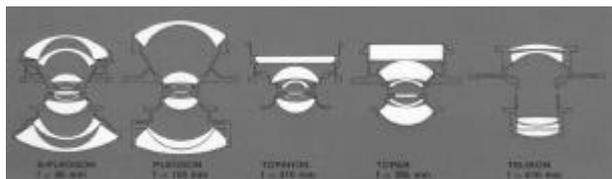


Bild 7.3: Objektivschnitte für die RMK A-Familie, hier bereits mit dem S-*PLEOGON* der RMK A 8,5/23



Bild 7.4: Die 5 Kammerstutzen der RMK A-Familie, hier bereits mit der 1968 vorgestellten RMK A 8,5/23

und RMK 60/23 (Bild 7.4) in zeitlich enger Folge bis 1964 jeweils erstmals ausgeliefert (MEIER 1964b).

Schliesslich wurde von den beiden wichtigen Brennweiten 15 cm und 30 cm ab 1963 auch je eine Reseau-Variante RMK AR 15/23 und RMK AR 30/23 mit einer patentierten Anordnung des Reseau-Gitters (MEIER 1964d) angeboten. Diese Reseau-Kammern waren von der Praxis im Hinblick auf eine höhere Messgenauigkeit gefordert worden, wurden dann jedoch wegen des erheblich grösseren Messaufwandes kaum nachgefragt.

Alle Kammerkörper (Stutzen) passten in die schwingungsgedämpfte Standardaufhängung AS II (Bild 7.2) mit Horizontiervorrichtung und Drehmöglichkeit zur Abdriftkompensation. Die in allen Stutzen einsetzbare Filmkassette FK 24/120 für 120 m unperforierten Film war mit einer, während des Filmtransports abhebbaren, Ansaugplatte, einer Filmtransportanzeige, einer Markiervorrichtung und einem lichtdicht verschliessenden Schieber versehen und konnten deshalb schnell und unkompliziert während des Bildfluges gegen weitere Kassetten ausgetauscht werden. Filmtransport, Anhebung der Andruckplatte und Ansaugung wurden durch elektrische Motoren und eine Vakuumpumpe im Kammerkörper erzeugt, so dass die Kassette ohne jede Elektrik auskam.

Im Rahmen der Entwicklung wurden Objektive und Kammerkörper zum Nachweis ihrer Robustheit und Stabilität in Kälte- und Wärmekammern ausführlich Temperaturen von  $-50^{\circ}$  bis  $+50^{\circ}$  Celsius ausgesetzt, in einer Zentrifuge bis 12 g beschleunigt, auf dem

Schwingtisch (Bild 7.5) im Frequenzbereich zwischen 4 und 3.000 Hertz bei einer maximalen Beschleunigung zwischen 4 und 8 g gerüttelt, sowie auf einem Sandfallwerk (Bild 7.6) durch Fall aus 70 cm Höhe Stössen von 12 g ausgesetzt (MEIER 1964a).

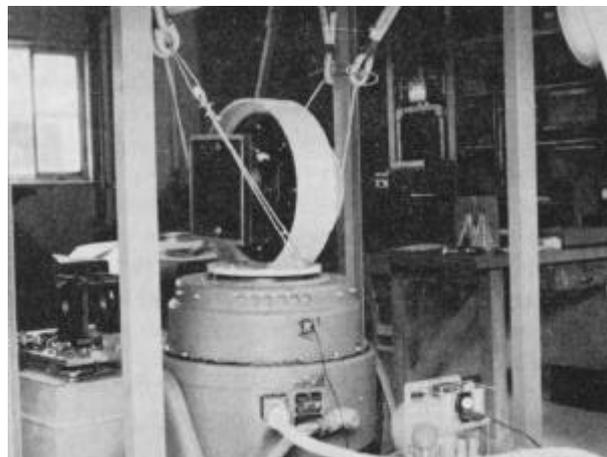


Bild 7.5: Schwingtisch mit Objektiv-Stutzen der RMK

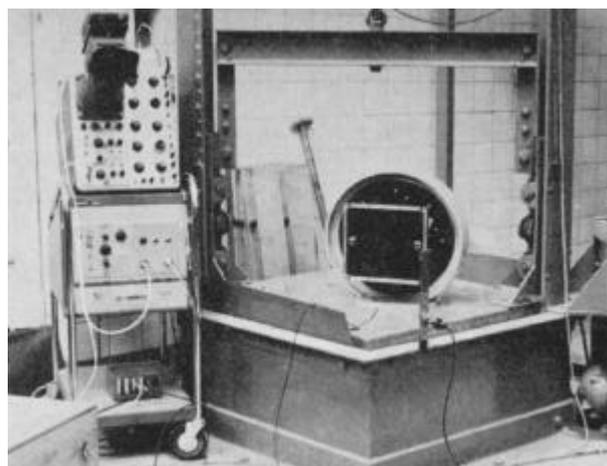


Bild 7.6: Fallwerk mit Objektiv-Stutzen der RMK

Alle Kammerstutzen der RMK A-Familie waren mit den gleichen Nebenabbildungen ausgestattet (Bild 7.7). Neben dem Bildzähler war das die Anzeige von Dosen-Barometer oder Statoskop, Dosenlibelle, Uhr und einer beschreibbaren Tafel. Die für die ZEISS RMK typischen Mitten-Rahmenmarken wurden mit natürlichem Objektlicht beleuchtet, auf besonderen Wunsch und insbesondere für den US-Markt konnten zusätzliche Eckenmarken eingebaut und ebenfalls kalibriert werden.



Bild 7.7: Nebenabbildungsleiste der RMK A-Familie

Für die verschiedenen Anwendungen standen für die RMK-Familie Vorsatzfilter zur Verfügung, die als Kan-

tenfilter von Filter A (Halbwerts-Transmission bei 440 nm) bis Filter K (700 nm) angeboten wurden. Die wichtigsten Filter B (480 nm, "Gelbfilter") und D (535 nm, "Orangefilter") gehörten jeweils zur Standardausstattung.

Wie schon erwähnt wurden sowohl Kammerkörper als auch die Geräte-Peripherie in der Folgezeit ständig in Details verbessert, was jeweils in nächsten Serien Eingang fand. Das galt durch verbesserte Rechenmöglichkeiten und im Hinblick auf gesteigerte Anforderungen, z. B. Farbbilder (MEIER 1967), ganz besonders für die Objektive, wie die Genealogie des Weitwinkelobjektivs PLEOGON zeigt:

- 1955: PLEOGON 5,6/153,
- 1960: PLEOGON A 5,6/153,
- 1965: PLEOGON A1 5,6/153,
- 1968: PLEOGON A2 5,6/153,
- 1971: PLEOGON A 4/153,
- 1974: PLEOGON A2 4/153,
- 1988: PLEOGON A3 4/153.

## 7.2 Überweitwinkelkammer RMK A 8,5/23

Bereits auf der Photogrammetrischen Woche 1962 in München war die Bedeutung von so genannten "Überweitwinkelkammern" diskutiert worden, um insbesondere für die gering besiedelten Gebiete in den Entwicklungsländern die dringend benötigten Topographischen Karten im Massstabsbereich 1 : 25.000 bis 1 : 100.000 zügig und wirtschaftlich erstellen zu können, und um bei der begrenzten Gipfelhöhe der verfügbaren Bildflugzeuge einen geeigneten, genügend kleinen Bildmassstab erzeugen zu können. Das Problem mit bisherigen "ÜWW"-Kammern war jedoch der Lichtabfall durch den grossen Bildwinkel in Verbindung mit stärkerem Dunst bei den grossen Flughöhen.

Daraufhin entschloss sich ZEISS, die RMK-Familie durch eine Überweitwinkelkammer zu ergänzen. Bereits in Jena hatte RICHTER 1941 das PLEON 8/7,25 mit einem Öffnungswinkel von 148° gerechnet, welches zu Gunsten einer brauchbaren Ausleuchtung am Bildrand eine beträchtliche Verzeichnung aufweisen musste. Mit diesem Objektiv im Reihenbildner Rb 7/18 waren bis 1945 grosse Teile Nordafrikas photogrammetrisch ausgewertet worden, wobei die Verzeichnung in einem speziellen PLEON-Umbildegerät kompensiert werden konnte. 1967 gelang es ROOS und WINZER, aus dem PLEOGON A das S-PLEOGON A 4/85 mit einem Öffnungswinkel von 125° abzuleiten, welches mit der zuvor unerreichten Öffnung 1 : 4 und nur 7 µm Verzeichnung (statt der vorher üblichen 30 µm bis 50 µm) erstaunlich leistungsstark war.

Der bei diesem grossen Bildwinkel problematische Lichtabfall nach dem  $\cos^4$ -Gesetz würde ohne weitere

Massnahmen in den Ecken nur noch etwa 6 % der Mithelligkeit ergeben. Deshalb wurde entsprechend einem Patent von ROOSSINOV von 1946 durch Vergrößerung der Eintrittspupillen (Bild 7.8) mit zunehmendem Bildwinkel  $\alpha$  der Lichtabfall auf  $\cos^3 \alpha$  entsprechend 25 % verringert werden. Mit einem Antivignetting-Filter mit 33 % Mithelligkeit wurde dann dieser Lichtabfall in der, 1968 auf dem Kongress in Lausanne vorgestellten, RMK A 8,5/23 (MEIER 1968) weiter reduziert und war damit kaum noch störend. Dieses Filter wurde bald darauf nach einem patentierten Verfahren auch für Farbaufnahmen optimiert (MOTTWEILER et al. 1969).

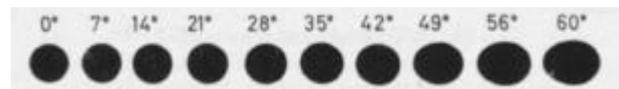


Bild 7.8: Eintrittspupillen des S-PLEOGON 4/85 in Abhängigkeit vom Bildwinkel

Schliesslich wurde der Lichtwirkungsgrad bei den Blendenstufen 1 : 4 bzw. 1 : 8 auf 89 % bzw. 92 % dadurch erhöht, dass der Bereich der Verschlusszeiten bei dieser Kammer von 1/100 sec - 1/1000 sec auf 1/50 sec - 1/500 sec abgeändert wurde. Dieses war jedoch wegen der in der Regel höheren Flughöhe und damit geringeren Bildwanderung nicht störend.

Diese Überweitwinkelkammer erforderte wegen des extremen Öffnungswinkels einen tieferen Einbau im Flugzeug und damit eine spezielle Aufhängung AS V (Bild 7.9), in die dann mit Adapter auch die übrigen RMK-Stutzen eingesetzt werden konnten.



Bild 7.9: Überweitwinkelkammer RMK A 8,5/23 mit Aufhängung AS V (1968)

## 7.3 Geräte zur Kammersteuerung

Seit Vorstellung der ZEISS RMK 21/18 und der ZEISS RMK 15/23 in den Jahren 1953 bzw. 1956 erfolgte die Bedienung zunächst unmittelbar am Kammerstutzen und die automatische Belichtungsauslösung durch den getrennten Überdeckungsregler IRU. Dazu hatte der Operateur die Kammer einzuschalten, entsprechend der Abdrift Kammer und IRU auszurichten und die Ge-

schwindigkeit der Sprossenketten im IRU ständig mit dem, auf die Mattscheibe projizierten, Gelände zu synchronisieren. Die Navigation erfolgte primär durch den Piloten.

Die Erfahrung mit dieser Ausrüstung in verschiedenen Flugzeugen verlangte zunehmend nach weiteren Hilfsmitteln zu Navigation und Bedienung, so dass 1964 mit der ersten Komplettierung der RMK-Familie auch ein neues Navigationsteleskop und eine Fernsteuerung vorgestellt wurden (MEIER 1964a), um dem Operateur die sichere Navigation zu ermöglichen, und andererseits die Kammer bei beengten Verhältnissen auch aus einigem Abstand, z. B. vom Sitz des Kopiloten aus, betreiben zu können. Das Navigationsteleskop NT 1 (Bild 7.10) war mit einem Weitwinkelobjektiv (Bildwinkel  $90^\circ$ ) ausgestattet, dessen optische Achse vorausschauend fest um  $40^\circ$  umgelenkt war. Damit reichte das Gesichtsfeld von  $5^\circ$  unter dem Horizont bis  $5^\circ$  hinter den Nadirpunkt. Das in der Einblickhöhe abstimmbare Teleskop war mittels einer Dosenlibelle horizontierbar und für Abdriftausgleich und Seiten- oder Rückblick voll drehbar. Eine Strichplatte im Gesichtsfeld zeigte Nadirpunkt, Streifenachse sowie die seitlichen Streifengrenzen für Weit- und Normalwinkelaufnahmen an.

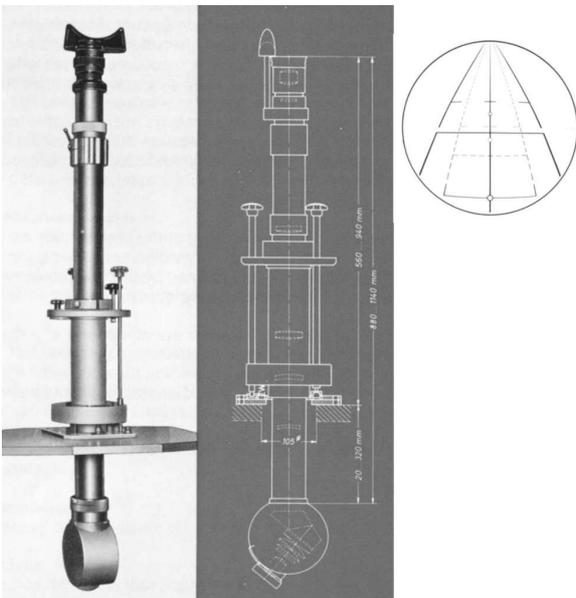


Bild 7.10: Navigationsteleskop NT 1 (1964)

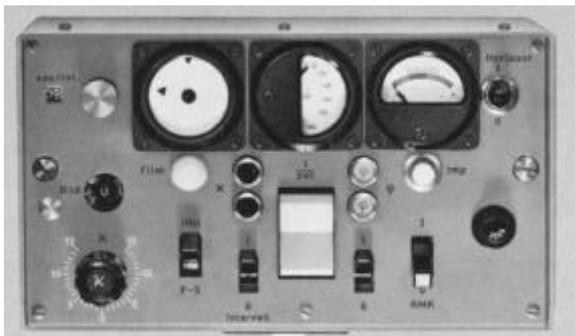


Bild 7.11: Bedienfeld der Fernsteuerung FS 2 (1964)

Bereits mit der einfachen Fernsteuerung FS 1 war es möglich, den am IRU eingestellten Driftausgleich per Potentiometerabgriff auf Servomotoren der Kammeraufhängung zu übertragen, wenn der Operateur nicht in Kammernähe Platz fand. Die Fernsteuerung FS 2 (Bild 7.11) erlaubte es darüber hinaus, von einem beliebigen Platz im Flugzeug alle wesentlichen Funktionen der RMK zu bedienen und zu kontrollieren:

- *Kammerhorizontierung in Flugrichtung ( $f$ ) zum automatischen Ausgleich der sich ändernden Flugzeugtrimmung im Bereich von  $\pm 5^\circ$  mit einer Genauigkeit von  $0,5^\circ$ ,*
- *Einstellung der Abdrift (?) im Bereich von  $\pm 15^\circ$  mit einer Genauigkeit von  $0,3^\circ$  und einer Geschwindigkeit von maximal  $1^\circ/\text{sec}$ ,*
- *Einstellung der Belichtungszeit im Bereich von  $1/100$  sec bis  $1/1000$  sec,*
- *automatische Belichtungsauslösung entsprechend der vorgewählten Bildfolgezeit zwischen 2 und 60 sec, oder durch den parallel geschalteten Überdeckungsregler IRU, sowie auch Einzel- und Reihenauslösung,*
- *Fernkontrolle von Belichtungszeit, Belichtungszeitpunkt, Vakuum zur Filmplanlegung, Filmtransport, Bildnummer sowie Einlauf von Abdrift (?) und Horizontierung ( $f$ ).*

Hervorzuheben ist die Anzeige des Belichtungszeitpunktes mit einer weissen Sichtscheibe (im Bedienfeld links), die den Piloten die vor einer nächsten Belichtung verfügbare Zeit für Flugkorrekturen abschätzen lässt.

1973 wurde eine überarbeitete Version der Geräte zur RMK-Steuerung vorgestellt: ein verbessertes IRU als NS 1 und der Intervallkontroll-Computer ICC als getrenntes Steuerkästchen (Bild 7.12), in dem jetzt nach Voreinstellung von Aufnahmebrennweite  $f$  und gewünschter Längsüberdeckung  $p$  mit dem, vom NS 1 erhaltenen, Signal zur Winkelgeschwindigkeit  $v/h$  das Auslösesignal für die Belichtung erzeugt und an den Kammerverschluss weitergegeben wurde. Diese veränderte Konfiguration hatte den Vorteil, dass an Stelle des NS 1 das ebenfalls neue Navigationsteleskop NT 2 verwendet werden konnte, in das (ausser den Kontrollanzeigen für aktuelle Blende und Belichtungszeit) ein Überdeckungsregler integriert und in das Teleskop-Gesichtsfeld eingespiegelt war (Bild 7.13).

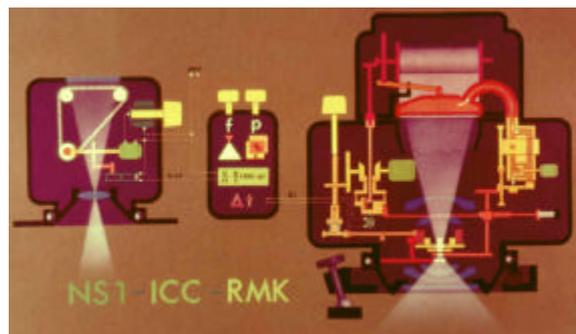


Bild 7.12: Kammersteuerung mit Intervallkontroll-Computer ICC und Navigationssensor NS 1 (1973)

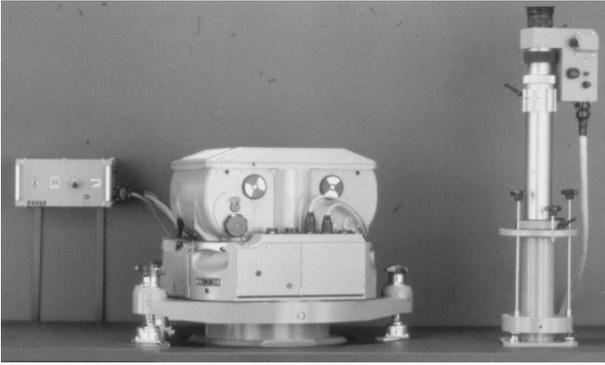


Bild 7.13: RMK A 8,5/23 mit Intervallkontroll-Computer ICC und Navigationsteleskop NT 2 (1973)

Seit 1968 hatte ZEISS für seine Reihenmesskammern auch den Belichtungsmesser EMI 1 (Expositions Messgerät Integral) angeboten. Dabei handelte es sich um einen handelsüblichen Belichtungsmesser, dessen lichtempfindlicher Photowiderstand in einem Trichter unterhalb der RMK angebracht war. Die sich daraus in Verbindung mit Filmempfindlichkeit, Filterfaktor und zulässiger Belichtungszeit ergebende Blende musste der Operateur dann von Hand einstellen.

Die automatische Anpassung dieser Blendeneinstellung in Abhängigkeit von den momentanen Lichtverhältnissen wurde 1972 mit dem EMI 2 realisiert (MEIER 1972b). Der Sensor befand sich nun direkt neben der Frontlinse in einem Trichter mit einem Öffnungswinkel von  $70^\circ$ , die Einstellung von Filmempfindlichkeit und Filterfaktor erfolgte direkt an der Elektronik seitlich am Kammerstutzen (Bild 7.14). Bild 7.15 zeigt das entsprechende Blockschaltbild. Die aktuelle Belichtungszeit wurde direkt am vorhandenen Tachogenerator des Rotationslamellenverschlusses abgegriffen.

1976 schliesslich präsentierte ZEISS die patentierte Belichtungsautomatik EMI 3 (FELLE 1974a & 1974b), die gegenüber dem EMI 2 zusätzlich, und zwar primär, die Belichtungszeit einstellte, unter Berücksichtigung der zulässigen Bildwanderung (LORCH 1976). Während die Einstellungen wiederum an der EMI-Elektronik im Kammerkörper erfolgten, befanden sich die Anzeige von aktueller Blenden- und Belichtungszeiteinstellung sowie die Kontrolllampen für Unter-/Überbelichtung und Überschreitung der zulässigen Bildwanderung am Navigationsgerät, z. B. dem NT 2 (Bild 7.16).

Die Steuerung im EMI 3 geschah derart, dass zunächst nur im optimalen Blendenbereich geregelt wurde, und erst bei Erreichen der - wegen des eingestellten Bildwanderungsgrenzwertes - längstmöglichen Belichtungszeit auch der volle Blendenbereich genutzt wurde. Für besondere Fälle konnte die Automatik auch vorübergehend abgeschaltet und auf manuelle Einstellung übergegangen werden.

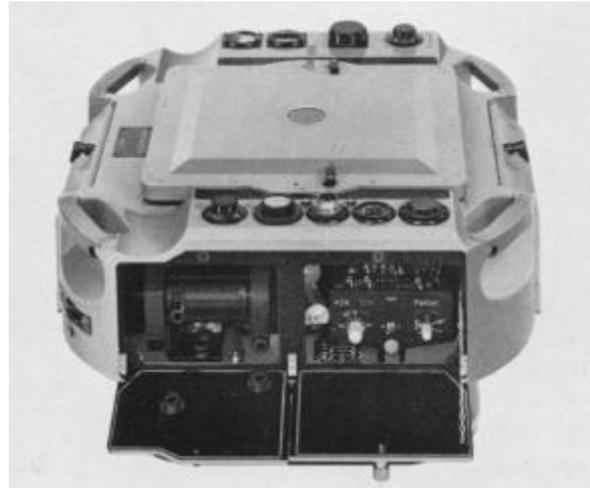


Bild 7.14: Belichtungsmesser EMI 2 in RMK A 15/23 (1972)

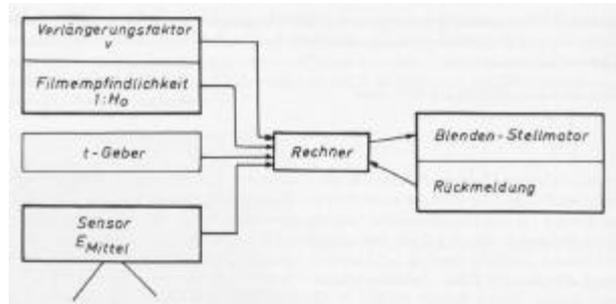


Bild 7.15: Blockschaltbild der automatischen Belichtungssteuerung mit EMI 2

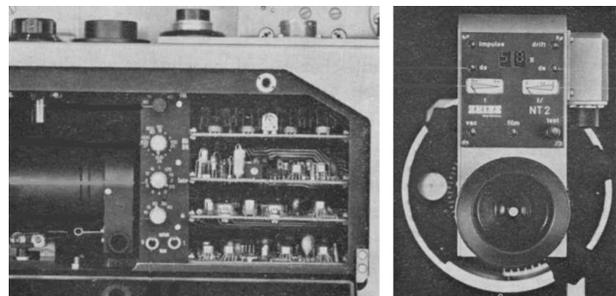


Bild 7.16: Belichtungsmesser EMI 3 und Anzeigen am Navigationsteleskop NT 2 (1976)

Während der EMI 3 auf dem Internationalen Kongress 1976 in Helsinki vorgestellt wurde, befand sich bereits der Navigationsautomat NA in Entwicklung, um jetzt auch die Überdeckungsregelung und die Abdriftsteuerung zu automatisieren. Diese, 1977 vorgestellte, neue Navigationsvariante konnte zusammen mit dem inzwischen angebotenem Fernbedienungsmodul CCON/NM z. B. an Stelle von Navigationssensor NS 1 oder Navigationsteleskop NT 2 (bzw. zusätzlich) eingesetzt werden (Bild 7.17). Die manuelle Bedienung und Umschaltung auf NA-Steuerung erfolgte dabei vom Modul CCON/NM aus (Bild 7.18), welches in der Regel nahe dem NT 2 angebracht war (LORCH 1977). Damit konnte der Navigator gleichzeitig Kammer-Operateur sein. Bild 7.19 zeigt eine typische Anordnung, in der auch die motorgetriebene Einstreuung der vom NA gemessenen Abdrift (DCON) gekennzeichnet ist, ebenso die automa-

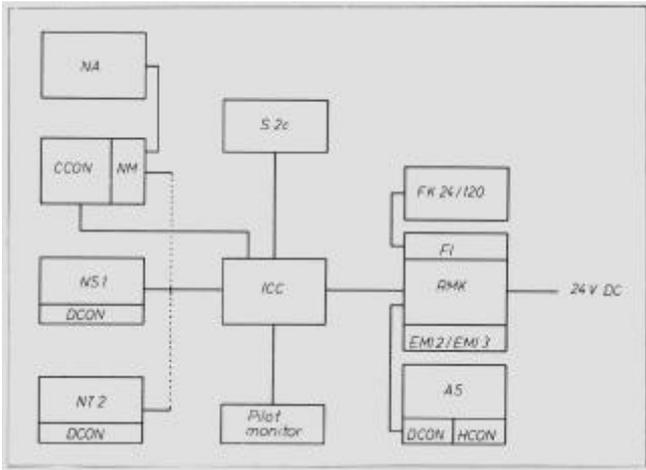


Bild 7.17: Blockschaltbild der Kammersteuerungsvarianten

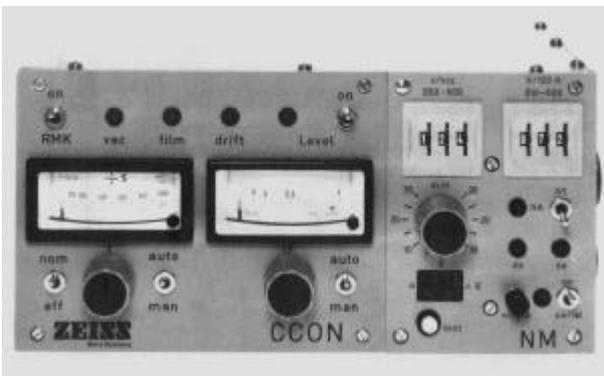


Bild 7.18: Bedienfeld der Kammersteuerung CCON (1976)

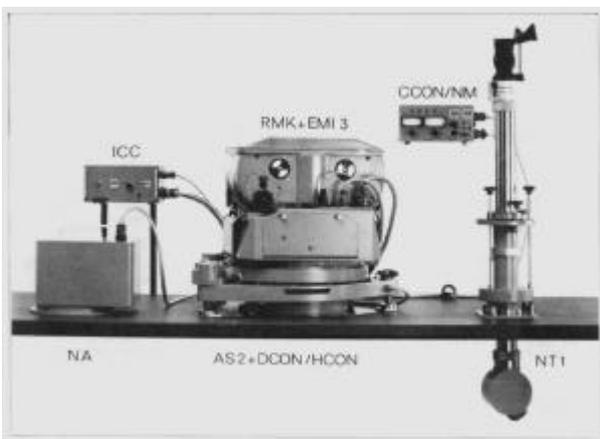


Bild 7.19: Kammerkonfiguration mit Navigationsautomat NA und NT 1 (1977)

tische Horizontierung HCON, die durch, inzwischen auf dem Markt verfügbare und bei Kunden zunehmend eingesetzte, Trägheitsnavigationssysteme angesteuert wurde. Der NA hatte etwa die Abmessungen wie der NS 1 und konnte z. B. an dessen Stelle oder, da er keine Bedienelemente hatte, auch an unzugänglicher Stelle eingebaut werden.

Das patentierte, optische Messprinzip des NA (PRINZ et al. 1976) bestand aus einem System von Zylinderlinsen, die die sich im Gesichtsfeld bewegende Geländestruktur in zwei zueinander senkrechte Bewegungskompo-

nenten zerlegte. Jeweils senkrecht zu einer Bewegungsrichtung waren zwei zueinander parallele Diodenzeilen angeordnet. Aus dem Zeitunterschied, mit dem identische Strukturen auf diese beiden Zeilen abgebildet wurden, ergab sich dann die betreffende Geschwindigkeitskomponente. Bei Ausrichtung parallel zum Flugzeug konnte somit der v/h-Wert und der Abdriftwinkel bestimmt und an die Steuereinheiten CCON und DCON weitergeleitet werden. Inclusive aller sonstigen Fehlerinflüsse beim Bildflug erreichte dieser Navigationsautomat eine Genauigkeit von  $\pm 2,5\%$  für die Längsüberdeckung und von  $\pm 1,5^\circ$  für den Abdriftwinkel und damit eine ausreichende, auch manuell kaum zu übertreffende, Genauigkeit.

Die erwähnten, für zivile Anwendungen immer erschwinglicher werdenden Trägheitsnavigationssysteme führten dazu, dass auch immer häufiger der Wunsch nach Einbelichtung der erzeugten Navigationsdaten (Länge, Breite, Höhe, Längs- und Querneigung, Azimut) in den Nebenabbildungen der RMK-Aufnahmen auftrat. Dafür wurde 1980 das Datenanzeigesystem DAS vorgestellt (MEIER 1980). Bild 7.20 zeigt die Daten (Aufnahmeort, Aufnahmerichtung, Zeitpunkt) des LITON Inertial Navigationssystems PICS, welches auf der Basis der Trägheitsnavigationssysteme LTN-72 bzw. LTN-76 die automatische Flugnavigation ermöglichte (BRULAND 1981).



Bild 7.20: Nebenabbildungen des DAS zur RMK (1980)

## 7.4 RMK A im Weltraumeinsatz

Als 1972 in den USA der erste zivile Erderkundungssatellit LANDSAT gestartet wurde, entstand auch bei den deutschen Geowissenschaftlern der Wunsch, in der Bundesrepublik ein Fernerkundungsprogramm aufzulegen. Eines der Ziele war es, sich zukünftig an globalen Erdbeobachtungssystemen mittels Satelliten beteiligen zu können. Nachdem das Bundesministerium für Forschung und Technologie 1974 eine Förderung zusagte, fasste man den Entschluss, für das in Entstehung befindliche europäische Raumlabor auch ein Experiment METRIC CAMERA (BILD 7.21) vorzuschlagen (KONECNY 1979).

Bild 7.21:  
METRIC CAMERA-Logo  
zur SPACELAB 1 - Mission



1977 akzeptierte dann die europäische Weltraumbehörde ESA für das noch in Entwicklung befindliche SPACELAB das vorgeschlagene Experiment, eine ZEISS Reihenmesskammer für den Weltraumeinsatz zu adaptieren (SCHROEDER 1977). Da diese Bilder unmittelbar mit photogrammetrischen Auswertegeräten analysiert werden könnten, sollte mit dem für 1980, dann für 1982 vorgesehenen Start des SPACELAB 1 herausgefunden werden, welchen Beitrag Weltraumbilder zur Lösung kartographischer Probleme im kleinen und mittleren Massstabsbereich leisten können (LORCH 1979). Die

Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt DFVLR untersuchte in Hochbefliegungen mit je einer RMK A 30/23 und RMK A 60/23 die empfehlenswerte Film-/Filterkombination (SCHROEDER 1979) und ZEISS erstellte im Auftrag der DFVLR, zusammen mit der Fa. MESSERSCHMITT-BÖLKOW-BLOHM eine Studie "Experimentdefinition". Die notwendigen Modifikationen an der vorgesehenen serienmässigen RMK A 30/23 betrafen im Wesentlichen nur die elektrische Anpassung der Schnittstellen an das SPACELAB und eine Gewichtsreduzierung des mechanischen Kammerkörpers. Bild 7.22 zeigt die für den Flug vorgesehenen Komponenten.

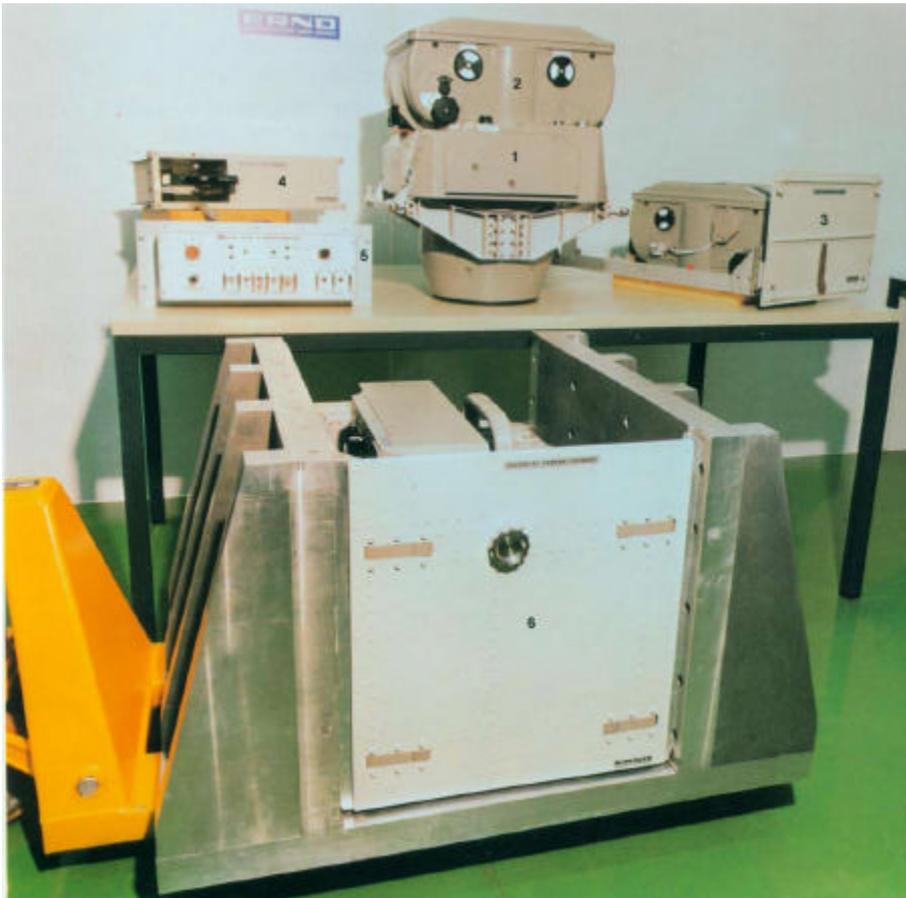


Bild 7.22: Flugausrüstung der METRIC CAMERA mit Kammerkörper (1), Filmmagazin (2), Zweitmagazin in Schublade (3), Filter in Behälter (4), Fernbedienung (5) und Kamera-Behälter (6)

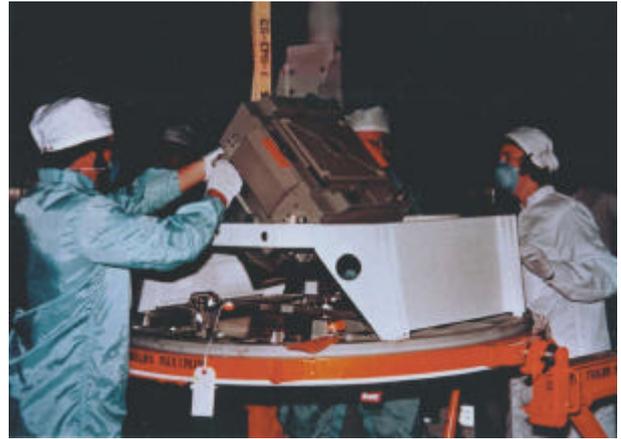


Bild 7.23: Einbau der RMK A 15/23 für die SPACELAB-Mission

Der Einbau der Kammer in das Spacelab erfolgte bei der beteiligten Raumfahrtfirma Fa. ERNO-MBB (Bild 7.23). Der Flug fand nach zahlreichen Terminverschiebungen schliesslich vom 28.11. bis 8.12.1983 in einer Höhe von 250 km statt.

Trotz des Startzeitpunktes während der ungünstigen Jahreszeit auf der Nordhalbkugel konnten nahezu 1.000 Aufnahmen auf den in zwei Filmkassetten FK 24/120 mitgeführten Infrarot-Farb- und Schwarz-Weiss-Filmen erfolgreich aufgenommen und später durch über 100 "Principal Investigator" ausgewertet werden (KONECNY 1984). Ein während des Fluges aufgetretenes Bedienungsproblem konnte, dank dieser nahezu serienmässigen und praxiserprobten Reihenmesskammer, per Ferndiagnose und mit Hilfsanweisungen von Oberkochen aus behoben werden.

Eine sehr schöne Bilderauswahl zeigte der begehrte ZEISS-Kalender des Jahres 1985, eine dieser Aufnahmen zeigt Bild 7.24.

Leider kam wegen der Challenger-Katastrophe im Januar 1986 ein eigentlich vorgesehener Wiederflug zu einer günstigeren Jahreszeit - und dann schon mit einer inzwischen fertig entwickelten Bildwanderungskompensation (siehe Kapitel 7.5) - nicht mehr zum tragen.



*Bild 7.24: Das "Horn von Afrika", aufgenommen mit der ZEISS RMK A 30/23 (METRIC CAMERA) auf KODAK Infrarot-Farbfilm beim Spacelab-Flug vom 28.11 bis 08.12.1983 (Photo: ESA/DFVLR)*

## 7.5 Bildwanderungskompensation

Nachdem bereits Mitte der 1970er Jahre die Luftbildmesskammern der grossen Herstellerfirmen bezüglich Geometrie und Bildqualität (MEIER 1975a, 1975b & 1980) einen sehr hohen Leistungsstand erreicht hatten, stellte sich die Frage, ob dieses Niveau noch zu steigern wäre. Damit trat das Bemühen in den Vordergrund, die Bildwanderung (Bild 7.25) als nun grössten verbleibenden Störfaktor zu kompensieren. Insbesondere die Aussicht auf eine weitere deutliche Qualitätssteigerung in der Bildflugpraxis motivierte die Entwickler (Bild 7.26).

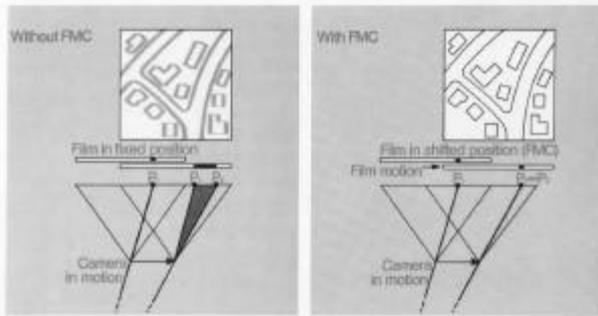


Bild 7.25: Prinzip der Bildwanderungskompensation

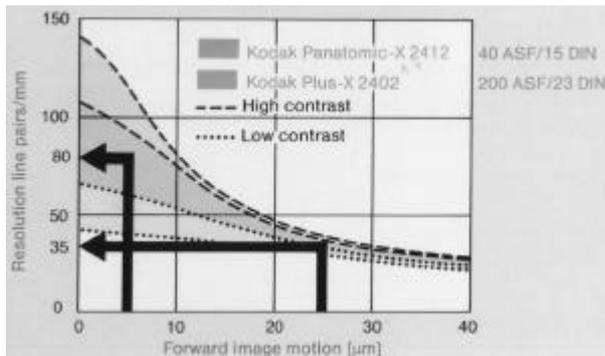


Bild 7.26: Resultierende Qualitätssteigerung durch Bildwanderungskompensation im Luftbild

Nachdem der VEB CARL ZEISS JENA GmbH als erster Anbieter 1982 den Bildwanderungsausgleich in der neuen Luftbildmesskammer LMK eingeführt hatte, intensivierte auch CARL ZEISS, Oberkochen entsprechende Bemühungen und konnte 1984 auf dem Internationalen Kongress für Photogrammetrie und Fernerkundung in Rio de Janeiro ein modifiziertes Filmmagazin mit Bildwanderungsausgleich vorstellen (HOBBIE 1984b). Zuvor hatte man in längeren Studien sichergestellt, dass trotz einer Filmbewegung während der Belichtung die geometrische Genauigkeit nicht vermindert sein muss (MEIER 1985b), und dass es eine beherrschbare technische Lösung für eine sichere und präzise Filmbewegung gibt.

Daraufhin war auf Basis der Filmkassette FK 24/120 die Kompensations-Kassette CC 24 als Magazin mit Bildwanderungskompensation entwickelt worden. Die CC 24 war durch das zusätzliche Steuermodul CC Con zum RMK-System voll kompatibel (Bild 7.27). CC Con

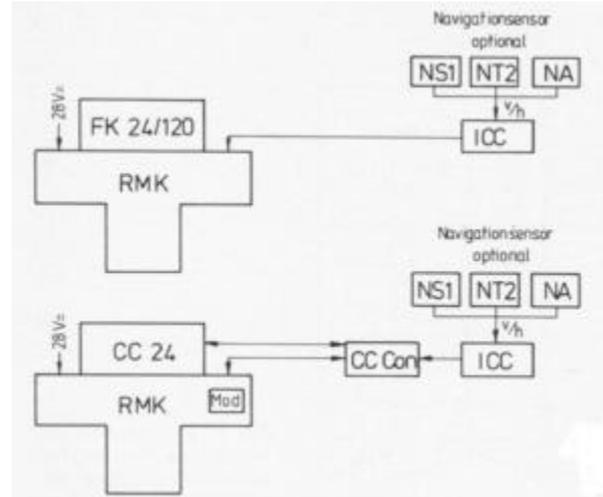


Bild 7.27: Konfigurationsschema für FK 24/120 und CC 24

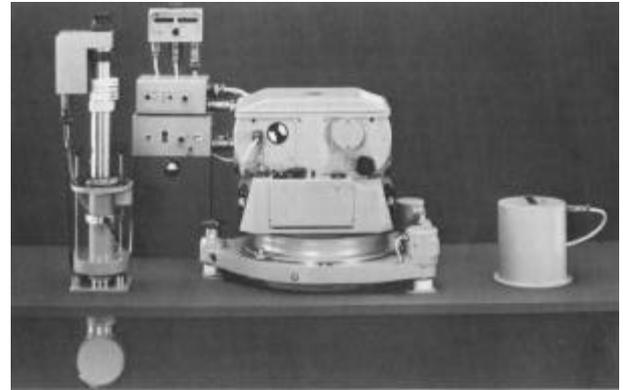


Bild 7.28: RMK-Konfiguration mit CC 24, CC Con, NA und NT 2 zur automatischen Bildwanderungskompensation

befand sich an der Steuereinheit ICC (Bild 7.28) und die einzigen Bedienelemente daran waren der Ein-/Aus-Schalter für das FMC (Forward Motion Compensation) und die Einstellung der Aufnahmebrennweite. Damit, und mit dem  $v/h$ -Wert aus dem ICC, konnte nun die notwendige Bildverschiebung bestimmt werden. Die mögliche Transportgeschwindigkeit war bei der CC 24 maximal 30 mm/sec, bei einer längsten Belichtungszeit von 1/100 sec betrug dann für diesen Fall die Verschiebung während der Belichtung 0,3 mm (MEIER 1984).

Wegen der überzeugenden Qualitätssteigerung (LORCH 1986), vor allem in grösseren Bildmassstäben, wurde die Bildwanderungskompensation schnell eine Grundforderung in entsprechenden Bildflugausschreibungen. Ab 1987 konnte dann auch auch WILD Heerbrugg als dritter Anbieter von Luftbildmesskammern mit der RC 20 diese Verbesserung anbieten.

## 7.6 RMK TOP und T-AS

Auch wenn mit ständiger Verbesserung der Aufnahmeobjektive, mit dem Navigationsautomaten und zuletzt mit der Bildwanderungskompensation eine erhebliche Qualitätssteigerung der Luftaufnahmen erreicht worden war, so bemühte sich ZEISS weiterhin um zusätzliche

Möglichkeiten einer Leistungssteigerung. Dieses führte zu einer vollständigen Überarbeitung der Reihenmesskammer und 1989 zur Vorstellung der RMK TOP (ZÜGGE 1989). Als Ergebnis wurden die bewährte Grundkonstruktion und die Systemkonfiguration beibehalten, die Elektrik jedoch konsequent auf Mikroprozessorsteuerung und computer-orientierte Handhabung ("terminal operated") umgestellt. Im Gegensatz zur bisherigen Spannweite der Aufnahmebrennweiten von 85 mm bis 605 mm erfolgte bewusst eine Beschränkung auf die inzwischen nur noch gefragten Weit- und Normalwinkelaufnahmen, also 153 mm und 305 mm.

Die wichtigsten neuen Merkmale der RMK TOP waren:

- zwei nochmals deutlich verbesserte Objektive PLEOGON A3 4/153 und TOPAR A3 5,6/305,
- automatische Optimierung der Bildqualität durch intelligente Steuerung von Belichtungszeit und Blende,
- Rotationslamellenverschluss jetzt als "gepulster" Verschluss,
- innen liegender Filterrevolver,
- programmierbare Nebenabbildungen und geblitzte Rahmenmarken,
- verbessertes Filmmagazin T-MC mit erweitertem FMC,
- neue Aufhängung T-AS mit aktiver Stabilisierung,
- neue zentrale Mikroprozessor-Steuereinheit T-CU,
- neues alphanumerisches Terminal T-TL als zentrale Bedien- und Kontrolleinheit,
- angepasstes Navigationsteleskop T-NT als modifiziertes NT 2.

Bild 7.29 zeigt das Konfigurationsschema der einzelnen Systemkomponenten, Bild 7.30 eine typische Installationsanordnung. Die zentrale Steuereinheit T-CU enthielt neben der Mikroprozessor-Steuerung den grössten Teil der Steuer- und Leistungselektronik und war damit

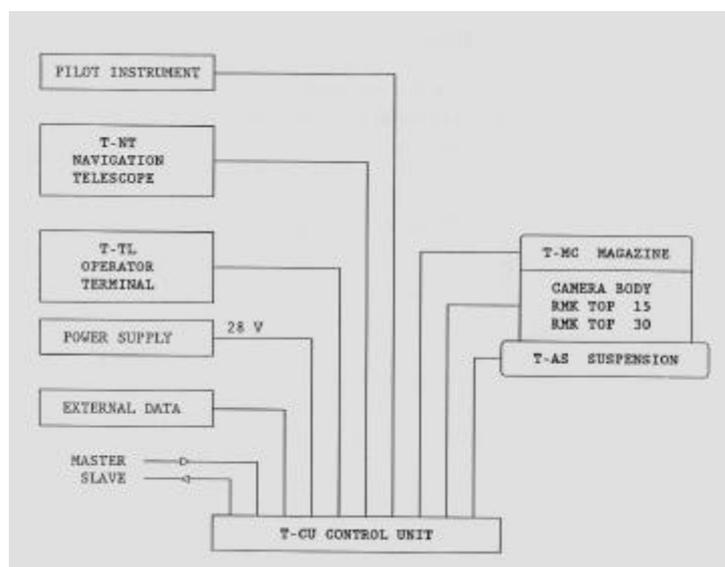


Bild 7.29: Konfigurationsschema der RMK TOP (1989)

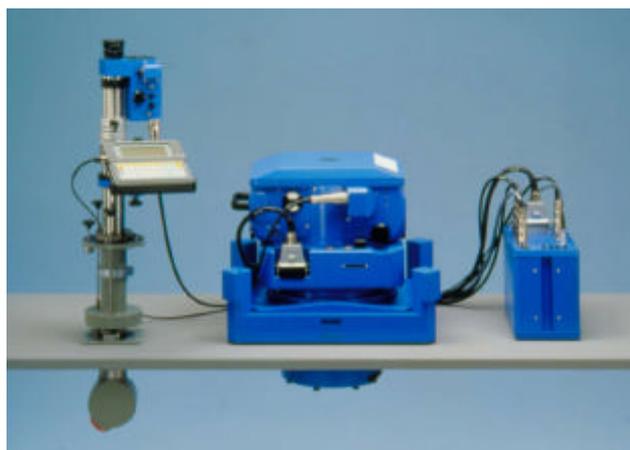


Bild 7.30: Konfiguration der RMK TOP 15 mit Filmmagazin T-MC, stabilisierter Aufhängung T-AS, Steuereinheit T-CU und Bedieneinheit T-TL am Navigationsteleskop T-NT

kostengünstig bei Nutzung beider, entsprechend vereinfachter, Kammerstützen für Weit- und Normalwinkelaufnahmen. Umfangreiche BITE-Funktionen (Built-In Test Equipment) erhöhten die Zuverlässigkeit und meldeten Fehler gegebenenfalls detailliert an das Benutzer-Terminal T-TL. Eine alphanumerische Tastatur, softwaremässig definierte Funktionstasten und ein grossflächiges, hochauflösendes LCD-Display ermöglichten die zentrale Bedienung und Überwachung des Systems. An der Kammer selbst brauchten - ausser einem eventuellen Stutzen- oder Magazinwechsel - keine Manipulationen oder Ablesungen mehr vorgenommen zu werden. Befestigt wurde das Terminal in Sicht- und Reichweite des Operators, bevorzugt am Navigationsteleskop. Am neuen T-NT, das gegenüber dem NT 2 nur geringfügig verbessert worden war, wurden jetzt Fehlermeldungen des Terminals durch Blinken der Sprossenketten signalisiert. Die bisherigen Navigationsgeräte NS 1, NT 1, NT 2 und NA konnten auch mit der RMK TOP eingesetzt werden, wobei der Navigationsautomat später durch ein integriertes T-NA Modul ersetzt wurde. Bild 7.29 zeigt auch die Schnittstelle zur Übernahme externer Daten, die damit z. B. die Einspeisung von Positionsdaten (u. a. GPS), sowohl zur Navigation als auch nur zur Speicherung im Terminal für die spätere Auswertung ermöglichte.

Die entschlackten Kammerkörper RMK TOP 15 und RMK TOP 30 waren jetzt kleiner, die bisherigen Verschleisssteile wie Reibrad und Kohlebürsten waren durch verschleissfreie Bauelemente ersetzt worden. Und es war darauf geachtet worden, dass erforderlichenfalls beide Kammerkörper auch in den bisherigen Aufhängungen AS 2 und AS 5 sowie mit den Filmkassetten CC 24 und FK 24 betrieben werden konnten. Der Sensor des jetzt serienmässigen Navigationsautomaten T-NA war wie zuvor nahe der Frontlinse des Objektivs angeordnet (Bild 7.31).



Bild 7.31: Sensorkopf des Navigationsautomaten nahe des Objektivstutzens der RMK TOP

Obwohl die Abbildungsleistung der bisherigen RMK-Objektive PLEOGON A2 4/152 und TOPAR A1 5,6/305 als unübertroffen galt, konnte die Leistung der neuen Objektive PLEOGON A3 und TOPAR A3 nochmals erheblich gesteigert werden (Bild 7.32). Gerade die Anhebung der über die gesamte Bildfläche gemittelten Modulationsübertragung AWAM bei hohen Ortsfrequenzen ist für den Einsatz hoch auflösender Filme von grosser Bedeutung. So zeigen die ausgelieferten RMK TOP 15 bis in die Bildecken eine gesteigerte Bildqualität und erreichten mit dem Luftbildfilm KODAK PANATOMIC-X (und auch in den strengen Prüfungen durch das US Geological Survey) regelmässig eine flächengewichtete Auflösung (AWAR) von 100 Linienpaaren/mm und mehr bereits bei voller Öffnung (LORCH 1991 & 1992).

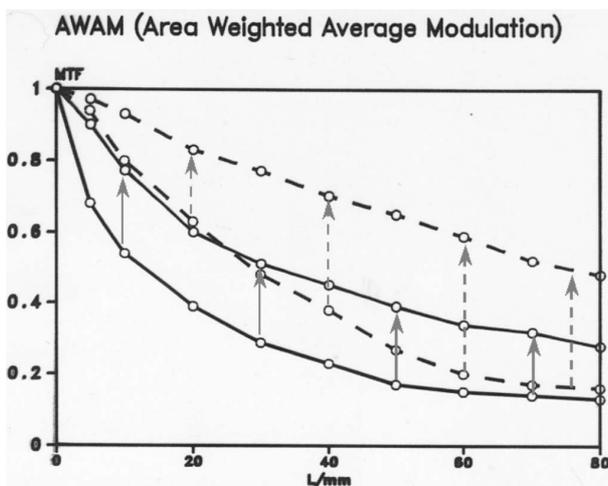


Bild 7.32: Qualitätssteigerung des PLEOGON A3 gegenüber A2 bei Blende 4 bzw. Blende 5,6 (gestrichelt)

Neu an den RMK TOP-Objektiven war auch der interne, vom Terminal aus ansteuerbare Filterrevolver in Objektivmitte in der Nähe der motorisch verstellbaren Irisblende (Bild 7.33). Er bot Platz für vier verschiedene

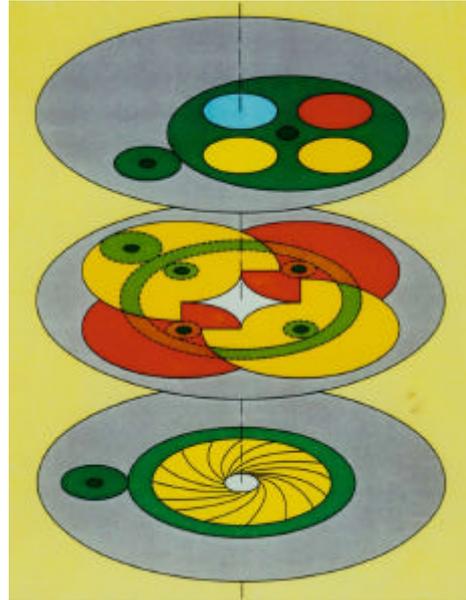


Bild 7.33: Schema von Innenfilterrad, Rotationslamellenverschluss und Irisblende

Innenfilter, serienmässig waren das die Filter KL (klar), A2 (Dunst), B (gelb) und C (orange). Der Rotationslamellenverschluss wurde für die RMK TOP zu einem "gepulsten" Verschluss weiterentwickelt und patentiert (FELLE et al. 1988). Der Vorteil dieses Start/Stop-Betriebes war die konstante Zugriffszeit von 50 msec, die zwischen dem Signal "Auslösung" und dem tatsächlichen Mittenzeitpunkt der Verschlussöffnung und damit der Belichtung lag. Diese konstante Zeit war insbesondere für punktgenaue, z. B. kartenblattzentrierte Aufnahmen wichtig. Beim bisher allgemein in Luftbildkammern verwendeten, ständig rotierenden Verschluss war diese Verzögerung von der Rotationsgeschwindigkeit und damit der gewählten Belichtungszeit abhängig und deshalb unregelmässig und bis zu 1 sec lang. Das zum Mittenzeitpunkt erzeugte Signal konnte nicht nur wie bisher für eine spätere Auswertung (z. B. zusammen mit GPS- und Navigationsdaten) gespeichert bzw. ausgegeben werden, sondern wurde auch für das Aufblitzen der - jetzt nummerierten - 8 Rahmenmarken verwendet. Bild 7.34 zeigt ausserdem die neu gestalteten Nebenabbildungen. Neben der vierstelligen Bildnummer in der Bildecke und dem Firmenlogo wurden, falls das neue Magazin T-MC verwendet wurde, auch die Nummer der Andruckplatte und als Kontrolle ein Strich entsprechend der Filmbewegung (FMC) aufbelichtet. Schliesslich ersetzte das neue programmierbare, 2 x 48-stellige Matrix-Display die bisherigen analogen Nebenabbildungen wie Höhenmesser, Libelle, Uhr, Kammerdaten und Notiztafel und erlaubte die Einbelichtung aller relevanten Projektinformationen und sonstiger Systemdaten (Bild 7.35). Das Bildbeispiel zeigt das Oberkochener Werksgelände von CARL ZEISS am Samstag, den 26. Oktober 1996 um 13.40 Uhr, daher waren die Firmenparkplätze leer.

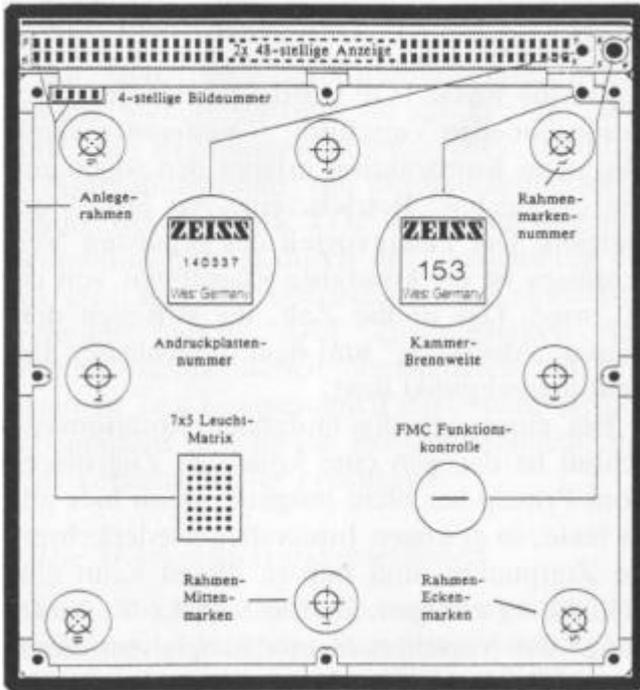


Bild 7.34: Schema der Nebenabbildungen der RMK TOP



Bild 7.35: RMK TOP Luftbild mit Nebenabbildungen (Ausschnitt)

Das Filmmagazin T-MC war eine Weiterentwicklung der bewährten CC 24 mit dem Unterschied, dass die Kompensations-Geschwindigkeit auf 64 mm/sec verdoppelt wurde. Mittels eines Differenzdrucksensors konnte jetzt das Vakuum der Filmebnung am Terminal kontrolliert werden, und auch der Filmvorrat wurde jetzt elektrisch abgegriffen und dort gemeldet.

Abschliessend ist die neue kreiselstabilisierte Aufhängung T-AS zu nennen. Damit wurden jetzt auch Bildwanderungen, die durch zufällige Winkelbewegungen des Flugzeugs verursacht werden, weitgehend kompensiert, so dass längere Belichtungszeiten und damit auch ein Bildflug bei sehr ungünstigen Lichtverhältnissen möglich wurde. Die T-AS konnte diese Einflüsse bis auf etwa 3 % des ursprünglichen Wertes reduzieren und gleichzeitig die vertikale Ausrichtung der Kammer auf etwa 0,5° genau einhalten. Die jeweilige momentane Winkelstellung konnte für jede Aufnahme registriert werden, um damit bei hochgenauen GPS-Messungen die Exzentrizität von Antenne und Projektionszentrum berücksichtigen zu können.

Die T-AS wurde in den Folgejahren nicht nur in Verbindung mit der RMK TOP 15 und RMK TOP 30 eingesetzt, sondern auch zusammen mit der in Jena entwickelten ZEISS LMK 2000 sowie auch mit flugzeug- und hubschraubergestützten Sensoren anderer Hersteller. 1996 wurde zur T-AS noch eine Kippvorrichtung vorgestellt, um z. B. leichter Vorsatzfilter wechseln zu können, oder aber um einen Trimmausgleich von 2,5° oder 5° vorzunehmen (Bild 7.36).

Ebenso wie bereits die Reihenmesskammern zuvor, wurde auch jede aus Serie gelieferte RMK TOP einem Umwelttest ausgesetzt. Bild 7.37 zeigt die RMK TOP 15 im Testzyklus in der Kältekammer.

Insgesamt wurden von CARL ZEISS in Oberkochen in den 50 Nachkriegsjahren über 800 RMK ausgeliefert, zuletzt fast nur noch als Weitwinkelkammern, die mit über 600 Stück etwa  $\frac{3}{4}$  der Gesamtzahl ausmachen. Zusammen mit den 1.760 Reihenmesskammern und Reihenbildnern der Jenaer Vorkriegszeit sind das insgesamt 2.500 Kammern für den zivilen Einsatz. Darüber hinaus waren weitere 6.000 Reihenmesskammern von ZEISS in Jena an die deutsche Wehrmacht geliefert worden.

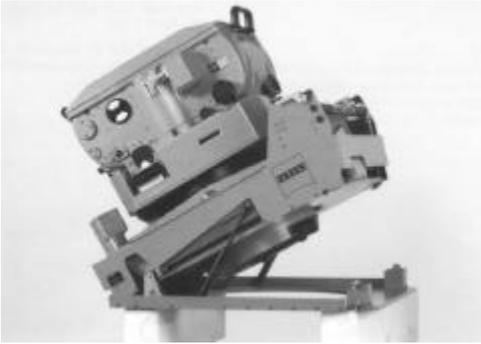


Bild 7.36: Kippvorrichtung für T-AS zur RMK TOP (1996)



Bild 7.37: RMK TOP in der Kältekammer

## 7.7 Bildflugnavigation T-Flight

Die Entscheidung für eine computer-gestützte Bedienung und Kontrolle der 1989 vorgestellten RMK TOP erfolgte auch mit dem Ziel, sowohl die Flugvorbereitung als auch die Auswertung der Flugdatenregistrierung zu erleichtern, indem das Bedienterminal T-TL zu Haus mit dem Büronetzwerk verbunden werden kann. Dieses Bildflugmanagement wurde in seinem vollen Umfang 1991 vorgestellt und T-FLIGHT genannt. Das Programmsystem wurde zusammen mit der Fa. MAPS GEOSYSTEMS, München entwickelt und erprobt. Es umfasste die folgenden Funktionen:

- Bildflugplanung T-PLAN,
- Bildflugnavigation, Kammersteuerung und automatische Datenerfassung T-NAV,
- Bildflugprotokoll T-REP.

Jede dieser Funktionen wurde durch unterschiedliche Software-Module ausgeführt, die unabhängig voneinander arbeiteten und auch als eigenständige Programme benutzt werden konnten (LORCH 1991 & 1992).

T-PLAN diente der Bildflugplanung und wurde in der Regel auf einem Bürocomputer mit Graphikbildschirm und dem Programm AUTOCAD eingesetzt. Damit wurden die Bildflugparameter festgelegt und gespeichert, das Fluggebiet definiert und in graphischer Form dargestellt, die Fluggebietskoordinaten vom geodätischen System in das bei der Navigation benötigte WGS 84

transformiert, ein Flugplan abgeleitet und alle relevanten Parameter einschliesslich des ersten und letzten Aufnahmepunktes (und gegebenenfalls aller weiteren Aufnahmeorte) für jeden Flugstreifen in einer Übertragsdatei gespeichert.

T-NAV war das Programm-Modul für den Navigationsrechner im Flugzeug. Es stand nicht nur über ein Extern-Interface mit der Steuereinheit T-CU der RMK TOP und dem GPS-Empfänger in Verbindung, sondern versorgte auch sowohl ein Display für den Navigator für den Situationsüberblick als auch ein Piloten-Display mit einer in der Luftfahrt üblichen Information (Bild 7.38). Mit T-NAV konnte man mit Hilfe von GPS entweder an bestimmten Positionen oder in bestimmten Intervallen auslösen, die GPS-Daten für eine spätere exakte Auswertung speichern und die Koordinaten des jeweiligen Aufnahmeortes zwecks Einbelichtung an die RMK TOP übertragen. T-REP schliesslich diente, abschliessend im Büro, der Auswertung der gespeicherten Bildflugdaten (einschliesslich von GPS und Höhenmesser) und der Erstellung der üblichen Reports, einer graphischen Bildmittenübersicht und der Datentabellen. Das Zusammenwirken der verschiedenen Hard- und Software-Module von RMK TOP und T-FLIGHT zeigt Bild 7.39.



Bild 7.38: Navigationscomputer T-NC mit Touch-Screen-Display des Navigators und Pilotendisplay

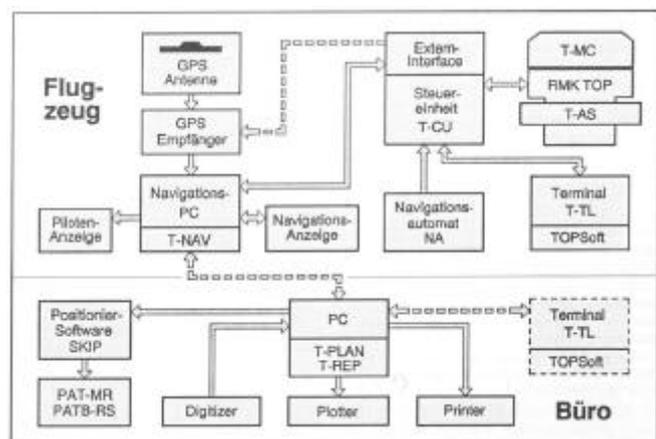


Bild 7.39: Blockscheema des Flight Management Systems T-FLIGHT

Schliesslich konnte in der Nachbereitung mit dem Programm SKIP der Fa. INPHO GmbH, Stuttgart aus differentiellen GPS-Messungen während des Bildfluges die Position der RMK während der Aufnahmezeitpunkte mit sehr hoher Genauigkeit bestimmt werden, die dann als zusätzliche Beobachtungen der Projektionszentren in Aerotriangulations-Programme wie PATB-RS und PAT-MR eingeführt werden konnten.

## 7.8 DMC

Bereits 1989, zeitgleich mit der Vorstellung der computergesteuerten "Film"kamera RMK TOP, hatte ZEISS auch einen ersten Bildscanner zur Digitalisierung von bereits vorliegenden photographischen Aufnahmen vorgestellt, da allmählich die digitale Bildauswertung Eingang in die Praxis fand (siehe Kapitel 12). Deshalb wurde bereits ab Anfang der 1990er Jahre mit internen Studien und Konzeptarbeiten zu zukünftigen digitalen Aufnahmekammern für verschiedene Anwendungen begonnen (CLAUS 1995), was zu Patentanmeldungen (CLAUS et al. 1991a & 1991b) und zu ersten Funktionsmustern führte. Auch einige wichtige Kunden hatten bereits begonnen, sich mit digitaler Luftbildaufnahme zu beschäftigen (THOM et al. 1993). 1996 in Wien auf dem Internationalen Kongress zeigte ZEISS als Demonstrator einen Adapter für die RMK-Aufhängung für bis zu vier handelsübliche, hochwertige Digitalkameras. Nach einer umfangreichen Marktuntersuchung, deren Ergebnisse teilweise später auch publiziert wurden (HEIER 1999), und Design-Überlegungen (HINZ 1997) fiel 1996 der Startschuss für das Entwicklungsprojekt "Digitale Mapping Camera". In der Folge entstanden weitere Erfindungen, die jedoch nur teilweise zur Verwendung kamen (TEUCHERT 1997, CLAUS et al. 1998, TEUCHERT et al. 2000, HÜLL et al. 2000).

Auf der Basis der schon bisher engen Kooperation mit der Fa. INTERGRAPH konnte auf deren Expertise in Speicherung und Verwaltung grosser Bilddateien zurückgegriffen werden. Und mit dem offiziellen Geschäftsbeginn der gemeinsamen Tochterfirma Z/I IMAGING GmbH in Oberkochen zum 1. April 1999 wurde auch dieses, zu dieser Zeit wichtigste Entwicklungsprojekt weiterhin mit den gleichen Mitarbeitern und in enger Zusammenarbeit mit den beteiligten Abteilungen von CARL ZEISS fortgeführt. Bereits auf der Photogrammetrischen Woche in Stuttgart im September 1999 wurde die Konzeption und Konfiguration der "Digitalen Modularen Camera" DMC in allen wesentlichen Punkten vorgestellt (HINZ 1999). Die intensive Entwicklungsarbeit führte dann zur Vorstellung eines Prototyps auf dem Internationalen Kongress für Photogrammetrie und Fernerkundung im Juli 2000 in Amsterdam (HINZ et al. 2000, HEIER et al. 2000, SCHROEDER 2000). Auch wenn bereits einige Monate später erste Testaufnahmen gemacht worden waren (HEIER et al. 2002), konnten erst

Anfang 2002 mit einem komplettierten DMC-System Bildflüge über Testgebieten durchgeführt und mit deren Auswertung die Serienreife und die erwartete hohe Qualität nachgewiesen werden.

Die DMC ist kompatibel mit dem RMK A-System und kann deshalb von den Kunden als zusätzlicher "digitaler Kammerstutzen" eingesetzt werden, Bild 7.40 zeigt die DMC in der stabilisierten Aufhängung T-AS.



Bild 7.40: Digitale Modulare Camera DMC von Z/I IMAGING GmbH, dem Gemeinschaftsunternehmen von CARL ZEISS und INTERGRAPH (2002)

Die Optik der DMC besteht aus vier, bei ZEISS in Jena entwickelten und gefertigten Hochleistungsobjektiven mit einer Blende von 1 : 4 und einer Brennweite von 120 mm für Aufnahmen im panchromatischen Bereich, sowie vier weiteren Objektiven mit ebenfalls der Öffnung 1 : 4 und 25 mm Brennweite für die Farbkanäle. Die beiden Kameraköpfe (Bild 7.41) bestehen jeweils aus Objektiv und CCD-Chip mit Anschlüssen. Die vier panchromatischen Kameras sind mit einer 7 K x 4 K grossen Sensormatrix ausgestattet (Bild 7.42), die Farb-



Bild 7.41: Kameraköpfe für die panchromatischen Kanäle (links) und für die Farbkanäle (rechts)

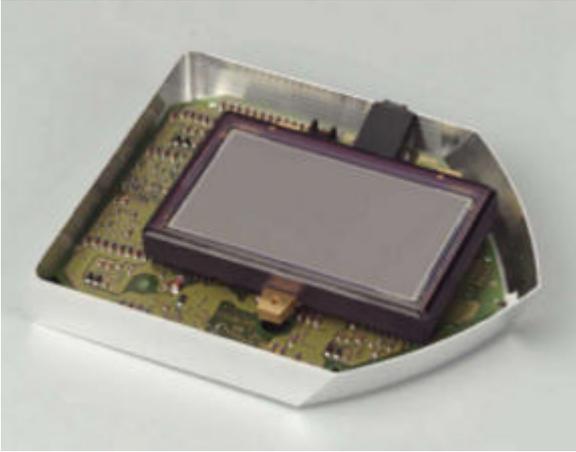


Bild 7.42: CCD-Sensormatrix 7 K x 4 K

kanäle jeweils mit einem 3 K x 2 K Chip und einem entsprechenden Farbfilter. Bei den CCD-Sensoren handelt es sich um hochempfindliche Full-Frame-Sensoren mit hohem optischen Füllfaktor, die von der Fa. PHILIPS in Eindhoven hergestellt werden (HINZ et al. 2001). Sie besitzen eine Pixelgrösse von  $12 \mu\text{m} \times 12 \mu\text{m}$  und einen hohen Dynamikbereich von 12 bit, während Luftbildfilm kaum mehr als 6 bis 7 bit erreicht. Bild 7.43 zeigt den grossen Gewinn am Beispiel von extremen Objektkontrasten z. B. im Schatten hoher Gebäude im Januar (Aufnahme vom Oberkochener ZEISS-Werk).



Bild 7.43: Beispiel für den Dynamik-Gewinn der CCD-Technologie (im Beispiel 10 bit) gegenüber Film

Die Architektur der CCDs beinhaltet Ausleseregister an jeder Ecke des Chips, wodurch hohe Ausleseraten erreicht werden. Die Sensorelektronik, welche die Taktsignale zur CCD-Steuerung generiert, und die Schaltkreise für die digitale Signalausgabe sind direkt auf dem CCD-Gehäuse angeordnet, was ein optimales Signal-Rausch-Verhältnis gewährleistet (Hinz et al. 2000). Alle Objektive sind mit internen elektromechanischen Verschlussystemen (1/50 sec - 1/300 sec) versehen, die synchron ausgelöst werden. Die CCD-Elektronik wird im so genannten "Time Delay and Integration"-Modus (TDI) zur Bildwanderungskompensation betrieben, was insbesondere bei grossen Bildmassstäben eine Bodenauflösung von 5 cm und besser ermöglicht.

Die vier panchromatischen Kameras sind zueinander geringfügig konvergent ausgerichtet, so dass ihr Gesichtsfeld leicht überlappt. Durch Bildverknüpfung in den gemeinsamen Bildbereichen und Resampling wird

dann in der Nachbereitung ein zentralperspektivisches Bild von  $13.824 \times 7.680$  Pixel erzeugt, welches in seiner geometrischen Qualität den üblichen Anforderungen voll entspricht (TANG et al. 2000). Damit wird quer zur Flugrichtung ein Öffnungswinkel von  $69,3^\circ$  erreicht, was den bisherigen Weitwinkelkameras wie RMK TOP 15 entspricht. Die vier Farbkameras sind alle parallel und vertikal ausgerichtet und decken durch ihre kürzere Brennweite in etwa die gleiche Bodenfläche ab, wenn auch mit entsprechend geringerer geometrischer Auflösung.

Bild 7.44 zeigt die DMC-Unterseite mit den je vier inneren panchromatischen und äusseren Farbkameras, Bild 7.45 den Objektivträger mit Objektiven im Rohzustand und Bild 7.46 zusätzlich die komplette Kammerelektronik. Aus Bild 7.47 ist die Anordnung im Flugzeug ersichtlich. Ausser der eigentlichen DMC mit stabilisierter Aufhängung und Flugmanagement-System, über das während des Bildfluges auch die DMC bedient wird, sind der Bildspeicher und ein Display zur simultanen Qualitätskontrolle der Bildaufnahmen aufgeführt.

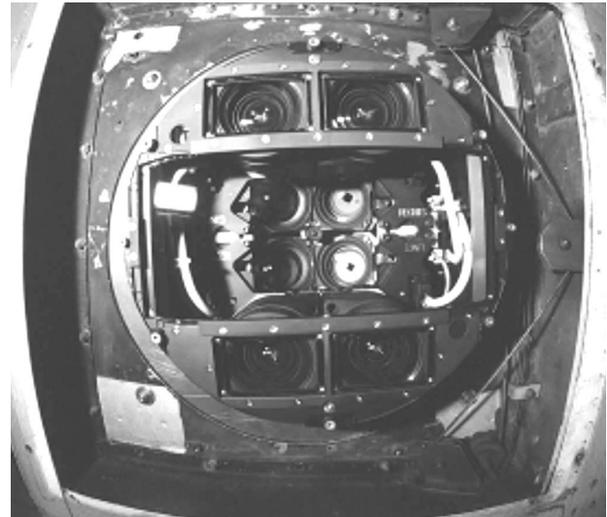


Bild 7.44: Blick auf die Objektivkonfiguration der DMC: 4 panchromatische Kameras in der Mitte und 4 Kameras für Rot, Grün, Blau und Infrarot

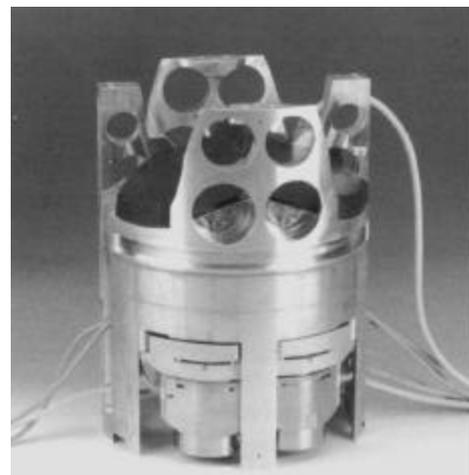


Bild 7.45: Objektivträger (roh) mit Objektiven



Bild 7.46: Optik und Elektronik der DMC (ohne Gehäuse)

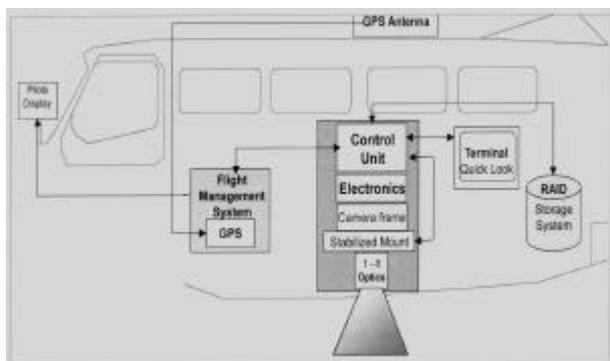


Bild 7.47: Systemkonfiguration der DMC im Flugzeug



Bild 7.48: DMC-Bildspeicher der 1. Generation: Massendaten-Recorder MDR mit 2 Einschüben zu je 146 GB Kapazität

Von der Massenspeicher-Einheit mit zwei Einschüben zu je 148 GB Speicherkapazität (Bild 7.48) sind insgesamt drei Stück an Bord. Bei einer Datenmenge von 272 MB für eine "Aufnahme" in voller Auflösung können somit über 2.000 Bilder gespeichert werden. Wegen der ständigen Weiterentwicklung der Datenspeicher sind diese Festplatten-Speicher inzwischen durch Festkörperspeicher (Solid State Disk SSD) ersetzt worden, die bei geringeren Abmessungen und reduziertem Gewicht eine grössere Robustheit besitzen.

Nach der Landung werden die Speicher-Kassetten zu Hause oder bereits am Flugfeld an einer Computer-Arbeitsstation eingelesen und die Sensordaten einer Aufbereitung unterzogen. Die DMC Postprocessing Software lässt sich in folgende Abschnitte unterteilen (HEIER 2001):

- Normalisierung der einzelnen Originalaufnahmen aller Kameras (Level 1) durch Beseitigung eventueller defekter Pixel, radiometrische Korrektur (gain/offset), und gegebenenfalls weitere geometrische Verbesserung, falls Korrekturgitter oder Kalibrierparameter vorliegen,  $\approx$  Level 1a,
- Erzeugung der virtuellen Bilder durch Umbildung und Zusammenfügung der panchromatischen Level 1a-Bilder in zentralperspektive Aufnahmen,  $\approx$  Level 2,
- Erzeugen der Farbbilder (R + G + B) und der Farbkomposite (Level 2-Bilder + Farbbilder),
- Erzeugen georeferenzierter Bilder durch Verknüpfung mit GPS/INS-Messungen, also Groborientierung.

Bei diesen zunächst noch zeitintensiven Bearbeitungsschritten ist anzumerken, dass sie parallel und automatisiert stattfinden können.

Seit Ende 2002 (und damit nach dem vollständigen Rückzug von CARL ZEISS von Z/I IMAGING) wird nun die DMC aus Serienproduktion geliefert. Sie hat sich seitdem bei vielen Kunden in unterschiedlichsten praktischen Einsätzen bewährt. Das Fazit aus vielen wissenschaftlichen Untersuchungen und praktischen Erfahrungsberichten ist, dass die DMC trotz eines geringeren Basis/Höhenverhältnisses inzwischen die geometrische Genauigkeit der RMK TOP übertrifft, so dass die bessere Bildqualität - gerade auch bei ungünstigen Licht- und Kontrastverhältnissen - sowie die schnelle Verfügbarkeit und die bequeme digitale Weiterbearbeitung voll zum Tragen kommen. Die digitale Luftbildmesskammer hat damit inzwischen zur Einstellung der Fertigung photographischer Reihenmesskammern geführt, nicht jedoch deren Einsatz in der Praxis und damit den Bedarf nach regelmässiger Wartung und Kalibrierung beendet.

## 7.9 Kammerkalibrierung

Eine Kalibrierung der Luftbildmesskammern ist nicht nur vor Erstausslieferung ab Werk notwendig, sondern auch nach jeder grösseren Wartung und nach jedem erforderlichen Eingriff in die Kammer-Geometrie. Die

Messprozedur für die RMK-Kalibrierung wurde zwar von der Entwicklungsabteilung des Bereichs Photogrammetrie von CARL ZEISS auf der Basis der Empfehlungen der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie von 1960 erarbeitet, sie wird jedoch in Oberkochen bei ZEISS von einer unabhängigen, zentralen Prüfabteilung als zertifizierter Deutscher Kalibrierdienst (DKD) im Auftrag der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) durchgeführt.

Die beiden wichtigen, qualitätsbestimmenden Merkmale sind zum einen die Parameter und die Genauigkeit der zentralperspektivischen Aufnahmegeometrie, zum anderen Angaben zur photographischen Bildqualität (MEIER 1970b & 1970c). Die Ergebnisse werden in einem Prüfprotokoll ("Kalibrierschein") festgehalten und der zu liefernden Kammer mitgegeben (Bild 7.49).



Bild 7.49: Kalibrierschein (Kopf) der vom PTB autorisierten Kammerprüfung bei CARL ZEISS, Oberkochen

Geometrie und Bildgüte werden definiert durch das, im stabilen Kammerstutzen mit Anlegerahmen und Rahmenmarken fest eingebaute Aufnahmeobjektiv. Die Abbildungsgüte wird mit einem Schwenkkollimator zur photographischen Bestimmung des Auflösungsvermögens bestimmt (Bild 7.50). Mit diesem wird in einer Dunkelkammer in Winkelschritten von  $7^\circ$  ein 3-Linien-Test auf eine photoempfindliche Glasplatte in der Bildebene projiziert. Diese Teststruktur besteht aus Linienpaaren mit hohem Kontrast und abgestuften Linienbreiten jeweils in radialer und tangentialer Ausrichtung, die Aufbelichtung erfolgt in allen vier Radien. Unter einem Mikroskop wird dann die belichtete Photoplatte daraufhin ausgewertet, wie fein die gerade noch aufgelöste Struktur ist. Als Ergebnis zeigt das Protokoll die radiale und tangentiale Auflösung in Linienpaaren/mm (Lp/mm) für die verschiedenen Bildwinkel als Kurven, sowie eine einzelne, flächengewichtete Zahl AWAR (Area Weighted Average Resolution) als "mittlere" Auflösung.

Auch die Koordinaten der Rahmenmarken in der Bildebene werden durch photographische Belichtung und



Bild 7.50: Kollimator zur Auflösungsmessung bei CARL ZEISS, Oberkochen

anschliessende Ausmessung bestimmt sowie auf einen Rahmenmarken-Mittelpunkt reduziert.

Die Bestimmung der inneren Geometrie der Messkammer geschieht durch optische Vermessung mit Hilfe eines Goniometers (Bild 7.51). Dazu wird in der Bildebene eine Präzisionsgitterplatte mit einem radialen Gitter mit 10 mm Abstand zentriert und in den vier Bilddiagonalen mit einem Präzisionstheodolithen durch das Objektiv hindurch ausgemessen. Durch mathematischen Rückwärtseinschnitt lässt sich die wirksame Aufnahmebrennweite (= Kammerkonstante) ermitteln, aus der Differenz zwischen Soll- und Ist- Winkel ergibt sich die Verzeichnung, die dann auf den Symmetriepunkt

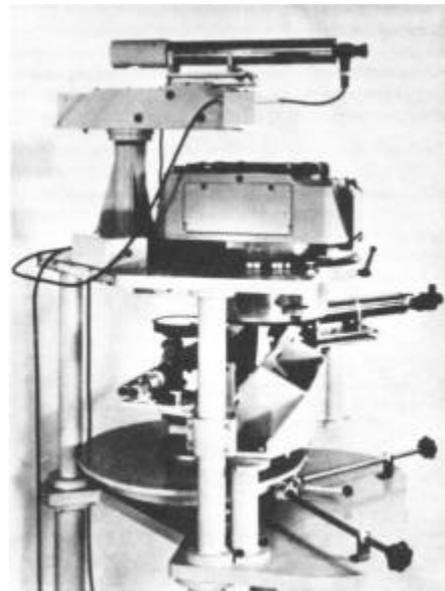


Bild 7.51: Goniometer für Verzeichnungsmessung bei CARL ZEISS, Oberkochen

bezogen und zusätzlich als Mittelwert aller vier Radien angegeben wird. Ausserdem wird im Hinblick auf Präzisionsauswertungen die relative Lage von Symmetriepunkt, Rahmenmarkenmittelpunkt und Autokollimationspunkt angegeben. Schliesslich enthält der Kalibrierschein die Bestätigung, dass die Oberflächen der zur Kammer gehörenden Vorsatzfilter innerhalb von 5 Bogensekunden parallel sind, und dass die Andruckplatte in den zugehörigen Filmkassetten innerhalb 0,010 mm eben ist.

Für die in Kapitel 7.8 beschriebene, aus 8 Einzelkameras bestehende, digitale Luftbildmesskammer DMC von Z/I IMAGING wurde dieses Kalibrierverfahren abgewandelt (HEIER et al. 2002). Zunächst wird ähnlich dem zuvor beschriebenen Verfahren die Geometrie jeder Einzelkamera kalibriert. Nach Montage aller Kameraköpfe in der DMC erfolgt ein Test- und Kalibrierflug. Danach wird mit dem, aus der Aerotriangulation bekannten Matching-Verfahren über zahlreiche Verknüpfungspunkte in den Überlappungszonen (in Bild 7.52 maskiert) die gegenseitige Zuordnung aller Einzelkameras bestimmt.

Abschliessend sei noch erwähnt, dass immer wieder auch optische Flugzeug-Abschlussgläser von CARL ZEISS in Oberkochen nach Kundenspezifikation individuell für das jeweilige Flugzeug angefertigt wurden, die Luftbildkammer und Besatzung vor ungünstigen Klima-

einflüssen schützen sollen und in grösseren Höhen unabdingbar werden. Diese müssen, ebenso wie die vor dem Objektiv angebrachten Vorsatzfilter, innerhalb von - je nach Aufnahmebrennweite - etwa 5 Bogensekunden planparallel sein, und das bei einem Durchmesser von mindestens 350 mm und grösser, sowie einer Dicke von mindestens 40 mm. Damit sind sie hochwertige optische Elemente. Der Einfluss einer - trotz der Dicke - geringen Durchbiegung auf die Verzeichnung infolge Temperatur- und Druckdifferenzen bleibt in der Regel vernachlässigbar (MEIER 1972c & 1978a).

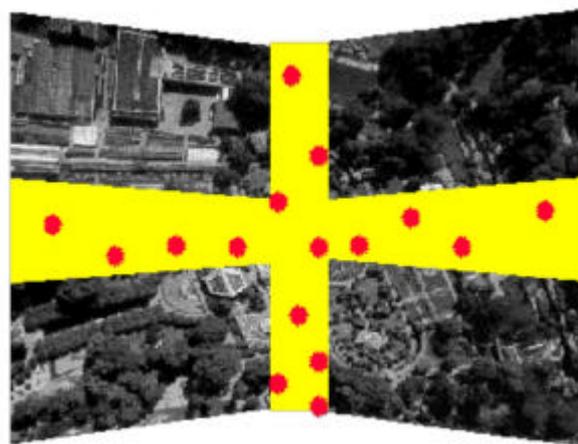


Bild 7.52: Gegenseitige Kalibrierung der panchromatischen Kameraköpfe der DMC über Verknüpfungspunkte

## 8. Luftbildauswertung photographisch

Die Entzerrung einzelner Luftbilder war noch vor Koordinatenmessung und linienhafter graphischer Auswertung in Stereobildpaaren die erste Methode, um gegenüber Bildskizzen und Bildmosaiken geometrisch genauere Lageinformationen zu erhalten. 1898 hatte THEODOR SCHEIMPFLUG Gedanken zu einer Zonentransformation entwickelt, damit die Grundlagen zur Entzerrung gelegt und daraufhin den PHOTOPERSPEKTOGRAPHEN 1903 patentieren lassen. Obwohl auch ERNST ABBE bei ZEISS sich bereits 1890 mit der Abbildung von Ebenen befasste, wurde erst 1924 das erste Selbstfokussierende Entzerrungsgerät C/2 entwickelt. Und bereits ein Jahr später entstand das Modell C/3, welches als "Dampfhammer" Berühmtheit erlangte. In Oberkochen war dann 1951 das, gegenüber diesen und weiteren Vorkriegsvarianten komplett neu entwickelte, SEG V vorgestellt worden. Mit dem, ebenfalls bereits in Kapitel 5.2 beschriebenen Folgemodell SEG 6 ab 1977 und weiterem Zubehör war 1984 die Oberkochener SEG-Entwicklung abgeschlossen worden, die Lieferung aus Serienfertigung lief Ende der 1980er Jahre aus.

Die ersten Überlegungen zu einer differentiellen Entzerrung, um die Lagefehler bei unebenem Gelände zonenweise zu reduzieren (Bild 8.1), finden sich bereits in

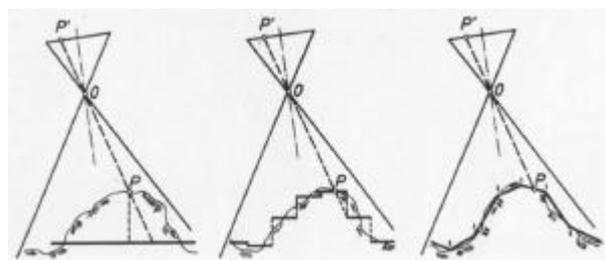


Bild 8.1: Perspektivische Umbildung durch Entzerrung, differentielle Entzerrung sowie ideale Entzerrung.

Patenten von A. HORN aus den Jahren 1916 und 1917. 1929 dann stellte OTTO LACMANN ein Versuchsmuster seines "Entzerrungsgerätes für unebenes Gelände" vor. Nach dem zweiten Weltkrieg entwickelte RUSSELL BEAN 1953 in den USA das ORTHOPHOTOSCOPE, aber erst ab 1960 fand man in Oberkochen Zeit, sich mit diesem Thema zu befassen. Es ist das Verdienst von ERWIN GIGAS, dem damaligen Direktor des Institutes für Angewandte Geodäsie in Frankfurt, die Arbeiten bei CARL ZEISS angestossen zu haben. Während die bisher bekannten Lösungen die Höhenabastung des Stereomodells und die davon abhängig gesteuerte Aufbelichtung des entsprechenden Bildausschnittes auf photographischem Film in einem gemeinsamen Gerät vorsahen,

entschied sich ZEISS für die räumliche Auftrennung in zwei Geräte (Bild 8.2).

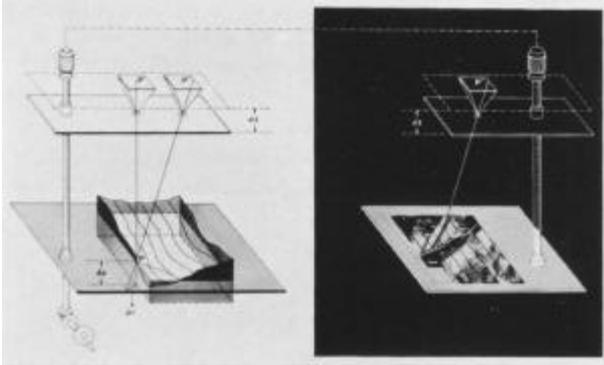


Bild 8.2: Steuerungsschema einer differentiellen Entzerrung mit "objektiver optischer Projektion"

### 8.1 Orthoprojektor GIGAS ZEISS (GZ 1)

Bei den Photogrammetrischen Wochen 1963 wurde erstmals von CARL ZEISS über die Neuentwicklung "Orthophotoskop GIGAS-ZEISS" berichtet (SPENNEMANN 1963), bevor dann 1964 auf dem Internationalen Photogrammetrie-Kongress in Lissabon der Prototyp des Orthoprojektors GIGAS ZEISS (GZ 1) vorgestellt werden konnte (AHREND et al. 1964). Die Projektionseinheit des GZ 1 bestand aus bewährten Komponenten des STEREOPLANIGRAPHEN C 8, die auf einer, in der Höhe verstellbaren Traverse über einem Projektionstisch angebracht waren: Bildträger, BAUERSFELD'sches Scharfabbildungssystem und gerichtete Beleuchtung (Bild 8.3).

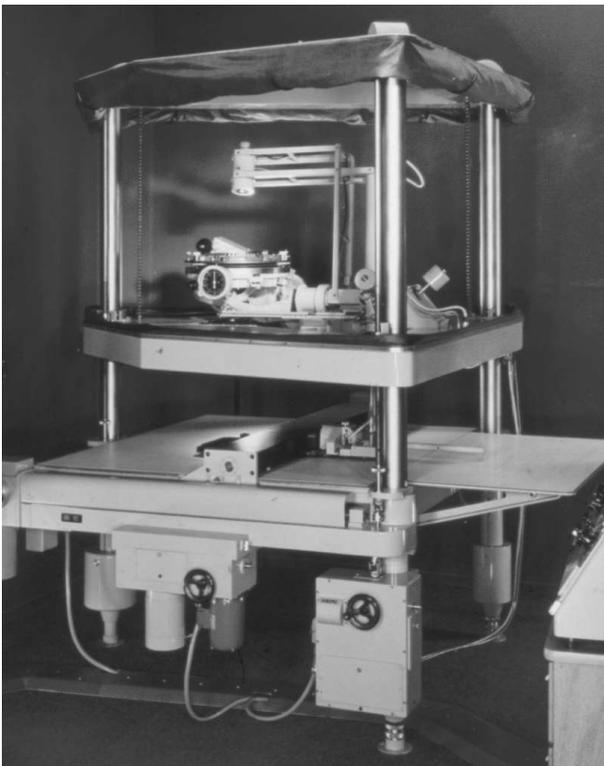


Bild 8.3: Orthoprojektor GIGAS-ZEISS, GZ 1 (1964)

Über dem Tisch bewegte sich ein Kreuzschlittensystem mit einem Blendenwagen mit einer auswechselbaren Spaltblende mäanderförmig in x und y. Um den offen auf der Projektionsfläche liegenden lichtempfindlichen Film vor Falschlicht zu schützen, musste der Orthoprojektor in einer Dunkelkammer aufgestellt werden. Nach Einlegen des Bildes in den Bildträger und Einstellen der Bildwinkel  $f$ ,  $\gamma$  und  $\delta$  wurde der Bildraum mit einem lichtdichten Vorhang verschlossen und vor dem Einlegen des Filmblasses der Raum verdunkelt. Gegenüber anderen damaligen Gerätelösungen zeichnete sich der GZ 1 aus durch echte Scharfabbildung im gesamten Vergrößerungsbereich, höhere Lichtleistung und - im Gegensatz zu den Online-Geräten mit Stereobetrachtung mittels Anaglyphen-Brillen - durch die Möglichkeit der Farbentzerrung.

Die wesentlichen Geräteparameter für den Orthoprojektor GZ 1 waren:

- Auswertebrennweiten für das Bildformat 23 cm x 23 cm: 153 mm serienmässig, 210 mm und 305 mm optional, optional für das Bildformat 18 cm x 18 cm weitere Brennweiten zwischen 100 mm und 210 mm in Abhängigkeit der verfügbaren Bildträger wie beim STEREOPLANIGRAPHEN,
- Bilddrehungen  $f$ ,  $\gamma$  je  $\pm 10$  gon,  $\delta = \pm 400$  gon,
- Projektionstisch:  $>1$  m x 1 m,
- nutzbarer Projektionsbereich  $x = 750$  mm,  $y = 880$  mm,
- z-Bereich von 335 mm bis 620 mm, damit Vergrößerungsbereich bei  $c = 153$  mm: 2,2- bis 4,0-fach,
- Spaltblende (Streifenbreite in x): 4 mm serienmässig, 8 mm und 2 mm optional, (Spaltbreite jeweils 1 mm),
- Blenden-Geschwindigkeit zwischen 2,5 mm/sec und 10,0 mm/sec wählbar durch wechselbare Zahnräder,
- sehr konstante y-Geschwindigkeit durch Synchronmotor,
- sehr präzise x-Schrittweite durch hochgenaues Schrittschaltwerk.

Überweitwinkelaufnahmen, die im STEREOPLANIGRAPH und damit auch im GZ 1 nicht direkt ausgewertet werden konnten, wurden bei Auswertung mit dem Weitwinkelbildträger affin verzerrt und bewirkten damit bei geneigten Bildern Lage- und Höhenfehler (Bild 8.4). Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass bei Affinprojektion die Lagegenauigkeit der Orthophotos nicht beeinträchtigt war, wenn die Bildneigungen innerhalb der

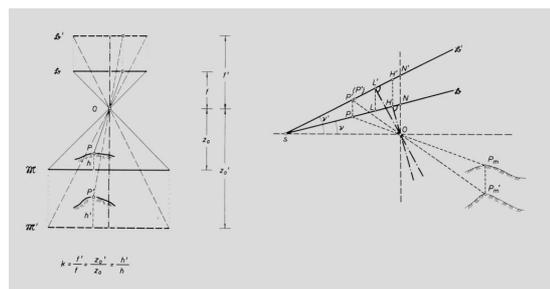


Bild 8.4: Affinprojektion mit Normal- und Schrägfall

üblichen 2 bis 3 gon blieben, und auch die relativen Höhenunterschiede des Geländes 5 % der Flughöhe nicht überstiegen (HOBBIE 1969a). Wegen der bei Überweitwinkelaufnahmen üblichen kleinen Bildmassstäbe war das in der Regel der Fall. Die Verwendung von z. B. 30 cm-Aufnahmen in den 15 cm- statt der 30 cm-Bildträgern bot auch den Vorteil, wegen der Modellstauchung und damit noch geringerer Fehlerauswirkung den Vergrößerungsbereich im gleichen Verhältnis zu erweitern. Entsprechend des gewählten Affinfaktors war auch ein Zahnradpaar im z-Antrieb zu wechseln.

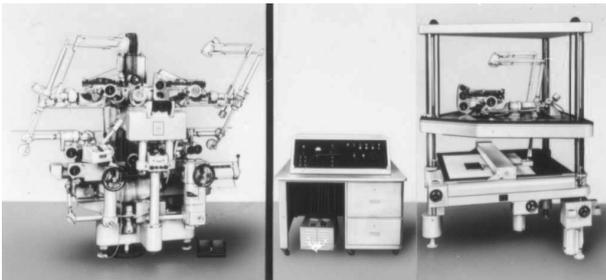


Bild 8.5: STEREOPLANIGRAPH C 8 und Orthoprojektor GZ 1 (mit Programmpult) in direkter Ankopplung

In Lissabon wurde der Orthoprojektor GZ 1 für den direkten Anschluss an den STEREOPLANIGRAPHEN C 8 vorgestellt (Bild 8.5). Dabei wurde der GZ 1 motorisch in y mit der, durch Wechsellräder vorgewählten, konstanten Geschwindigkeit und in x durch ein Präzisions-schrittschaltwerk angetrieben und diese mäanderförmige Grundrissbewegung in elektrischer Ankopplung durch "Drehmelder" auf das Stereoauswertegerät übertragen. Diese aus Stator und Rotor bestehenden elektrischen Bauelemente funktionieren so, dass eine mechanisch verursachte Drehung am Geber eine gleich grosse Auslenkung am Empfänger verursacht (Bild 8.6). Mit einer solchen elektrischen Verbindung wurde auch die manuelle stereoskopische Höhennachführung des Auswerters vom C 8 auf die z-Achse des GZ 1 übertragen.

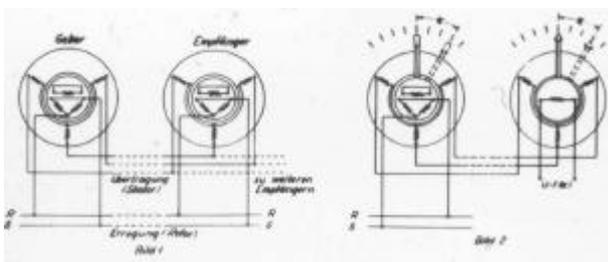


Bild 8.6: Funktionsschema von Drehmeldern

Diese "On-line"-Methode hatte bei allen derartigen Orthoprojektions-Geräten allerdings den Nachteil, dass der Auswerter mit der vorgewählten konstanten Geschwindigkeit sowohl in flachen als auch in schwierigem Gelände zurechtkommen musste, dass Fehler nicht korrigiert werden konnten, und dass Pausen allenfalls an einem Streifenende gemacht werden konnten. Deshalb wurde bereits 1964 auch von der Vorbereitung

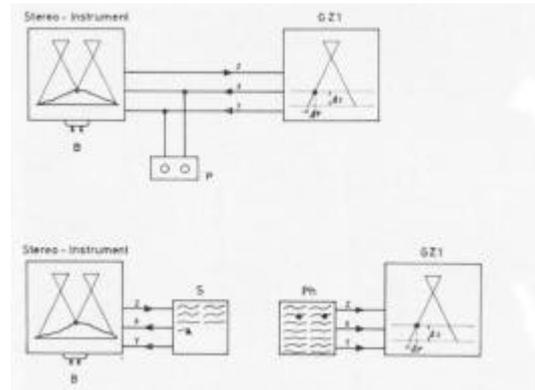


Bild 8.7: Trennung zwischen Profilerfassung und Orthoprojektorsteuerung (Off-line-Betrieb)

eines Off-line-Betriebes (Bild 8.7) berichtet, bei dem in einem ersten Schritt Höhenprofile mittels Schichtgravur gespeichert werden und erst in einem - zeitlich entkoppelten - zweiten Schritt diese Profile photoelektrisch abgetastet werden, um damit die Projektionsweite im GZ 1 zu steuern. Die zahlreichen Vorteile dieser Trennung führten dazu, dass die direkte Ankopplung nur eine vorübergehende und begrenzte Bedeutung erlangte.

Die Vorteile dieses patentierten Verfahrens (MONDON 1963) waren:

- die Belichtung im GZ 1 erfolgte mit der konstruktiven Höchstgeschwindigkeit, die Profilspeicherung aber mit einer dem Gelände angepassten variablen Geschwindigkeit, sogar ein Anhalten innerhalb eines Profils war möglich,
- bei Fehlern konnte der Profilverfäher mit geeigneter Tusche ausgebessert und dieser Abschnitt wiederholt werden,
- da Orientierung und Profilspeicherung länger dauerten als Orientierung und die schnellere Projektion im GZ 1, konnten mehrere Auswertegeräte einen GZ 1 "bedienen",
- bei der Projektion wurde eine (patentierte) Profilinterpolation möglich, um zu Lasten einer längeren Projektionszeit mit schmalere Belichtungsstreifen die Höhenanpassung an bewegtes Gelände zu verbessern,
- bei Neubefliegungen zur Aktualisierung der Orthophotos konnten die Profile wieder genutzt werden, wenn keine grösseren Geländeänderungen aufgetreten waren (SCHMIDT-FALKENBERG et al. 1969, ARCH et al. 1974).

Erst 1967 wurde ein entsprechendes Profil-Speichergerät SG 1 und ein Profil-Lesegerät LG 1 zur Serienreife gebracht. Bild 8.8 zeigt das SG 1 gekoppelt an den 1967 erstmals vorgestellten PLANIMAT (Kapitel 10.3). Der regelbare motorische Antrieb der mäanderförmigen Grundrissbewegung des Auswertegerätes in Schritten von wahlweise 2, 4 oder 8 mm erfolgte vom SG 1 aus über Kardanwellen. Die manuelle Höhenänderung in dieser Betriebsart mittels Handrad wurde - ebenfalls mechanisch - vom Auswertegerät an das Speichergerät übertragen. Dort wurden die Profile - gegenüber dem Modellmassstab im Verhältnis 1 : 5 verkleinert - mit rotierenden Stacheln auf einer schwarz beschichteten

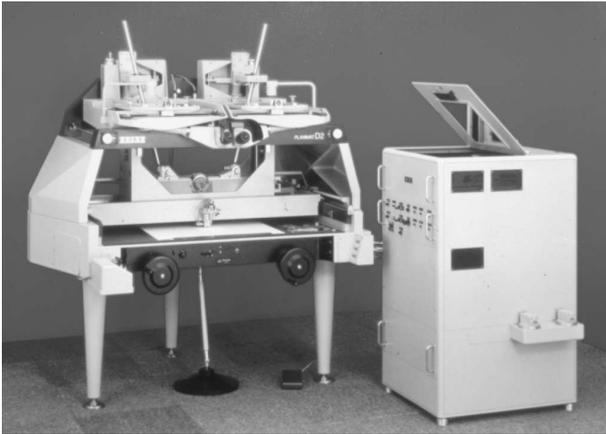


Bild 8.8: Stereoauswertegerät PLANIMAT D 2 mit Profil-Speichergerät SG 1 (1967)

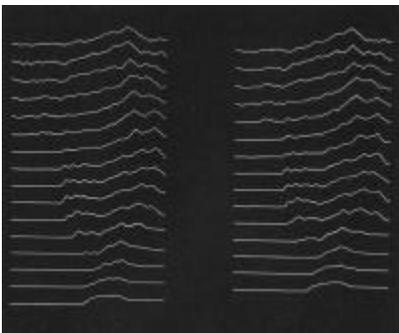


Bild 8.9: Ansicht einer Profilspeicherplatte (Ausschnitt)

Speicherplatte graviert. Maximal 80 Profile mit je einer Länge von 104 mm passten auf eine Platte (Bild 8.9).

Im Off-line-Betrieb übernahm das Lesegerät LG 1 (Bild 8.10) die Steuerung des Programmablaufes bei der Filmbelichtung. Das Präzisions-Schrittschaltwerk am GZ 1 für den Profilversatz in x wurde elektrisch angesteuert. Die durch den Synchronmotor sehr konstante Projektionsgeschwindigkeit betrug 10 mm/sec bzw. 12 mm/sec in Abhängigkeit der Netzfrequenz 50 Hz bzw. 60 Hz. Diese y-Bewegung des GZ 1 wurde - meist 10-fach untersetzt - über Kardanwellen an das Lesegerät übertragen. Auch die z-Verbindung erfolgte auf diese

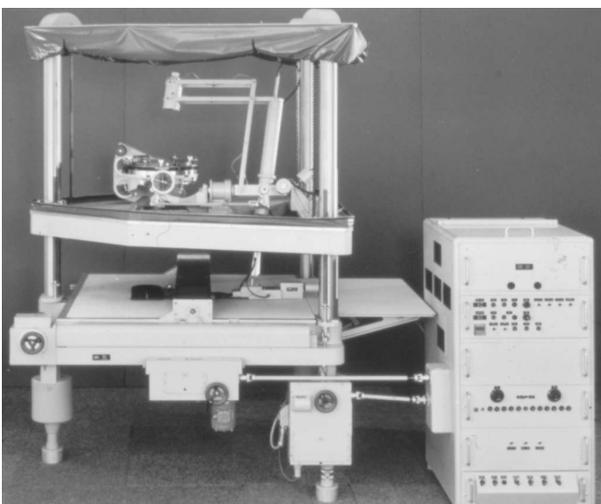


Bild 8.10: Orthoprojektor GZ 1 mit Profil-Lesegerät LG 1

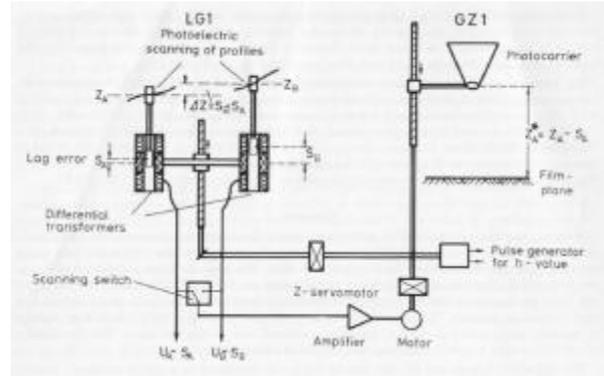


Bild 8.11: Funktion der Profilabtastung im Lesegerät LG 1

Weise, wobei die Profilhöhen durch Wechselräder 5- oder 10-fach vergrößert werden konnten. Bild 8.11 zeigt das Prinzip der gleichzeitigen photoelektrischen Profilabtastung von zwei aufeinander folgenden Profilen, wobei jeweils nur eines für die momentane z-Bewegung verwendet wurde. Mit 80 gespeicherten Profilen konnten 79 Profilstreifen von maximal 100 mm Länge belichtet werden, entsprechend  $y = 500$  mm oder 1.000 mm Länge im Orthophoto. 79 Streifen zu maximal 8 mm ergaben eine belichtete Breite von 632 mm, jedoch war dann nach Wechsel der Speicherplatte eine Fortsetzung möglich.

Wie Bild 8.1 (und auch Bild 8.12) erkennen lassen, entstehen bei bewegtem Gelände an den Streifenrändern Stufen in der Modellannäherung und damit bei grösseren Bildwinkeln Bildsprünge an den Streifenrändern im Orthophoto. Um das zu verringern, war eine patentierte elektrische Interpolation (MONDON 1963) zwischen den beiden gleichzeitig abgetasteten Profilen möglich, um durch schmalere Belichtungstreifen die Klaffen zu verringern. Entsprechend der Interpolationsmöglichkeiten  $1/2$ ,  $1/3$ , und  $1/6$  war dann eine entsprechend schmalere Spaltblende einzusetzen und eine Verlängerung der automatischen Belichtungszeit in Kauf zu nehmen.

### 8.2 Optische Interpolation im GZ 1

Um ohne Verlängerung der Projektionszeit ein klaffenfreies Orthophoto zu erzeugen (Bild 8.12), wurde bereits 1969 der Optische Interpolationszusatz O-INT vorgestellt.

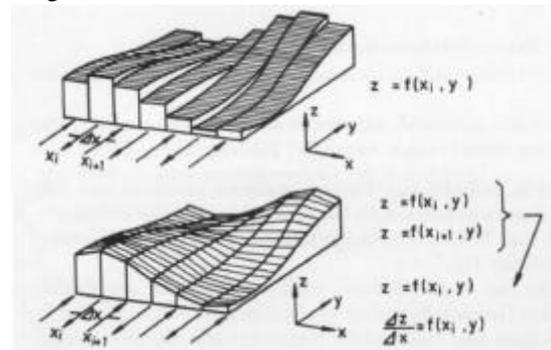


Bild 8.12: Genauigkeit der Modellannäherung

Diese Klaffenfreiheit kann dadurch erreicht werden, dass der entsprechende Bildausschnitt nicht direkt auf den horizontalen Film unter der Spaltblende projiziert wird, sondern auf eine Schrägfläche über der Spaltblende, die in ihrer Querneigung der lokalen Geländequerneigung entspricht, und dass von dort aus senkrecht auf den Film parallel projiziert wird. Dafür wurde aus einer Faseroptikplatte ein torischer Ring gefertigt (Bild 8.13). Dieser wurde über einer planparallelen Faseroptikplatte zur Abstandsüberbrückung, auf der eine Chrommaske als Spaltblende aufgedampft war, entsprechend der Geländequerneigung eingedreht.

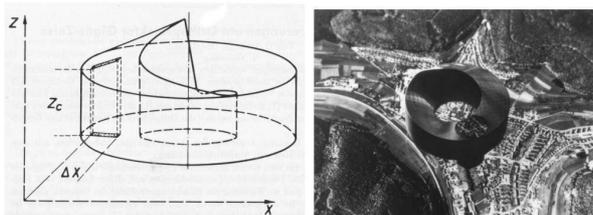


Bild 8.13: Optische Interpolation mit Faserring

Im Gegensatz zu den bekannten faseroptischen Lichtleitern sind die  $6\ \mu\text{m}$  breiten Fasern dieser Faseroptikplatte streng parallel zueinander ausgerichtet, zusammen mit dem geringen Faserdurchmesser wurde damit eine für das Orthophoto völlig ausreichende Bildqualität von  $>80$  Linienpaaren/mm erreicht (HOBBIE 1969b). Die maximale Querneigung des Ringes betrug  $35^\circ$ , grössere Querneigungen wurden wie mit  $35^\circ$  projiziert und damit immer noch deutlich verbessert. Die Antriebseinheit des Faserringes bestand aus Motor und Rückmeldepotentiometer (Bild 8.14).

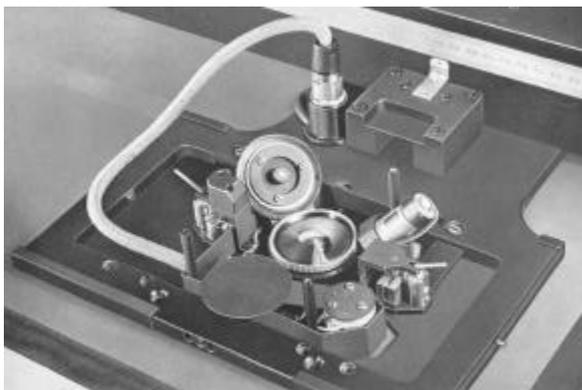


Bild 8.14: GZ 1-Blendenwagen mit optischer Interpolationseinrichtung und Einschlagblende (ohne Abdeckung)



Bild 8.15: Bildverbesserung durch optische Interpolation (Ausschnitt mit und ohne Klaffen)

Bild 8.15 zeigt am Beispiel einer am Hang gelegenen Strasse die Wirkung dieser Optischen Interpolationseinrichtung. Dieser patentierte GZ 1-Zusatz (MONDON 1965) wurde in der Folgezeit zum Standardzubehör.

### 8.3 Höendarstellung im GZ 1

Nachdem bereits 1958 in den USA über Versuche berichtet worden war, die höhenmässige Abtastung der Stereomodelle bei der Orthophoto-Generierung auch für eine Höendarstellung in Form von "dropped dots" oder "dropped lines" zu nutzen, wurde auch für den GZ 1 ein entsprechender Höenschraffenzusatz HS entwickelt und zum Patent angemeldet (MONDON et al. 1966). Der GZ 1-Projektionstisch wurde für die Aufnahme eines zweiten Filmblasses entsprechend erweitert, und in einem zweiten Belichtungskopf (Bild 8.16) wurde ein Ausschnitt einer Symbolscheibe T auf den Film S projiziert (MEIER 1966a). Der Antrieb der Scheibe erfolgte durch die z-Spindel des GZ 1 über ein Wechselradgetriebe  $\ddot{U}_{HS}$  mittels Drehmelder  $D_{HS}$ . Dadurch wurden an festgelegten Höhenstufen Strichbreitenwechsel erzeugt, woraus durch spätere manuelle Nachzeichnung dann Höhenlinien abgeleitet werden konnten (Bild 8.17).

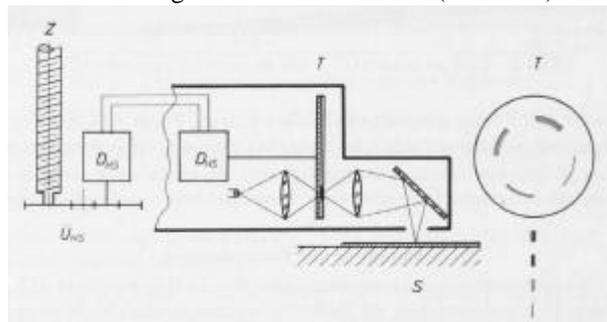


Bild 8.16: Funktionsprinzip des Höenschraffenzusatzes HS



Bild 8.17: Höenschraffenzusatz des GZ 1, teilweise bereits mit abgeleiteten Höhenlinien

Bereits drei Jahre später wurde, gleichzeitig mit der zuvor beschriebenen Optischen Interpolationseinrichtung, der Elektronische Höhenlinienzeichner HLZ vorgestellt (FELLE et al. 1969). Durch einen an der z-Spindel des GZ 1 angesetzten Impulsgeber wurden die Höhengschichten definiert, deren Schnitt mit der Modelloberfläche im Orthophotomassstab die Höhengschichtlinien ergaben. An den Differentialtransformatoren des Lesegerätes (Bild 8.11) lagen die Modellhöhen  $z_A$  und  $z_B$  des Abtast- und des Folgeprofils als elektrische Spannung vor (Bild 8.18). Nach Differenzbildung und Eingabe der Streifenbreite  $\Delta x$  ergab sich die Querneigung  $\Delta z / \Delta x$  als lineares Querprofil innerhalb des Streifens. Dieses wurde durch ein kombiniert digital-elektronisches Zählsystem abgetastet und mit den Impulsen des "elektrischen z-Massstabes" (Impulsgeber) verglichen. Ein synchron laufender, in x-Richtung um  $\Delta x$  abgelenkter Elektronenstrahl einer Kathodenstrahlröhre wurde bei Spannungsgleichheit am Zählsystem hellgetastet, siehe Blockschaltbild (Bild 8.19). Der auf eine Spaltbreite maskierte Bildschirm wurde durch ein optisches System auf die Filmebene abgebildet (Bild 8.20).

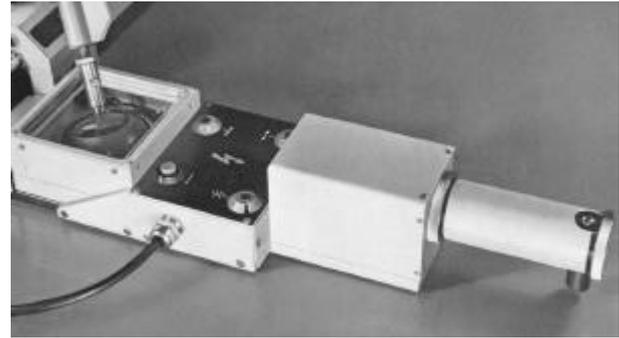


Bild 8.20: Belichtungskopf des Elektronischen Höhenlinienzeichners HLZ

Steuer-Elektronik und Bedienungselemente des HLZ waren im Lesegerät unten in einem Zusatzeinschub untergebracht (Bild 8.10). Die Justierung des Elektronenstrahls auf dem 3 cm-Bildschirm wurde am Projektionskopf bei abgenommener Optik vorgenommen. Vom Auswerter am Einschub einzustellen waren die Streifenbreite  $\Delta x$  und das Höhenintervall im Orthophotomassstab  $\Delta z$ . Mit den serienmässigen 6 Stufen 0,4 / 0,5 / 0,625 / 0,8 / 1,0 und 1,25 mm waren die häufigsten Höhenintervalle im Meter- und Fuss-System abgedeckt. Schliesslich konnte, wie Bild 8.21 zeigt, jede zweite, vierte oder fünfte Linie verstärkt werden (MEIER 1970f).

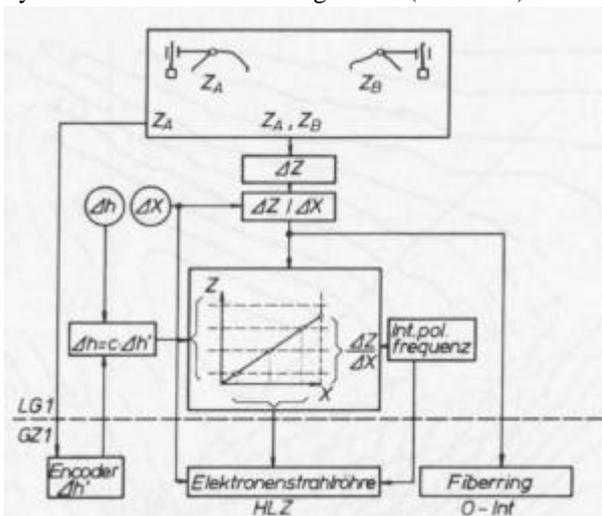


Bild 8.18: Erzeugung der Steuergrössen für O-INT und Elektronischen Höhenlinienzeichner HLZ

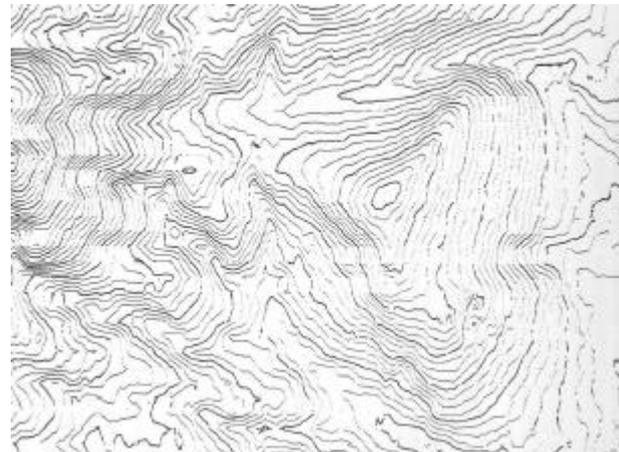


Bild 8.21: Höhenlinienplan des HLZ zum GZ 1 (Ausschnitt)

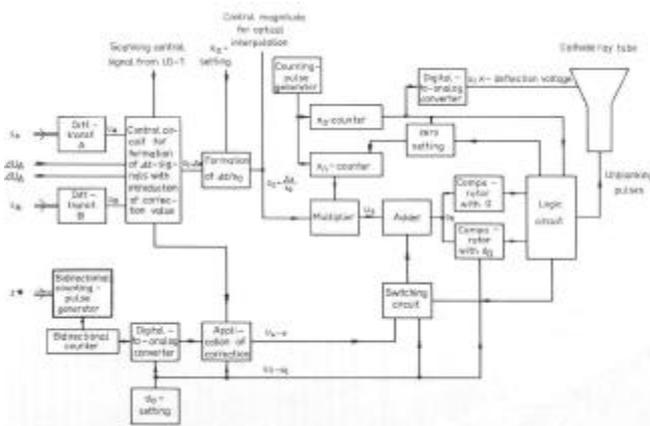


Bild 8.19: Blockschaltbild zum Elektronischen Höhenlinienzeichner HLZ

Auch wenn naturgemäss die geometrische und graphische Qualität dieses "Abfallprodukts" des GZ 1 nicht den manuell im Stereomodell gezeichneten Höhenlinien entsprach, so war doch diese patentierte Höhengschichtlinien-Approximation (FELLE et al. 1966) für etliche Nutzer in offenem und bisher unerschlossenem Gelände ein nützliches Nebenprodukt (HOBBIE 1970a). Insgesamt war das Orthoprojektorsystem GIGAS-ZEISS bis 1982 mit über 60 Installationen - davon mindestens 2/3 im Off-line-Betrieb - und jeweils meist drei Stereoauswertegeräten pro GZ 1 zur Profispeicherung insbesondere bei produzierenden Anwendern der Photogrammetrie ein grosser Erfolg.

Das schlägt sich auch in zahlreichen frühen Veröffentlichungen - überwiegend von Kunden - nieder, u. a. zu

Themen wie Genauigkeit (MEIER 1966b, ACKERMANN et al. 1969, SCHNEIDER 1969, NEUBAUER 1969a & 1969b), Anwendungserfahrung (WINKELMANN 1969, KERSTING 1969, STROBEL 1969) und Wirtschaftlichkeit (MEIER 1970d, BRUCKLACHER 1970a, FORSELL 1969).

#### 8.4 ITEK Korrelator EC 5

Schon 1964, als mit der ersten Vorstellung des Orthoprojektors GZ 1 in Lissabon bereits die Entwicklung eines Off-line-Betriebes angekündigt wurde, erwog man in Oberkochen auch die Möglichkeit, die stumpfsinnige Höhennachführung zur Orthoprojektorsteuerung durch einen Automaten ausführen zu lassen. Auslöser waren die 1959 veröffentlichte Erfindung des "Automatischen Stereoplotters" durch GILBERT HOBROUGH und dessen Ankündigung des STEREOMAT ein Jahr später, sowie in Lissabon die Vorstellung eines modifizierten AUTOGRAPHEN B8 der Firma WILD, Heerbrugg in Verbindung mit dem STEREOMAT der Firmen HUNTING Co., Toronto und AUTOMETRIC Corp., New York. Deshalb wurde auf Basis des 1967 vorgestellten PLANIMAT (siehe Kapitel 10.3) eine Gemeinschaftsentwicklung von CARL ZEISS, Oberkochen mit der ITEK Corporation, Lexington, Massachusetts/USA begonnen. Diese Firma hatte ebenfalls bereits Erfahrung bei der Entwicklung ihres automatischen Stereobetrachters ARES gesammelt. Auf dem Internationalen Photogrammetrie-Kongress in Lausanne 1968 konnte der Elektronische Korrelator EC 5 zum PLANIMAT vorgestellt werden (BRUCKLACHER 1968 & DÖHLER 1968). Ziel war, die Off-line-Speicherung von Steuerprofilen mit PLANIMAT und Speichergerät SG 1 für die GZ 1-Steuerung zu automatisieren (Bild 8.22).



Bild 8.22: PLANIMAT mit Profilspeichergerät SG 1 und Elektronischem Korrelator ITEK EC 5

Wie im normalen Speicherbetrieb mit einem menschlichen Auswerter wurde hierbei die mäanderförmige Grundrissbewegung durch das SG 1 gesteuert, die Höhenänderung erfolgte jedoch durch einen Servoantrieb, der vom Korrelator aus angesteuert wurde. Die Abtastung der korrespondierenden Bildausschnitte geschah mit zwei Lichtpunkt-Abtastsystemen (flying spot scans),

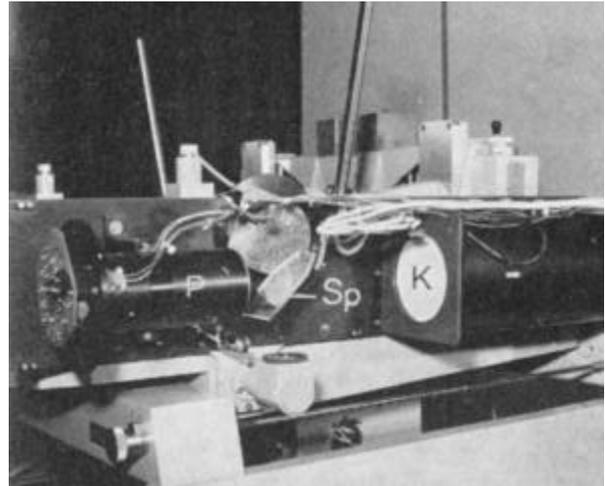


Bild 8.23: Elektronische Abtasteinrichtung des EC 5 für den rechten Bildträger des PLANIMAT

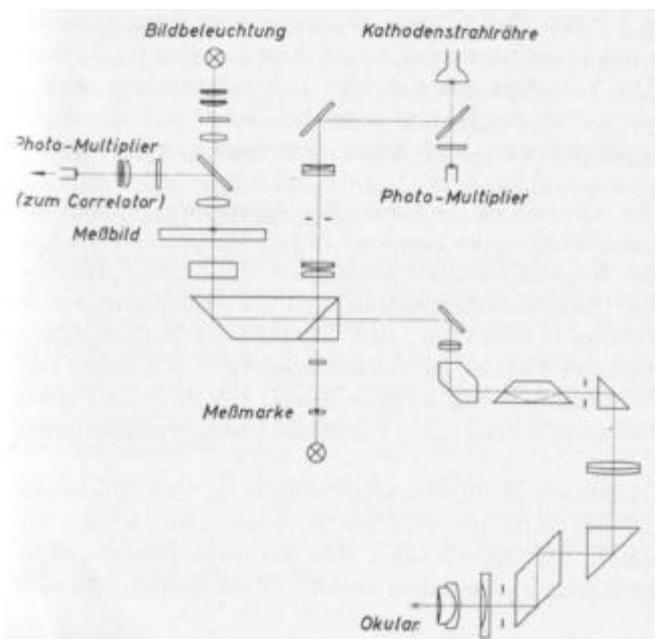


Bild 8.24: Optik-Schema des PLANIMAT mit Korrelator EC 5

die links und rechts an das Optiksysteem angekoppelt waren (Bild 8.23). Bild 8.24 zeigt den optischen Strahlengang des PLANIMAT mit Einkopplung der, den Abtastpunkt erzeugenden Kathodenstrahlröhre und Auskopplung zum Photo-Multiplier durch dichroitische Spiegel. Damit konnte ein Beobachter auch während des automatischen Betriebes den Korrelationsvorgang durch das Okular verfolgen.

Zur Reduzierung von Bildschirm-Instabilitäten wurde das Scan-Raster 10-fach verkleinert auf das Luftbild abgebildet. Ein zweiter Photomultiplier in der Nähe der Kathodenstrahlröhre steuerte die konstante Helligkeit des Abtastpunktes. Die Abtastraster der beiden Bildausschnitte hatten die Form eines Rhombus (Bild 8.25). Die Signalverarbeitung geschah dann im Korrelator-Schrank, der sich links neben dem PLANIMAT befand (Bild 8.22).

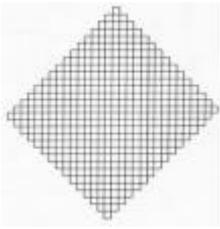


Bild 8.25:  
Form des Abtrasters  
im Itek-Korrelator EC 5

Die mit der Bildinformation modulierten Videosignale wurden korreliert und bezüglich der Verzerrungen durch x- und y-Parallaxen, x- und y-Schiefe und x- und y-Massstabsunterschiede korrigiert (Bild 8.26). Die x-Parallaxe wurde als Höhenkorrektur dem z-Servoantrieb zugeführt (HARDY et al. 1969). Bild 8.27 zeigt das Blockschaltbild des ITEK-Korrelators EC 5.

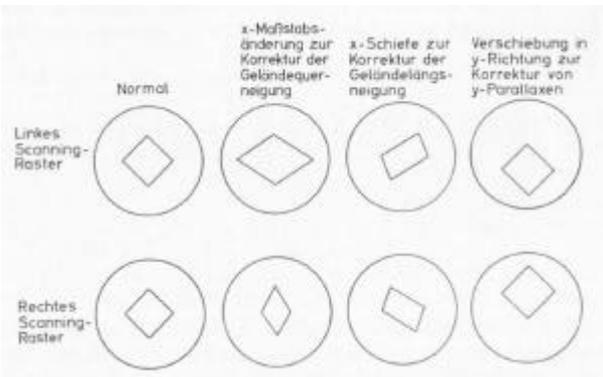


Bild 8.26: Perspektivische Anpassung des Abtrasters an das Stereobildpaar

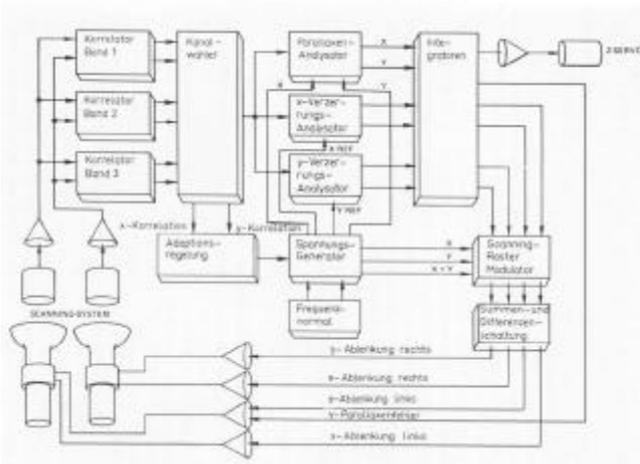


Bild 8.27: Blockschaltbild des ITEK-Korrelators EC 5

Bereits im manuellen Betrieb konnte der Korrelator durch den Auswerter benutzt werden, um z. B. während der Orientierung per Knopfdruck eine restliche x-Parallaxe automatisch zu beseitigen, um dann die y-Parallaxe manuell mit dem entsprechenden Orientierungselement wegzustellen, oder um bei der manuellen Bewegung durch das Modell die Messmarke am Boden zu halten. Primäres Ziel blieb es jedoch, die Profilspeicherung zu automatisieren. Dabei wurde im Falle eines (bei allen bekannten Korrelatoren möglichen) Korrelationsverlustes automatisch der Gravurstichel im SG 1 angehoben und die Ausfallstrecke auf dem Intern-

zeichentisch des PLANIMAT markiert, so dass der Auswerter nach dem automatischen Durchgang diese Korrelationslücken manuell ergänzen konnte.

Die Genauigkeit des Korrelators war auf die statische Genauigkeit des PLANIMAT abgestimmt und so ausgelegt, dass im Prinzip Parallaxen auf  $\pm 3 \mu\text{m}$  genau ermittelt werden konnten. Die übliche Auflösung von damaligen Luftbildern betrug kaum mehr als 25 Linienpaare/mm, damit waren die feinsten Strukturen im Allgemeinen nicht kleiner als  $20 \mu\text{m}$ . Die Tests zeigten denn auch, dass der Korrelator sowohl bei der Punktmessung als auch bei der Profilspeicherung die manuelle Genauigkeit der Auswerter von etwa 0,1 % (statisch) bzw. 0,2 bis 0,3 % (dynamisch) erreichen konnte (HARDY 1970). Dennoch blieb diesem ITEK Korrelator mit nur einem halben Dutzend Installationen, wie auch allen anderen analog arbeitenden Entwicklungen der 1960er bis 1980er Jahre, ein nur sehr begrenzter Erfolg beschieden. Weitere Entwicklungen von CARL ZEISS, Oberkochen zum Thema der automatischen Bildkorrelation siehe im Kapitel 11.3 zu InduSURF.

### 8.5 ORTHO-3-PROJEKTOR

Ebenfalls 1968 in Lausanne wurde nach einer extrem kurzen Entwicklungszeit von nur drei Monaten der ORTHO-3-PROJEKTOR (O-3-P) als Funktionsmuster auf dem ZEISS-Stand aufgebaut, während die Ausstellung bereits eröffnet war. Dieses Gerät war aus dem, nur ein Jahr zuvor auf der Photogrammetrischen Woche vorgestellten Doppelprojektor DP 1 (siehe Kapitel 10.2) entstanden, und zwar durch Erweiterung um einen dritten Projektor an der Geräterückseite (Bild 8.28).



Bild 8.28: ORTHO-3-PROJEKTOR

Dieser dritte Projektor enthielt eine Kopie des linken Stereobildes, war ebenfalls am z-Wagen der beiden vorderen Projektoren angebracht und wurde entsprechend der Höhenänderung durch den Auswerter mit auf und ab bewegt. Das Messmarkentischchen war an einem

Kreuzschlitten befestigt, an dessen Rückseite hinter der Gerätesäule sich die Spaltblende über einem zusätzlichen festen Projektionstisch parallel bewegte. Im Gegensatz zur Ganzfeldausleuchtung der beiden Modellprojektoren wurde diese beim dritten Projektor durch einen, ständig auf die Spaltblende gerichteten Tubus begrenzt, die Lichtquelle war in diesem Fall eine gebläse-gekühlte Halogenlampe. Der Bereich zwischen drittem Projektor und zu belichtendem Film war durch einen lichtdichten Balgen abdunkelbar. Die Vergrößerung war durch den Tiefenschärfenbereich begrenzt (HOBBIE 1970b).

Die wesentlichen Geräteparameter des O-3-P waren:

- Vergrößerungsbereich: 2,5-fach (2-fach optional),
- auswertbare Aufnahmebrennweite: 153 mm,
- auswertbares Bildformat: 14 cm x 23 cm,
- nutzbares Projektionsformat:  $x = 580 \text{ mm}$ ,  $y = 980 \text{ mm}$ ,
- Bildneigungen:  $f = \pm 6 \text{ gon}$ ,  $\theta = \pm 6 \text{ gon}$ ,  $\phi = \pm 6 \text{ gon}$ ,
- gemeinsames  $f$ :  $\theta = \pm 6 \text{ gon}$ ,
- $bx$ : 130 mm - 325 mm,
- Spaltblenden 1mm x 4 mm und 1mm x 2 mm serienmässig,
- Abtastgeschwindigkeit 1,7 / 3,3 / 5,2 und 10 mm/sec.,
- weitere Angaben wie für Doppelprojektor DP 1.

Der ORTHO-3-PROJEKTOR war wegen seines anschaulichen Prinzips als Schulungsgerät sowie für einfache Orthophoto-Aufgaben gedacht und konnte auch als Doppelprojektor benutzt werden. Das Gerät wurde von 1971 bis 1980 im Auftrag von ZEISS Oberkochen bei HENSOLDT in Wetzlar gefertigt und in etwa 50 Exemplaren weltweit ausgeliefert.

## 8.6 ORTHOCOMP Z 2

Bereits mit Abschluss der letzten Entwicklungsarbeiten zum GZ 1-System um 1971 gab es Gedanken für eine spätere Nachfolge-Generation. Diese begannen mit grundsätzlichen Überlegungen zu den Verfahrensfragen im Zusammenhang mit den schnell an Bedeutung gewinnenden Orthophotokarten. Die allgemeinen Erkenntnisse daraus wurden auch kurzfristig als Dissertation vorgelegt (HOBBIE 1973) und der Praxis mitgeteilt (HOBBIE 1974 & 1975a). Anfang der 1970er Jahre war auch absehbar, dass in absehbarer Zeit die digitalen Prozessrechner schnell genug werden würden, um als so genannte Mikroprozessoren und Minicomputer, den Vorläufern der späteren Personal Computer, auch komplexere Steuerungs- und Rechenaufgaben in nahezu Echtzeit ausführen zu können.

Wegen der grösseren Flexibilität sollte ein GZ 1-Nachfolger nicht mehr nach dem Prinzip der Wiederherstellung des Strahlenganges konzipiert werden, sondern zur Erreichung bester Bildqualität mit optischer Bildtransformation arbeiten (Bild 8.29).

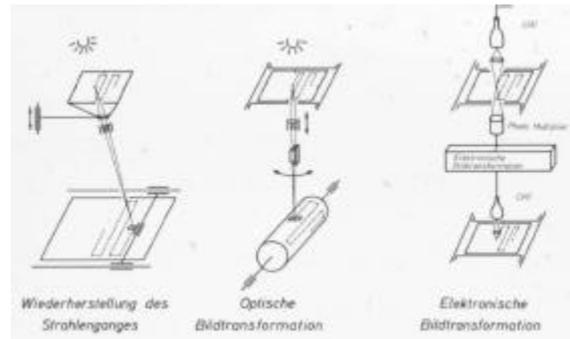


Bild 8.29: Funktionsprinzip differentieller Entzerrungsgeräte

Der elektronische Ansatz, wie zuletzt im 1970 angekündigten GESTALT PHOTO MAPPER der Fa. HOBROUGH Ltd., Vancouver/Kanada vorgesehen, schien zu teuer und qualitativ ungenügend. Und der 1968 vorgestellte OP/C der Fa. OMI, Rom war zwar das erste Gerät mit optischer Transformation und auch als Off-line-Gerät konzipiert, musste aber zusammen mit deren Analytischen Plotter AP/C betrieben werden. Ausserdem war es auf den Massstab 1 : 1 beschränkt.

1974 kam es unter Koordination des Bundesamtes für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB) zu Kontakten mit der Firma BENDIX, Southfield, Michigan/USA (und mit deren seinerzeitigem Mitarbeiter UUNO V. HELAVA), um die gemeinschaftliche Entwicklung eines "Large Format Optical Orthoprinters" (LFOOP) zu eruiieren. Diese Gespräche waren jedoch nicht erfolgreich. Ausserdem wurden unmittelbar darauf die weiteren Vorarbeiten unterbrochen, um sich vorerst auf die Entwicklung eines Analytischen Plotters zu konzentrieren, was einen grösseren wirtschaftlichen Erfolg versprach. Das führte 1976 zur Vorstellung des PLANICOMP C 100 (siehe Kapitel 11.2) und erst nach Serienanlauf des C 100 wurden die Entwicklungsarbeiten im Auftrag des BWB wieder aufgenommen und in den folgenden drei Jahren, ohne weitere Industriepartner, erfolgreich durchgeführt.

Am 12. Februar 1980 konnte die Auftragsentwicklung UNIPRINT intern vorgestellt und bald darauf dem Amt für Militärisches Geowesen in Euskirchen übergeben werden. Es war eine Spezialversion für besondere Anwendungen mit u. a. einem voll auswertbaren Bildformat von 250 mm x 500 mm. In vielen anderen Funktionen war dieses System identisch mit dem bald darauf fertig gestellten ORTHOCOMP Z 2, der im Juli 1980 auf dem Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Hamburg Premiere feierte (Bild 8.30). Die Hauptziele der UNIPRINT bzw. Z 2 - Entwicklung waren:

- hohe geometrische und optisch-photographische Qualität,
- hohe Produktivität,
- hohe Flexibilität bezüglich Ein- und Ausgabeformaten,
- insbesondere Verarbeitung "normaler" Höhenmodelle,
- Integrationsmöglichkeit in Verbundsysteme,
- einfache Bedienbarkeit ohne Rechnerkenntnisse.



Bild 8.30: Orthoprojektor ZEISS ORTHOCOMP Z 2

Damit entstand aus der langjährigen Erfahrung mit dem GZ 1 als bis dato dominierendem Produktionssystem der Praxis der ORTHOCOMP Z 2 (FAUST 1980, HOBIE et al. 1981), dessen optische Grundfunktionen in Bild 8.31 und optische Konfiguration in Bild 8.32 dargestellt sind. Ausgehend von der mäanderförmigen Scanbewegung durch Drehung der Filmtrommel (Scanrichtung) und schrittweise Bewegung der Spaltblende parallel zur Trommelachse wurde entsprechend der Orientierungsdaten des auszuwertenden Luftbildes der Bildwagen mittels Gleichstrom-Servomotoren positioniert.

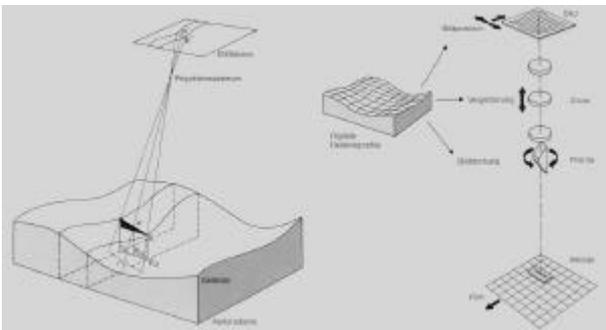


Bild 8.31: Optische Transformation im ORTHOCOMP Z 2

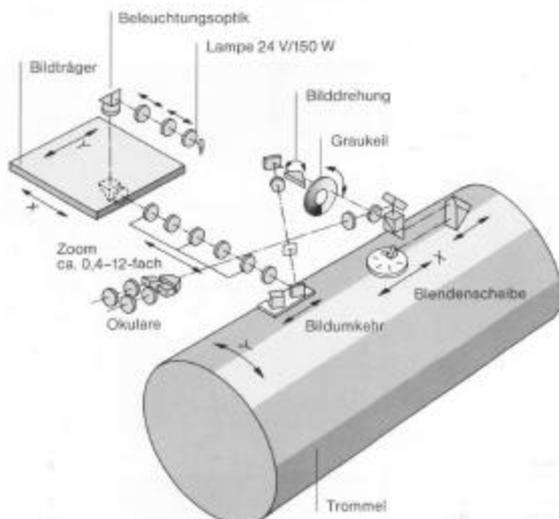


Bild 8.32: Optik-Schema des ORTHOCOMP Z 2

Ebenso wurde für die beiden Blenden-Endpunkte aus Orientierungsdaten und lokaler Höheninformation des Geländemodells deren Position im Bild berechnet. Mit der resultierenden Drehung und Massstabsanpassung des linienhaften Blendenbildes wurden dann Dove-Prisma und Zoom-Objektiv angesteuert. Zur Anpassung an die Abbildungsvergrößerung war auch das Beleuchtungssystem mit einem gesteuerten Zoom-Objektiv versehen. Mit einem motorgesteuerten Graukeil wurde die Lampenhelligkeit auf Vorlagendichte, Filmempfindlichkeit und gewählte Trommelgeschwindigkeit eingestellt. In Bild 8.32 nicht gezeigt ist der Photosensor, mit der die Dichte der Vorlage gemessen werden konnte.

Der Blendenrevolver war serienmässig mit den 4 Spaltblenden 2, 4, 8 und 16 mm ausgestattet (Spaltbreite jeweils 0,2 mm). Ausserdem trug er eine kleine weisse Projektionsfläche mit einer Messmarke von 0,04 mm Durchmesser, die binokular mit 5-facher Vergrößerung betrachtet werden konnte. Damit konnten Rahmenmarken zur inneren Orientierung und gegebenenfalls Passpunkte zur äusseren Orientierung gemessen werden.

Die wesentlichen Geräteparameter des Z 2 waren:

- Vergrößerungsbereich: 0,4-fach bis 12-fach,
- auswertbares Bildformat: 24 cm x 24 cm,
- nutzbares Projektionsformat:  $x=1.000$  mm,  $y=900$  mm,
- maximales Filmformat:  $x=1.050$  mm,  $y=1.040$  mm,
- kleinste Schrittweite des Bildwagens: 0,001 mm,
- kleinste Schrittweite des Blendenwagens: 0,001 mm,
- kleinster Drehwinkel (an Trommeloberfläche): 0,0025 mm,
- Spaltblenden: 0,2 mm x 2, 4, 8 oder 16 mm serienmässig,
- Abtastgeschwindigkeit: 5, 10, 20, 30, 40 und 50 mm/sec,
- Lichtquelle: Halogenlampe 24 V / 150 W.

Betrieben wurde der Z 2 mit dem Minicomputer HP 1000 der Fa. HEWLETT-PACKARD, der in vergleichbarer Ausstattung von ZEISS seit 1976 auch schon im PLANICOMP C 100 eingesetzt wurde. Dieser Rechner war mit einem echtzeitfähigen Betriebssystem (anfangs RTE II) ausgestattet, welches erlaubte, mit höchster Priorität den Orthoprojektor zu steuern (Bild 8.33). Er konnte



Bild 8.33: ORTHOCOMP Z 2 mit Computersystem HP 1000

aber im "Background" auch zusätzliche Rechnungen durchführen. Mit Bildschirmterminal, Drucker, Magnetbandstation und möglicher Netzwerkverbindung zu anderen Computern war das HP 1000 / RTE-System ein vollwertiger Rechner-Arbeitsplatz. In der den Folgejahren wurde die HP 1000-Familie immer leistungsfähiger.

Ein wesentliches Merkmal des ORTHOCOMP Z 2 im Vergleich zu den bereits auf dem Markt befindlichen Geräten der Wettbewerber war die unmittelbare Verwendbarkeit von Geländeprofilen mit Landeskoordinaten, ohne vorherige Transformation oder Berechnung von speziellen, an ein einzelnes Bild gebundenen, Steuerprofilen. Die entsprechend einfache Handhabung war dem erfolgreichen PLANICOMP C 100 nachempfunden und manifestierte sich am Bedienpanel (Bild 8.34).

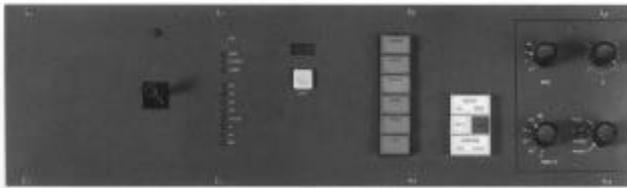


Bild 8.34: Bedienpanel zum ORTHOCOMP Z 2

Neben vier spezifischen Drehknöpfen zur Einstellung von Schrittweite/Blende, Scangeschwindigkeit, Graukeil und Wahl der Steuerknüppel-Funktion, dem Steuerknüppel zur wahlweisen Positionierung von Bildwagen, Filmtrommel, Zoom oder Prisma und den "Repeat"- und "Continue"-Tasten für Dialogentscheidungen waren das die Programmwähltasten für die aufeinander folgenden Arbeitsschritte (FAUST 1981):

- *PARAMETER: Zuerst waren am Bildschirmterminal Daten der Orientierung, Blatteckenkoordinaten, der Speicherort der zu benutzenden Profildaten usw. einzugeben, bzw. aus Dateien zuzuweisen, oder auch nur zu bestätigen, wenn es dieselben Daten des vorherigen Durchganges waren.*
- *ORIENT: Mit der Messung von mindestens zwei Bildrahmenmarken war die innere Orientierung, also die Lage des eingelegten Bildes auf dem Bildträger zu bestimmen. Falls die Daten der äusseren Orientierung noch nicht vorlagen, waren auch noch Passpunkte zu messen.*
- *DENSITY: Messung von Dichtewerten an signifikanten Bildstellen, Bewegung mit Steuerknüppel und Ablesung am kleinen Display, Darstellung von kleinstem, grösstem und mittlerem Wert am Terminal.*
- *SCAN: Start des eigentlichen Scanvorganges, die absolute dynamische Positioniergenauigkeit auf der Filmtrommel war  $<0,1$  mm, ausser im je 5mm langen Beschleunigungs- und Bremsabschnitt an den Streifenenden.*
- *PRINT: Dieser Programmschritt ermöglichte die direkte Einbelichtung von alphanumerischen Zeichen und damit von einfachen Texten und einigen kartographischer Symbolen (Bild 8.35) nach einem geschützten Verfahren (HOBBIE 1980 & ZEISS 1980).*
- *LIST: Ausgabe eines Auswerteprotokolls.*

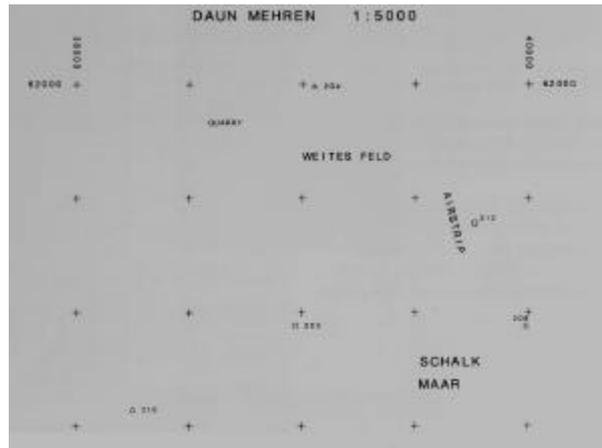


Bild 8.35: Text- und Symbol-Ausgabe des ORTHOCOMP Z 2

Der Raum mit dem Z 2 musste nur für die Dauer des Einlegens und Herausnehmens des Films abgedunkelt werden. Zusätzlich zu diesen Grundfunktionen wurden von Beginn an u. a. folgende Zusatzprogramme angeboten:

- *GEFIO: Lesen, Schreiben und Editieren von Dateien im Hinblick auf die Nutzung im Z 2.*
- *PREPA: Vorbereitung der Einstellparameter für die nächsten zu bearbeitenden Orthophotos und Übernahme mit dem Arbeitsschritt PARAMETER.*
- *SNUFI: Analyse der bereitgestellten Profildaten.*
- *HIFI-P: Optionales Programm zur Erzeugung eines digitalen Höhenmodells und Ableitung von Geländeprofilen (siehe Kapitel 8.7).*
- *HIFI-PS: Optionales Programm HIFI-P, erweitert um die Berechnung von "Partnerprofilen" zwecks Herstellung von Stereoorthophotos (siehe Kapitel 8.7).*

Später kamen weitere Hilfsprogramme hinzu (FAUST 1984), auch Benutzer entwickelten eigene Zusatzprogramme und stellten sie anderen Z 2-Nutzern zur Verfügung.

Eine interessante Methode der Erzeugung von digitalen Profildaten war die in Nordrhein-Westfalen und auch an anderer Stelle durchgeführte Digitalisierung der analogen Profilspeicherplatten des Orthoprojektors GZ 1, welche teilweise bereits zuvor auch bei Neubefliegungen zur Aktualisierung der Photokarten wieder verwendet worden waren (ELLENBECK et al. 1981, TÖNNESSEN et al. 1981). Auch wurde dort, ähnlich wie auch bei anderen grossen Institutionen, der Z 2 in ein abteilungsweites, photogrammetrisches Verbundsystem eingegliedert (Bild 8.36), welches auf der Basis des Rechnernetzwerk-Produktes DS/1000 der Fa. HEWLETT-PACKARD eingerichtet worden war (ELLENBECK 1983).

Damit war mit dem ORTHOCOMP Z 2 ein GZ 1-Nachfolger geschaffen worden, der mit 5-facher Geschwindigkeit und verdoppelter grösster Spaltblende um den Faktor 10 schneller belichten konnte, und der durch

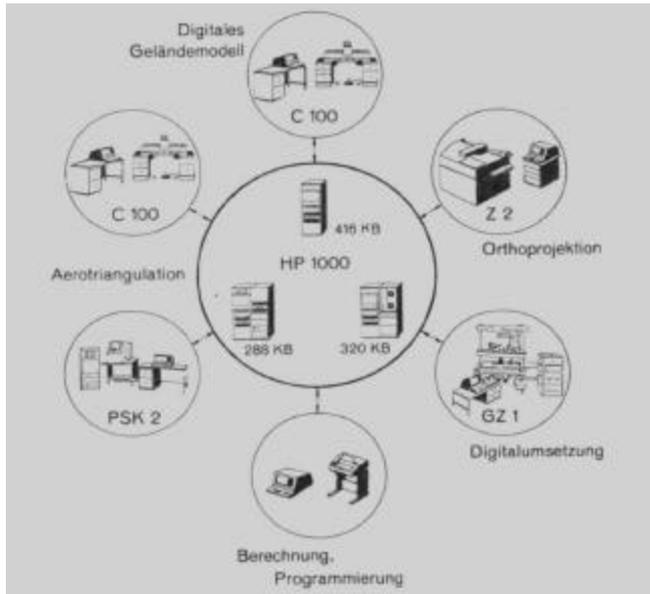


Bild 8.36: Photogrammetrisches Verbundsystem beim Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen

eine bessere Optik, eine schmalere Spaltblende und eine höhere Positioniergenauigkeit eine erheblich verbesserte Bild- und Farbqualität erzeugen konnte. Auch dass für den Z 2 keine speziellen - wie bei einem Wettbewerber nur an ein spezifisches Luftbild gebundenen - Steuerprofile vorab generiert werden mussten, sowie der hohe Produktionsdurchsatz, verhalf vielen Kunden zu einem grossen wirtschaftlichen Erfolg. Insgesamt wurden bis Anfang der 1990er Jahre weltweit ca. 50 Systeme ausgeliefert, bevor die noch besseren Möglichkeiten der digitalen Orthophoto-Herstellung verfügbar wurden (siehe Kapitel 8.8 und 12.3).

### 8.7 Programmsystem HIFI

Gleichzeitig mit der Premiere des ORTHOCOMP Z 2 in Hamburg wurde 1980 das von HEINRICH EBNER und Mitarbeitern entwickelte Programmsystem HIFI ("Höhen-Interpolation mit Finiten Elementen") vorgestellt, dessen Entstehung von ZEISS unterstützt worden war (EBNER et al. 1980b, EBNER 1981, FAUST 1985). Grundlegende Arbeiten dazu waren an der Technischen Universität München schon seit mindestens 1978 durchgeführt worden. Mit der Grundversion HIFI-P wurde aus den unterschiedlichsten Höhendaten zunächst durch Interpolation mit bilinearen und bikubischen finiten Elementen ein digitales Höhenmodell (DHM) erzeugt, aus dem dann unmittelbar Geländeprofile, u. a. zur Steuerung des Z 2 abgeleitet werden konnten. Mit Programmergänzungen konnten andere Ausgabeprodukte generiert werden, wie z. B. Höhenlinienpläne, Perspektiv-Darstellungen oder Volumenberechnungen (Bild 8.37). Eine Besonderheit war die Erzeugung von so genannten Partnerprofilen zur Herstellung von Stereo-Partnern zum jeweiligen Orthophoto (EBNER 1981,

CLERICI 1983). Stereoorthophotos waren Anfang der 1980er Jahre intensiv propagiert und von einigen Anwendern gefordert worden.

Das Programmsystem HIFI wurde von CARL ZEISS, Oberkochen auch zusammen mit anderen photogrammetrischen Instrumenten angeboten und verkauft.

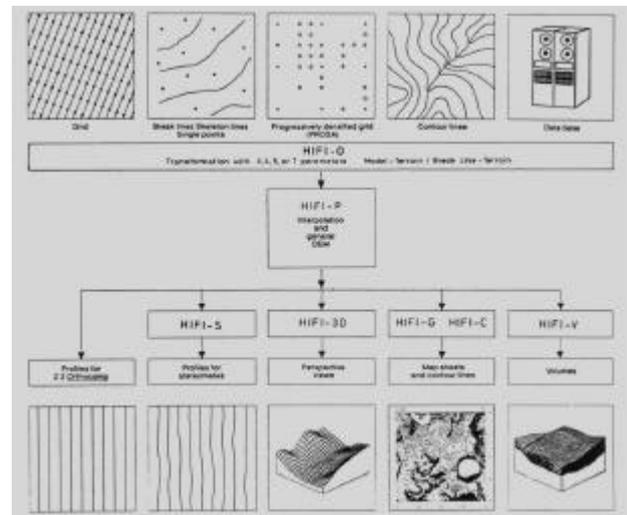


Bild 8.37: Struktur des Programmsystems HIFI

### 8.8 PHODIS-OP

Bereits als in den 1970er Jahren im Wissenschaftsbetrieb der Hochschulen frühe Bildabtastgeräte zur Digitalisierung von Luftaufnahmen eingesetzt wurden, entstanden in der Folge erste Arbeiten zum Thema digitale Orthophotos. Darüber hatten u. a. 1975 KREILING sowie 1979 KEATING und KONECNY berichtet. CARL ZEISS Oberkochen fing um 1987 an, sich damit intensiver zu befassen, als begonnen wurde, gemeinsam mit der Fa. INTERGRAPH, Huntsville, Alabama/USA einen Photoscanner zu entwickeln (siehe Kapitel 12.1). Mit INTERGRAPH hatte man bereits gerade ein anderes grosses Projekt erfolgreich durchgeführt (siehe Kapitel 11.4).

Auf der Photogrammetrischen Woche 1991 in Stuttgart wurde unter der Projektbezeichnung PHIPS erstmals über das in Arbeit befindliche Entwicklungsprojekt "Photogrammetric Image Processing Systems" berichtet (MAYR 1991). Dabei wurde auch die Absicht erwähnt, mit dieser Entwicklung primär die Erstellung von Orthophotos auf rein digitalem Wege zu realisieren, wobei das angestrebte Verfahren über die bisherigen Möglichkeiten des optisch-analytischen Instrumentariums hinausgehen sollte. Unter anderem war es das Ziel, das Problem der bisher im gebirgigen Gelände nicht zu vermeidenden so genannten "sichttoten Räume" zu lösen (Bild 8.38). Ebenso sollten Umklappungen bei hohen Gebäuden und Brücken reduziert bzw. vermieden werden, was später mit "True Orthophoto" bezeichnet wurde.

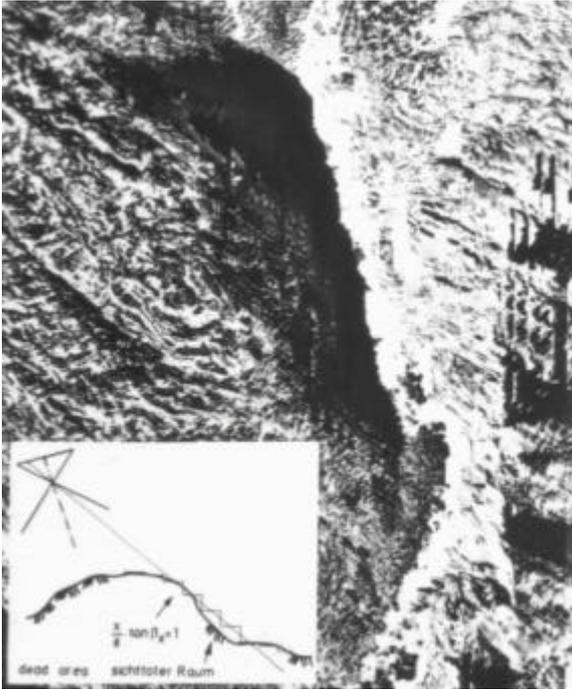


Bild 8.38: "Sichttote Räume" bei der Orthophoto-Herstellung

Auf dem 17. Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung in Washington im August 1992 wurde dann diese Entwicklung unter dem Namen PHODIS als "Programm zur Orthobild- und

Orthophotokarten-Herstellung" erstmals in der Öffentlichkeit vorgeführt. Bei einem hausinternen Workshop für deutsche Anwender im November 1992 und auf der Photogrammetrischen Woche 1993 in Stuttgart erfolgte dann eine ausführliche Präsentation "Digitale Orthophoto-Produktion mit PHODIS" (Kresse 1993). Bild 8.39 deutet den Arbeitsfluss und die Ausgabemöglichkeiten an. Auf der gleichen Veranstaltung wurde jedoch auch das gesamte Leistungsspektrum von PHODIS vorgestellt, so dass wegen der weiteren Details auf das Kapitel 12.3 "Luftbildauswertung digital" verwiesen wird.

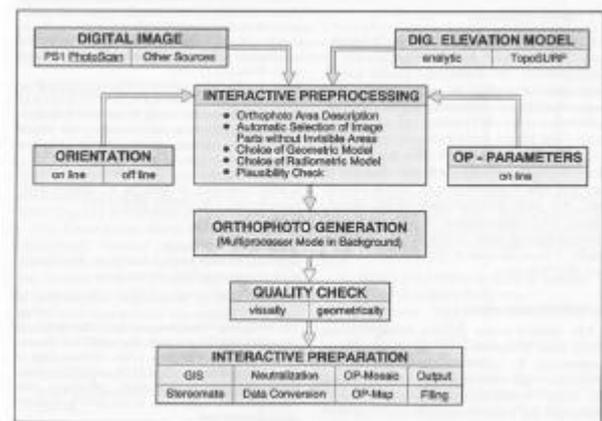


Bild 8.39: Arbeitsschritte bei digitaler Herstellung von Orthophotos mit PHODIS-OP

## 9. Luftbildauswertung numerisch

Mit der numerischen Auswertung in Gestalt des 1901 vorgestellten PULFRICH-Stereokomparators wurde die Stereophotogrammetrie begründet. An diesem, und auch an den Folgemodellen, wurden Koordinaten und Parallaxen an Skalen und Nonien abgelesen. Später folgten, auch an Stereoauswertegeräten, Koordinatenzähler und Mikrometertrommeln. In all diesen Fällen mussten jedoch numerische Werte abgelesen und von Hand notiert werden. Erst mit einer maschinellen Registrierung nach 1950 wurde der numerischen Auswertung ein breiter Erfolg beschieden. Erste Hauptanwendungen waren die Verknüpfung von Luftbildern (Aerotriangulation) und die Katasterphotogrammetrie. Dafür wurden vor allem verbesserte Stereo- und Monokomparatoren eingesetzt, aber auch mit Registriergeräten ausgestattete Stereoauswertegeräte. Für die Aerotriangulation wurden darüber hinaus Punktmarkiergeräte benötigt.

### 9.1 Koordinatenregistrierung

Schon 1952 war zum STEREOPLANIGRAPH C 8 das Druckzählwerk vorgestellt worden, mit welchem in der Photogrammetrie erstmals die Modellkoordinaten von interessierenden Punkten mit einem Hebelzug auf Papier ausgedruckt werden konnten (SCHWIDEFSKY 1952).

Fünf Jahre später wurde auf dem 3. Internationalen Kurs für geodätische Streckenmessung in München mit dem ECOMAT eine Möglichkeit vorgetragen, diese Koordinaten am C 8 oder an einem Präzisions-Stereokomparator in computer-lesbarer Form auf einem Lochstreifen oder auf Lochkarten auszugeben (SCHWIDEFSKY 1958).

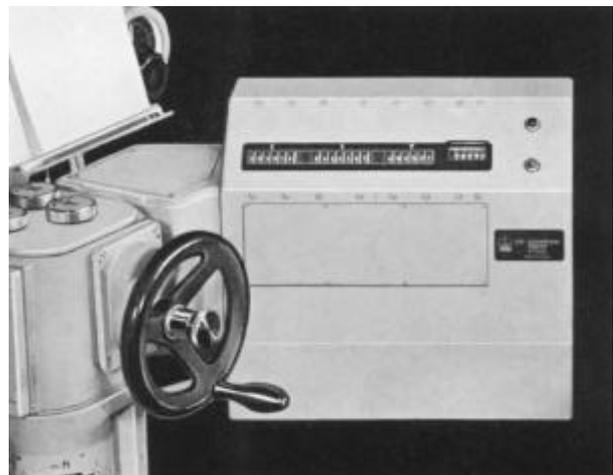


Bild 9.1: ECOMAT I am STEREOPLANIGRAPH C 8 (1957)

Bild 9.1 zeigt am C 8 an der Stelle des Druckzählwerkes den so genannten Magnetzähler, d. h. die Koordinaten-Anzeige- und Kodiereinheit des ECOMAT, später auch

ECOMAT I genannt. Die Analog-Digital-Umwandlung erfolgte derart, dass während einer vollen Umdrehung des Ziffernrades ein Kontakthebel jeweils einen von 10 Kontakten berührte. In Bild 9.2 sind die Magnetzähleinheit einer Koordinatenziffer sowie die Zählergruppe einer ganzen Koordinate dargestellt.

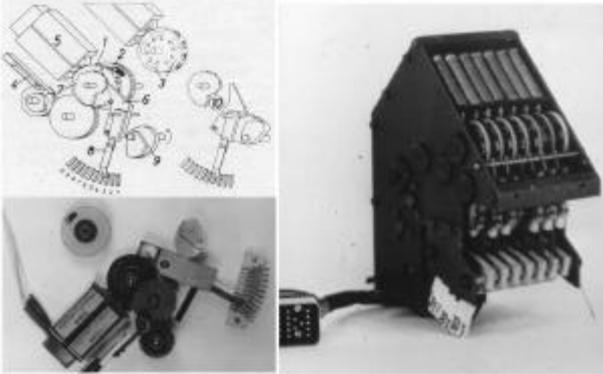


Bild 9.2: Magnetzähleinheit und Zählergruppe des ECOMAT I

Die Anzeige der Koordinaten erfolgte am C 8 in der Reihenfolge z, x, y in Einheiten von 0,01 mm, in y und z 6-stellig, in x im Hinblick auf lange Triangulationsstreifen mit 7 Stellen. In einem weiteren Ablesefenster wurde eine 4-stellige, automatisch fortschaltende Punktnummer gezeigt, der noch zusätzlich eine von 0 bis 9 einstellbare Kennziffer vorangesetzt war. Der Magnetzähler war über ein elektrisches Kabel mit einem Schreibautomaten verbunden (Bild 9.3).



Bild 9.3: Schreibautomat mit Zifferntaster zum ECOMAT I

Durch Druck auf einen der beiden Auslöseknöpfe am Magnetzähler wurden die Registrierung und der - wahlweise schwarze oder rote - Koordinatenausdruck ausgelöst. Bereits nach 1 sec war der Magnetzähler wieder für eine nächste Punkteinstellung freigegeben, jedoch benötigte der Schreibautomat für den Ausdruck von 24 Ziffern etwa 8 sec. Der Schreibautomat enthielt neben der üblichen Schreibmaschinenfunktion eine leicht auswechselbare Steuerplatte (Bild 9.4), auf der mittels steckbaren Steuerstiften der Programmablauf festgelegt wurde. Damit konnten u. a. die folgenden Operationen gesteuert werden: Wahl der Koordinatenfolge, Steu-

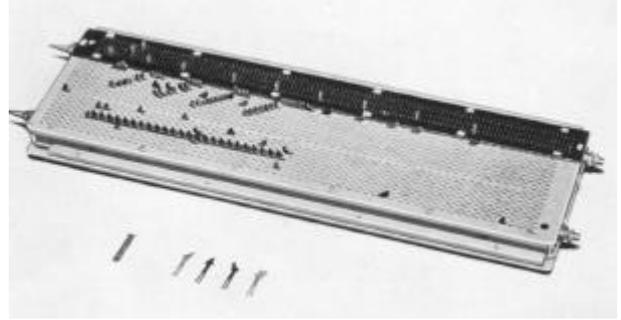


Bild 9.4: Steuerplatte des Schreibautomaten zum ECOMAT I

erung von Zwischenräumen und Spaltenabständen, Unterdrückung oder Hinzufügung von Nullen, Hinzufügung von Schreibmaschinentexten und Steuerzeichen sowie Einfügung einer individuellen Punktnummer mittels des Zifferntasters (Bild 9.3) an Stelle der fortlaufenden Nummer der Magnetzähleinheit. 1957 war zunächst nur die Ausgabe auf Lochstreifen im seinerzeit verbreiteten Fernschreib-Code (5er-Code) möglich (Bild 9.5), bereits kurze Zeit später jedoch auch auf Lochkarten. Und ab etwa 1967 wurde die Eingabe der Punktnummer mit dem Zifferneinstellwerk (Bild 9.6) nochmals komfortabler.



Bild 9.5:  
Lochstreifenstanzer  
zum ECOMAT



Bild 9.6:  
Zifferneinstellwerk  
zum ECOMAT I  
(ca. 1967)

1960 wurde darüber hinaus für den C 8 eine Profilmess-einrichtung (Bild 9.7) vorgestellt, mit der Profile mit wählbarem Azimut und regelbarem motorischen Antrieb abgefahren werden konnten, wobei die Registrier-auslösung in gewählten Inkrementen oder auch in beliebiger Folge an Geländeknickpunkten erfolgen konnte (SCHWIDEFSKY et al. 1958). Zusätzlich konnten diese Profile auch am angeschlossenen Koordinatographen

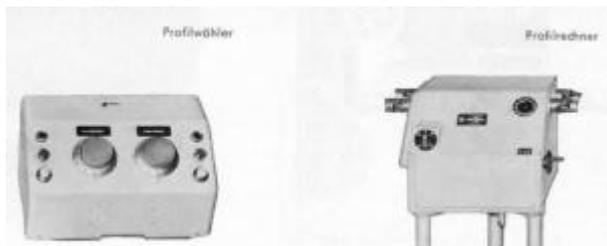


Bild 9.7: Profilmesseinrichtung zum C 8

des C 8 aufgezeichnet werden. Schliesslich ermöglichte die Kombination von ECOMAT I und Koordinatograph, mittels eines Einstellprojektors am Zeichentisch Koordinaten in Kartenvorlagen zu digitalisieren, oder auch mittels eines Lochkartenlesers Punkte automatisch zu kartieren (siehe Kapitel 10.6).

1960 dann wurde diese Registrieranlage leicht modifiziert als ECOMAT II auch für den neuen Präzisions-Stereokomparator PSK vorgestellt (siehe Kapitel 9.2).

Mit den enormen Fortschritten in der Elektronikentwicklung in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre lag es nahe, auch beim ECOMAT von der Relais-technik auf Transistortechnik überzugehen. Auf dem Symposium der Kommission II in München im September 1970 wurde erstmals über den elektronischen ECOMAT 11 berichtet (SCHWEBEL 1971 & 1973a), der dann auf der Photogrammetrischen Woche 1971 in Karlsruhe vorgestellt wurde. Bild 9.8 zeigt den Elektronenschrank dieser

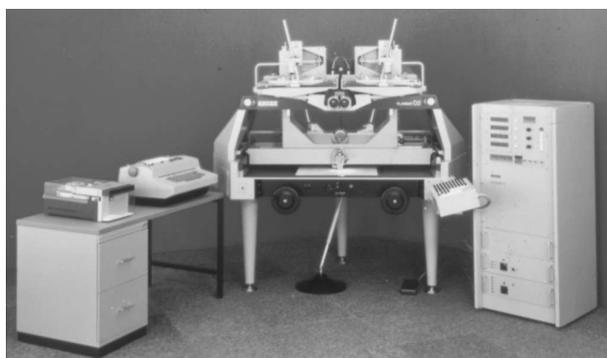


Bild 9.8: ECOMAT 11 mit IBM-Schreibautomat und Lochstreifenstanzer am PLANIMAT D 2 (1971)

Koordinatenregistrieranlage am PLANIMAT D 2 mit Zifferneinstellwerk, Schreibautomat und Lochstreifenstanzer. Die Koordinatenerfassung beruhte auf dem Prinzip der inkrementellen Impulszählung, die maximale Zählfrequenz betrug 16 KHz. Dafür wurden in der Regel photoelektrische Rotationsimpulsgeber (Bild 9.9) verwendet. Um am PLANIMAT auch bei Freihandführung die Koordinatenzuordnung zu erhalten, wurden alternativ Linearimpulsgeber (Bild 9.10) eingesetzt.

Die Koordinatenanzeige und -erfassung erfolgte 6-stellig mit einer Auflösung von 0.01 mm, bei wählbarer Zählrichtung und Wahl beliebiger Ausgangswerte für alle Koordinaten.



Bild 9.9: Inkrementelle Rotationsimpulsgeber zum ECOMAT 11



Bild 9.10: Inkrementelle Linearimpulsgeber zum ECOMAT 11

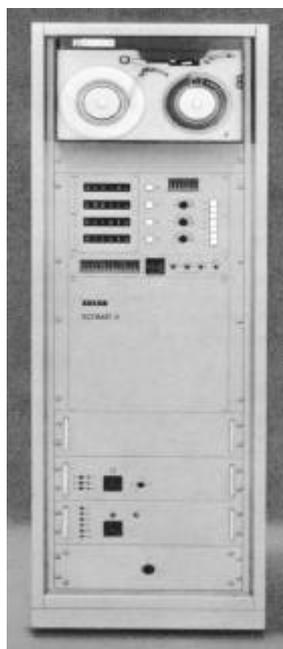


Bild 9.11: ECOMAT 11 mit Magnetbandeinheit

Als Ausgabeeinheiten standen IBM-Schreibautomat (15 Zeichen/sec), OLYMPIA Lochstreifenstanzer (5- bis 8-Kanal, 20 Zeichen/sec), IBM - Kartenlocher (10 Zeichen/sec) oder Magnetbandeinheit (Bild 9.11) mit max. 1.000 Zeichen/sec) zur Verfügung. Die Punktnummer konnte automatisch fortgeschaltet werden, oder aber individuell am Zifferneinstellwerk 1 bzw. 2 mit 4- bzw. 12-stelligem Nummernteil sowie einer Zehnertastatur eingestellt werden (Bild 9.12).

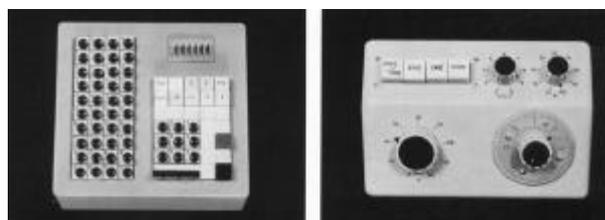


Bild 9.12: Zifferneinstellwerk 1 sowie DTM 1-Steuerpult

Neben der individuellen Auslösung von Registrierungen ermöglichte der ECOMAT 11 die automatische Registrierung in wählbaren Koordinaten-Inkrementen von 0,1 / 0,2 / 0,5 / 1,0 / 2,0 / 2,5 / 5,0 / 10 mm oder in Zeitinkrementen zwischen 0,1 und 9,9 sec. Mit der halbautomatischen Messeinrichtung DTM 1 (Bild 9.12) stand darüber hinaus ein motorischer Antrieb zur Verfügung, welcher parallel zu den Koordinatenachsen des Auswertegerätes oder in beliebigem Winkel genutzt werden konnte. Profilabstand und Punktabstand auf den Profilen konnten jeweils zwischen 0,1 und 50 mm gewählt werden, die Transportgeschwindigkeit kontinuierlich zwischen 0 und 10 mm/sec. Im kontinuierlichen Modus wurde diese Geschwindigkeit zu Grunde gelegt, im diskontinuierlichen Modus kam für eine wählbare Wegstrecke vor einem nächsten Messpunkt eine - ebenfalls wählbare - geringere Messgeschwindigkeit zur Anwendung, und im schrittweisen Modus hielt das System am nächsten Messpunkt bis zur Registriererauslösung an.

Die Begrenzung des Messgebietes erfolgte durch Eingabe von Modellkoordinaten oder durch Stahllineale auf dem magnetischen Internzeichentisch des PLANIMAT (Bild 9.13). Für die vollautomatische Profilerfassung mit PLANIMAT D 2 und ITEK-Korrelator EC 5 wurde das DTM 1-Zubehör zum DTM 2 erweitert und damit zum wesentlichen Bestandteil dieses Systems.

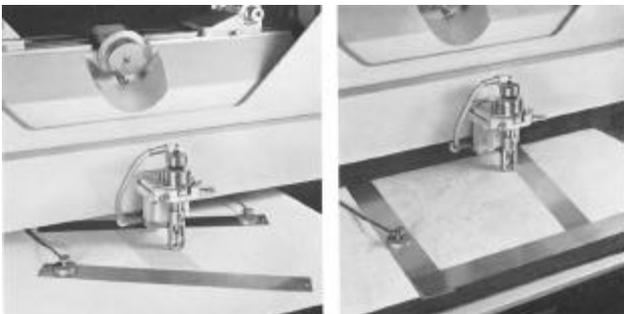


Bild 9.13: Möglichkeit der Gebietsbegrenzung beim DTM

Gleichzeitig mit dem ECOMAT 11 wurde 1971 auch der ECOMAT 21 für den überarbeiteten Präzisions-Stereo-komparator PSK 2 vorgestellt, mit dem Unterschied, dass statt der drei Modellkoordinaten  $x, y, z$  die Bildkoordinaten  $x_1, y_1, x_2, y_2$  registriert wurden und eine Inkrementalregistrierung nicht nötig war (siehe Kapitel 9.2).

In Folge der fortschreitenden Miniaturisierung konnte fünf Jahre später der ECOMAT 12 als kompaktes Tischgerät vorgestellt werden (Bild 9.14). Diese Entwicklung war unter dem Titel "Digitaltechnik" durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert worden (SCHWEBEL 1979b). Wegen des zunehmenden Bedarfs an unmittelbarer Datenübertragung an die populär werdenden Tischrechner konnte dieses Gerät nicht nur wie bisher eine Off-line-Registrierung steuern, sondern auch die erfassten Daten "on-line" an einen Computer übertragen (SCHWEBEL 1976b & 1979b).



Bild 9.14: ECOMAT 12 (1976)

Im Registriermodus konnten ähnlich wie in den Vorgängermodellen bis zu vier 6-stellige Koordinaten mit einer Auflösung von 0,01 mm in wählbarer Zählrichtung aus den inkrementellen Impulsen gebildet werden, am Stereoauswertegerät neben  $x, y, z$  beispielsweise auch  $b_y$ . Die Punktnummer konnte 12-stellig sein, davon wahlweise 4 Stellen als laufende Punktnummer über eine Zehnertastatur und Vorwahl von variablem und konstantem Nummernanteil. Die Ausgabe konnte mit max. 1.000 Zeichen/sec erfolgen, als Ausgabegeräte waren IBM-Schreibautomat, IBM-Kartenlocher, FACIT-Streifenlocher und gepufferte Magnetbandsysteme von PERTEC oder KENNEDY vorgesehen. Wie zuvor konnten über den Schreibautomat zusätzliche Informationen (z. B. Text) eingegeben werden. Für die Registriererauslösung standen neben der Einzelpunktregistrierung mit Hand- oder Fusstaste Koordinaten-, Weg- und Zeitinkremente zur Auswahl. Die Festlegung des Ausgabeformates geschah im programmierbaren Read-Only-Memory (PROM, Bild 9.15), in dem vorab bis zu 4 Programme zu je 64 Programmschritten Platz fanden, zwischen denen dann umgeschaltet werden konnte.

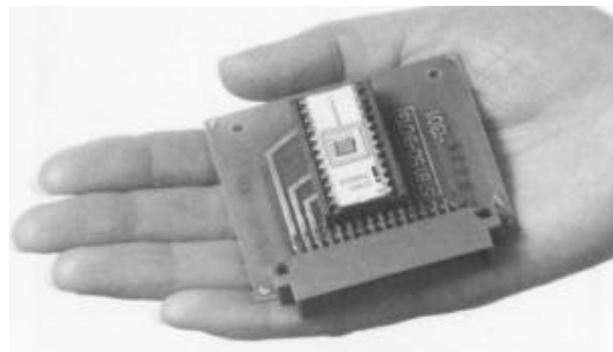


Bild 9.15: Programmierbares Steuermodul (PROM) zum Ecomat 12

Im Datenverkehr mit einem Tischrechner wurden nicht nur Koordinaten, Punktnummern und weitere Eingaben an der Zehnertastatur vom ECOMAT 12 zum Rechner übertragen, sondern bei Bedarf auch verarbeitete Koor-



Bild 9.16: ECOMAT 12 mit zusätzlichem Programmtasten-Block und mit Tischrechner HP 9825

koordinaten und Punktnummern vom Rechner auf den ECOMAT rückübertragen, sowohl zur Anzeige als auch zur Registrierung auf den Ausgabegeräten. Ausserdem konnten über eine zusätzliche Programmtastatur am ECOMAT 12 (im Bild 9.16 rechts) Programme im Computer gestartet werden. Der Datenverkehr wurde nach dem Handshake-Verfahren abgewickelt, indem vom Rechner eine Kennziffer  $c$  ( $c = 0$  bis  $9$ ) an den ECOMAT ausgegeben wurde. Dadurch war die Datengruppe festgelegt, die im folgenden Ein- oder Ausgabebefehl übertragen wurde. In Bild 9.17 ist diese Methode am Beispiel der Echtzeitschleife für eine Koordinatentransformation im Rechner und Rückübertragung an den ECOMAT und Warten auf weitere Programmauslösungen dargestellt.

Entsprechend der 1971 vorgestellten Profilmesseinrichtung DTM 1 zum ECOMAT 11 wurde 1979 mit dem DTM 3 eine entsprechende Zusatzeinrichtung zum ECOMAT 12 präsentiert (SCHWEBEL et al. 1979e). Das DTM 3 besteht aus digital gesteuerten Gleichstrommotoren für den  $x, y$ -Antrieb des Stereoauswertegerätes PLANIMAT oder PLANICART, einer elektronischen Steuereinheit mit verschiedenen Einstellelementen, sowie einer Fernbedienung zur Regulierung von Parametern während des Messablaufes (Bild 9.18). Wie beim DTM 1 wird das Abtastmuster im Grundriss automatisch gesteuert, während der Auswerter die Messmarke mittels Handrad in der Höhe nachführt. Mit der Inkrementalregistrierung und dem jetzt auf  $0,01$  gon genau wählbaren Profilwinkel war ein breites Spektrum an Abtastrastern möglich (Bild 9.19). Die Transportgeschwindigkeit betrug jetzt max.  $25$  mm/sec, die Messgeschwindigkeit wiederum max.  $10$  mm/sec. Wurden während des Abtastens Fehler gemacht, konnte ein Fehlerzeichen zur Kennzeichnung des fehlerhaften Profils gesetzt werden, welches dann automatisch die Wiederholung dieses Abschnittes veranlasste.

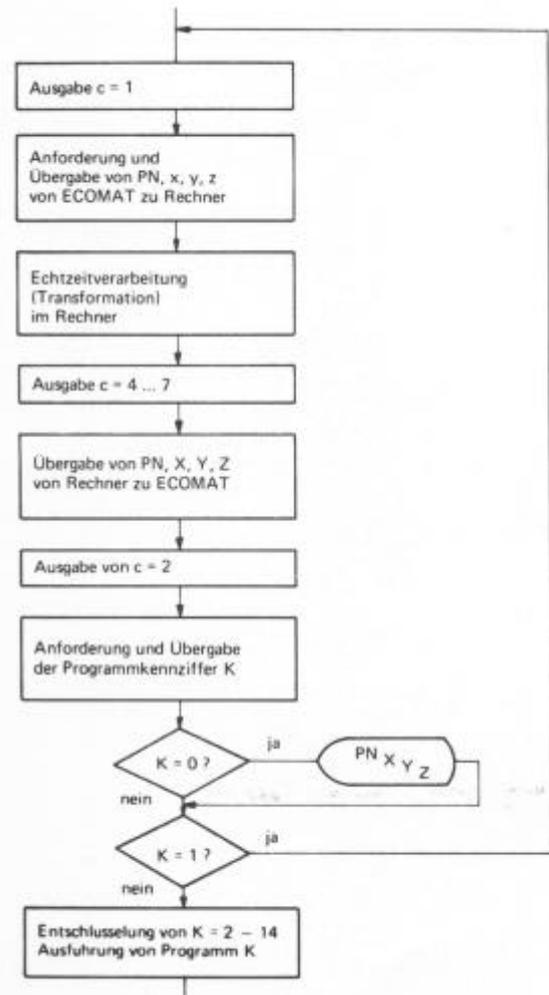


Bild 9.17: Kommunikation ECOMAT 12 mit Tischrechner

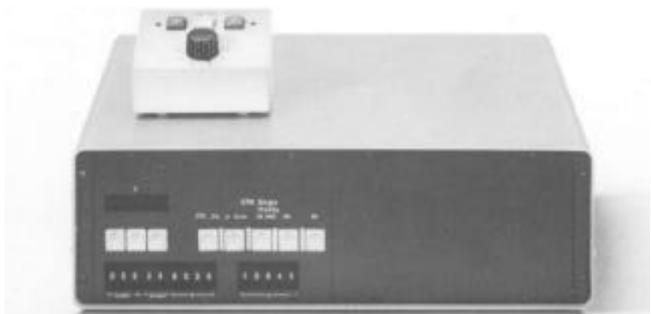


Bild 9.18: Steuereinheit DTM 3 mit Fernbedienung (1979)

Die von ZEISS Oberkochen seit 1957 in den verschiedenen Technologiestufen angebotenen, reinen Koordinatenregistrieranlagen vom Typ ECOMAT wurden ab Anfang der 1980er Jahre zunehmend weniger nachgefragt, weil zu dieser Zeit die analytischen Stereoauswertegeräte mit ihren Computern und integrierten Rechen- und Speichermöglichkeiten ihre Praxisreife erlangt hatten. Insgesamt waren über diesen Zeitraum über 300 Registrieranlagen dieser Reihe ausgeliefert worden. Bereits bald nach Vorstellung des ECOMAT 11 hatte es 1970 ersten Bedarf zur Koordinatenerfassung mit direkter Übertragung zu einfachen Tischrechnern gegeben.

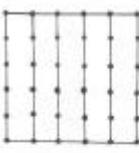
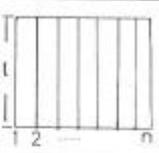
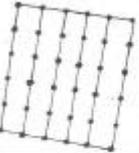
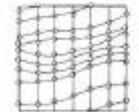
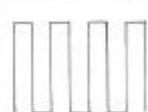
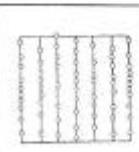
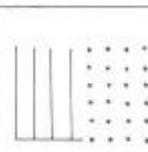
Designation	Grid type	Limitation	
x,y-planimetric grid, triggering $\Delta y$		Digital, profile length $l$ , profile number $n$	
T,s-planimetric grid, triggering $\Delta l$		Analog with contact strips	
Vertical grid, triggering $\Delta h$		Operating mode: Back-and-forth, continuous	
Time grid, triggering $\Delta t$		Comb pattern, incremental	

Bild 9.19: Varianten der Profilabastung mit dem DTM 3

Der seinerzeit in Vorbereitung befindliche Stereo-Röntgenkomparator StR (siehe Kapitel 14.2) erforderte in seiner höchsten Ausbaustufe StR 3 eine Zählung und direkte Übertragung der Koordinaten  $x$ ,  $y$ ,  $p_x$  an eines der ersten Tischrechner-Modelle (MEIER 1971). In einer einfachen Elektronikeinheit wurden für diese Koordinaten die Impulse der entsprechenden Inkrementalgeber gezählt, mit Nixie-Röhren angezeigt und per Fusstaster-Auslösung an den Tischrechner übertragen. Dort wurden mit diesen Koordinaten nach vorheriger Eingabe weiterer Parameter einfachste geometrische Berechnungen durchgeführt.

Daraus entstand dann das einfache Digitalisierungs- und Interfacegerät DIREC 1, welches 1975 auf der Photogrammetrischen Woche in Stuttgart vorgestellt wurde (SCHWEBEL 1975b). Dieses Gerät wurde ausser für den StR 3 für zwei weitere, neue Anwendungen benötigt: zur rechnerunterstützten Orientierung und Datenerfassung an analogen Stereoauswertegeräten (Kapitel 10.7) sowie als Bestandteil und Interface zum neuen, einfachen analytischen Stereoauswertegerät STEREOCORD G 2 (Kapitel 11.1). Im Jahr darauf kam noch die Anwendung für die Orientierungseinrichtung OCS 1 zum SEG 5 hinzu (Kapitel 5.2). Bild 9.20 zeigt die Frontseite des DIREC 1 mit der Koordinatenanzeige und den Programmtasten, ausserdem gehört ein Fusstaster dazu.

In Bild 9.21 ist das Funktionsschema des DIREC 1 in der Anwendung mit dem STEREOCORD G 2 dargestellt (HOBBIE 1975b). Im Datenteil werden die Impulse der Inkrementalgeber  $x$ ,  $y$  sowie  $p_x$  (am STEREOCORD) bzw.  $z$  (am Analogauswertegerät) gezählt, die Zählwerte in drei 6-stelligen Anzeigefeldern an der Frontseite ange-

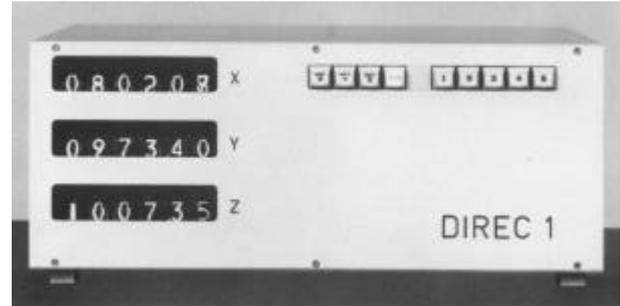


Bild 9.20: Koordinatenerfassungs- und Interface-Gerät DIREC 1 (1975)

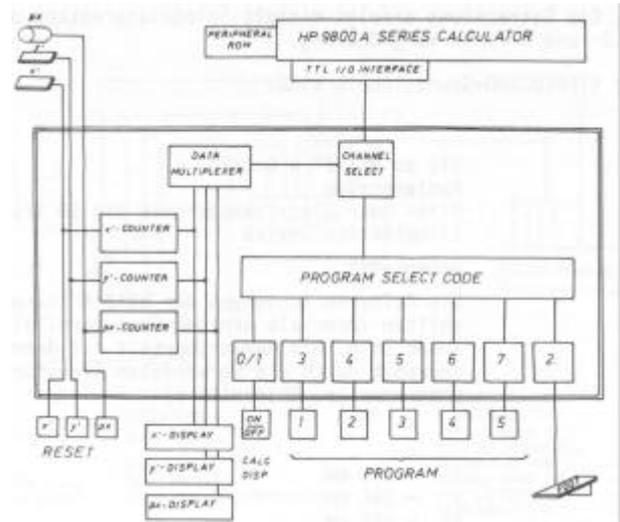


Bild 9.21: Funktionsschema des Direc 1 am Beispiel von STEREOCORD G 2 und Tischrechner HP 9800 A

zeigt, bei Bedarf mit Tasten auf den Ausgangswert "1.000" (zur Vermeidung negativer Werte) gesetzt und bei Anforderung vom Rechner über einen Multiplexer und ein allgemeines Interface an diesen übertragen. Im Programmteil wird bei Betätigung der Fusstaste oder einer der 5 Programmtasten eine entsprechende Codeziffer in einem spezifischen Register gesetzt, welches vom Rechner periodisch ausgelesen wird und dann zu einer, vom jeweiligen Rechenprogramm vorgesehenen Aktion führt. Die Rechner-Schnittstelle des DIREC 1 war so ausgelegt, dass alle der seinerzeit aktuellen Tischrechner der Serie HP 9800 der Fa. HEWLETT-PACKARD über das HP I/O Interface direkt angeschlossen werden konnten, andere HP- und DEC-Minicomputer nach entsprechender Pegelanpassung.

1981 wurden zwei überarbeitete Varianten des DIREC vorgestellt. Um u. a. vier Koordinaten handhaben zu können, wurde das DIREC 12 entwickelt (Bild 9.22). Am STEREOCORD G 3 konnte damit nun auch die y-Parallaxe an den Rechner übertragen werden (siehe Kapitel 11.1). Diese DIREC-Variante erlangte jedoch keine Bedeutung, da gleichzeitig auch das DIREC 2 vorgestellt wurde (Bild 9.23). Diese, ebenfalls für 4 Koordinaten ausgelegte, Zähl- und Interfaceeinheit hatte keine Anzeige und keine Programmtasten mehr, sondern neben einem Hauptschalter nur noch einen Fuss-

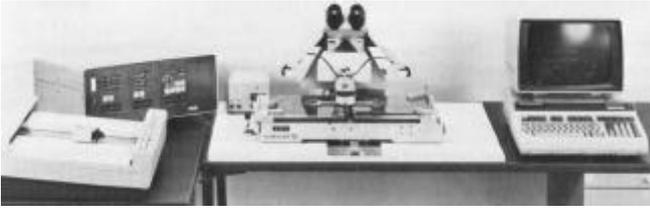


Bild 9.22: DIREC 12 an STEREOCORD G 3 (1981)



Bild 9.23: Koordinatenerfassungs- und Interface-Gerät DIREC 2 (1981)

taster, da inzwischen die Tisch- und Minicomputer so leistungsfähig geworden waren, dass diese nun neben der Programmsteuerung die ständige Koordinatenanzeige übernehmen konnten. Mit diesem minimalisierten DIREC 2 war bei CARL ZEISS in Oberkochen die Entwicklung von selbständigen Koordinatenerfassungs- und Interfacegeräten zum Abschluss gekommen. Um 1990 wurde dann noch das DIREC P als Erfassungsmodul auf PC-Basis entwickelt, um analoge Stereoauswertegeräte als PA-Station in das photogrammetrisch-kartographische System PHOCUS (siehe Kapitel 10.7) einbinden zu können. DIREC P war eine Interfacebox auf Basis eines Industrie-PC, welcher über eine erste RS232-Schnittstelle mit den drei Impulsgebern und der 2-fach Fusstaste des Analoggerätes verbunden war, und über ein zweites RS232-Interface mit dem HP 1000- oder VAX-Rechner des PHOCUS-Arbeitsplatzes. Der PC steuerte dabei nicht nur den Datenverkehr, sondern auch den gewählten Inkrementalmodus der Koordinatenerfassung.

## 9.2 Präzisions-Stereokomparator PSK

In der zweiten Hälfte der 1950er Jahre befasste man sich nach Abschluss der Rekonstruktions- und einer ersten Komplettierungsphase auch wieder damit, die Vorkriegslineie der bekannten Jenaer Stereokomparatoren fortzusetzen. Mit Blick auf die entstehenden Möglichkeiten der frühen Datenverarbeitung lag es nahe, eine automatische Koordinatenregistrierung vorzusehen. Auf dem 3. Internationalen Kurs für geodätische Streckenmessung 1957 in München wurde dann von CARL ZEISS nicht nur der ECOMAT für den STEREOPLANIGRAPH C 8 präsentiert, sondern es wurden auch Überlegungen zu neuen Stereokomparatoren vorgetragen.

Auf dem Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie 1960 in London wurde dann der völlig



Bild 9.24: Präzisions-Stereokomparator PSK mit ECOMAT II (1960)

neuentwickelte Präzisions-Stereokomparator PSK vorgestellt (Bild 9.24). Die Registrierung der Bildkoordinaten  $x_1, y_1, x_2, y_2$  erfolgte mit dem ECOMAT II. Diese Registriereinrichtung entsprach in den Speichermöglichkeiten (Punktnummerneingabe, Schreibautomat mit programmierbarer Steuerplatte, Lochstreifenstanzer und Kartenlocher) dem zwei Jahre zuvor für den C 8 vorgestellten ECOMAT I (siehe Kapitel 9.1). Nur der Koordinatenabgriff war entsprechend angepasst.

Beim PSK-Messprinzip hatte man sich gegen temperaturempfindliche Messspindeln und für das Reseauprinzip auf der Basis von präzisen Glasgitterplatten entschieden, zumal so auch das ABBE'sche Komparatorprinzip streng einzuhalten war (SCHWIDEFSKY 1960). Bild 9.25 zeigt die geöffnete Geräteseite mit dem rechten, senkrecht angeordneten Bildwagen, der waagrecht in x-Richtung fährt, während sich das kipp-invariante Pentaprisma des Betrachtungsstrahlenganges in y bewegt. Der 24 cm x 24 cm grosse Bildträger für einen Messbereich von 23 cm x 23 cm war auf der Bildseite mit einem geätzten, quadratischen 10 mm-Präzisionsgitter versehen, mit dem das auszuwertende Bild "Schicht gegen Gitterteilung" in Kontakt gebracht wurde (Bild 9.26). Der Auswerter hatte zur Messung eines Bildpunktes zunächst diesen mit der punktförmigen schwarzen Messmarke von 25  $\mu\text{m}$  Durchmesser stereoskopisch exakt einzustellen und anschliessend - für jedes der beiden Bilder getrennt - einen nach x und y aufgeteilten linearen Nonienindex auf die Gittermaschen unter binokularer Betrachtung zu koinzidieren.

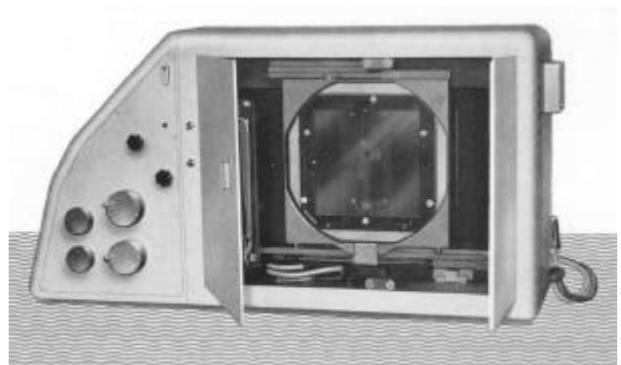


Bild 9.25: Bildwagen und Bedienungselemente des PSK

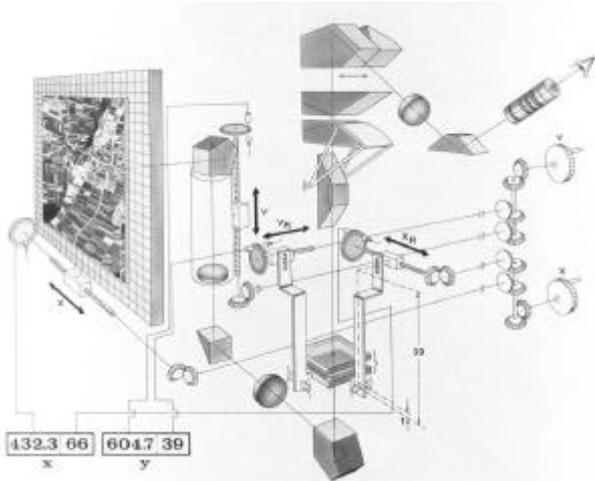
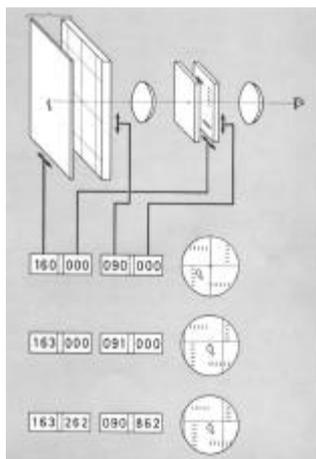


Bild 9.26: Prinzipschema des PSK (am Beispiel des PSK 2)

Der gemessene Koordinatenwert ergab sich dann aus je einem Grob- und Feinteil: als Grobteil wurden die ganzen Millimeter der Bildwagen- bzw. Optik-Verschiebung gezählt, als Feinteil die im Verhältnis 1 : 30 unteretzte Nonienbewegung mit 0,001 mm Auflösung (Bild 9.27). Im späteren Folgemodell PSK 2 wurden bereits



auch die Zehntelmillimeter mit dem Grobteil erfasst, wie aus Bild 9.26 ersichtlich ist. Sowohl das Messrechen-Prinzip als auch die Koordination von Grob- und Feinzählung war patentiert worden (SCHWIDEFSKY 1957 & Utz 1957).

Bild 9.27: Koordinatenerfassung am PSK

Wegen der geätzten Gitterteilung war bei der stereoskopischen Punkteinstellung und der Durchlichtbetrachtung die Gitterstruktur nahezu unsichtbar und damit nicht störend. Erst durch Umschaltung zu einer Auflichtbeleuchtung trat diese deutlich hervor, während das Messbild nur noch schemenhaft zu erkennen war (Bild 9.28).

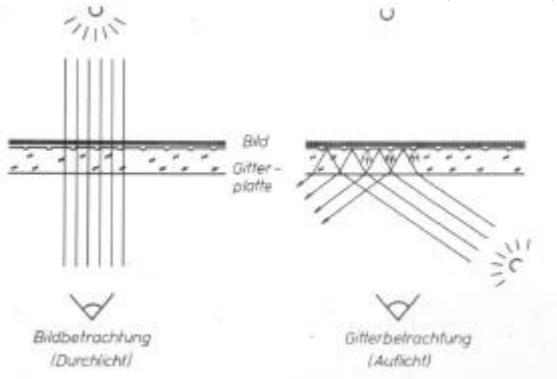


Bild 9.28: Beleuchtungsumschaltung am PSK

Zu diesem Betrachtungskomfort trug auch die programmgesteuerte Optik-Umschaltung zwischen "stereoskopisch" und "binokular links/rechts" bei. Ebenso konnte beim Folgebildanschluss der Streifentriangulation zwischen "orthoskopisch" und "pseudoskopisch" umgeschaltet werden. Dazu wurden in einer speziellen Prismengruppe mit teilverspiegelten Flächen Blenden motorisch entsprechend geschwenkt (Bild 9.29). Dazu gab es patentierte Lösungsvorschläge, von denen einer realisiert wurde (ROOS et al. 1949 & ROOS 1957).

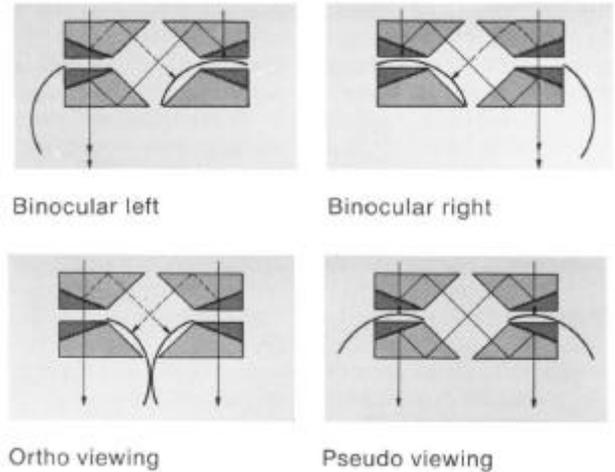


Bild 9.29: Betrachtungs-Umschaltung am PSK

Während eines Messvorganges wurde ein nächster Schritt durch eine Funktionstaste an der Vorderseite des PSK ausgelöst, der Schaltablauf konnte am Steuerautomaten programmiert werden, die Schaltrelais befanden sich an der Geräterückseite (Bild 9.30). Der binokulare Einblick an der Vorderseite war mit Steckokularen für alternativ 8-, 12- und 16-fache Betrachtungsvergrößerung ausgestattet, bei einem Gesichtsfelddurchmesser von 15 mm. Die Bildaufrichtung erfolgte mit Amici-Prismen. Neben dem Okular war ein Punktummernzähler mit einer vorwählbaren Ziffer und vier automatisch fortschaltenden Stellen angebracht, sowie unter dem Okular eine beleuchtete Ablesemöglichkeit der vier



Bild 9.30: Relaissteuerung der Schaltautomatik des PSK

6-stelligen Bildkoordinaten. Auf dem, über dem Okular einlegbaren, Kontaktabzug wurde von innen mit einem verschiebbaren Lämpchen die ungefähre Messposition, bezogen auf das linke Bild, angezeigt.

Sämtliche Handräder für die x-Verstellung waren auf der linken, die für den y-Antrieb auf der rechten Geräte-seite angebracht. Von den hinteren, grösseren Handrädern verschoben die oberen beiden Bilder gemeinsam (in einem wählbaren Schnellgang mit 5-facher Übersetzung), die unteren die parallaktische Differenz des rechten gegenüber dem linken Bild. Mit den vorderen, kleineren Handrädern stellte der Auswerter die Feinmessrechen (Nonien) im linken und rechten Bild auf das Gitter ein, wobei diese vorab motorisch grob voreingestellt wurden. Darüber befanden sich noch die Drehpotentiometer für die Lampenhelligkeit, und ganz oben ein Hebel zur Einstellung von "Negativ" oder "Positiv" zum Seitenvertausch zwecks seitenrichtiger Betrachtung.

Bei jedem Programmschritt waren zur Vermeidung von Fehlern jeweils nur die Bedienelemente freigegeben, die betätigt werden mussten. Mit dem letzten Drücken der Funktionstaste wurde jeweils eine Registrierung ausgelöst und die Messung eines Bildpunktes bzw. einer Rahmenmarke abgeschlossen.

Mit dieser komfortablen und automatisierten Handhabung, mit seinem hohen Genauigkeitspotential, mit seiner kompakten und staubgeschützten Form und dem Entfall einer notwendigen Raumklimatisierung wurde der ZEISS Präzisions-Stereokomparator PSK ein grosser Erfolg. Bereits vor der Erstvorstellung hatte die damalige Technische Hochschule Hannover Gelegenheit zu ersten neutralen Probemessungen (LEHMANN 1960b), die bald darauf vertieft wurden (WUNDERLICH 1962 & SCHÜRER 1964) und nicht nur zeigten, dass Einstellgenauigkeit ( $\pm 0,8 \mu\text{m}$ ) und absolute Messgenauigkeit ( $\pm 1$  bis  $2 \mu\text{m}$ ) das Genauigkeitspotential der seinerzeitigen Luftbilder weit übertrafen, sondern dass auch bezüglich Wirtschaftlichkeit die numerische Punktauswertung am Komparator der punkweisen Messung am Stereoauswertegerät I. Ordnung (z. B. am C 8) deutlich überlegen war.

Um auch terrestrische Aufnahmen und unzerschnittene Rollfilme kleineren Formates am PSK handhaben zu können, entwickelte die Universität Karlsruhe für sich entsprechende Bildadapter (Bild 9.31), sowie eine optimierte Messprozedur bei grossen Punktmengen und kleinen Punktabständen (DÖHLER 1969).

Wegen seines hohen Genauigkeitspotentials wurde der PSK bald auch in einer Einbildversion PEK für die Ausmessung von astronomischen Sternenaufnahmen (u. a. durch das Observatorium des Vatikans) und in der Satellitengeodäsie eingesetzt (SEEGER 1970). In einer Sonderausführung kam hier auch eine automatische, lochkartengesteuerte Punktvoreinstellung zum Einsatz

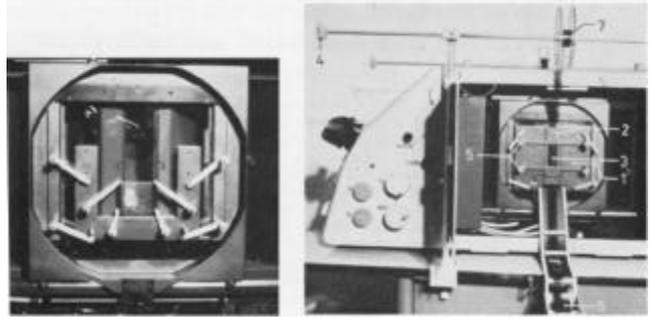


Bild 9.31: Kleinbildadapter nach DÖHLER zum PSK



Bild 9.32: Präzisions-Einbildkomparator PEK mit Kartenlocher und motorischer Koordinaten-Voreinstellung vom Lochkartenleser

(Bild 9.32), die vom KOORDIMAT (siehe Kapitel 10.6) abgeleitet worden war.

Nachdem 1970 mit dem elektronischen ECOMAT 11 für die analogen Stereoauswertegeräte der relaisgesteuerte ECOMAT I abgelöst worden war, bestand auch für den PSK die Notwendigkeit, die veraltete Elektrik anzupassen. Auf der 33. Photogrammetrischen Woche 1971 in Karlsruhe konnte dann ein komplett überarbeiteter Präzisions-Stereokomparator PSK 2 mit dem ECOMAT 21 vorgestellt werden (HOBBIE 1971), der dann später ebenfalls auch als Präzisions-Einbildkomparator PEK 2 angeboten wurde (SCHWEBEL 1973b). Der ECOMAT 21 entsprach in Funktion und Peripherie dem ECOMAT 11 (siehe Kapitel 9.1) und soll an dieser Stelle nicht näher beschrieben werden. Bild 9.33 zeigt das "grosse" Zifferneinstellwerk 2 zum ECOMAT 11 bzw. 21.

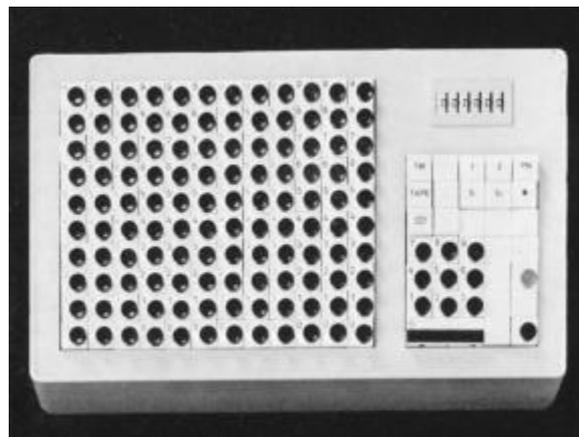


Bild 9.33: Punktnummerneinstellwerk 2 zu ECOMAT 11 & 21



Bild 9.34: PSK 2 mit Zifferneinstellwerk 2, Schreibautomat und Lochstreifenstanzer (1971)

Der PSK 2 (Bild 9.34) wies gegenüber seinem Vorgängermodell bei gleichem Messprinzip trotz einer vereinfachten Konstruktion einige wesentliche Verbesserungen auf:

- Positionsanzeige an der Frontseite mittels einer festen Lampenmatrix statt der, in der Fläche verschiebbaren Lampe (Bild 9.35), jetzt auch Seitenvertausch dieser Anzeige bei Dia-Negativ-Umschaltung, sowie Anzeige der jeweiligen Schaltstufe des Messprogramms, Entfall der Koordinatenanzeige am PSK, da jetzt am ECOMAT 21,
- Messbereich jetzt 25 cm x 25 cm bei einem einlegbaren Plattenformat von bis zu 29 cm x 29 cm,
- Grobmessung über die Transportspindeln jetzt mit einer Auflösung und annähernden Genauigkeit von  $\pm 5 \mu\text{m}$ , damit reduzierter Zeitaufwand bei Verzicht auf die Feinmessung,
- bei Feinmessung nur Ersatz der hundertstel und tausendstel Millimeter der Grobkoordinate durch die Koinzidenzwerte ( $\pm 1 \mu\text{m}$ ),
- als Folge der von 10 mm auf 5 mm verringerten Gitterkonstanten und des von 1 mm auf 0,1 mm verkleinerten Strichabstandes des Messrechens (Nonius) nur noch kleine Verschiebungen notwendig, so dass die motorische Grob-Koinzidenz entfallen konnte,
- nur noch je ein Handrad für x und y, welches je nach Programmschritt einem der beiden Bilder oder Messrechen zugeschaltet wurde, die Grob-/Fein-Umschaltung wurde beibehalten,
- die bisher an der PSK-Rückseite angebrachte Programmschaltung nun in Reichweite des Auswerters in einem Einschub des ECOMAT-Schranks, so dass per Kippschalter schnell zwischen zwei vorgewählten Programmabläufen umgeschaltet werden konnte,
- Programmfortschaltung nun mit dem Fusstaster, ohne die Hände von den Handrädern nehmen zu müssen.

Insgesamt wurden von beiden Ausführungen des ZEISS Präzisions-Stereokomparators PSK in den 25 Jahren der Produktion etwa 90 Systeme geliefert. Sie wurden Anfang der 1980er Jahre durch die praxisreif gewordenen analytischen Stereoauswertegeräte verdrängt, mit denen die Aerotriangulation bei nur wenig geringerer Messgenauigkeit erhebliche zusätzliche Vorteile boten, wie z. B. Vorpositionierung und unmittelbare Kontrollrechnungen (STARK 1977b).

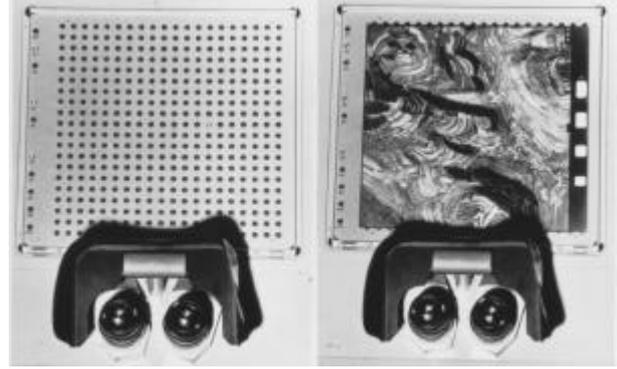


Bild 9.35: Positionsanzeige am PSK 2

### 9.3 Präzisionskomparator PK 1

Schon 1932 hatte die astronomische Abteilung von ZEISS in Jena ein hochgenaues Koordinatenmessgerät vorgestellt, welches auch für photogrammetrische Luftbilder geeignet gewesen war. Wie erwähnt, war auch der Anfang der 1960er Jahre neu entwickelte PSK als Einbildkomparator PEK für die Astronomie geliefert worden. Aber erst Anfang der 1970er Jahre begann auch die Photogrammetrie, vor allem in den angelsächsischen Ländern, sich stärker für Monokomparatoren zu interessieren. Der Grund war der geringere Gerätepreis und die einfachere Gerätehandhabung (z. B. durch den gern zitierten, angelernten "Fliesenleger"). Dem stand jedoch ein leicht erhöhter Aufwand bei der Bildvorbereitung durch Punktmarkierung gegenüber. Nachdem Wettbewerber in den USA, in Frankreich und schliesslich in der Schweiz entsprechende Geräte auf den Markt gebracht hatten, entschloss sich auch CARL ZEISS in Oberkochen dazu und präsentierte 1976 auf dem Kongress in Helsinki den Präzisionskomparator PK 1 (SCHWEBEL 1976a), zusammen mit dem gleichzeitig vorgestellten, zuvor beschriebenen ECOMAT 12 (SCHWEBEL 1976b).



Bild 9.36: Präzisionskomparator PK 1 mit ECOMAT 12 (1976)

Der PK 1 (Bild 9.36) war als Tischgerät und für einen Messbereich von 24 cm x 24 cm ausgelegt, bei einem einlegbaren Blatt- oder Plattenformat von 28 cm x 36 cm. Die Betrachtungsvergrößerung betrug mit Steckokularen 5-, 12-, 20- oder 30-fach, verschiedene Messmarken waren nutzbar. Eine patentierte Besonderheit war die in einer Kugelkalotte gelagerte Freihandfüh-

rung, mit der durch Verkippen eine sehr feinfühlig und präzise Feineinstellung möglich war (KRASSEL 1975b).

Ähnlich wie beim PSK sollte das ABBE'sche Komparatorprinzip streng eingehalten und Temperatur-Unabhängigkeit erreicht werden. Diese Forderung wurde durch ein neuartiges und patentiertes, zweidimensionales Längenmessprinzip erreicht, welches in Bild 9.37 dargestellt ist (SCHWEBEL 1975c). Die Lineararmsstäbe (3) schnitten sich im Messpunkt (5) und dienten gleichzeitig als Führung. Die Abtastraster (2) erstreckten sich als Liniengruppe über den gesamten Bildträger und erzeugten einen Moiré-Effekt als Nonius.

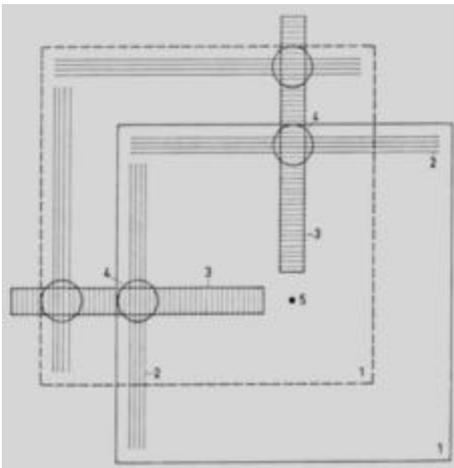


Bild 9.37: Messprinzip des PK 1

Die angestrebte absolute Messgenauigkeit von besser als  $\pm 1,5 \mu\text{m}$  wurde sicher erreicht (SEEBER et al. 1979), mit der späteren Verfeinerung der Messauflösung von  $1 \mu\text{m}$  auf  $0,5 \mu\text{m}$  konnte die Gerätegenauigkeit auf ca.  $\pm 1 \mu\text{m}$  gesteigert werden (SCHWEBEL 1979c & 1980b).

Da bei der Vorstellung des PK 1 angesichts der inzwischen interessant werdenden analytischen Auswertegeräte bereits zunehmend auch nach einer direkten Verbindung zu Tisch- und Minicomputern gefragt wurde, entstand in der Oberkochener Entwicklungsabteilung 1978 eine allgemeine Konzeption für ein aus Hardware und Software bestehendes System, um die herkömmlichen analogen Stereoauswertegeräte und Komparatoren mit Rechnern zu verbinden. Auf der Photogrammetrischen Woche im September 1979 in Stuttgart wurde das ZEISS AS-Programmsystem erstmals vorgestellt, nachdem es bereits ein halbes Jahr zuvor in der Version PK-AS an Kunden ausgeliefert worden war (HOBBIE 1979b). Die Merkmale des AS-Programmsystems sind in Kapitel 10.7 genauer beschrieben.

Für die unmittelbare Ankopplung an Tischrechner und echtzeitfähige Minicomputer reichte statt des leistungsfähigen ECOMAT 12 das preisgünstigere DIREC 1 aus. Die Punktnummerneingabe und Programmbedienung erfolgte entweder am Tischrechner oder an einem Bild-

schirmterminal, welches an einen Minicomputer angeschlossen war (Bild 9.38). Statt an einem eigenen Rechner war der PK 1 wegen der nur geringen Rechnerausnutzung in der Regel an einen anderen, vorhandenen Rechner (z. B. den des ZEISS PLANICOMP) angeschlossen.



Bild 9.38: PK 1 mit DIREC 1 und Bildschirmterminal eines Minicomputers der Fa. HEWLETT-PACKARD

Gleichzeitig mit dem Programm PK-AS für Minicomputer wurde auch eine einfache Software für Tischrechner unter der Bezeichnung CAMOC (Computer Assisted Monocomparator Measurements) vorgestellt (SCHWEBEL 1979d). Es war am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart im Rahmen einer Diplomarbeit (SAILE 1980) auf der Basis des Programms PRO, welches für Stereokomparatormessungen und eine Off-line-Verarbeitung auf EDV-Anlagen vorgesehen war, für die Verwendung am PK 1 mit ECOMAT 12 und "on-line" angeschlossenem Tischcomputer HP 9825 und HP 9835 umgearbeitet worden. Es ermöglichte die automatische Übertragung von Punktnummer und Maschinenkoordinaten vom ECOMAT 12 zum Rechner, die Berechnung der inneren Orientierung unter Berücksichtigung von Filmschrumpfung, Objektivverzeichnung und Erdkrümmungskorrektur, die Ermittlung von identischen Punkten im Überdeckungsbereich an Hand der eingegebenen Punktnummern, die Berechnung der relativen Orientierung mit Ausgabe der Restparallaxen, die interaktive Fehlerbereinigung und die Ausgabe von Bild- oder Modellkoordinaten auf angeschlossenen Peripheriegeräten für eine dann folgende Blocktriangulation.

Ebenso wie die Nachfrage nach Stereokomparatoren mit der Akzeptanz der analytischen Stereoauswertegeräte einbrach, so wurde - allerdings weniger drastisch - auch das Interesse an Monokomparatoren und damit auch am PK 1 bald geringer. Bis zur Produktionseinstellung waren über 40 Geräte ausgeliefert worden.

#### 9.4 Punktmarkiergeräte

Da die Mono- und Stereokomparatoren in der Photogrammetrie in erster Linie für die Aerotriangulation eingesetzt wurden und für eine optimale Bildverknüpfung nicht immer geeignete natürliche Punkte zur Lage- und Höhenübertragung gefunden werden konnten, war bereits 1939 in Jena eine Markiervorrichtung zum STEREOANTOMETER entstanden. Nach Einstellung mit einer, in einem Metallring angebrachten Lochmarke wurde der Punkt mit einer Nadel durch diese Lochmarke gestochen. 1943 war noch eine interessante elektrische Markiervorrichtung zum Patent angemeldet worden (HESS 1951). Mit der Vorstellung des Oberkochener PSK entstand 1960 der Bedarf an einem ähnlichen Werkzeug. Nach einigen konstruktiven Entwürfen entschied man sich für ein Markiergerät MK zur Kennzeichnung natürlicher Punkte, für ein Schlaggerät KS zur Herstellung künstlicher Punkte und für ein Einstellgerät ES zur Übertragung bereits markierter, künstlicher Punkte (BRUCKLACHER 1961).



Bild 9.39:  
Markiergerät MK (1960)

Beim Markiergerät MK (Bild 9.39) waren an den beiden Seiten eines rechteckigen Rahmens ein Glasträger mit einer Einstellmarke und eine mechanische Markiervorrichtung jeweils kippbar so angebracht, dass sie wechselseitig auf die identische Stelle in der Bildebene geklappt werden konnten. Nach Einstellung eines ausgewählten natürlichen Punktes mit der Messmarke wurde dann nach Umklappen an dieser Stelle eine ringförmige Markierung von 1 mm Durchmesser durch Drehen des Stichelers erzeugt.

Das Schlaggerät KS nach Vorschlag von DONGELMANS vom International Training Center in Delft war mit einer Stahlkugel von 0,2 mm Durchmesser als Einstellmarke versehen, die an der Unterseite einer Acrylglascheibe herausragte und durch diese leicht federnd gegen die Bildunterlage drückte. Nach Einstellung erfolgte die Markierung durch Schlag eines, durch Federdruck betätigten, kleinen Hammers auf die Kugel (Bild 9.40). Damit entstand in der Emulsion ein kreisrundes Loch von 0,1 mm Durchmesser. Unter stereoskopischer Betrachtung wurden dann künstliche Markierungen auch im zweiten Bild vorgenommen (Bild 9.41).



Bild 9.40: Schlaggerät KS und Einstellgerät ES (1960)



Bild 9.41: Übertragung eines künstlichen Punktes unterm Stereoskop

Für die Übertragung eines geschlagenen Punktes in Nachbarbilder war das Einstellgerät ES gedacht. Zunächst wurde mit den beiden Rändelschrauben (Bild 9.40) ein Ringmarkeneinsatz auf den Punkt zentriert und anschliessend durch einen punktförmigen Messmarkeneinsatz ersetzt. Zu dieser Einstellung wurde dann im Nachbarbild das Schlaggerät orientiert.

Die mit diesen einfachen Hilfsmitteln erreichbare Markiergenauigkeit betrug etwa  $\pm 5$  bis  $\pm 7$   $\mu\text{m}$ . Nachdem bereits ab Ende der 1960er Jahre zahlreiche Konkurrenten aufwendigere Punktübertragungsgeräte mit vergrößernder Betrachtung und höherem Genauigkeitspotential auf den Markt gebracht hatten, befasste sich ZEISS in Oberkochen erst 10 Jahre später mit diesem Thema und stellte auf der Photogrammetrischen Woche 1979 in Stuttgart das Punktmarkiergerät PM 1 vor (Bild 9.42).



Bild 9.42: Punktmarkiergerät PM 1 (1979)

Entsprechend den, durch moderne Komparatoren und analytische Stereoauswertegeräte gesteigerten Genauigkeitsansprüchen war bei der Aerotriangulation erkannt worden, dass die Genauigkeit auch ganz erheblich von

der Güte der Punktübertragung bestimmt wird. Deshalb wurde das PM 1 wie der PK 1 auf eine Positioniergenauigkeit von  $\pm 1 \mu\text{m}$  ausgelegt (SCHWEBEL 1979d).

Der konstruktive Aufbau wurde so gewählt, dass beide Bilder unter den Augen des Auswerters freihändig auf den beiden Bildträgern grob vorpositioniert werden konnten, um dann nach Fixierung durch - mittels Fuss-taster abgesenkter - Hebel (Bild 9.43) mit der gemeinsamen oder getrennten Feinverstellung der Bildwagen im Bereich  $\pm 15 \text{ mm}$  exakt eingestellt zu werden.

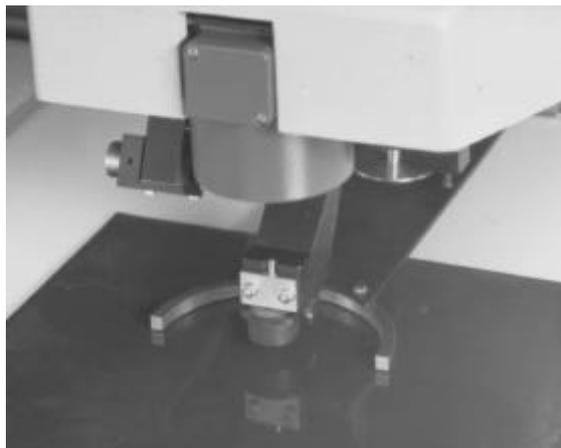


Bild 9.43: Bild-Arretierung und Markier-Kopf des PM 1

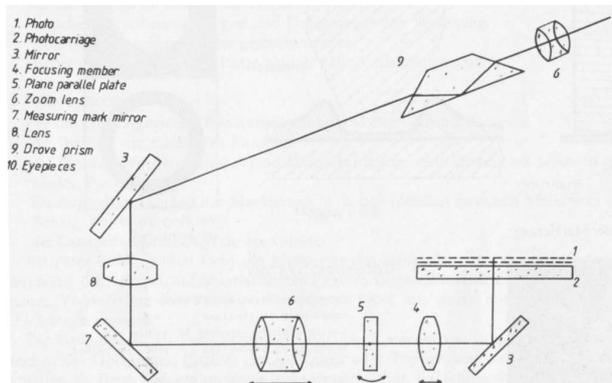


Bild 9.44: Optik-Schema des PM 1

Die Messoptik mit Fokussierung auf die Plattendicke, planparalleler Platte zur Justierung von Messmarke zu Markierungsposition, Zoomoptik (6,5- bis 26-fach) und konzentrischer Schwarz-/Leucht-Messmarke war auf dem Grundgussteil gelagert, die Betrachtungsoptik mit koppelbaren Doveprismen ( $0^\circ - 360^\circ$ ) im Optikarm untergebracht (Bild 9.44).

Die künstlichen Punkte wurden durch einen nadelförmigen Stempel (verschiedene Durchmesser von  $40 \mu\text{m}$  bis  $200 \mu\text{m}$  waren verfügbar) erzeugt, der bei Markierauslösung in 2 sec induktiv auf  $150^\circ \text{C}$  aufgeheizt wurde. (Die zuvor genannte, sehr ähnliche Jenaer Erfindungsmeldung von 1943 war durch CARL ZEISS, Oberkochen 1951 beim Deutschen Patentamt erneut zum Patent angemeldet worden.) Mit dem Aufsetzen der Nadel wurde die Emulsion geschmolzen und so nach aussen verdrängt, dass um eine helle Kreisfläche ein dunkel erscheinender Wulst entstand (Bild 9.45). Damit wurde eine gute, zuvor nicht erreichte, Sichtbarkeit der Markierung in sowohl dunklen als auch hellen Bildstellen erzeugt (Bild 9.46). Mit einem zusätzlichen, einschwenkbaren und rotierenden Faserstift konnte eine zusätzliche Farbmarkierung gesetzt werden.

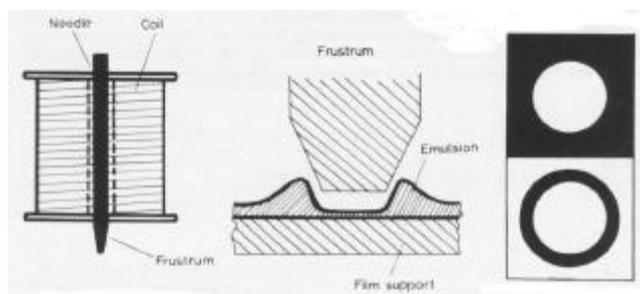


Bild 9.45: Markier-Prinzip des PM 1

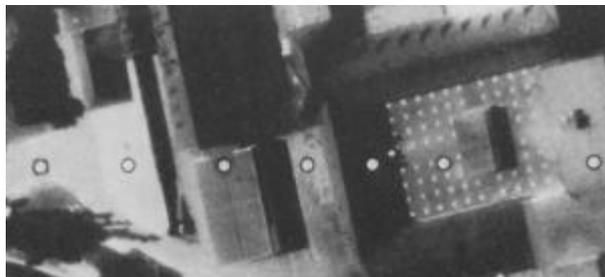


Bild 9.46: Markier-Beispiel des PM 1

Mit  $\pm 3 \mu\text{m}$  bestätigte sich in wissenschaftlichen Untersuchungen die erreichbare hohe Markiergenauigkeit bei eindeutig ansprechbaren Punkten (SIGLE 1981).

Auch wenn der photogrammetrische Markt mit Punktmarkier- und -übertragungsgeräten schon gesättigt war, und auch die analytischen Auswertegeräte bereits eine "digitale" Punktmarkierung in Form von Koordinatenspeicherung ermöglichten, so konnten dennoch zwischen 1980 und 1990 über 30 PM 1 verkauft werden.

## 10. Luftbildauswertung graphisch

Bald nach Wiederbeginn in Oberkochen hatte CARL ZEISS ab 1951 mit STEREOPLANIGRAPH C 7 (und kurz darauf mit dem C 8) wieder ein Stereoauswertegerät I. Ordnung anbieten können, welches zunächst mangels Rechenmöglichkeiten fast ausschliesslich für Präzisionskartierungen verwendet wurde. Und mit dem

STEREOTOP stand ein Jahr später ein neu entwickeltes Stereokartiergerät III. Ordnung zur Verfügung, welches für kleine und mittlere Massstäbe gedacht war. Aber bereits 1949 hatte die Firma WILD in Heerbrugg, die unbeschadet den Weltkrieg überstanden hatte, den AUTOGRAPHEN A 7 als weiterentwickeltes Gerät I. Ord-

nung vorgestellt, und nur ein Jahr später den A 8. Dieser sollte sich sehr bald als bevorzugtes Stereokartiergerät II. Ordnung erweisen, welches insbesondere in den Entwicklungsländern in grossen Stückzahlen für die vordringliche topographische Kartierung in mittleren und grossen Massstäben eingesetzt wurde.

Auch von anderen Wettbewerbern erschienen in diesen Jahren für diesen stark wachsenden Aufgabenbereich Stereoauswertegeräte auf dem Markt: 1947 der KELSH-Plotter in den USA, 1950 der STEREO TOPOGRAPH D nach POIVILLIERS von der Fa. SOM in Frankreich, 1952 in Italien der STEREOSIMPLEX III nach SANTONI von der Fa. GALILEO und der PHOTOSTEREOGRAPH Model Beta nach NISTRI von der Fa. OMI, 1954 der THOMPSON-WATTS Plotter Model 1 von der Fa. HILGER & WATTS in London, und 1955/56 in den UdSSR der SPR-2 STEREOPROJEKTOR nach ROMANOWSKI und der SD STEREOGRAPH nach DROBYSCHEW. Schliesslich wurde 1958 mit dem B 8 von WILD und 1960 dem PG 2 von KERN in Aarau sowie dem STEREO METROGRAPH aus Jena der Druck auf Oberkochen noch stärker.

Obwohl dort seit 1952 die Komplettierung des Programms durch Neuentwicklungen vorrangig war (siehe Kapitel 5), beobachtete man den Erfolg dieser Geräte II. Ordnung genau und beschäftigte sich mit Vorüberlegungen zu einer eigenen Lösung. Allerdings erfolgten diese Bemühungen (und entsprechende Patentanmeldungen) wegen der seinerzeit komplizierten Organisationsstruktur zunächst in drei verschiedenen „Lagern“. In der Oberkochener Geschäftsleitung hielt BAUERSFELD als Erfinder des STEREOPLANIGRAPHEN unbeirrt am optischen Prinzip fest und befasste sich mit einer entsprechenden Gerätevariante (BAUERSFELD et al. 1953b). Im zentralen Konstruktionsbüro entwickelte SONNBERGER auf Grund seiner Erfahrungen mit mechanischen Waffenleitgeräten eine Lösung mit Rechengetrieben (SONNBERGER 1954f). Und das Bildmess-Labor entwickelte unter der Leitung von AHREND elektrische Analogrechner und einen so genannten „Lichtlenker“ (PENNING et al. 1959 & AHREND 1961). Insbesondere aus den beiden letzteren Ansätzen entstanden verschiedenartige Prototypen, die 1960 und 1963 vorgestellt wurden, jedoch nicht in eine Serienfertigung mündeten.

### 10.1 Prototypentwicklungen 1960 – 1963

Auf dem 9. Internationalen Kongress für Photogrammetrie 1960 in London stellte CARL ZEISS, Oberkochen gleich zwei neue Stereoauswertegeräte vor: PLANITOP und AEROMAT.

Das PLANITOP E (nicht zu verwechseln mit dem ab 1973 angebotenen PLANITOP F 2, siehe Kapitel 10.5) wurde als ein im Vergleich zum STEREO TOP verbessertes und genaueres Stereoauswertegerät III. Ordnung konzipiert

und mit einem patentierten elektrischen (statt mechanischen) Analogrechner ausgestattet (AHREND 1958). Bild 10.1 zeigt die Ähnlichkeit mit dem STEREO TOP. In Bild 10.2 ist das Schaltschema für eine der fünf notwendigen Berechnungen (Modellebnung, Höhenberechnung, Grundrisskorrektur in x und y sowie Vertikalparallaxe) dargestellt.



Bild 10.1: PLANITOP mit elektrischem Analogrechner (1960)

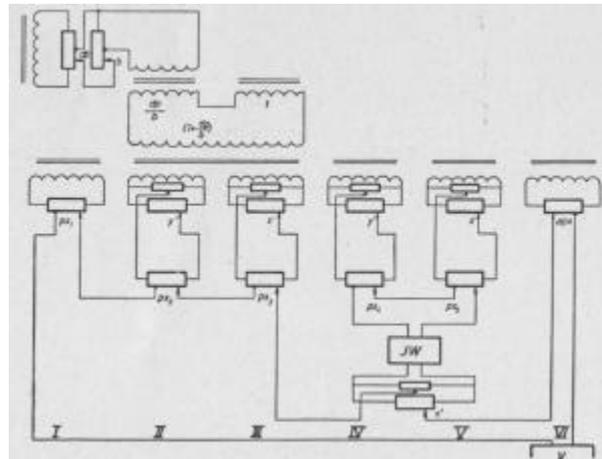


Bild 10.2: Schaltschema für die Modellebnung

Ausgehend von der seit 1952 guten Erfahrung mit dem - ebenfalls elektrisch analogen - Fluchtpunktrechner im SEG und angesichts des 1957 von HELAVA konzipierten Analytischen Plotters mit einem vorerst noch analogen Elektronenrechner erwartete man sich eine deutliche Genauigkeitssteigerung gegenüber dem STEREO TOP und somit auch die Eignung für Kartierung in grösseren Massstäben (AHREND 1960a). In Versuchsauswertungen der damaligen Technischen Hochschule Hannover wurde die für die Deutsche Grundkarte 1 : 5.000 erforderliche Genauigkeit knapp eingehalten (LEHMANN 1960a). Trotz der erreichten Vertikalparallaxen-Freiheit, der direkten Ablesemöglichkeit an einem Höhenzähler und weiteren Verbesserungen bei Messmarke, Betrachtungsoptik und Pantograph verblieben etliche Nachteile: das Orientierungsverfahren war wie beim STEREO TOP "unorthodox", die Messmarkenbewegung erfolgte durch Verschiebung des Bildwagens und damit im Bildraum des rechten Bildes, und die weiterhin nicht-strengen Rechenformeln wurden schon bei mittleren Bildneigungen zu ungenau. All dieses führte dazu, dass dieses Gerät nicht in Serie ging.

Mit dem AEROMAT sollte von CARL ZEISS, gleichzeitig mit dem PLANITOP E, das Stereoauswertegerät II. Ordnung in den Markt eingeführt werden, welches auch Überweitwinkelaufnahmen auswerten können sollte. Bild 10.3 lässt die Anordnung der Orientierungselemente neben den Handrädern, die Positionsanzeige an einem Kontaktabzug auf der linken und den Höhenzähler auf der rechten Seite sowie die Kartierfläche auf der Geräteoberseite erkennen. Höhenanzeige und Kartiermassstab liessen sich über Wechselräder anpassen. Die Modellbildung erfolgte im Geräteinneren durch den patentierten, so genannten Lichtlenker (PENNING et al. 1959 & AHREND 1961).

Ausgehend von einer Lichtquelle im Modellaufpunkt wurden durch zwei Lochblenden als Projektionszentren die beiden Projektionsstrahlen zu je einer Fotozelle an linkem und rechtem Bildträger gebildet (Bild 10.4). Diese viergeteilte Fotozelle rege bei Auslenkung des Lichtstrahls eine Nachlaufsteuerung an, bis nach Zentrierung wieder symmetrischer Lichteinfall herrschte (AHREND 1960b).



Bild 10.3: AEROMAT, das Auswertegerät II. Ordnung (1960)

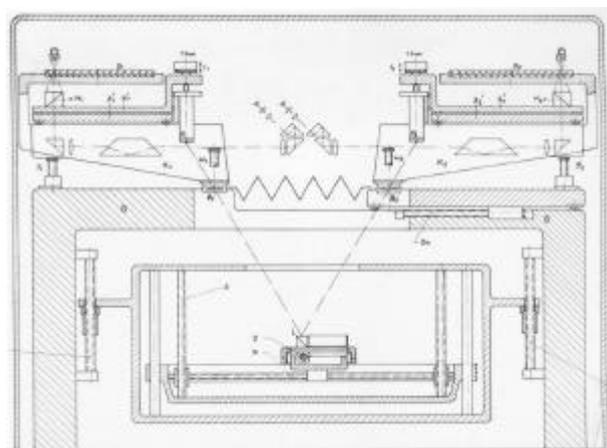


Bild 10.4: Lichtlenker-Prinzip im AEROMAT

Die relative Orientierung erfolgte durch Neigung der Bildwagen, die absolute Orientierung durch Kippung des Modellwagens. Mit dem Lichtlenker glaubte man,

eine sehr kostengünstige Modellbildung zu erreichen und die befürchtete Durchbiegung, Beschädigung und Abnutzung mechanischer Raumlener zu vermeiden. Tatsächlich aber wurden die elektrischen Steuerungen sehr aufwändig, und die erreichte Genauigkeit blieb unbefriedigend. Deshalb wurde auch diese Entwicklung bald nach Vorstellung des Prototyps 1960 in London eingestellt. Bereits vier Jahre vorher hatte die Firma KERN ein ähnliches Prinzip angekündigt, war aber ebenfalls gescheitert.

Die anhaltende Skepsis gegenüber den von WILD in den AUTOGRAPHEN erfolgreich eingesetzten mechanischen Raumlenern führte in Oberkochen dazu, dass auch ein unmittelbar folgender, weiterer Anlauf für ein Stereoauswertegerät auf einem weiteren Lösungsvorschlag des eigenen Hauses beruhte. Aufbauend auf den langjährigen Erfahrungen mit ebenen mechanischen Rechengetrieben (u. a. im STEREOTOP) wurde nach den Grundgedanken des Konstrukteurs SONNBERGER 1962 auf dem March Meeting in Washington, D. C. der SUPRAGRAPH vorgestellt (Bild 10.5).



Bild 10.5: SUPRAGRAPH (1963)

Ziel war es, ein Stereoauswertegerät zu schaffen, welches auch unverkleinerte Bilder sehr kurzer Brennweite (z. B. Überweitwinkelaufnahmen) auswerten können sollte, und mit hoher Gerätegenauigkeit auch für Triangulation geeignet sein sollte (TRÄGER 1962). Auch sollte es als Stereokomparator genutzt werden können. Durch die Wahl der Berechnung der projektiven Beziehungen zwischen den Antriebselementen und den Bildwagen konnten diese, wie in Komparatoren, als ebene Kreuzschlittensysteme ausgebildet werden. Bild 10.6 zeigt die, für die Teilrechner des SUPRAGRAPHEN vorbereiteten, Rechenformeln. Das Schema (Bild 10.7) und die Ansicht (Bild 10.8) des ganzen, aus mechanischen Linealen und Getriebebeschlüsseln bestehenden Rechners lässt den erheblichen Aufwand erahnen, der dieses Auswertegerät sehr viel teurer als erwartet werden liess. Auch wenn das hohe Genauigkeitspotential durch Gittermodellmessungen mit Koordinatenfehlern von

$$m = x \cdot \lg \varphi + y \cdot \lg \omega$$

$$\alpha = \sqrt{\lg^2 \varphi + \lg^2 \omega + 1}$$

$$K = \frac{[z - (x \cdot \lg \varphi + y \cdot \lg \omega)] \cdot [1 - \sqrt{\lg^2 \varphi + \lg^2 \omega + 1}]}{\sqrt{\lg^2 \varphi + \lg^2 \omega + 1}}$$

$$X' = \frac{f}{z \cdot K - m} \cdot x + \lg \varphi \cdot \frac{2z + K - m}{1 - \alpha}$$

$$Y' = \frac{f}{z \cdot K - m} \cdot y + \lg \omega \cdot \frac{2z + K - m}{1 - \alpha}$$

Bild 10.6: Rechenformeln des SUPRAGRAPH

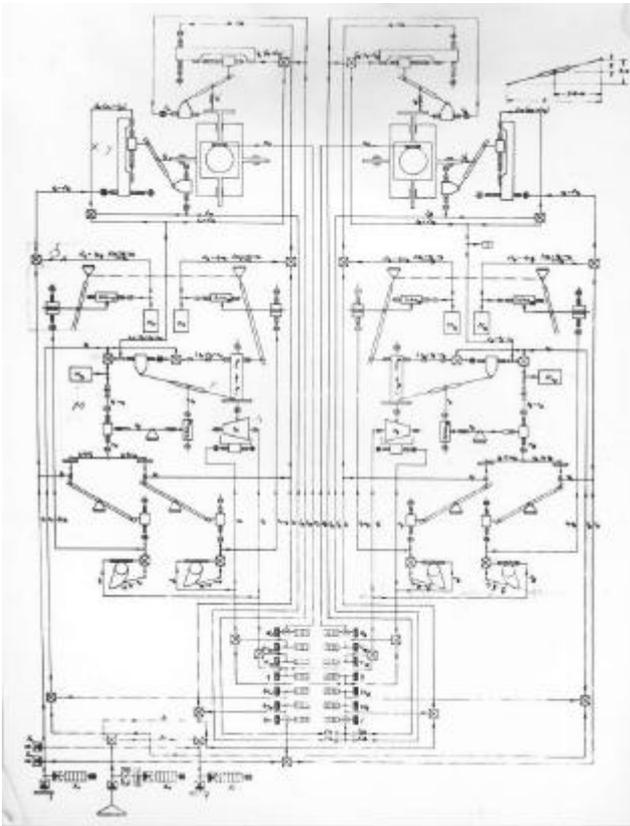


Bild 10.7: Getriebschema des SUPRAGRAPH

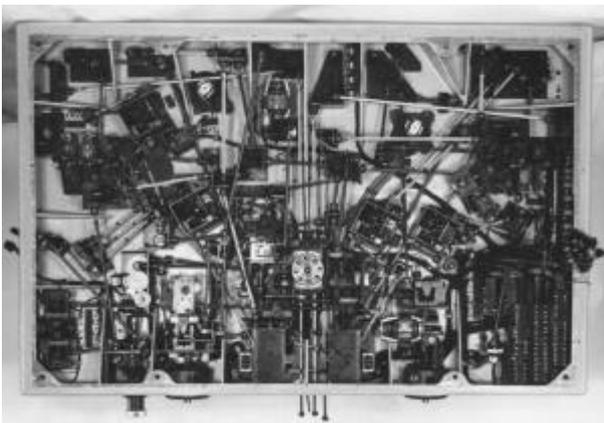


Bild 10.8: Rechengetriebe des SUPRAGRAPH

etwa  $\pm 3\mu\text{m}$  bestätigt werden konnte, so blieb es 1963 bei diesem Prototyp, der noch einige Jahre erfolgreich bei einer amerikanischen Regierungsstelle eingesetzt wurde.

Dieser Reihe der "Fehlversuche" ist noch der Ansatz von OTTO HOFMANN hinzuzufügen, der ab 1954 in Jena die Gruppenleitung für photogrammetrische Auswertegeräte inne gehabt hatte und von 1962 bis 1964 als Mitarbeiter von ZEISS-AEROTOPOGRAPH in München tätig war, wo er u. a. ein mechanisches Affingerät konzipierte. Zu dieser Zeit fand aber bereits die Integration von ZA in CARL ZEISS in Oberkochen statt.

Inzwischen war der Druck durch die Wettbewerber mit weiteren Neuerscheinungen noch grösser geworden. In den Jahren 1963 und 1964 wurden der THOMPSON-WATTS Plotter Model 2, der STEREOKARTOGRAPH Model V und der STEREOSIMPLEX II von GALILEO sowie der PRESA 224 von SOM vorgestellt, 1965/66 folgten dann noch STEREOTRIGOMAT und STEREOMETROGRAPH aus Jena. Deshalb entschloss man sich in Oberkochen, nun doch auf den mechanischen Raumlener zu setzen und auf eine, bereits 1954 von BAUERSFELD vorgeschlagene und geschützte Ausführungsform zurückzugreifen (Zeiss 1954b). Daraus entstand dann von 1963 bis 1966 der PLANIMAT (siehe Kapitel 10.3).

## 10.2 Doppelprojektor DP

In den USA war ab 1947 der KELSH-Plotter ausserordentlich populär geworden. Dieses Stereoauswertegerät nach dem - von GASSER bereits 1915 patentierten - Prinzip der objektiven Doppelprojektion von Diapositiven im Originalformat setzte die Tradition mehrerer Vorkriegsmodelle verschiedener Anbieter fort, zu denen auch der - mit verkleinerten Bildern arbeitende - MULTIPLEX von ZEISS in Jena gehörte. In Oberkochen wurde 1951 der Prototyp eines Doppelprojektors mit Namen DUPLEX fertig, der wie der Kelsh-Plotter ganze Bilder projizieren konnte, aber statt der festen 5-fach-Vergrößerung nur mit einem 2- bis 3-fachen Modellmassstab arbeitete. Die dafür notwendige kleinere Basis wurde durch einen geknickten Strahlengang möglich (Bild 10.9). Aus heute nicht mehr nachvollziehbaren Gründen ging dieses Gerät nicht in



Bild 10.9: DUPLEX (1951)

Serie, ebenso waren damit einige Patentanmeldungen zu ähnlichen Lösungen obsolet (SONNBERGER 1951, ZEISS 1953 & AHREND 1959).

Erst nachdem mit der Entscheidung für den PLANIMAT das offene Problem des Auswertegerätes II. Ordnung behoben war, wurde 1965 erneut die Entwicklung eines Doppelprojektors begonnen. Wesentliche Impulse kamen vom Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, wo für die Laufendhaltung der Topographischen Karte 1 : 25.000 ein einfaches Gerät gefordert wurde, welches den direkten Vergleich von Stereomodell und Karte ermöglichen und genauer als das STEREOTOP sein sollte (KRAUSS 1967).

Der Doppelprojektor DP 1 (AHREND et al. 1968) wurde auf der Photogrammetrischen Woche 1967 vorgestellt. Besonderes Merkmal waren seine zwei unsymmetrischen Projektoren für Filmdiapositive bzw. -negative, von denen ein Ausschnitt entsprechend 60 % Längsüberdeckung projiziert wurde (Bild 10.10). Die Projektoren waren in  $f$  und  $\theta$  neigbar und an einem, mittels Fusscheibe in der Höhe verstellbaren  $z$ -Wagen aufgehängt. Mit einer zentralen Rändelschraube wurde das Basisrohr gedreht, um über schräggestellte Kugellager die beiden darauf ruhenden Projektoren auseinander oder zusammen zu schieben. Die Auskantung der Bilder wurde mit den Bildträgern in den Projektoren vorgenommen. Die Höhenablesung erfolgte an austauschbaren Glasmassstäben: serienmässig für 1: 5.000, 1: 10.000 und 1: 25.000, optional für 1: 12.000, 1: 24.000, 1: 36.000 und weitere. Die Ganzfeldausleuchtung wurde - ähnlich dem SEG-Kondensator - durch Rillenlinsen nach dem Fresnel-Prinzip erreicht, die Bildtrennung geschah nach dem Anaplyphen-Prinzip mit ausgesuchten Rot-Grün-Folien (Bild 10.11). Die Modellvergrößerung war auf die, für Nachführung Topographischer Karten üblichen Bildmassstäbe abgestimmt, der Tiefenschärfenbereich von 20 % war in der Regel ausreichend. Projiziert wurde das Stereomodell entweder grossflächig auf den festen Projektionstisch zwecks direkten Vergleichs mit einer schwarz-weißen Kartenkopie, oder auf das freihändig geführte und neigbare Messmarkentischchen, das auch mit einem absenk- baren Zeichenstift ausgestattet war.

1969 wurde für die Topographie-Batterien der Bundeswehr noch die Gerätevariante DP 1b für den mobilen Einsatz und Einbau in entsprechende Fahrzeuge entwickelt (Bild 10.12).

Bild 10.12: DP 1b, mobile Ausführung des Doppelprojektors DP 1 (links im Transportzustand, rechts im Auswertezustand)



Bild 10.10: Doppelprojektor DP 1 (1967)

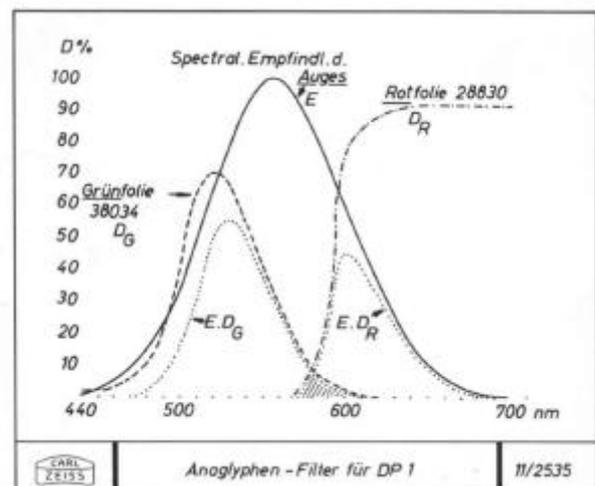


Bild 10.11: Filterkurven der Rot- & Grün-Folien des DP 1



Die wesentlichen Geräteparameter für den DP 1 waren:

- Kammerkonstante: 153 mm,
- Bildformat in mm: 230 x 230, (140 x 230 auswertbar),
- $\phi$ :  $\pm 6$  gon,
- $\omega$ :  $\pm 6$  gon,
- $\kappa$ :  $\pm 16$  gon,
- gemeinsames  $\phi$ :  $\pm 6$  gon,
- $b_x$ : 130 mm bis 325 mm,
- Vergrößerung: 2,5-fach,  
(2,0- und 1,6-fach mit optionalen Wechsel-Objektiven),
- Tiefenschärfenbereich: bis zu  $\pm 20$  %  
(je nach Objektivabblendung 1: 22 bis 1: 80),
- z-Bereich: 250 mm - 620 mm über Projektionsfläche,  
170 mm - 540 mm über Messmarkentischchen,
- Grösse der Projektionsfläche: 600 mm x 800 mm,
- Durchmesser des Messmarkentischchens: 120 mm,
- Durchmesser der dimmbaren Leuchtmessmarke: 0,4mm.

Gittermodellmessungen ergaben eine Kartiergenauigkeit von  $\pm 0,12$  mm, die Höhengenaugigkeit lag mit  $\pm 0,15$  % von  $h$  in der gleichen Grössenordnung wie beim KELSH-Plotter mit 5-facher Modellvergrößerung (SCHWIDEFSKY 1964).

1969 wurden noch die Ausführungen DP 2 und DP 3 vorgestellt. Im DP 2 war das Messmarkentischchen an einem Kreuzschlittensystem angebracht, welches mit Handrädern verfahren wurde. Mechanische Zähler erlaubten, die Lage-Koordinaten auf 0,1 mm abzulesen. Beim DP 3 war der DP 2 fest mit dem Einfachzeichentisch EZ 3 (siehe Kapitel 10.6) verbunden, dessen Zeichenfläche 800 mm x 1.000 mm betrug, die bis auf einen schmalen Rand auch beleuchtbar war (Bild 10.3). Die Kopplung erfolgte über Drehmelder, die Massstabsanpassung über serienmässig 9 Wechselradpaare.

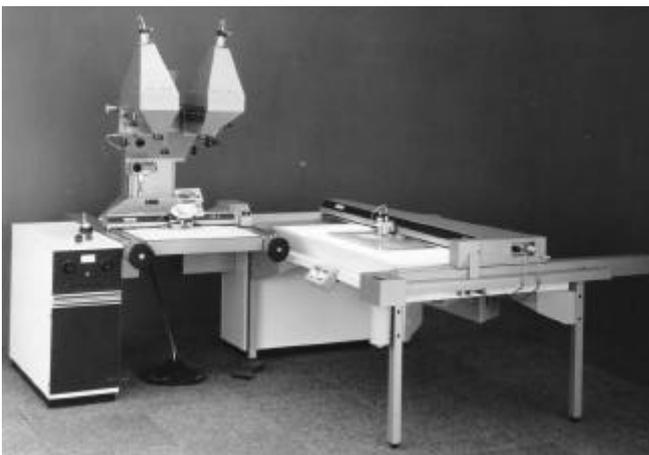


Bild 10.13: DP 3 mit Einfachzeichentisch EZ 3 (1969)

Als ein potentieller Messfehler war bei Doppelprojektoren der so genannte "Fertsch-Effekt" zu beachten. Dieser war bereits 1922 von PULFRICH untersucht und beschrieben worden und kann alle Stereoauswertegeräte

betreffen, wenn eine dynamische Messung parallel zur Stereobasis erfolgt (z. B. Höhenlinien-Kartierung und Profilmessung in  $x$ -Richtung). Ursache ist die Latenzzeit des menschlichen Auges: bei unterschiedlicher Helligkeit zwischen linkem und rechtem Stereobild erreicht das dunklere Bild das menschliche Gehirn bis zu einige 1/100 Sekunden später. Dadurch wird je nach Richtung der  $x$ -Bewegung die Messmarke ober- bzw. unterhalb des Objektes gesehen und durch eine "falsche" Höheneinstellung "korrigiert". Die Auswirkung kann bei der üblichen Auswertep Praxis nicht zu vernachlässigende Fehler von 0,3 % von  $h$  in der Höhe bzw. von 0,5 mm in der Lage betragen (HOBBIE 1972). Eine notwendige objektive Angleichung der Bildhelligkeit, die gerade bei Anaglyphen-Betrachtung sonst viel Aufwand erfordern würde, kann sehr einfach dadurch erfolgen, dass unter schnellen Pendelbewegungen mit dem  $x$ -Handrad das looping-artige Kreisen der Raummarke durch Helligkeitsangleichung "eingebnet" wird.

Bis Mitte der 1980er Jahre wurden insgesamt nahezu 200 Doppelprojektoren bei HENSOLDT in Wetzlar gefertigt, ebenso wie der aus dem gleichen Gerätekonzept abgeleitete ORTHO-3-PROJEKTOR und die Zeichentische EZ 3 und EZ 4 (Kapitel 10.6).

### 10.3 PLANIMAT

Nachdem die in 1960 und 1963 vorgestellten Entwicklungen eines Stereoauswertegerätes gescheitert waren (siehe Kapitel 10.1), konzentrierte man sich in Oberkochen unmittelbar danach auf das Prinzip eines mechanischen Raumlenters. Im Gegensatz zum zweiarmigen Lenker, der u. a. in den AUTOGRAPHEN von WILD zum Einsatz kommt, wurde eine, als Gebrauchsmuster von ZEISS eingetragene, Idee von BAUERSFELD aufgegriffen und geringfügig abgewandelt (ZEISS 1954b): der einarmigen Lenker. Dieser, im Vergleich zum zweiarmigen kürzere Lenker ist bezüglich der Durchbiegung im Vorteil, da die Belastung durch die Bildwagen zwischen den "festen" Projektionskardanen und den Auflagepunkten des Modellwagens erfolgt. Auch gestaltete sich beim einarmigen Lenker die Brennweiten-Einstellung konstruktiv einfacher. Bild 10.14 zeigt zusätzlich das Prinzip eines geknickten Lenkers, wie es später für das PLANITOP erwogen wurde (siehe Kapitel 10.5).

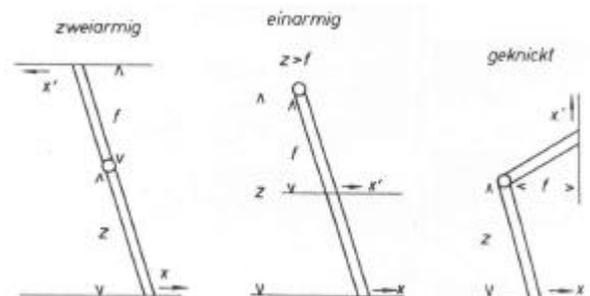


Bild 10.14: Varianten des mechanischen Raumlenters

Nach langen Grundsatzuntersuchungen (AHREND 1964b & 1966b) entstand bis August 1964 ein "fertiges" Holzmodell für ein mechanisch-analoges Stereoauswertegerät mit einem zugeordneten Zeichentisch (Bild 10.15). Und zur Photogrammetrischen Woche 1967 konnten dann ausgereifte Prototypen als PLANIMAT und Zeichentisch EZ 2 (siehe Kapitel 10.6) vorgestellt werden (Bild 10.16).



Bild 10.15: Holzmodell von PLANIMAT und Einfachzeichentisch EZ 2 (1964)

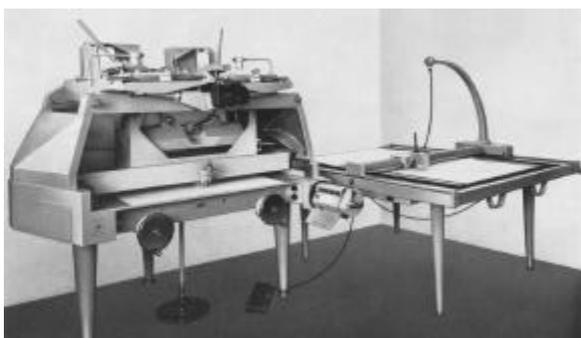


Bild 10.16: PLANIMAT mit Einfach-Zeichentisch EZ 2 (1967)

Innerhalb eines stabilen mechanischen Aufbaus war als besonderes Merkmal der Internzeichentisch mit einer Gesamtfläche von 1,20 m x 1,10 m erkennbar, über dem sich der Modellwagen bewegte. Das Zeichenpapier wurde mit dünnen, flexiblen Stahllinealen auf Magnetstich fixiert. Auf den oberen Querträgern waren neigbare, dreipunkt-gelagerte Kammerträger angebracht, mit Kreuzschlittensystemen für die Bildwagen und in der Höhe verstellbaren, exzentrischen Kardangelenken als Projektionszentren (Bild 10.17). Die Drehpunkte der Kammerträger waren in Anlehnung an Überlegungen von GOUDSWAARD im Jahre 1960 exzentrisch angeordnet und auf die vorderen Querträger verlagert, durch die auch die Betrachtungsoptik geführt wurde. Dadurch wurde auch eine schnellere Konvergenz der empirischen gegenseitigen Orientierung möglich. Die Höhenänderung zur Einstellung der Kammerkonstanten erfolgte über einen Bereich von 128 mm kontinuierlich, entweder im Bereich von 84 bis 213 mm für Weit- und Überweitwinkelaufnahmen, oder nach Umsetzen des Kardanträgers von 180 bis 308 mm für Zwischen- und Normalwinkelaufnahmen (im späteren D 3 wurde diese Einstellung in drei Bereiche unterteilt).



Bild 10.17: Bildträger und Projektionskardane

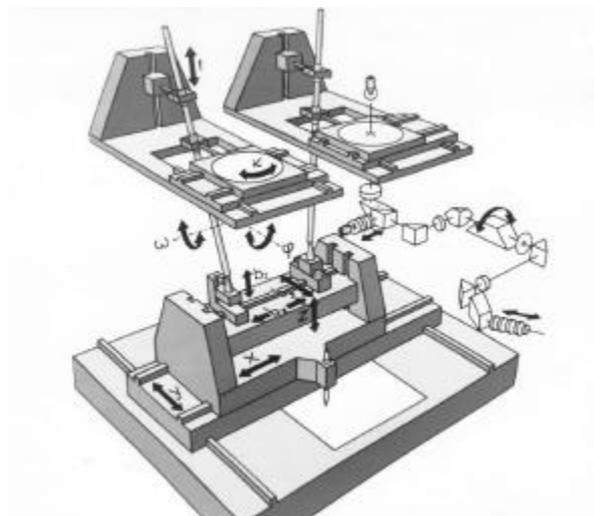


Bild 10.18: Geräteschema des PLANIMAT

Die mechanischen Raumlenerker sind um die Basis  $b_x$  in zwei Aufpunkte auseinander gezogen (Bild 10.18). Dieses "ZEISS'sche Parallelogramm" hat u. a. folgende Vorteile: auch Einstellung einer sehr kleinen Basis  $b_x$  sowie Verwendung von  $b_y$  und  $b_z$  zur vereinfachten relativen Orientierung und zur Vermeidung einer gemeinsamen Längsneigung für die absolute Modellhorizontierung. Wegen des Vorhandenseins von  $b_y$  und  $b_z$  konnte die gegenseitige Orientierung an den GRUBER-Punkten nicht nur nach dem üblichen Schema " $\varphi_1, \varphi_2, f_1, f_2, \varphi_1$ " erfolgen, sondern auch in abgewandelter und verkürzter Schrittfolge.

Durch Bewegung der Bildwagen statt der Betrachtungsoptik und durch Führen des Strahlenganges durch das Bildträgerkardan war dieser Optikaufbau sehr einfach und - bis auf einen Spiegel, der sich mit der  $\varphi$ -Bewegung des Kammerträgers dreht - starr und ermöglichte damit eine hohe Bildqualität. Das Gesichtsfeld um die Leuchtmessmarke mit variabler Helligkeit und 40  $\mu$ m Durchmesser betrug 31 mm und wurde mit 8-facher Vergrößerung betrachtet. Beide Seiten waren mit einem Dove-Prisma zur Bildaufrichtung versehen. Die Bildträger waren mit 9 hochgenau gravierten Gitterkreuzen für eine einfache Gerätejustierung und für

ein einfaches, patentiertes Verfahren der Projektionszentren-Messung versehen (BRUCKLACHER 1970b). Zur notwendigen Korrektur einer eventuellen Verzeichnung der Aufnahmekammer konnten asphärische Kompensationsplatten geliefert werden.

Der Modellwagen wurde in x- und y-Richtung durch hochgenau geschliffene Stahlschienen aus breitem Flachmaterial, getrennt nach Höhe und Seite, geführt. Der breite y-Wagen wurde zur Vermeidung einer Verkantung auf beiden Seiten durch Spindeln angetrieben. Der breite y-Wagen wurde zur Vermeidung einer Verkantung auf beiden Seiten durch Spindeln angetrieben. Durch einfaches Umschalten der Handräder konnte die Positionsänderung in einem Feingang (2 mm pro Handradumdrehung) oder einem Schnellgang (10 mm) erfolgen. Auch stand eine Freihandführung serienmässig zur Verfügung, z. B. nur für die schnelle Modellorientierung oder ständig, falls nur auf dem Internzeichentisch kartiert werden sollte. Dazu wurde mittels eines Hebels die Spindel-Mutter-Verbindung ausgeklinkt. Dieses wurde möglich durch die angefederte Rollmutter (Bilder 10.19 & 10.20), die bereits 1959 zum Patent angemeldet worden war (MONDON 1959b & 1959c). Diese Muttern liefen auf Drahtspindeln (in die hochpräzise vorge-schnittenen Spindelgänge waren gehärtete Stahldrähte eingelegt) und vermieden so Wärme und Abnutzung.

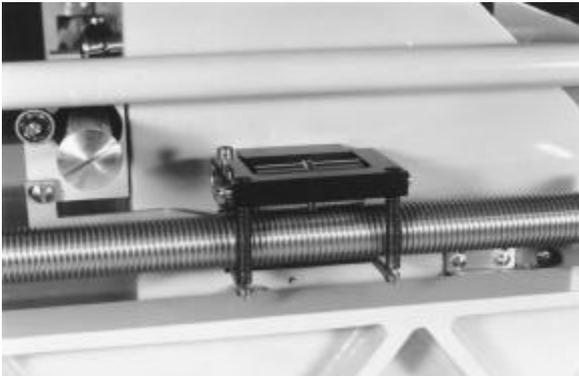


Bild 10.19: Rollmutter und Drahtspindel des Modellwagens

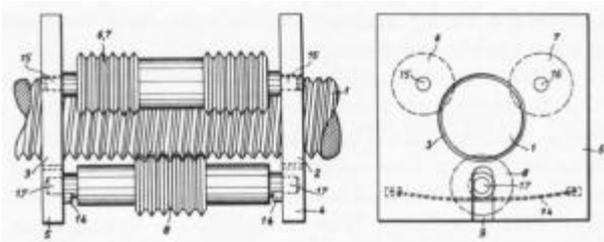


Bild 10.20: Prinzip-Schema der angefederten Rollmutter

Der an zwei Rundstäben geführte z-Wagen wurde zur Verhinderung von Verkippungen mit vier, durch eine Kette miteinander verbundenen Spindeln mittels Fuss-scheibe angetrieben. Eine optionale Erdkrümmungskorrektur für die Auswertung mittlerer und kleiner Bild-masstäbe erzeugte eine Korrektur zwischen eingestellter Höhe und z-Spindeln in Abhängigkeit von nur der y-Koordinate, da der Einfluss von x wegen der geringeren Modellausdehnung nur  $\frac{1}{4}$  betrug (Bild 10.21).

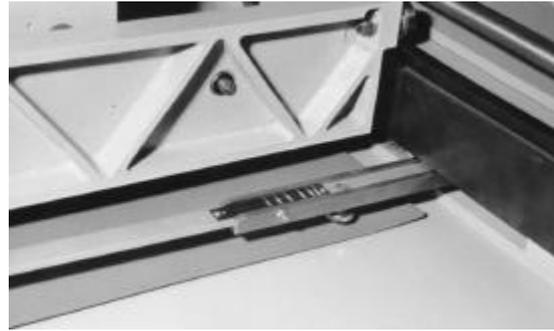


Bild 10.21: Einstellung der Erdkrümmungskorrektur



Bild 10.22: Optionale Kardan-Arme zum PLANIMAT für die Auswertung kurzer (terrestrischer) Brennweiten

Für die Auswertung von Aufnahmen mit einer Brennweite  $< 84$  mm wurden 1969 spezielle Kardan-Arme entwickelt (Bild 10.22), um auch Aufnahmen der terrestrischen Messkammer TMK 6 auswerten zu können.

Die Geräteparameter des PLANIMAT D 2 bzw. des späteren D 3 waren:

- Kammerkonstante: von 84 mm bis 305 mm,
- Bildformat: bis 230 mm x 230 mm,
- $\phi, \omega$ :  $\pm 5,5$  gon,
- $\kappa$ :  $\pm 400$  gon, (D 3:  $\pm 20$  gon),
- $b_x$ : 0 mm bis +340 mm,
- $b_y$ :  $\pm 17$  mm,
- $b_z$ :  $\pm 42$  mm,
- $x$ : 415 mm, (D 3: 460 mm),
- $y$ : 700 mm,
- $z$ :  $c+40$  mm bis  $c+310$  mm ( $c$  = Kammerkonstante),
- Gesichtsfeld: 31 mm, 8-fache Vergrößerung.

Aus Gittermessungen ergab sich die Lagegenauigkeit zu  $\pm 5 \mu\text{m}$  im Bildmasstab und die Höhengengenauigkeit zu  $\pm 0,04$  % von  $h$  als mittlerer Koordinatenfehler einer Einzelmessung (AHREND 1967a). Spätere Untersuchungen im Hinblick auf die Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen bestätigten diese, den bisherigen Geräten I. Ordnung entsprechende Genauigkeit (EBNER et al. 1970). Für diese Anwendung konnten die Koordinaten der Projektionszentren bestimmt werden, sowohl - wie erwähnt - über einen zu rechnenden Rückwärtsein-

schnitt über die Bildträgerkreuze als auch durch Senkrechtstellen der mit Ringmarken skalierten Raumlener mittels Magnetlibelle und direkter z-Ablesung.

Ausser für die Triangulation unabhängiger Modelle fand der PLANIMAT seine Anwendung vor allem auch in der Messung von digitalen Höhenmodellen und in der anspruchsvollen Kartierung. Die Koordinatenerfassung konnte entweder über einfache Zähler, mit dem beschriebenen Druckzählwerk oder mit dem ECOMAT erfolgen, jeweils mit 0,01 mm als kleinster Einheit. Um Höhenwerte in Meter oder Fuss ausgeben zu können, standen Wechselräder für die üblichen Modellmassstäbe zur Verfügung. Für eine automatische Messung von Höhenprofilen für die Produktion von Orthophotos war bereits 1968 in Lausanne der ITEK-Korrelator EC 5 zum PLANIMAT vorgestellt worden (siehe Kapitel 8.4). Als Beispiel für eine frühe halbautomatische Kartierung in grossen Massstäben von 1: 500 bis 1: 10.000 sei das Ontario Ministry of Transportation and Communication genannt, wo ab 1969 vier PLANIMAT mit Magnetband-Speicherung und dazu ein Zeichenautomat im Einsatz waren (MCLEOD 1973).

1970 wurde der PLANIMAT geringfügig zum PLANIMAT D 2 überarbeitet, u. a. mit einer geänderten Farbgebung. Bild 10.23 zeigt eine Ausstattung für die digitale Kartierung mit Tischrechner und Magnetbandgerät.



Bild 10.23: PLANIMAT D 2 mit ECOMAT 12 und HP 9825

Ab 1980 dann wurde das Modell D 3 (Bild 10.24) im Hinblick auf einen günstigeren Preis stärker überarbeitet, wobei die Gerätebereiche nur geringfügig geändert wurden. Die tragenden Teile waren von Stahl auf Leichtmetallguss (wie beim PLANICART) umgestellt, was auch Gewicht sparte. Der Internzeichentisch war jetzt als Leuchtfläche ausgebildet. Auf eine mechanische Ankopplungsmöglichkeit des älteren Einfachzeichentisches EZ 2 war nun verzichtet worden, so dass nur der EZ 4 bzw. EZ 3 über Drehmelder angeschlossen werden konnte. Allerdings wurden nun bereits meistens Impulsgeber für die digitale Datenerfassung einem angeschlossenen Externzeichentisch vorgezogen, bei Verwendung der Linear- statt der Rotationsimpulsgeber

blieb die Zuordnung auch bei Verwendung der Freihandführung erhalten.

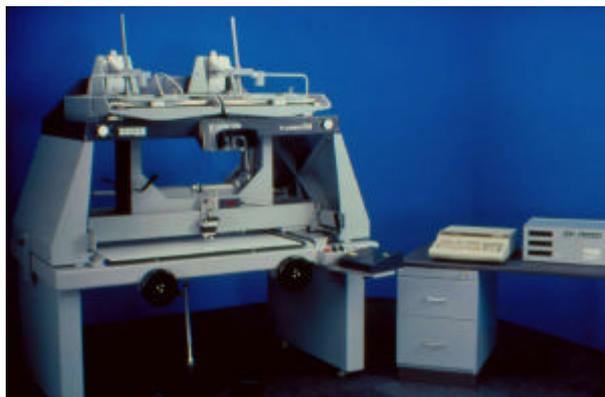


Bild 10.24: PLANIMAT D 3 (1980)



Bild 10.25 Serienmontage von PLANIMAT D 2 und EZ 2

Der PLANIMAT wurde bis Ende der 1980er Jahre in nahezu 200 Exemplaren ausgeliefert. Bild 10.25 zeigt die Serienmontage in den 1970er Jahren.

## 10.4 PLANICART

Mit der guten Akzeptanz des PLANIMAT als hochgenaues und recht universelles Stereoauswertegerät für alle genäherten Senkrechtaufnahmen entstand sehr bald auch die Überlegung, nach dem gleichen Prinzip eine, auf die weiterhin dominierende Stereokartierung reduzierte Variante abzuleiten, die bei angepasster Genauigkeit deutlich preiswerter sein könnte. Nach einer Wertanalyse und gezielter Neukonstruktion konnte dann auf der Photogrammetrischen Woche 1971 der PLANICART E 2 als Stereokartiergerät für einen weiten Massstabsbereich, aber mit Schwerpunkt bei 1: 5.000 bis 1: 10.000 vorgestellt werden (SCHWEBEL 1972). Bei gegenüber dem D 2 nur 300 statt 650 gezeichneten und 1.050 statt 1.700 gefertigten Teilen betrug der Herstelleraufwand des E 2 nur 60 % der Kosten des D 2, und das Gesamtgewicht konnte gegenüber dem D 2 auf 47 % reduziert werden. Der PLANICART erfreute sich auf Anhieb einer guten Nachfrage (Bild 10.26) und wurde bis Ende der 1980er Jahre in etwa 200 Exemplaren ausgeliefert.



Bild 10.26: PLANICART E 2 mit Zeichentisch EZ 3 beim Ordnance Survey, Southampton (1973)

Wie beim PLANIMAT D 2 wurden der einarmige Lenker, die Exzentrizität von Projektionszentren und Kammerkardanen, die Dreipunkt-Auflage der Kammerträger, die Bewegung von Bild- und Modellwagen und der, gegenüber dem D 2 geringfügig verkleinerte und jetzt beleuchtbare Internzeichentisch beibehalten. Die Einstellung der Kammerkonstante erfolgte nun in den Stufen 87, 115, 153, 210 und 305 mm (jeweils  $\pm 3$  mm), die Betrachtungsoptik mit bildaufrichtenden Dove-Prismen wies jetzt eine auf 6-fach reduzierte Vergrößerung auf, bei einem Gesichtsfeld von 30 mm und mit einer schwarzen Messmarke von 80  $\mu$ m Durchmesser.

1974 wurde der PLANICART nochmals optimiert und damit noch kostengünstiger und fortan mit E 3 bezeichnet. Die Geräteparameter blieben überwiegend gleich:

- Kammerkonstante in mm: 87, 115, 153, 210, 305 je  $\pm 3$ ,
- Bildformat: bis 230 mm x 230 mm,
- $\phi$ ,  $\omega$ :  $\pm 5,5$  gon,
- $\kappa$ :  $\pm 400$  gon, (E 3:  $\pm 20$  gon),
- $b_x$ : 0 mm bis +370 mm,
- $b_y$ :  $\pm 17$  mm,
- $b_z$ :  $\pm 42$  mm,
- $x$ : 460 mm,
- $y$ : 700 mm,
- $z$ :  $c+40$  mm bis  $c+390$  mm ( $c$  = Kammerkonstante),
- Gesichtsfeld: 31 mm, 6-fache Vergrößerung, (E 3: 26 mm, 8-fache Vergrößerung).

Aus Gittermessungen ergab sich die Lagegenauigkeit des PLANICART zu  $\pm 12 \mu$ m im Bildmassstab und die Höhengenaugigkeit zu  $\pm 0,06$  % von  $h$  als mittlerer Koordinatenfehler einer Einzelmessung. Damit war dieses Gerät gegenüber dem PLANIMAT in der Lage um etwa den Faktor 3, in der Höhe um den Faktor 1,5 zwar ungenauer, jedoch für die Stereokartierung mehr als ausreichend.

Für das Zeichnen und die Foliengravur auf dem Internzeichentisch waren PLANICART (und PLANIMAT) mit

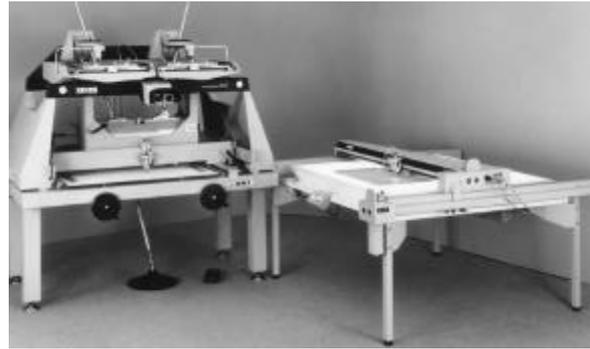


Bild 10.27: PLANICART E 3 mit Zeichentisch EZ 4 (1974)



Bild 10.28: PLANICART E 3 mit DIREC 2 und CRT-Terminal

einem zentrierbaren und beleuchteten Zeichenkopf ZZ3 (später ZZ 4) und verschiedenen Zeichenwerkzeugen ausgestattet, seine Absenkung erfolgte durch einen Fusstaster. Ausserdem konnten, z. B. für höhere Vergrößerungen, einer der Einfachzeichentische EZ 3 oder EZ 4 über Drehmelder angeschlossen werden (Bild 10.27). Aber auch die digitale Koordinatenerfassung für automatische Kartierung und für Höhenmessung war möglich, sei es in Verbindung mit Tischrechnern oder mit Minicomputern (Bild 10.28).

## 10.5 PLANITOP

Nachdem die in 1967 bzw. 1971 von CARL ZEISS vorgestellten Stereoauswertegeräte PLANIMAT und PLANICART vom Markt positiv aufgenommen worden waren, und weil die Firma WILD 1971 mit dem B 8 S eine verbesserte Version ihres erfolgreichen, freihandgeführten Stereokartiergerätes B 8 vorstellte, entschloss man sich in Oberkochen, für das sich immer noch verkaufende STEREOTOP ein Nachfolgergerät mit strenger Lösung für die topographische Kartierung in mittleren und kleinen Massstäben zu entwickeln. In einem ersten Schritt wurden verschiedene konstruktive Ansätze un-

tersucht, darunter auch ebene Lenker getrennt für die  $xz$ - und  $yz$ -Ebene (ähnlich dem Jenaer TOPOCART) und, nach einem Vorschlag von VAN DEN HOUT, "geknickte Raumlener". Mit dieser Idee sollte aus Aufwandsgründen die Bildkipfung vermieden werden, indem Längs- und Querneigung als "Knick" in die Projektionskardane eingeführt werden. Nach Versuchen (Bild 10.29) wurde jedoch auch dieser Vorschlag verworfen und, wie bei PLANIMAT und PLANICART, für dieses neue PLANITOP F (nicht zu verwechseln mit dem PLANITOP E von 1960, siehe Kapitel 10.1) auf das klassische räumlich-mechanische Analogprinzip zurückgegriffen.

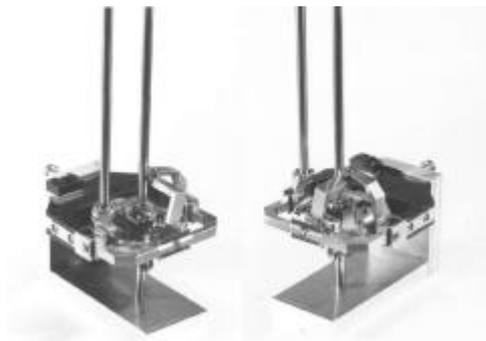


Bild 10.29: Funktionsmuster eines geknickten Raumlener

Da für die Kartierung in mittleren und kleinen Massstäben in der Regel auch eine kleinere Vergrößerung zwischen Bild- und Kartenmassstab gewählt wird, und diese geringere Modellvergrößerung auch die Gerätedimensionen und damit -kosten reduzieren hilft, wurde das neue Gerät für einen Vergrößerungsbereich von etwa 0,5- bis 1,5-fach ausgelegt. Dieser Bereich konnte jedoch nur mit einem zweiarmigen Lenker realisiert werden (Bild 10.30). Der schematische Geräteaufbau ist in Bild 10.31 dargestellt. Zur Realisierung einer festen Betrachtungsoptik waren in einer patentierten Lösung (KRASTEL 1973) die Kippachsen der Bildträger in die Bildebene gelegt, sie schnitten sich dort mit der optischen Achse. Aus Stabilitätsgründen waren die Kammerkardane zueinander nach innen versetzt, ebenso wie die oben liegenden Projektionskardane.

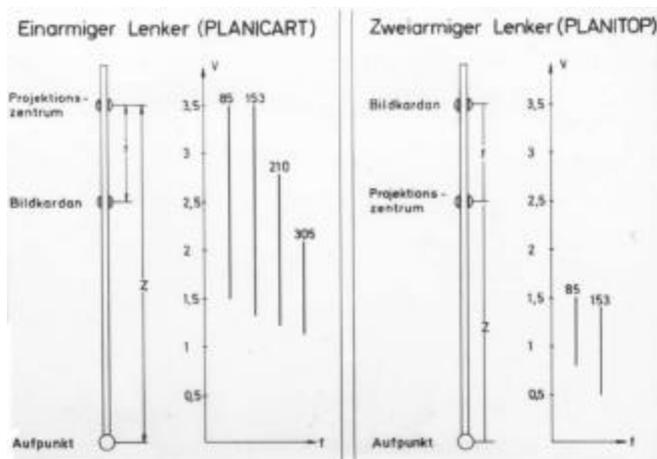


Bild 10.30: Modellvergrößerung in PLANICART und PLANITOP

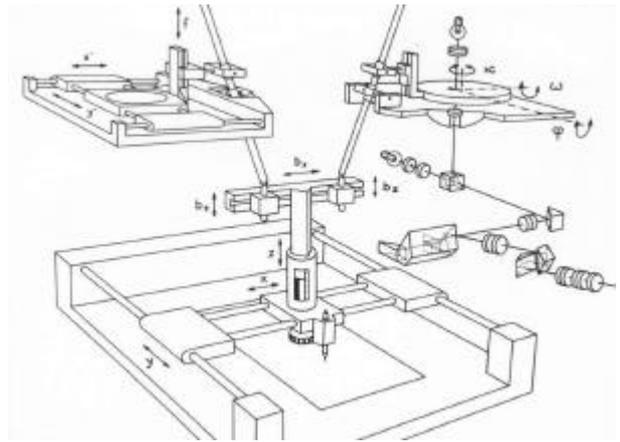


Bild 10.31: Geräteaufbau des PLANITOP F 2



Bild 10.32: PLANITOP F 2 Modellwagen mit Freihandführung

Die Raumlener stützten sich auf den beiden, um das ZEISS'sche Parallelogramm auseinander gezogenen, Aufpunkten ab. Diese Kugelhöpfe waren auf dem Modellwagen angebracht und zueinander ( $b_x$ ) und jeweils in der Höhe ( $b_z$ ) verschiebbar. Die fehlende  $b_y$ -Einstellung wurde, wie bei ähnlichen Geräten, durch Auskanten der Bilder kompensiert. Bild 10.32 zeigt den freihandgeführten Modellwagen, schwebend über dem beleuchteten Internzeichentisch, und die Befestigung der Rundführungen am stabilen, rechteckigen Geräte Rahmen. Neben der Höhenablesung an einem  $z$ -Massstab mit einer 15-fach vergrößernden Lupe ist der Zeichenstift zu erkennen. In der Mitte der beiden Handgriffe war das  $z$ -Rändel angebracht, mittels eines Kippschalters konnte eine motorische Grobverstellung, z. B. während der Orientierung, erfolgen.

Da zu einer gleichförmigen Messmarkenbewegung ein gewisser, vom Auswerter zu überwindender Widerstand vorteilhaft ist, wurde eine richtungsunabhängige, regulierbare Reibung vorgesehen. Der bei grösseren Bildwinkeln auftretende Lenkerschub wurde durch einen Lenkerschubausgleich kompensiert.

Das PLANITOP F 2 bestand aus 210 gezeichneten und 520 gefertigten Teilen und war mit einem Gewicht von 56 kg deutlich leichter als der etwa 10-fach schwerere PLANICART. Es wurde 1973 als kompaktes Tischgerät

auf der ersten, in Stuttgart abgehaltenen Photogrammetrischen Woche vorgestellt (SCHWEBEL 1973c). Bei der Premiere wurde auch bereits der Polarantograph PP 2 gezeigt (Bild 10.33), um auch über den Faktor 1,4- bzw. 1,5-fach hinausgehende Vergrößerungen von Luftbild zu Karte realisieren zu können. Unterschiedliche Vergrößerungen zwischen Modell- und Zeichenmassstab wurden durch Wechselräder ermöglicht (Bild 10.34). 1980 wurde dann die schon im Oktober 1979 fertiggestellte Version PLANITOP F 3 präsentiert. Wesentliche Verbesserungen waren eine zusätzlich mögliche, feinfühlere Freihanduntersetzung (Bild 10.35) und ein Erdkrümmungszusatz (Bild 10.36).

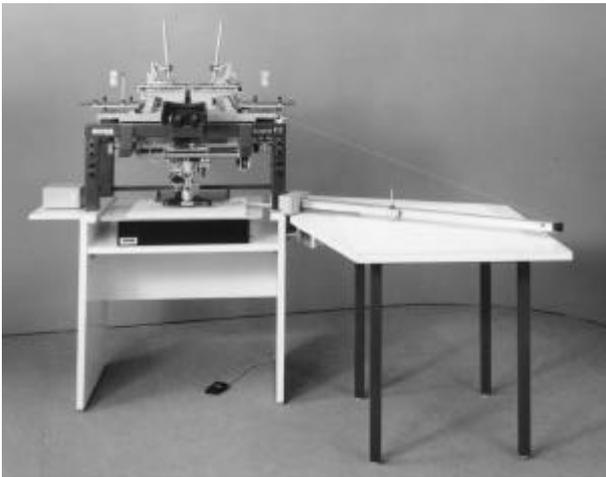


Bild 10.33: PLANITOP F 2 mit Pantograph PP 2 (1973)

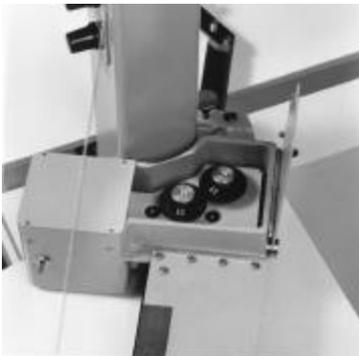


Bild 10.34:  
Wechselräder zum  
Pantograph PP 2

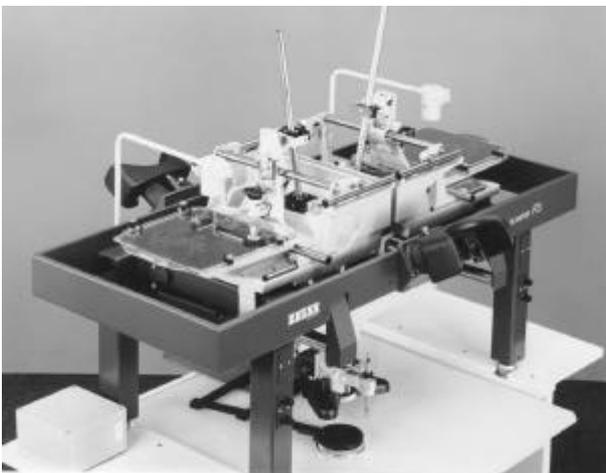


Bild 10.35: PLANITOP F 3 mit Freihandführung (1979)

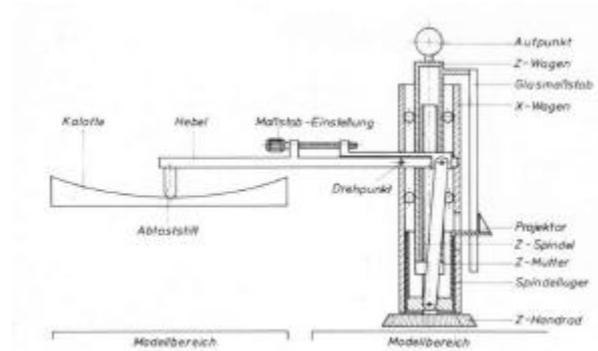


Bild 10.36: Prinzip des Erdkrümmungszusatzes zum F 3

Die Geräteparameter des PLANITOP F 2 und F 3 waren:

- Kammerkonstante in mm: 87, 153 jeweils  $\pm 3$ ,
- Bildformat: bis 230 mm x 230 mm,
- phi, omega:  $\pm 5,5$  gon,
- kappa:  $\pm 15$  gon,
- bx: 40 mm bis +150 mm,
- bz<sub>1</sub>:  $\pm 15$  mm,
- bz<sub>2</sub>:  $\pm 15$  mm,
- x: 240 mm,
- y: 320 mm,
- z: 60 mm bis 240 mm (?z = 110 mm)
- v: 0,8 x - 1,4 x (0,5 x - 1,5 x bei c = 87 mm),
- Gesichtsfeld: 30 mm, 6-fache Vergrößerung.

Eine detaillierte, unabhängige Untersuchung an der Universität Stuttgart (STARK 1977a) ergab folgende Gerätegenauigkeiten im Bildmassstab: aus Gittermessungen eine Lagegenauigkeit von  $\pm 9 \mu\text{m}$  und eine Höhengengenauigkeit zu  $\pm 0,06 \%$  von h, aus Modellmessungen mit kontrollierten Weitwinkelaufnahmen eines Testfeldes eine Lagegenauigkeit von  $\pm 12 \mu\text{m}$  und die Höhengengenauigkeit zu  $\pm 0,11 \%$  von h. Für die entsprechenden Überweitwinkelaufnahmen ergaben sich die Werte zu  $\pm 14 \mu\text{m}$  bzw.  $\pm 0,19 \%$  von h. Das PLANITOP wurde bis Ende der 1980er Jahre in etwa 100 Exemplaren ausgeliefert. Die Entwicklung des F 2 war unter dem Titel "Topographisches Kartiergerät" durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert worden (SCHWEBEL 1979a).

## 10.6 Graphische Ausgabe

Bereits seit den 1920er Jahren wurden für die graphische Ausgabe an photogrammetrischen Stereoauswertegeräten eigenständige, gekoppelte Zeichentische eingesetzt. Bild 4.15 hat einen der letzten Vorkriegs-Koordinatographen am STEREOPLANIGRAPH C/5 gezeigt. In Anlehnung an diesen war in Oberkochen - zusammen mit dem rekonstruierten Bau des STEREOPLANIGRAPH C 7 - 1951 auch der Präzisionszeichentisch Z 2 entstanden, der bis Ende der 1960er Jahre nahezu unverändert gebaut wurde (Bild 10.37).

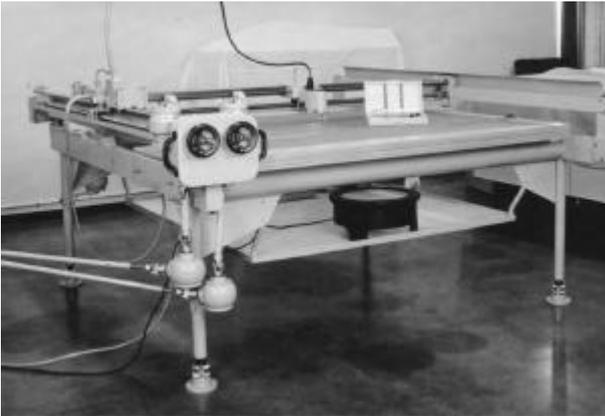


Bild 10.37: Koordinatograph Z 2 (Aufnahme von 1965)

Die Hauptkennwerte dieses Zeichentisches waren:

- Kartierfläche / Glasfläche in cm: 120 x 120 / 120 x 150,
- Positionierung: Präzisionsspindeln mit 5 mm Steigung,
- Koordinaten-Ablesung (Schätzung):  
an Massstäben: 0,1 mm,  
an beleuchteten Zählern: 0,02 mm,
- Wechselräder: serienmässig für 25 Vergrösserungen zwischen 5: 1 und 1: 5,
- Ankopplung über kardanische Mechanikschlüssel.

Mehrere konstruktive Details zum Zeichenkopf mit Zentriermöglichkeit, Hubmagnet und diversen Werkzeugen waren patentiert bzw. als Gebrauchsmuster geschützt (WOLF 1953, ZEISS 1958a & 1958b).

Für die Profilmessung mit STEREOPLANIGRAPH und ECOMAT für z.B. Massenberechnungen im Tage- oder Strassenbau konnte der Koordinatograph Z 2 mit einem Einstellprojektor (Bild 10.38) und der patentierten Profilsteuereinrichtung PR (SCHWIDEFSKY et al. 1968) zwischen Z 2 und C 8 ausgestattet werden (Bild 10.39 & 10.40).



Bild 10.38:  
Einstellprojektor am Z 2 mit  
10-facher Vergrösserung



Bild 10.39: Profiwähler am C 8 und Profilrechner zwischen C 8 und motorischem Antrieb am Z 2

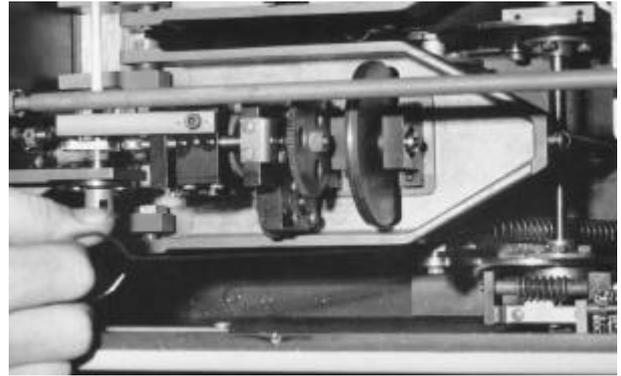


Bild 10.40: Getriebe im Profilrechner zum Koordinatograph

Auf dem IX. Internationalen Kongress für Photogrammetrie 1960 in London wurde von CARL ZEISS, Oberkochen der automatische Koordinatograph KOORDIMAT vorgestellt (SCHWIDEFSKY et al. 1960). Bild 10.41 zeigt die Anlage mit einem IBM-Lochkartenleser und dem, bereits zum Einsatz am Koordinatographen Z 2 erhältlichen Stempelkopf ST, so dass sich automatisch Linienkartierungen - ergänzt um Symbol- und Ziffernstempelungen - erzeugen liessen (Bild 10.42). Die maximale Zeichengeschwindigkeit in x und y betrug 25 mm/sec.



Bild 10.41: KOORDIMAT mit Lochkartenleser und Stempelkopf

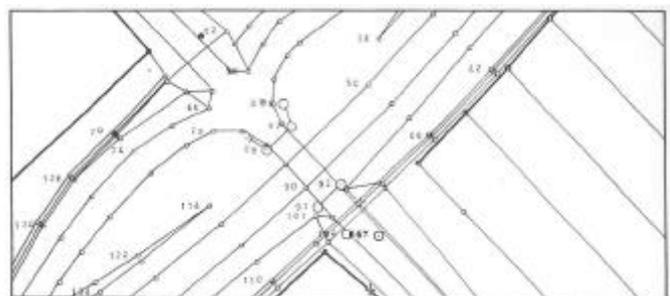


Bild 10.42: Ausschnitt aus KOORDIMAT-Kartierung

1969 schliesslich wurde noch eine Rückleseeinrichtung zum KOORDIMAT entwickelt, mit der die punktweise Digitalisierung graphischer Vorlagen ermöglicht wurde. Mittels der Handräder des Koordinatographen und des Einstellprojektors EP wurden die zu erfassenden Punkte eingestellt und dann nach Eingabe einer Punktnummer oder eines Zeichencodes eine Speicherung auf Lochkarte ausgelöst (Bild 10.43). Bald darauf kamen jedoch die grossformatigen Digitalisieretafeln der Graphik-Industrie auf den Markt, die ohne aufwändige Mechanik

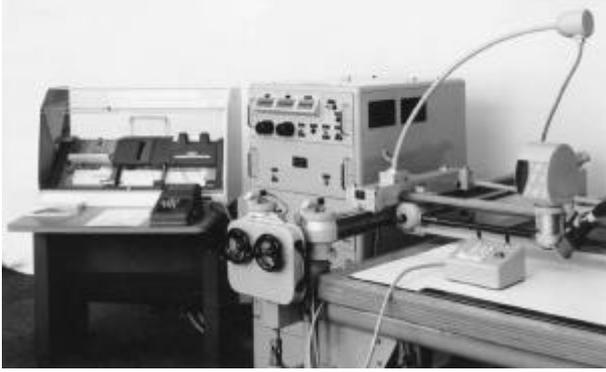


Bild 10.43: Rückleseeinrichtung zum KOORDIMAT mit Einstellprojektor EP und Lochkartenstanzer

wesentlich preiswerter und auch einfacher in der Handhabung waren.

1967 war mit dem neuen PLANIMAT D 2 auch ein neuer externer Einfachzeichentisch EZ 2 mit einem Magnetband zur Papierfixierung (wie beim D 2) vorgestellt worden (Bild 10.44), mit den folgenden Parametern:

- Kartierfläche in cm: 120 x 120,
- keine Koordinaten-Ablesung,
- Wechselräder: serienmässig für 15 Vergrößerungen zwischen 6: 1 und 0,66: 1,
- Ankopplung über kurze kardanische Mechanikschlüssel,
- Zeicheneinrichtungen ZZ 2 mit elektrischer Einrichtung zum Heben und Senken des Zeichenwerkzeuges oder ZZ 1 mit zusätzlich Drehen eines eingesetzten Stichel für Schichtgravur.

Im Jahr darauf folgte die Profilmesseinrichtung dazu (Bild 10.45).



Bild 10.44: Einfachzeichentisch EZ 2 (Prototyp 1966)

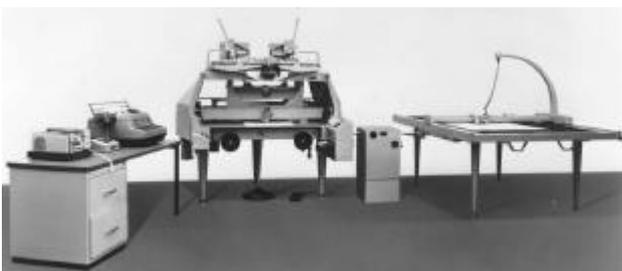


Bild 10.45: Profilmessrechner am D 2 mit EZ 2 (1968)

Eine 1968 angekündigte reduzierte Version des EZ 2 als "EZ 3" mit einer Zeichenfläche von nur 80 cm x 80 cm wurde nicht realisiert. Stattdessen wurden 1969 in Wetzlar gefertigten Einfachzeichentische EZ 3 und EZ 4 mit Leuchtflächen von 80 cm x 120 cm bzw. 120 cm x 120 cm vorgestellt, die beide mittels Drehmelder an ein Stereoauswertegerät anzukoppeln waren und daher sehr flexibel positioniert werden konnten. Der EZ 3 ist bereits in Bild 10.13 zusammen mit dem Doppelprojektor DP 3 und in Bild 10.26 mit dem PLANICART E 2 abgebildet. Bild 10.46 zeigt den freistehenden EZ 4, der wie der EZ 3 oft für PLANIMAT und PLANICART gewählt wurde. Beide Tische waren serienmässig mit Wechselrädern für 17 Vergrößerungen zwischen 8 : 1 und 1 : 2 ausgestattet. Der Zeichenkopf ZZ 2 war zu ZZ 3 weiterentwickelt worden. 1977 wurde zur Verbesserung des Auswertekomforts noch eine Fernsehleinrichtung für diese Externzeichentische vorgestellt (Bild 10.47).



Bild 10.46: Einfachzeichentisch EZ 4 (1969)



Bild 10.47: Fernsehleinrichtung zum EZ 4 (1977)

Ein Kuriosum am Rande: Zusammen mit EZ 3 / 4 wurde auch eine Bleistiftspitzmaschine entwickelt, mit der die Minen für die Zeicheneinrichtungen streng rotationsymmetrisch geschärft werden konnten (Bild 10.48).

Historisch

CARL ZEISS, Oberkochen 1969

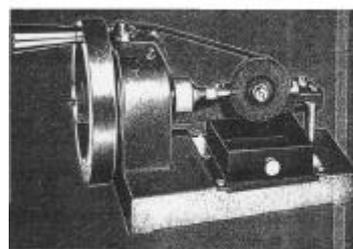


Bild 10.48: Bleistiftspitzmaschinen

Ebenso wie Elektronikentwicklung und Mikroprozessoren ab 1970 die Koordinatenregistrierung veränderten (siehe Kapitel 9.1), so erschienen auch neue, prozessorgesteuerte Zeichentische auf dem Markt. CARL ZEISS, Oberkochen stellte 1975 auf der Photogrammetrischen Woche den Digitalzeichentisch DZ 5 vor (SCHWEBEL 1975a). Mit dem DZ 6 folgte ein Jahr später die Variante für den analytischen Plotter PLANICOMP C 100 (siehe Kapitel 11.2).

Dieser, auf den ersten Blick dem EZ 4 ähnelnde, Digitalzeichentisch hatte ebenfalls einen Leuchttisch und einen Kartierbereich von 120 cm x 120 cm (Bild 10.49). Der Antrieb erfolgte durch digital gesteuerte Gleichstrommotoren mit einer Auflösung von 0,01 mm, die Maximalgeschwindigkeit betrug 100 mm/sec. Der Zeichenstift konnte am Tisch mit einem Steuerknüppel ("Joy-stick"), z. B. für die Orientierung, unmittelbar bewegt werden. Der DZ 5 war u. a. an die Analogauswertegeräte PLANIMAT, PLANICART und PLANITOP anschliessbar, deren Modellkoordinaten mit Rotations- oder Linearimpulsgebern digitalisiert wurden. In der Betriebsart F ("Folgen") war wie bei den früheren Zeichentischen die Stereokartierung möglich, wobei die Vergrößerung Modell zu Karte an Dekadenschaltern am Bedienfeld des DZ 5 eingestellt wurde (Bild 10.50).



Bild 10.49: Digitalzeichentisch DZ 5 (1975)



Bild 10.50: DZ 5-Bedienungselemente mit Geradenzeichner

In der Betriebsart P ("Positionierung") konnte automatisch auf, an 6-stelligen Dekadenschalter des Bedienpanels einstellbare, Koordinaten positioniert werden. In der Betriebsart G ("Geradenzeichner") schliesslich war das prozessor-unterstützte Zeichnen von Geraden, Polygonzügen, Flurstücken, Gebäuden und Kreuzsymbolen möglich. Der Mikroprozessor des DZ 5 war aber auch so ausgelegt, dass dieser direkt Koordinaten von einem Tisch- oder Minicomputer empfangen und damit von einer entsprechenden Kartiersoftware angesteuert werden konnte. Dazu wurde gleichzeitig mit dem DZ 5 das Programmsystem CASP vorgestellt (siehe Kapitel 10.7).

Um den Fortschritt in der digitalen Mikroprozessortechnik auszunutzen, wurde bereits 5 Jahre später die Folgentwicklung DZ 7 vorgestellt (LORCH et al. 1980). Diese Entwicklung war teilweise durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert worden (BÖTTINGER et al. 1981). Auffälligstes Merkmal war die motorische Neigbarkeit des Zeichentisches zwischen 0° (horizontal) und 70° (Bild 10.51), die bereits seit einiger Zeit bei Konkurrenzprodukten realisiert war.



Bild 10.51: Digitalzeichentisch DZ 7 am PLANITOP F3 (1980)

Die Hauptkennwerte dieses Digitalzeichentisches DZ 7 waren (SCHWEBEL 1981):

- Kartierfläche / Leuchtfläche in cm: 93 x 119 / 100 x 120,
- Auflösung 0,01 mm,
- Vergrößerung Modell zu Karte bei Direktkartierung mit Analogauswertegerät zwischen 9: 1 und 1: 9,
- Zeichengeschwindigkeit wählbar zwischen 70 mm/sec, 110 mm/sec und 210 mm/sec je nach Qualitätsanforderungen,
- Dreifachzeichenkopf für Bleistift, Kugelschreiber, Tusche und Gravurstichel mit Absenkraten bis zu 30 Hz für Strichlierung, sowie Kamera-Einsatz mit Monitor .

Der DZ 7 wurde in drei, zueinander erweiterbaren, Versionen angeboten:

- DZ 7-A: für photogrammetrische, mikroprozessor-unterstützte On-line-Kartierung mit analogen Stereoauswertegeräten, Ankopplung durch Übernahme der Signale der Linear- oder Rotationsimpulsgeber,



grammetrie-Produktes konnte sich WILD letztendlich, vermutlich wegen temporärer eigener Schwierigkeiten, doch nicht entschliessen.

ZEISS bot ab 1985 die WILD-Präzisionszeichentische AVIOTAB TA 2 und TA 10 unter den Bezeichnungen PLANITAB T 102 und T 110 in eigener Lackierung und mit einer angepassten Unterprogrammibibliothek GRAPH F 2 ab 1985 an (Bild 10.56) und verkaufte diese bis 1995 etwa 60mal. Auf eine technische Beschreibung soll in dieser Dokumentation verzichtet werden.



Bild 10.56: PLANITAB T 102 und T 110 (1985)

Ab 1988 befasste man sich in der Oberkochener Photogrammetrie-Entwicklung vorübergehend auch mit dem Gedanken, einen Rasterplotter zu entwickeln. Angesichts des zuvor beschriebenen Trends, die Ausgabe von Karten und Druckvorlagen zukünftig off-line zu bewerkstelligen, wurde auf Basis der Erfahrung mit dem ORTHOCOMP Z 2 und mit patentierten Ideen (FELLE 1986 & SCHERLE 1990) ein Ausgabegerät mit einer grossen Filmtrommel konzipiert, bei welchem mit einem akusto-optisch modulierten Argon-Laser und einem schnell drehenden Polygonspiegel jeweils monochrome Folien für die Druckfarben cyan, magenta, gelb und schwarz erstellt werden sollten. Dieses "R 9" genannte Entwicklungsprojekt hätte als Nachfolger sowohl des ORTHOCOMP als auch der Digitalzeichentische das Ausgabesystem für die bevorstehende "Digitale Photogrammetrie" werden sollen. Aber bereits in der Vorentwicklungsphase wurde dieses Vorhaben 1992 wieder eingestellt und bei entsprechenden Kundenanfragen ein eingeführtes OEM-Produkt der belgischen Firma BARCO angeboten (Bild 10.57).



Bild 10.57: BARCO Rasterplotter BG 3900 (1993)

Dass die graphische Ausgabe zunehmend zur Domäne der Computer-Industrie wurde, zeigt auch der HP-Plotter an einem PLANICART E 3 und die Darstellung der erfassten Graphik am CRT-Terminal in Bild 10.58. Und schliesslich ist darin der, an der linken Seite des E 3 angebrachte, weitere Monitor zu erkennen, der in das linke Okular eingespiegelt wird. Hierbei handelte es sich um das 1984 auf dem XV. Internationalen Kongress in Rio de Janeiro von ZEISS vorgestellte System VIDEOMAP zur Überlagerung von gemessenen Graphik-elementen mit dem Luftbild zwecks Kontrolle von Genauigkeit, Richtigkeit der Codierung und Vollständigkeit der Datenerfassung (Bild 10.59). Auch wenn es hier im Kapitel der graphischen Ausgabegeräte erwähnt wird, so spielte es eher eine wichtige Rolle bei der, im folgenden Kapitel 10.7 beschriebenen, graphischen Datenerfassung.



Bild 10.58: PLANICART E 3 zur software-gestützten Kartierung mit Graphikeinspiegelung und HP 7580-Plotter (1984)



Bild 10.59: Überlagerung von Luftbild und VIDEOMAP-Graphik im Okular des Auswertegerätes

Eine erste Beschreibung ist in (SAILE 1984) enthalten, die ausführliche Darstellung findet sich in (UFFENKAMP

1986). Bild 10.60 zeigt die VIDEOMAP-Steuereinheit (rechts) und den Graphik-Monitor HP 1336 S mit Versorgungseinheit. Der Monitor war ein hochauflösender, bildstabiler Vektorgraphik-Bildschirm mit einer Bildfläche von 80 mm x 80 mm und einer Breite der Vektorlinien von 0,1 mm. Durch die 2,8-fach verkleinerte Einspiegelung in das Gesichtsfeld des linken Stereobildes konnten damit in PLANICART bzw. PLANICOMP in einem quadratischen Kernbereich mit ca. 25 mm Kantenlänge die gemessenen Linien, Symbole und Texte mit einer Strichbreite dargestellt werden, die in etwa dem üblichen Messmarkendurchmesser von 40 µm entsprach. Während der Modellbewegung wurde diese Information auf dem Monitor synchron mit der Messmarke im Bild verschoben, so dass sie zum Luftbild statisch erschien.



Bild 10.60: VIDEOMAP - Steuereinheit und Bildschirm (1984)

Die ständige exakte geometrische Übereinstimmung von Graphik und Luftbild wurde durch zwei Rechenvorgänge erreicht: zum einen mussten die neu erfassten graphischen Informationen vom Modellmassstab des Auswertegerätes jeweils in die perspektive Geometrie des linken Bildes transformiert werden, zum anderen musste der, aus der gesamten Modellinformation zu entnehmende und abzubildende Ausschnitt in Abhängigkeit der Messmarkenbewegung ohne zeitliche Verzögerung auf dem Monitor verschoben werden. Erreicht wurde letzteres durch eine Refresh-Rate des Monitors von 100 Hz und der Zwischenschaltung eines Display-Speichers zwischen Monitor und dem Graphik-Speicher mit der gesamten Modellinformation (Bild 10.61). Mit einer Größe von 32 mm x 32 mm im Bildmassstab war der Display-Speicher etwas grösser als der auf dem Bildschirm dargestellte Ausschnitt, so dass dieser bei Bewegung nur alle ein bis drei Sekunden aus dem Graphik-Speicher aufgefüllt werden musste. In diesem war, bezogen auf das Luftbild, ein Bereich von 500 mm x 500 mm mit einer Auflösung von 0,032 mm adressierbar, und es konnten bis ca. 80.000 Vektoren und 15.000 alphanumerische Zeichen gespeichert werden.

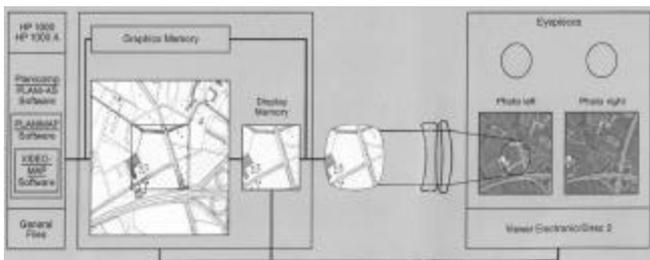


Bild 10.61: Blockdiagramm zur VIDEOMAP Funktion

In der Praxis wurde diese "Superimposition" nicht nur für die Kontrolle der Datenerfassung auf Genauigkeit, Richtigkeit und Vollständigkeit eingesetzt, u. a. auch bei Messung digitaler Höhenmodelle (REINHARDT 1986), sondern auch, um vorhandene graphische Information mit dem "aktuellen" Stereomodell zu vergleichen, also um z. B. Katasterkarten oder eine Bauplanung einzuspiegeln, oder um die Veränderungen topographischer Karten zu erfassen. 1988 zum Kyoto-Kongress wurde unter der Bezeichnung VIDEOMAP 2 auch die Variante für Stereosuperimposition präsentiert, als Option für die ein Jahr zuvor vorgestellten PLANICOMP der P-Serie (siehe Kapitel 11.5). Und 1993 schliesslich wurde noch VIDEOMAP 30 für die PLANICOMP P 3 und P 33 eingeführt (ROTH 1993). Bei diesem wurde auf der Basis eines Personal Computers PC 486 (50 MHz) mit Graphikkarte und MS-DOS Betriebssystem als VIDEOMAP-Steuereinheit ein monochromer Rasterbildschirm mit einer Auflösung von 1.024 x 1.280 pixel, einer Punktgröße von 0,2 mm und 4-facher optischer Verkleinerung angesteuert. Insgesamt wurde VIDEOMAP allein bis 1995 über 250mal ausgeliefert.

Bereits im Frühjahr 1981 waren erste Kontakte zur Fa. INTERGRAPH in Huntsville, Alabama/USA geknüpft worden, um mögliche gemeinsame Projekte zur Verbindung zwischen deren interaktiver kartographischer Software IGDS und den Oberkochener photogrammetrischen Auswertegeräten zu diskutieren. In der Folgezeit war eine interaktive graphische Arbeitsstation von INTERGRAPH nicht nur zur On-line-Datenerfassung an den PLANICART E 3 angeschlossen worden (Bild 10.62), sondern auch die Einspiegelung eines zusätzlichen, von INTERGRAPH angesteuerten Monitors realisiert und erstmals im Herbst 1982 gezeigt worden (HOBBIE 1983 & 1984a). Im Jahr darauf war auch die Ankopplung an ein PLANICOMP C120 verfügbar (siehe Kapitel 11.3), während das komplett in Oberkochen entwickelte VIDEOMAP erst im Sommer 1984 vorgestellt wurde.



Bild 10.62: INTERGRAPH-Workstation am PLANICART E 3 mit Einspiegelung (1982)

Die Beschreibung dieser beiden Lösungen zur graphischen Einspiegelung an Stereoauswertegeräten ist bereits die Überleitung von der graphischen Ausgabe zur graphischen Datenerfassung.

## 10.7 Graphische Datenerfassung

Anfang der 1970er Jahre zeichnete sich mit dem Aufkommen kompakter Mikroprozessoren und der Einführung der elektronischen Koordinatenerfassung in der Photogrammetrie die Möglichkeit ab, die bisherige Direktkartierung an Stereoauswertegeräten mit Zeichentischen durch Rechnerunterstützung zu beschleunigen und bezüglich Zeichenqualität zu verbessern. Die Möglichkeiten der rein numerischen Datenerfassung (z. B. zur Messung von Aerotriangulationsdaten und Höhenmodellen) und die dafür über Jahrzehnte entwickelten Koordinatenerfassungsgeräte der ECOMAT- und DIREC-Familie wurden bereits in Kapitel 9.1 beschrieben. Damit verbleibt es, in diesem Abschnitt primär über die Software und über einige spezielle Hardware-Komponenten für die graphische Datenerfassung zu berichten.

Zur Photogrammetrischen Woche 1975 stellte CARL ZEISS, Oberkochen gleich mehrere Neuerscheinungen vor, in denen diese Rechnerunterstützung sichtbar wurde: der Digitalzeichentisch DZ 5 zu analogen Stereoauswertegeräten mit der Möglichkeit des Zeichnens von Geraden und einfachen Symbolen und der Hausergänzung (Kapitel 10.6); das STEREOCORD G 2, dessen Programme nicht nur geometrische Größen aus Bildern extrahieren konnten, sondern auch die rechnerunterstützte Ausgabe auf einfache HP-Plotter bewerkstelligten (Kapitel 11.1); und schliesslich das, für den seinerzeit aktuellen programmierbaren Tischrechner HP 9810 in einer einfachen, rechnerorientierten Programmiersprache geschriebene Programm CASP ("Computer Assisted Stereoplotting") zur rechnergestützten Stereokartierung an Analoggeräten. Dieses war von EGON DORRER nach, bis 1972 zurückreichenden, Vorarbeiten im Auftrag von ZEISS entwickelt worden (DORRER 1975), um die numerische und graphische Auswertung an PLANIMAT, PLANICART und PLANITOP mit ECOMAT 12 oder DIREC 1 zu unterstützen.

Wegen der beschränkten Speicherkapazität war CASP in 5 Programm-Module unterteilt, wobei die eigentliche graphische Auswertung mit DYNRECORD erfolgte:

- STATRECORD u. a. zu Echtzeit-Koordinatentransformation, Registrierung von Einzelpunkten, Punktnummernbildung und Echtzeitberechnung von Flächen,
- DYNRECORD u. a. zu Echtzeit-Koordinatentransformation, Registrierung von Einzelpunkten, dynamischer Registrierung und Generieren von Objektcodes,
- LISTMANIPUL zur Kontrolle und Modifikation (Editierung) von Punklisten,
- ABSOLOR-1 zur absoluten Orientierung und Berechnung von Transformationsparametern für eine Echtzeittransformation von Modell- in Landeskoordinaten,
- ABSOLOR-2 zur absoluten Orientierung und Ausgabe von Einstellparametern für die Modellorientierung in PLANIMAT, PLANICART oder PLANITOP.

Im Vergleich zu den ab etwa 1970 angebotenen Tischrechnern (u. a. der Firmen HEWLETT-PACKARD, WANG) war der, mit dem PLANICOMP C 100 im Jahr 1976 vorgestellte, Minicomputer von HEWLETT-PACKARD deutlich leistungsfähiger (Kapitel 11.2). Mit dem Übergang vom Typ HP 21 MX zur Rechnerfamilie HP 1000 wurde erkennbar, dass die Rechenleistung neben der Steuerung des analytischen Plotters auch die On-line-Unterstützung mindestens eines analogen Auswertegerätes ermöglichen würde. Mit der bei der Entwicklung des PLANICOMP C 100 gewonnenen Software-Erfahrung entstand deshalb im Oberkochener Entwicklungslabor bis 1979 in der Programmiersprache FORTRAN IV das AS Programmsystem (HOBBIE 1979b). Insgesamt wurden zunächst drei verschiedenen Programme konzipiert: PK-AS für den Monokomparator PK 1, welches als erstes fertiggestellt und 1979 im Detail vorgestellt wurde; PSK-AS zum Präzisions-Stereokomparator PSK 2, das dann mangels Nachfrage doch nicht realisiert wurde; und das 1981 fertiggestellte PLANI-AS für analoge Stereoauswertegeräte wie PLANIMAT, PLANICART und PLANITOP (HOBBIE 1981b).

Bild 10.63 zeigt die Systemkomponenten eines, für On-line-Datenerfassung mit PLANI-AS ausgerüsteten analogen Stereoauswertegerätes. Dabei konnte das Minicomputer-System mit Peripherie-Geräten, Software und Dateisystemen auch von weiteren analogen Arbeitsplätzen bzw. von einem PLANICOMP C 100 benutzt werden. Wegen des damals noch begrenzten Speicherplatzes in diesen Kleinrechnern mussten die Programme segmentiert werden (Bild 10.64), wobei alle Programmteile auf einen gemeinsamen Datenbereich zugreifen konnten.

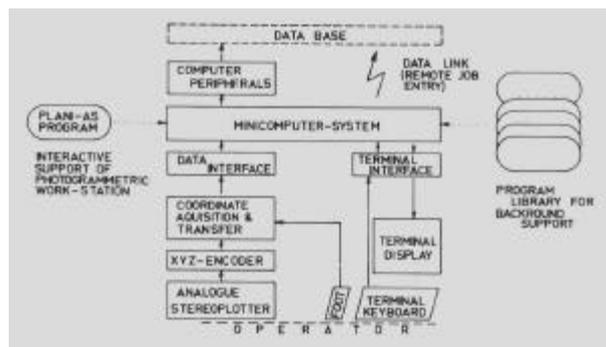


Bild 10.63: System-Konfiguration eines Auswertegerätes mit PLANI-AS Software

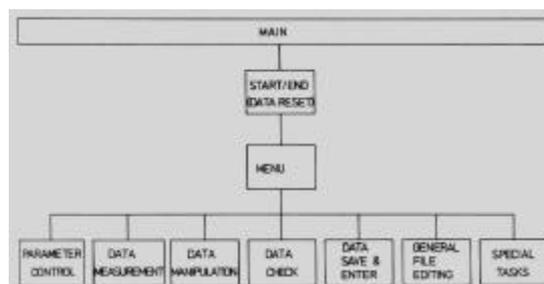


Bild 10.64: Programmstruktur der AS Software (1979)



Wie das Bild 10.67 zeigt, erfolgte die digitale Datenerfassung am PLANICOMP mit dem Programm B 83 (RECORD PLOT DATA), am Analoggerät mit einem erweiterten PLANI-AS und am ARISTOGRID-Digitalisiertisch (System 100 oder 200) mit dem neuen DIGI-AS, einem auf die xy-Ebene reduzierten PLANI-AS (HOBBIE 1985), jeweils in einem graphischen, geräteunabhängigen Code. In allen Varianten waren Handhabung und Funktionsumfang gleich, wobei auch "Snap"-Funktionen für präzises Anknüpfen an bereits gespeicherte Punkte und Linien sowie Editierfunktionen enthalten waren. Die unmittelbare Ausgabe bei der Datenerfassung geschah unter Verwendung der im vorigen Kapitel beschriebenen GRAPH F 1-Routinen auf DZ 7, HP-Plottern oder HP-Bildschirmen, ab 1985 mit einem erweiterten GRAPH F 2 auch auf einem PLANITAB T 110 oder T 102 und/oder auf einem hochauflösenden Graphik-Terminal der Firmen TEKTRONIX oder SIGMEX. Eine eventuelle Datenübergabe an andere Systeme konnte über verschiedene Dateiformate erfolgen. Schliesslich war auch die reine Off-line-Ausgabe möglich, am PLANICOMP mit dem bewährten DIGITAL PLOTTING (C 089), ansonsten mit dem DZ 7-AS bzw. PLANITAB-AS. Letztere Programme erlaubten auch die Kartenblattvorbereitung und die Generierung von nahezu beliebigen Kartensymbolen, die dann durch Code-Eingabe registrierten Positionen zugeordnet werden konnten.

Zur Vereinfachung und Beschleunigung der Bedienung von PLANIMAP wurde 1985 auch ein programmierbares Bedienfeld vorgestellt (Bild 10.69). Dieses PLANIMAP Panel war eine Tastatur mit 53 berührungsempfindlichen Feldern in der Anordnung einer Schreibmaschinentastatur, auf die auswechselbare Schablonen mit einer Darstellung der wählbaren Tastenbelegung gelegt wurden. Statt Eingabe eines oder mehrerer Zahlencodes konnte durch Berühren eines Feldes damit ein Befehl oder eine festgelegte Kommandofolge (Makrofunktion) ausgelöst werden, was insbesondere die Messung stark vereinfachte. In Verbindung mit den Snap- und Editierfunktionen - und eventuell mit VIDEOMAP zur unmittelbaren Superimposition und Kontrolle - war damit die graphische Datenerfassung optimiert.



Bild 10.69: Das programmierbare PLANIMAP Panel (1985)

Als Ergebnis einer Strategie-Klausur der Photogrammetrie-Entwicklung wurde 1985 auch das Entwicklungsprojekt VISOR vorgeschlagen. Ziel sollte es sein,

bei der linienweisen Erfassung zweidimensionaler Vorlagen an den handelsüblichen Digitalisiertischen die Linien nicht mehr konzentriert und exakt abfahren zu müssen. Dazu sollte ein am Cursor angebrachter optischer Matrixsensor ständig die Linie erfassen und deren geometrische Abweichung von der Cursormitte als Korrekturwert der Positionskordinaten hinzufügen. Damit wäre nur eine grobe und auch deutlich schnellere Linienabtastung möglich geworden. Nur weil zu diesem Zeitpunkt die im folgenden Absatz beschriebenen, noch mehr Erfolg versprechenden, Projekte begonnen wurden, konnte VISOR nicht weiter verfolgt werden.

Durch die positiven Erfahrungen mit PLANI-AS und PLANIMAP zur rechnergestützten, photogrammetrischen Kartierung entstand das Bedürfnis, auch die anschließende kartographische Aufbereitung und Verwaltung in ein einheitliches Programmsystem einzubeziehen. Nachdem bereits seit Anfang der 1980er Jahre das Software-Entwicklungsteam der Oberkochener Photogrammetrie erheblich erweitert worden war, wurde beschlossen, ein neues universelles photogrammetrisch-kartographisches Software-System zu entwickeln, parallel zur anstehenden Modernisierung der PLANICOMP-Familie. Dabei sollte besonderes Augenmerk auf die Kompatibilität mit den bisherigen ZEISS-Produkten und auf die Integrationsfähigkeit in vorhandene Benutzer-Umgebungen gelegt werden.

Im Frühjahr 1987 wurde von CARL ZEISS, Oberkochen PHOCUS als universelle photogrammetrische und kartographische Software vorgestellt, zusammen mit der PLANICOMP P-Serie, welche in Kapitel 11.5 beschrieben wird (HOBBIE 1987a & 1987b, MENKE 1987a & 1987b). PHOCUS unterstützte die Datenerfassung nicht nur in photogrammetrischen Stereomodellen, sondern auch durch Digitalisierung existierender Karten (wie auch schon in PLANIMAP, jetzt aber mit Digitalisiertischen zahlreicher Hersteller) und durch Übernahme geodätischer Messungen und Berechnungen. In Konsequenz waren nun die Programme für die Stereoauswertegeräte, die P-Software, in PHOCUS eingebettet (Bild 10.70).

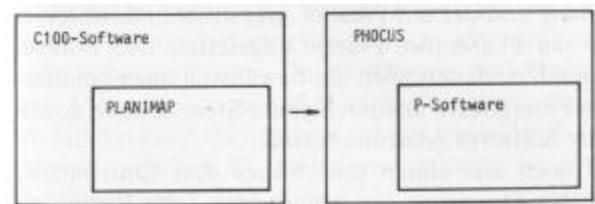
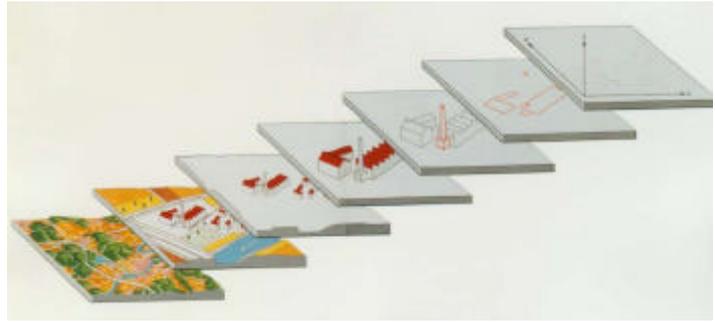


Bild 10.70: Programmstruktur von PHOCUS (1987)

Und da die photogrammetrisch gewonnenen Informationen zu wertvoll sind, um sie nur als digitale Graphikdaten für einen bestimmten Kartenmassstab zu verwenden, wurde eine objekt-orientierte, hierarchisch gegliederte Datenstruktur gewählt. Bild 10.71 zeigt die 7 Hierarchie-Ebenen (mit jeweils einem Beispiel):

- Geometrieteil - Grundriss der Durchfahrt,
- Koordinatendaten - Punkt des Grundrisses,
- Objektteil - Hausdurchfahrt,
- Objekt - Öffentliches Gebäude,
- Objektklasse - Gebäude,
- Gebiet - Ort,
- Projekt - Topograph. Kartenwerk 1: 10.000.

Bild 10.71: "Datenstruktur" von PHOCUS (1987)



Diese objektorientierte Datenstruktur ermöglichte es, über austauschbare bzw. veränderbare Zeichenschlüssel- und Symboltabellen sehr einfach und schnell die kartographische Ausgabe zu verändern, sei es für verschiedenartige, abzuliefernde Ergebnisse (Bild 10.72), oder für die gleichzeitige Darstellung während der Erfassung und Editierung auf verschiedenen graphischen Ausgabegeräten (z.B. VIDEOMAP und Zeichentisch).

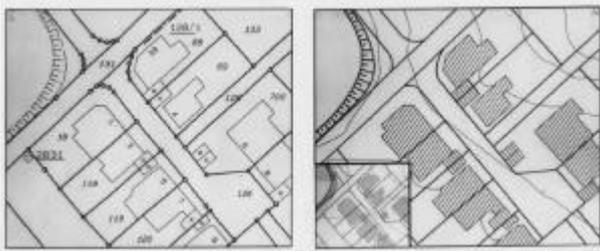


Bild 10.72: PHOCUS-Daten in unterschiedlicher Graphik

Mit vielseitigen Funktionen zur geometrischen, semantischen und topologischen Datenerfassung, zur Dateneditierung, Datenverwaltung und Datenausgabe, mit umfangreichen Möglichkeiten der Handhabung (Sprach-Anpassung, Bedienungshilfen) und mit der Möglichkeit, ein bestimmtes Projekt an mehreren Arbeitsstationen gleichzeitig zu bearbeiten war PHOCUS zu einem Werkzeug geworden, welches auch heute noch von zahlreichen Benutzern eingesetzt wird. Typische nicht-photogrammetrische Arbeitsplätze waren PHOCUS PD für Digitalisierung von Kartenvorlagen und PHOCUS PE für Editierung (Bild 10.73).



Bild 10.73: PD Digitalisier-, PE Editier-Station von PHOCUS

Bild 10.74 zeigt die von PHOCUS unterstützten Anwendungsbereiche. Ab 1991 waren über DIREC P (siehe Kapitel 9.1) auch analoge Stereoauswertegeräte unterstützt und als PHOCUS PA-Station eingebunden worden.



Bild 10.74: Anwendungsbereiche von PHOCUS

Das Programmsystem wurde bis Mitte der 1990er Jahre ständig weiterentwickelt (MENKE 1989, BRAUN 1989, MENKE 1991, SAILE 1992, ROTH 1993, MENKE 1994, SCHWEBEL 1994). Und es gab nach frühen Voruntersuchungen zu kartographischen Austauschformaten (MENKE 1985) ab 1989 Datenumsetzungen des PHOCUS-Formates PHODAT u. a. zu ISIF (INTERGRAPH), DXF (AUTOCAD von AUTODESK), SICAD und DIGSY (beide SIEMENS), ARC/INFO (ESRI), MOSS (MCDONNELL DOUGLAS) sowie EDBS (AdV - Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Vermessungsverwaltungen) und ISOK (Schwedische Vermessungsverwaltung).

Nachdem bei den Rechnern für PHOCUS zunächst, wie von Beginn an bei den PLANICOMP, der HP 1000 von HEWLETT-PACKARD mit dem Betriebssystem RTE dominiert hatte, verlagerte sich ab 1990 der Schwerpunkt zu Workstations der Typen VAX und ALPHA mit dem Betriebssystem VMS von DIGITAL EQUIPMENT, und ab 1993 auch zu UNIX-Workstations der Fa. SILICON GRAPHICS. 1992 wurde für die Speicherung von Attributen die relationale Datenbank ORACLE eingebunden und somit im Hinblick auf ein vollständiges Geographisches Informationssystem der SQL-Standard realisiert. Und ab 1993 wurden mit den Revisionen 5 und 6 von PHOCUS zahlreiche weitere Ergänzungen und Verbesserungen eingeführt. Schliesslich konnte PHOCUS auch am 1993 vorgestellten digitalen Stereoplotter PHODIS ST betrieben werden.

Insgesamt wurden von PHOCUS in den ersten 10 Jahren der Auslieferung über 350 Lizenzen vergeben.

## 11. Luftbildauswertung analytisch

Mit "Analytischer Plotter" werden in der Photogrammetrie Stereoauswertegeräte bezeichnet, in denen die Modellbeziehungen eines Stereobildpaares nicht mit analogen Mitteln wie z. B. durch Projektion oder mit mechanischen Raumlenkern rekonstruiert, sondern in Digitalcomputern berechnet werden. Von UUNO V. HELAVA 1958 publiziert und 1961 als Patent anerkannt, wurden entsprechende Geräte in den 1960er Jahren bei der Fa. BENDIX in Southfield, Michigan/USA zunächst für militärische Auftraggeber entwickelt, wobei Optik und Mechanik aus Italien von der Fa. OMI zugeliefert wurde. Wegen der seinerzeit noch sehr langsamen Elektronenrechner wurden sogar erste Prototypen noch mit elektrisch-analogen Rechnern realisiert. Und bis Anfang der 1970 Jahre reichte die Rechengeschwindigkeit nicht aus, um einen, in der zivilen Praxis akzeptablen und mit den Analoggeräten vergleichbaren Auswertekomfort zu erreichen. In Oberkochen beschränkte sich CARL ZEISS deshalb zunächst darauf, den Einsatz der ersten verfügbaren Tischrechner zu erproben.

### 11.1 STEREOCORD

Bereits 1971 hatte ZEISS den Stereo-Röntgenkomparator StR vorgestellt, der in der Ausbaustufe StR 3 mit einer Koordinatenerfassung und einem frühen Tischrechnermodell zur Berechnung von Raumkoordinaten und abgeleiteten geometrischen Größen ausgestattet war (siehe Kapitel 14.2). Zur gleichen Zeit wurden an mehreren Stellen in Nordamerika ähnliche Vorrichtungen für die einfache Auswertung von Luftbildern gebaut, u. a. auch bei BENDIX, wo ROBERT B. FORREST das "Image Space Plotter - Concept" vorstellte. In Oberkochen entstand der Vorschlag, ausgehend vom immer noch in Produktion befindlichen STEREO TOP, eine entsprechende Entwicklung zu beginnen, die schliesslich 1975 als STEREOCORD G 2 vorgestellt wurde (HOBBIE 1975b).

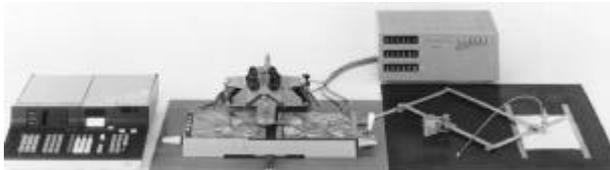


Bild 11.1: STEREOCORD G 2 mit Tischrechner HP 9810 (1975)

Bild 11.1 zeigt den Prototyp zusammen mit einem Pantographen, mit dem allerdings nur die Geometrie des linken Stereobildes in wählbarer Vergrößerung gezeichnet werden konnte, dem damals neuen DIREC 1 und dem Tischrechner HP 9810 von HEWLETT-PACKARD. Im Grundgerät wurde der gemeinsame Bildwagen wie im STEREO TOP freihändig geführt, wobei eine Hebel-Untersetzung an der Wagenseite eine Feineinstellung ermöglichte (Bild 11.2). Der rechte Bildträger liess sich mit den Parallaxenschrauben für  $p_y$  (links) und

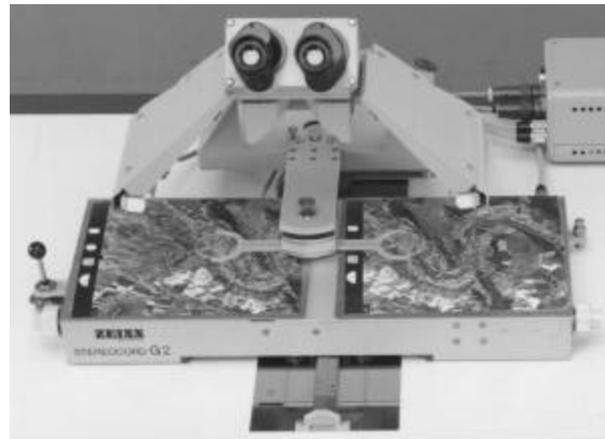


Bild 11.2: Optisch-mechanisches Grundgerät des G 2

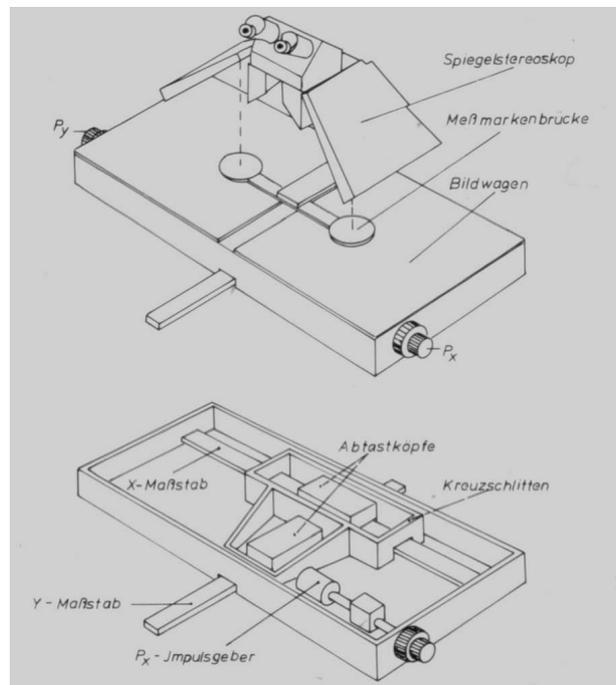


Bild 11.3: Mechanischer Aufbau des STEREOCORD G 2

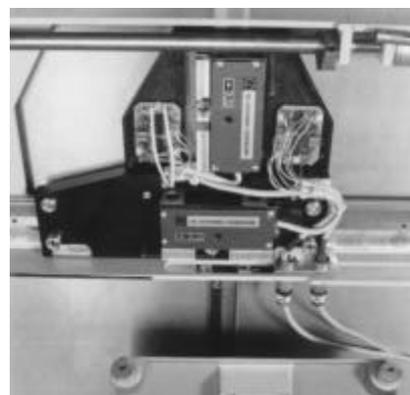


Bild 11.4: Blick von unten auf den Zwischenwagen des G 2

$p_x$  (rechts) relativ verschieben, die x-Parallaxe wurde mit einem Rotationsimpulsgeber erfasst (Bild 11.3). Die gleichzeitig als Führungsschienen ausgebildeten Linear-

impulsgeber für  $x'$  und  $y'$  waren an der Grundplatte bzw. am Bildwagen befestigt. Ein Zwischenwagen mit den Abastköpfen des Linearimpulsgeber (Bild 11.4) zerlegte die Freihandbewegung in die beiden Koordinatenachsen.

Die wichtigsten Parameter des Grundgerätes waren:

- *Bildmaterial: Papierabzüge, mit optionaler Durchlicht-Einheit SD auch Film- und Glas-Diapositive / -Negative,*
- *Messbereiche:  $x', y' = 240 \text{ mm}$ ,  $p_x = \pm 25 \text{ mm}$ ,*
- *Messauflösung:  $0,01 \text{ mm}$ ,*
- *Messgenauigkeit:  $s_{x'}, s_{y'} = \pm 0,02 \text{ mm}$ ,  $s_{p_x} = \pm 0,01 \text{ mm}$ .*
- *Korrekturbereich der y-Parallaxe:  $\pm 15 \text{ mm}$ ,*
- *Vergrößerung:  $1x$ , mit Feldstechervorsatz  $3x$  oder  $6x$ ,*
- *Messmarken: schwarze oder rote Messmarke mit Durchmesser  $0,10 \text{ mm}$ ,  $0,18 \text{ mm}$  oder  $0,28 \text{ mm}$ .*

Die Systemkonfiguration mit dem Grundgerät, der Interfaceeinheit DIREC 1 mit elektronischer Koordinatenzählung, Fusstaster-Bedienung, Programmstart-Tasten und Übertragung zum Rechner zeigt Bild 11.5.

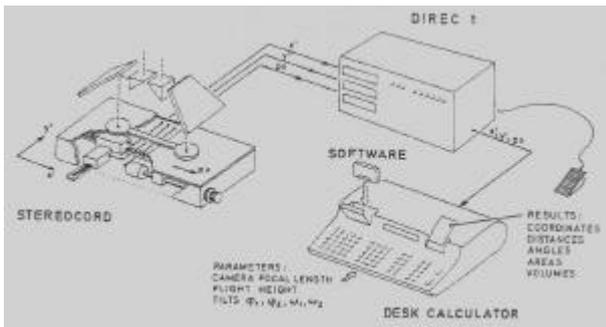


Bild 11.5: System-Konfiguration von STEREOCORD G2, DIREC 1 und HP 9815A

Mit dem anfangs verwendeten Tischrechner HP 9810 konnten etwa 5- bis 10-mal pro Sekunde die Bildkoordinaten eingelesen und die Modellposition berechnet werden. Allerdings reduzierte sich diese Frequenz auf einmal pro Sekunde, wenn das Ergebnis am Rechner unmittelbar angezeigt werden sollte, da bei diesem Modell noch nicht parallel gerechnet und angezeigt werden konnte. Wegen der noch bescheidenen Rechnerleistung wurden die Modellkoordinaten mit Näherungsgleichungen berechnet, wobei die einfachste Fassung COORD A nur den Einfluss von Geländehöhenunterschieden korrigierte und mit COORD C (Bild 11.6) auch der Einfluss üblicher Aufnahmeneigungen berücksichtigt wurde. Mit einer Lagegenauigkeit von  $0,1$  bis  $0,2 \text{ mm}$  (bezogen auf den Bildmassstab) und einer Höhengenaugigkeit von  $0,7$  bis  $2 \text{ ‰}$  von  $h$  bei Aufnahmeneigungen von  $3$  bis  $4 \text{ gon}$  und einer Höhengenausdehnung von max.  $10 \text{ ‰}$  der Flughöhe war das STEREOCORD genauer als das STEREOCOP.

Mit schnelleren Rechnern (Bild 11.7) verbesserten sich rasch die Möglichkeiten, und auf der Basis des HP 9815 mit seinen trigonometrischen Funktionen wurden durch

Bildwagenkoordinaten $x', y', p_x$ $x^* = x' \frac{a_1 + a_2 x' + a_3 y'}{1 + a_2 x' + a_3 y'}$ $y^* = y' \frac{a_4 + a_2 x' + a_3 y'}{1 + a_2 x' + a_3 y'}$ $p_x^* = p_x + b_1 y' + b_2 y'^2 + b_3 x' + b_4 x'^2$ $h = c_1 \frac{p_x^*}{c_2 + p_x^*}$
Landeskoordinaten $X_G, Y_G, H_G$ $X_G = x_0 + \frac{c_1}{f} h$ $Y_G = y_0 + \frac{c_1}{f} h$ $H_G = H_0 + h$

Bild 11.6: Echtzeitberechnung (COORD C) zum G2 (1975)



Bild 11.7: STEREOCORD G2 mit HP 9830 & HP-Plotter (1977)

externe Zuarbeit von HANS MOHL ab 1977 eine exaktere Koordinatentransformation COORD D eingeführt - was die Genauigkeit um den Faktor 2 steigerte - und die Orientierungs- und Anwendungsprogramme erneuert (MOHL 1980). Ab 1981 konnte das neue Modell STEREOCORD G3 in Verbindung mit den neuen DIREC 2 oder DIREC 12 sowie den Tischrechnern HP 9835 oder HP 85 geliefert werden (MOHL 1981). Das nahezu unveränderte Grundgerät liess sich nun modular von einem Stereo-Interpretoskop zum kompletten STEREOCORD mit jetzt auch der  $p_y$ -Messung ausbauen. Das DIREC 2 war auf reine Koordinatenzählung und -übertragung mittels Fusstasten reduziert, das DIREC 12 konnte zusätzlich die vier Koordinaten anzeigen.

Während sich die bei der Premiere vorgestellten Anwendungsprogramme auf die einfache Bestimmung von Koordinaten, Distanzen, Winkeln und Flächeninhalt als die - in der messenden Luftbildinterpretation - wichtigsten Funktionen beschränkten (FAUST 1975), kamen später weitere Programme für die Volumenbestimmung (FINKE et al. 1977), für graphische Ausgabe (JORDAN et al. 1981 & MOHL 1989), für die Geowissenschaften (SCHWEBEL 1983 & 1984) sowie für die Nahbereichsphotogrammetrie (MOHL 1985) hinzu. Eine besondere Anwendung schliesslich war die Suche nach Blindgängern in alten Aufklärungsaufnahmen aus dem

2. Weltkrieg mit Brennweiten zwischen 85 und 915 mm (MOHL et al. 1987). Bild 11.8 zeigt die Software-Struktur des STEREOCORD.

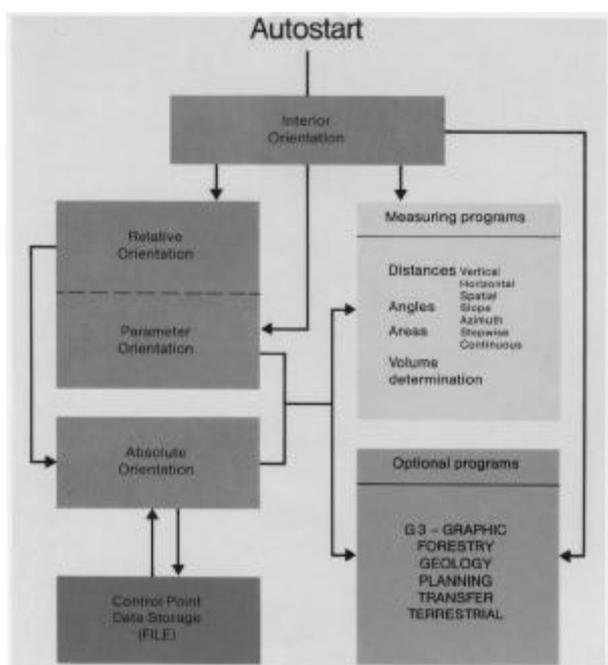


Bild 11.8: Software-Struktur zum STEREOCORD



Bild 11.9: STEREOCORD G 3 mit IBM-PC & HP-Plotter (1987)

Schliesslich wurde anlässlich der Photogrammetrischen Woche 1987 das STEREOCORD G 3 mit dem sehr attraktiv gewordenen IBM-PC gezeigt (Bild 11.9). Insgesamt wurden vom ZEISS STEREOCORD bis 1996 etwa 140 Geräte geliefert. Schon früh war dieses Instrument für die thematische Photogrammetrie so beliebt geworden, dass die Bezeichnung "StereoCORD" oft stellvertretend für die Kategorie aller so genannten Bildraumplotter verwendet wurde (KONECNY 1977).

## 11.2 PLANICOMP C 100

Als GOTTFRIED KONECNY 1971 in New Brunswick in Canada einen Ruf an die Technische Universität Hannover erhielt, brachte er sozusagen das aktuellste Modell des "Helava"-Plotters, den AP/C-3 der Fa. OMI, mit an das dortige Institut für Photogrammetrie. Aber mit dem

IBM 1130-Rechner erschien auch dieser "A.P." noch nicht reif für die photogrammetrische Produktion. In Oberkochen befasste man sich zu dieser Zeit nicht nur mit der Vorentwicklung zum STEREOCORD, sondern auch mit der sich abzeichnenden Leistungssteigerung der seinerzeitigen Laborrechner zur schnellen Messdatenerfassung. Und im Dezember 1973 fiel die Entscheidung, neben dem STEREOCORD auch einen analytischen Modellraum-Plotter des "Helava"-Typs zu entwickeln.

Wegen der noch beschränkten eigenen Erfahrung mit wissenschaftlichen Laborrechnern und mit der Softwareentwicklung war zunächst an eine Kooperation gedacht. Dabei lag es nahe, die erwähnten Kontakte zur Firma BENDIX mit deren seinerzeitigen Mitarbeiter UUNO V. HELAVA zu nutzen, die 1974 im Rahmen einer geplanten Auftragsentwicklung für deutsche und amerikanische Bundesdienststellen stattfanden. Allerdings scheiterte eine gemeinschaftliche A.P.-Entwicklung an unterschiedlichen konzeptionellen und finanziellen Vorstellungen. Aus den gleichen Gründen kam auch eine Kooperation mit OTTO HOFMANN, dem ehemaligen Mitarbeiter von ZEISS in Jena und ZEISS-AEROTOPOGRAPH in München, nicht zu Stande, der zuvor auf dem ISP-Kongress in Ottawa 1972 als Mitarbeiter der Fa. MBB, Ottobrunn das Konzept eines hybriden photogrammetrischen Affinplotters vorgestellt hatte, bei dem ein digitaler Prozessrechner zum Einsatz kommen sollte.

Schliesslich entschloss sich CARL ZEISS, im Vertrauen auf das eigene Wissen um die praktischen Erfordernisse und auf das eigene Entwicklungsteam, diese Entwicklung allein zu bewältigen. Unter Zurückstellung der zunächst geplanten Entwicklung eines rechnergesteuerten Orthoprojektors, der dann als Prototyp erst 1979 entstand, wurde im September 1974 mit der intensiven Mechanik- und Elektronik-Konstruktion begonnen. In einem konzentrierten Endspurt erfolgte im März 1976 die System-Integration des Prototyps (Bild 11.10), am 20. April die erste erfolgreiche absolute Orientierung und Modellbildung im Gerät und am 12. Juli 1976 die



Bild 11.10: PLANICOMP C 100 - Prototyp mit Fernschreib-Terminal (April 1976)

öffentliche Premiere auf dem ISP-Kongress in Helsinki (MEIER 1976a). Dem Ausstellungsbericht nach war das PLANICOMP C 100 "der Star", der "durch hohen Bedienungskomfort und einwandfreie Funktion glänzte" (Kreiling 1976).

Während die Softwareentwicklung zunächst nur per Lochkartenabgabe im allgemeinen wissenschaftlichen Rechenzentrum von ZEISS erfolgen konnte, und noch bei der ersten Erprobung des Prototyps der Dialog nur über ein Fernschreibterminal möglich war, kamen die neuen Bildschirmterminals gerade rechtzeitig zum Kongress auf den Markt und zur Auslieferung (Bild 11.11).



Bild 11.11: PLANICOMP C 100 - Premieren-Konfiguration

Diese Premieren-Konfiguration (HOBBIE 1976b) blieb dann auch für die folgenden Jahre die typische Ausstattung: das kompakte, selbsttragende und auf zwei normalen Stahlschränken ruhende Grundgerät ("Viewer"), der Computer-Schrank mit drei Elektronik-Einschüben von ZEISS (davon allein zwei mit Leistungselektronik für die Servoantriebe der Bildwagen) und dem Kompaktrechner HP 21 MX von HEWLETT-PACKARD mit Wechselplattenlaufwerk, in der Regel ein zweites Computer-Kabinett mit optionaler Peripherie (z. B. Lochstreifenstanzer, Magnetbandgerät), das Bildschirmterminal mit Drucker sowie der ZEISS Digitalzeichentisch DZ 6 für On- und Off-line-Zeichnen.

Der Viewer enthielt die zwei, in x und y bewegten Bildwagensysteme, die durch zwei zu öffnende, getönte Acrylglascheiben vom Auswerter eingesehen werden konnten, und die feste Betrachtungsoptik mit dem Einblick an der Optiksäule. Davor befestigt war das getrennte Bedienfeld ("Panel") mit den beiden Handradgruppen. Die Daten des Grundgerätes waren anfangs:

- Messbereiche:  $x', y' = 240 \text{ mm}$
- Messauflösung:  $0,001 \text{ mm}$ ,
- Messgenauigkeit:  $s_x, s_y = \pm 0,002 \text{ bis } \pm 0,003 \text{ mm}$  für Gittermessungen, je nach Betrachtungsvergrößerung,
- Vergrößerung: Steckokulare für  $8x$  und  $16x$ ,
- Gesichtsfeld:  $30 \text{ mm}$  bei  $8x$ -Vergrößerung,
- Bildaufrichter: Doveprismen für  $\pm 100^\circ$ ,
- Messmarken: identische schwarze und regelbare Leuchtmessmarke mit Durchmesser  $0,040 \text{ mm}$ ,

- Bildbetrachtung: orthoskopisch, pseudoskopisch, binokular links, binokular rechts; manuell und rechnergesteuert.

Die innovative und patentierte Messmarke bestand aus einer ellipsenförmigen Chromfläche auf der Schrägfläche eines gekitteten Prismas als Strahlenteiler, die im Durchlicht schwarz und bei seitlicher Beleuchtung als helle Messmarke erschien (KRASTEL 1975a).

Die Präzision der Bildwagen (Bild 11.12) wurde durch, wie beim PLANIMAT, breite Führungsschienen und Präzisionsspindeln mit  $1 \text{ mm}$  Steigung und den bewährten Rollmuttern definiert. Rotationsimpulsgeber mit  $1.000$  Impulsen pro Umdrehung und leistungsfähige Gleichstrommotoren (Bild 11.13) bildeten die Regelkreise für hochgenaue und schnelle Positionierung.

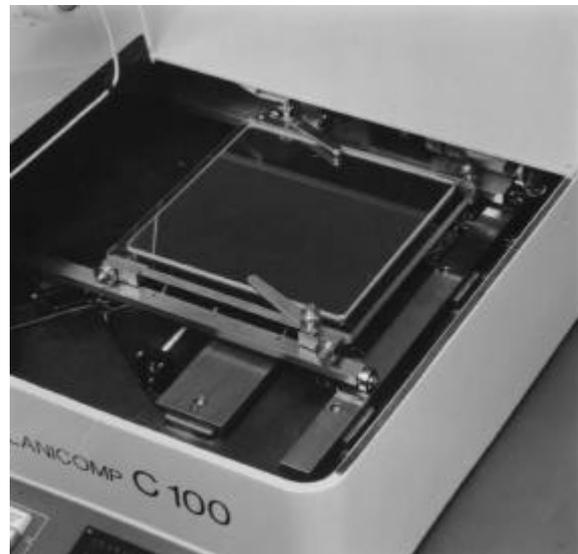


Bild 11.12: Rechter Bildwagen zum PLANICOMP C 100

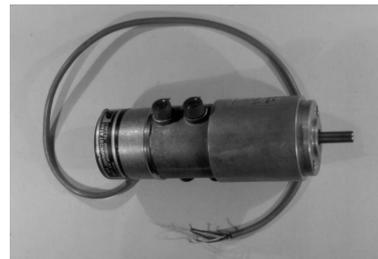


Bild 11.13:  
Gleichstrom-Motor  
für Bildwagenantrieb

Die Begrenzung des Fahrbereichs erfolgte durch ein dreistufiges Endlagensystem: innere numerische Grenzwerte, mittlere elektrische Schalter und äussere gefedernte mechanische Anschläge. Die Bildträger waren mit einem 9-Punkt-Gitter mit einer Maschenweite von  $90 \text{ mm}$  für eine Gerätekalibrierung versehen, sowie mit einer Bereichsmarkierung für die grobe Positionierung der auszuwertenden Bilder. Für das bequeme Einlegen fuhren die Bildwagen unter die Fensteröffnungen.

Die Akzeptanz der analytischen Modellraumplotter bei den Auswertern in der Praxis erforderte eine, mit den Analoggeräten vergleichbare, verzögerungsfreie Kopplung von Handrad- und Bildwagen-Bewegung. Dazu

war es erforderlich, die entsprechenden Transformationen mindestens 25, besser 40mal pro Sekunde zu berechnen, die resultierenden Bildwagenverschiebungen an die Stellmotoren auszugeben und zu realisieren. Zusätzlich war ein angeschlossener Zeichentisch entsprechend zu steuern, und die Modellposition für Registrierzwecke auch noch in Landeskoordinaten umzurechnen. Bild 11.14 zeigt das Schema dieser in Echtzeit zu erfolgenden Berechnungen, Bild 11.15 die entsprechenden mathematischen Gleichungen und Bild 11.16 das Koordinatendisplay des Bedienpanels.

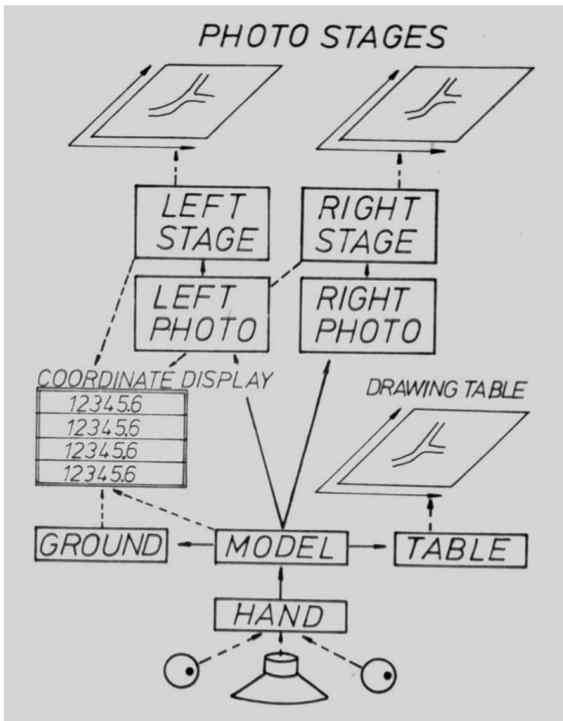


Bild 11.14: Schema der Real-Time-Steuerung ("Loop")

Alle Koordinatentransformationen dieser Real-Time-Steuerung wurden 50mal pro Sekunde im Kompaktrechner HP 21 MX ausgeführt. Um die in der Photogrammetrie erforderliche hohe Rechengenauigkeit von  $10^{-5}$  bis  $10^{-6}$  (entsprechend 20 bit) sicherzustellen, musste dieser 16-bit Rechner mit einer zusätzlichen Floating Point Hardware betrieben werden, was zusätzliche Rechenzeit kostete. Dennoch beanspruchte dieses "Loop"-Programm nur 50 % der verfügbaren Rechenzeit. Die restliche Zeit konnten die Anwendungsprogramme mit ihren Steuer-, Mess- und Rechenfunktionen nutzen.

Das Besondere dieses Minicomputers war die Echtzeitsteuermöglichkeit, d. h. ein externes Peripheriegerät konnte mit einem Interrupt-Signal das Real-Time-Betriebssystem RTE II anhalten und unmittelbar eine definierte Rechenroutine mit absoluter Priorität starten (BAECK 1977). Diese, eigentlich für Laborprozesse gedachte, Funktion garantierte, dass das in Maschinsprache (Assembler) geschriebene "Loop"-Programm exakt alle 20 msec gestartet wurde und damit die Bild-

Modellkoordinaten  $x, y, z$

$$z^* = z - \frac{1}{2R}(x^2 + y^2)$$

$$x_L = x - b_x/2 \quad x_L = x - b_x/2$$

$$y_L = y - b_y/2 \quad y_L = y - b_y/2$$

$$z_L = z^* - b_z/2 \quad z_L = z^* - b_z/2$$

Bildkoordinaten  $x_L^*, y_L^*, x_R^*, y_R^*$

$$x_L^* = f \frac{a_{11} x_L + a_{21} y_L + a_{31} z_L}{c_{11} x_L + c_{21} y_L + c_{31} z_L}$$

$$y_L^* = f \frac{b_{11} x_L + b_{21} y_L + b_{31} z_L}{c_{11} x_L + c_{21} y_L + c_{31} z_L}$$

$$x_R^* = f \frac{a_{12} x_R + a_{22} y_R + a_{32} z_R}{c_{12} x_R + c_{22} y_R + c_{32} z_R}$$

$$y_R^* = f \frac{b_{12} x_R + b_{22} y_R + b_{32} z_R}{c_{12} x_R + c_{22} y_R + c_{32} z_R}$$

$$x_L' = x_L^* - x_L \quad x_R' = x_R^* - x_R$$

$$y_L' = y_L^* - y_L \quad y_R' = y_R^* - y_R$$

Bildwagenkoordinaten  $x_L'', y_L'', x_R'', y_R''$

$$x_L'' = x_{L0} + d_{11} x_L + d_{21} y_L$$

$$y_L'' = y_{L0} + d_{31} x_L + d_{41} y_L$$

$$x_R'' = x_{R0} + d_{12} x_R + d_{22} y_R$$

$$y_R'' = y_{R0} + d_{32} x_R + d_{42} y_R$$

Landeskoordinaten  $x_G, y_G, z_G$

$$x_G = x_{G0} + g_1 x + g_2 y$$

$$y_G = y_{G0} + g_2 x + g_1 y$$

$$z_G = z_{G0} + g_3 z$$

Zeichentischkoordinaten  $x_T, y_T$

$$x_T = x_{T0} + t_1 x + t_2 y$$

$$y_T = y_{T0} + t_3 x + t_4 y$$

Bild 11.15: Echtzeitberechnung im PLANICOMP C 100

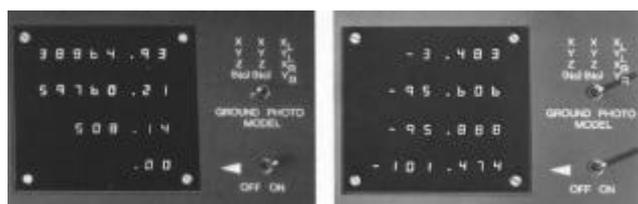


Bild 11.16: Anzeige von alternativ Bildwagen-, Modell- oder Landeskoordinaten am Panel des C 100

wagen, in Verbindung mit den leistungsstarken Servomotoren, verzögerungsfrei und gleichmäßig bewegt wurden.



Ja-/Nein-Tasten für Entscheidungen, einige Statusanzeigen und die "Execute"-Taste für einen Programmstart. Im daneben liegenden Tastenblock (Bild 11.21) wurde neben Eingabe von Punkt- oder Programmnummern - das Messen, Speichern, Editieren und automatische Anfahren von Bildwagen- oder Geländepositionen veranlasst. Insbesondere diese funktionsgerechte und praxisnahe Gestaltung des Bedienpanels war Alleinstellungsmerkmal des PLANICOMP C 100 und begründete die ausserordentlich schnelle und gute Akzeptanz dieses analytischen Plotters von CARL ZEISS, Oberkochen.

Für den Arbeitskomfort war ausserdem die Programmstruktur entscheidend (Bild 11.22): die absolut vorrangige Bildwagensteuerung ("Loop"), die schnelle Erfassung und Verarbeitung der Benutzer-Eingaben ("Panel"), sowie die Gruppierung aller Anwendungsprogramme in kurzfristige und vorrangige Massnahmen (Level A), in längerfristige, aber interaktive Arbeitssteuerungen (Level B) und Background-Programme für nachrangige Blockausgleichungen, DHM-Verarbeitung oder Off-line-Kartierung (Level C).

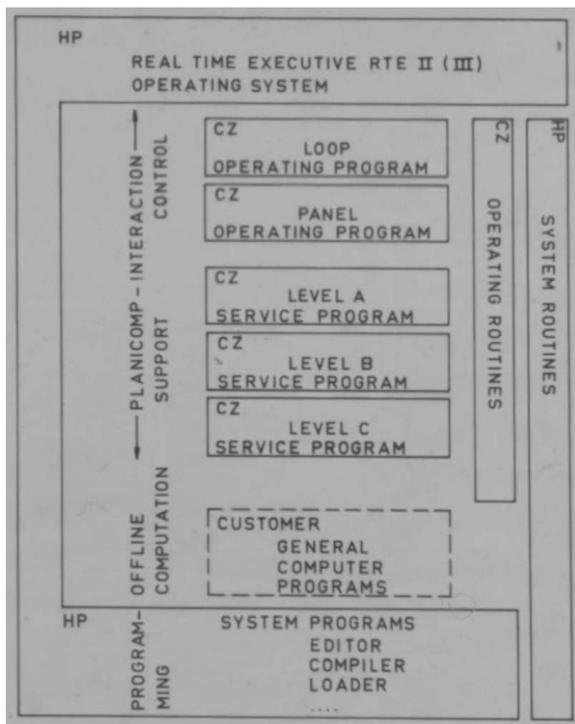


Bild 11.22: Software-Struktur im Minicomputer HP 21 MX

Neben der noch limitierten Rechengeschwindigkeit und -genauigkeit war 1976 - zumindest für die Software-Entwickler - auch der verfügbare Speicher aus heutiger Sicht aussergewöhnlich gering. Die Arbeitsspeicher waren gerade erst vom Magnetkern- auf das Halbleiterprinzip umgestellt worden, und erst nach der Erstvorstellung des C 100 stieg der bei diesem Rechnersystem mögliche Speicherausbau von 24 auf max. 32 Kbyte ! Auch der externe Magnetplattenspeicher war zu Beginn mit 4,9 MByte, verteilt auf eine Fest- und eine Wechsel-

platte, sehr beschränkt. Heutige PC's haben mindestens 100.000mal so viel Arbeits- und Festplattenspeicher und sind darüber hinaus 1.000mal preiswerter.

Das führte dazu, dass der Arbeitsspeicher sehr sorgfältig "bewirtschaftet" werden musste. Ständig hatten natürlich das RTE-Betriebssystem, das "Loop"-Programm und der zentrale "Common Data"-Block des C 100 geladen zu sein. Den noch verbleibenden Arbeitsspeicher mussten sich die Anwendungsprogramme teilen. Das bedeutete auch, dass alle umfangreicheren Programme für Orientierung und Auswertung stark segmentiert werden mussten. Dieser Organisationsaufwand für die - in FORTRAN IV geschriebenen - Service-Programme erschwerte die eigentliche Programmierarbeit erheblich. Bild 11.23 zeigt die prinzipielle Speicherorganisation, nach der alle Betriebssoftware auf der festen Magnetplatte gespeichert war, während die Magnetplatten-Kassette als transportable "Daten-Cartridge" diente.

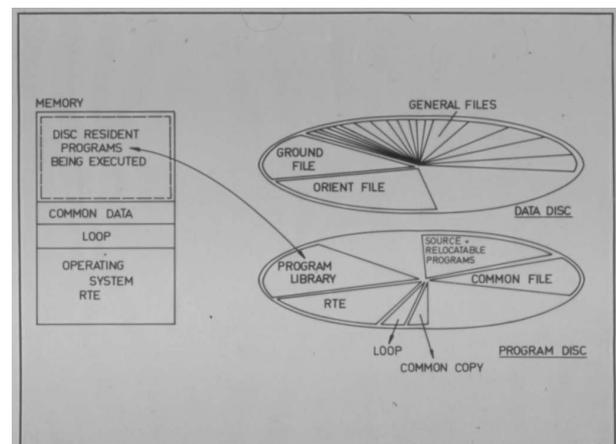


Bild 11.23: Speicherorganisation im Computer HP 21 MX

Bereits bei der Erstvorstellung des PLANICOMP C 100 in Helsinki funktionierte die Software zuverlässig, was mit einem automatisch geführten "Sightseeing" in einem Schrägmodell der Münchener Innenstadt eindrucksvoll gezeigt wurde. Und schon ein Jahr später war die Zahl der Anwendungsprogramme von 40 auf 75 angestiegen (Bild 11.24), darunter alle Funktionen zu Orientierung und Datenverwaltung, für Aerotriangulations-Messung und Streifenausgleichung, zu einfacher Messung geometrischer Grössen, für eine vielseitige und flexible Messung von Höhendaten, zur graphischen Ausgabe und für Gerätetest und Gerätekalibrierung (HOBBIE 1977b).

Zur Photogrammetrischen Woche 1977 konnte bereits über die Erfahrung mit zwei Prototypen des C 100 bezüglich der, die Erwartungen voll erfüllende Zuverlässigkeit und Genauigkeit berichtet werden (HOBBIE 1977c). Durch Verwendung von Korrekturdaten aus der geräteeigenen Gitterkalibrierung war das PLANICOMP in einer vergleichenden Untersuchung zur Aerotriangulation zwar geringfügig weniger genau als die Präzisions-

- B 2 INTERIOR ORIENTATION (Messung, Berechnung)
- B 3 RELATIVE ORIENTATION (Messung, Berechnung)
- B 4 ABSOLUTE ORIENTATION (Messung, Berechnung)
- B 5 TABLE ORIENTATION (Messung, Berechnung)
- A 6 MANUAL ORIENTATION (Orient.parameter-Eingabe)
- A 8 PARAMETER CONTROL (Parameter-Editierung)
- A 9 MOVE TO (Ansteuern eines eingegebenen Punktes)
- A 10 RECORD (Ausgabe der momentanen Position)
- A 11 DISPLAY (Anzeige eines gespeicherten Punktes)
- A 12 STORE (Speichern einer Position)
- A 13 DELETE (Löschen eines gespeicherten Punktes)
- A 14 CLEAR POINT MEMORY (Löschen des Speichers)
- A 20 LIST MODEL DATA ENGL (Orientierungsprotokoll)
- A 21 LIST MODEL DATA GERM (Orientierungsprotokoll)
- A 22 LIST MODEL DATA FREN (Orientierungsprotokoll)
- A 23 LIST MODEL DATA SPAN (Orientierungsprotokoll)
- A 24 LIST GROUND MEMORY (Passpunkt-Ausgabe)
- A 25 LIST PHOTO MEMORY (Bildkoordinaten-Ausgabe)
- A 26 LIST CAMERA DATA (Kammerprotokoll-Ausgabe)
- A 27 LIST TRANSFORM DATA (Transform.parameter-Ausgabe)
- A 28 LIST CALIBRATION DATA (Protokoll Geräte-Kalibrierung)
- A 29 LIST PROGRAM LIBRARY (Liste verfügbarer Programme)
- A 30 LIST ORIENT FILE (Gespeicherte Modellorientierungen)
- A 31 CLEAR ORIENT FILE (Löscht Orientierungsdaten)
- A 32 SAVE ORIENT DATA (Speicherung Orientierungsdaten)
- A 33 ENTER ORIENT DATA (Aktivierung gespeich. Orient.dat.)
- A 34 RECORD ORIENT DATA (Ausgabe Orientierungsdaten)
- A 35 READ ORIENT DATA (Import von Orientierungsdaten)
- A 39 TRANSFORM ORI DATA (Einstellendaten für Analoggeräte)
- A 40 LIST GROUND FILE (Liste gespeicherter Passpunkte)
- A 41 CLEAR GROUND FILE (Löschung Passpunkte)
- ..... (A 42 - A 44 für SAVE, ENTER, RECORD ...)
- A 45 READ GROUND DATA (Import von Passpunkten)
- A 46 FIND GROUND DATA (Passpunktsuche für ein Gebiet)
- A 50 LIST GENERAL FILE (Anzeige gemessener Daten)
- A 51 CLEAR GENERAL FILE (Löschung gemessener Daten)
- A 52 TRANSFER GEN. DATA (Übertragung gemessener Daten)
- A 54 RECORD GENERAL DATA (Ausgabe gemessener Daten)
- A 55 READ GENERAL DATA (Import gemessener Daten)
- A 56 EDIT GENERAL DATA (Korrektur gemessener Daten)
- A 57 TRANSFER ATX DATA (Übertragung Triangulationsdaten)
- A 58 SAVE ATB DATA (Speicherung für Bündeltriangulation)
- A 59 SAVE ATM DATA (Speicherung für Modelltriangulation)
- A 60 CALCULATE CENTER (Rechnet & zentriert auf Mittelwert)
- A 61 CALCULATE DISTANCE (Rechnet horiz. & vertik. Abstände)
- A 62 CALCULATE LENGTH (Rechnet Linienlänge)
- A 63 CALCULATE SLOPE (Rechnet Vertikalwinkel)
- A 64 CALCULATE ANGLE (Rechnet Raumwinkel)
- A 65 CALCULATE AZIMUT (Rechnet Azimut)
- A 66 CALCULATE AREA (Rechnet Flächeninhalt)
- A 67 CALCULATE VOLUME (Rechnet Rauminhalt)
- A 69 DISTRIBUTION (Rechnet Statistik zu gespeicherten Daten)
- B 70 RECORD TERRAIN MODEL (Messung von Punkten & Linien)
- B 71 RECORD TERRAIN PROFIL (Messung von Profilen)
- B 72 RECORD TERRAIN GRID (Messung von Gitternetzen)
- B 73 RECORD CROSS SECTION (Messung von Querprofilen)
- B 80 PLOT ONLINE (Online-Kartierung)
- A 81 PLOT SYMBOL (Zeichnen von Zeichen & Symbolen)
- A 82 PLOT ALPHA (Zeichnen von Beschriftung)
- C 85 GRID PLOTTING (Ausgabe von Gitternetzen)
- C 86 POINT PLOTTING (Punktauftrag)
- C 87 VECTOR PLOTTING (Vektorauftrag)
- A 90 LIST COMMON FILE (Anzeige gespeicherter Systemdaten)
- ..... (A 91 - A 95 für CLEAR, SAVE, ENTER, RECORD, READ ...)
- A 96 SET COMMON DATA (Reset Systemdaten)
- A 97 LIST COMMON DATA (Ausdruck aktueller Systemdaten)
- B 98 C100 CALIBRATION (Gitterkalibrierung)
- C 99 FUNCTION TEST (Halbautomatischer Geräte-Test),
- C 101 POINT CORRECTION (Korrektur gespeicherter Punkte)
- C 101 ATM STRIP (Rechnung Streifen triangulation)

Bild 11.24: Serviceprogramme des PLANICOMP C 100 (1977)

Mono- und Stereokomparatoren von ZEISS, war aber bezüglich Messzeit und -komfort im Vorteil (STARK 1977b). Deshalb lag es nahe, zur Abrundung der Online-Aerotriangulation (HOBBIE 1978) das verbreitete "Stuttgarter Programm" zur Blockausgleichung von unabhängigen Modellen, PAT-M 43 (später PAT-MR), und das entsprechende Programm für die Bündelblockausgleichung, PAT-B (später PATB-RS), auf dem Rechner HP 21 MX lauffähig zu machen (KLEIN 1977 & 1978). 1980 kam noch das, bereits in Kapitel 8.7 beschriebene Programm HiFi zur Höheninterpolation mit finiten Elementen für die Berechnung digitaler Höhenmodelle und Ableitung von Höhenlinien und Höhenprofilen hinzu, dessen Entwicklung von ZEISS unterstützt worden war (EBNER et al. 1980b).

Bis 1979 war die Rechner-Familie von HEWLETT-PACKARD zum HP 1000 System mit dem Betriebssystem RTE IV weiterentwickelt worden (HOBBIE 1979c), so dass Rechengeschwindigkeit und Speichermöglichkeiten erheblich verbessert waren und jetzt vom C 100 - Rechner auch weitere interaktive Arbeitsplätze betreut werden konnten (Bild 11.25).

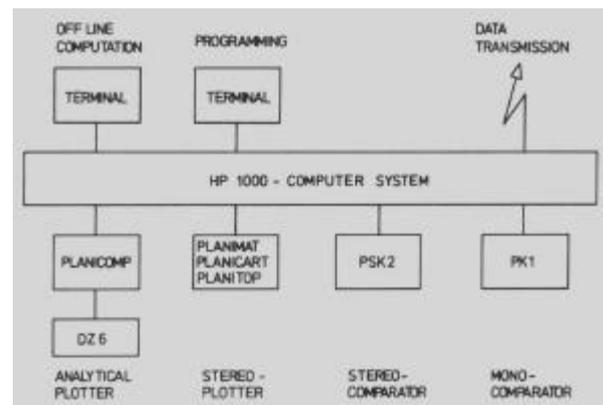


Bild 11.25: Mehrfachnutzung des Minicomputers HP 1000

Bei der Bayerischen Flurbereinigung wurden sogar zwei PLANICOMP an einem einzigen HP 1000 F-Computer erfolgreich betrieben (ZIPPELIUS 1979). Und auch über die C 100-Anwendungen in der Landesvermessung, in privaten Vermessungsbüros und in der Ausbildung lagen bereits praktische Erfahrungen vor (STRERATH 1979, ROSE 1979 & EBNER 1979). Vier Jahre nach seiner Erstvorstellung war damit der analytische Stereoplotter von CARL ZEISS, Oberkochen nicht nur ausgereift und bei zahlreichen Kunden für die unterschiedlichsten Aufgaben im Einsatz (HOBBIE 1980a), sondern auch zu einem sehr zuverlässigen und marktführenden System geworden. Vergessen war die Anfangszeit, in der die Software noch von Lochstreifen-Originalen in jedes einzelne Gerät eingelesen werden mussten. Und inzwischen hatte auch das Grundgerät durch konstruktive Massnahmen eine Koordinatengenauigkeit von  $\pm 2 \mu\text{m}$  erreicht (Mittel der 25-Punkt-Gitter-Kalibrierung aller

bisher ausgelieferten Systeme). Für die Funktionsüberprüfung durch den Benutzer standen im Zweifelsfall Testprozeduren zur Verfügung, für den Service-Techniker darüber hinaus Test-Platinen (Bild 11.26), mit denen die Schnittstellen der ZEISS-Steuereinheit zum Rechner auch ohne HP-Computer überprüft werden konnten (HOBBIE 1980b).

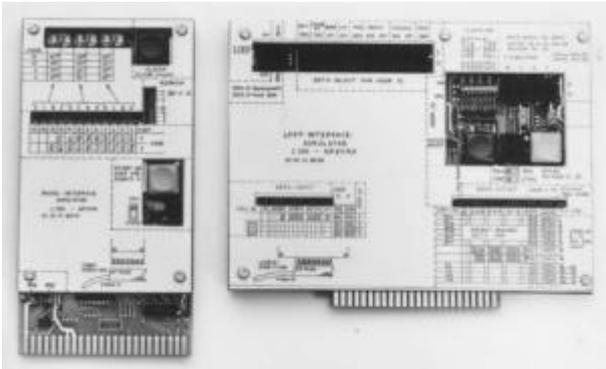


Bild 11.26: Prüfgeräte für die Steuerelektronik des C 100

### 11.3 Weiterentwicklung C 100

In der Folgezeit wurde das PLANICOMP C 100 unter Berücksichtigung der Anregungen und Wünsche aus der Praxis und mit Nutzung des Fortschritts bei den Computern zu einer umfangreichen Produktfamilie ausgebaut.

Zu dem unveränderten Grundgerät wurde 1983 zusätzlich eine Variante vorgestellt, bei der die Glühlampe durch eine Halogenlampe für mehr Helligkeit ersetzt war und durch eine Zoom-Optik eine variable Betrachtungsvergrößerung von 7,5- bis 30-fach möglich wurde. Das serienmässige 8-fach-Okular konnte jetzt durch ein 16-faches Steckokular ersetzt werden, dadurch war für besondere Anwendungen eine Vergrößerung von 15-fach bis 60-fach und eine optische Auflösung von 200 Linienpaaren/mm erreichbar (RÜDENAUER 1983 & HOBBIE et al. 1984c). Beide Viewer-Varianten wurden ausserdem mit optischen Schnittstellen versehen, entweder für eine graphische Einspiegelung (z. B. des VIDEOMAP, siehe Kapitel 10.6), oder für die Ausspiegelung und digitale Erfassung der Bildausschnitte mit Kameras.

Diese optische Schnittstelle wurde ab Sommer 1983 auch für den Anschluss der Stereodigitizer-Workstation von INTERGRAPH an das PLANICOMP und mit Einspiegelung eines INTERGRAPH-Monitors verwendet (Bild 11.27). Schon im Vorjahr war eine On-line-Verbindung des PLANICART E 3 zum INTERGRAPH-System vorgestellt worden (siehe Kapitel 10.6). Und auch davor konnten schon off-line gemessene graphische Daten von ZEISS Auswertegeräten mittels des INTERGRAPH Standard Interchange Formats (ISIF) an das Interactive Graphic Design System (IGDS) von INTERGRAPH übergeben und weiterverarbeitet werden. Am PLANICOMP



Bild 11.27: INTERGRAPH-Stereodigitizer-Workstation mit PLANICOMP und INTERGRAPH-Einspiegelung (1983)

ermöglichte das neue Programm B 76 RECORD INTERGRAPH DATA die interaktive Kommunikation und Messung mit u. a. den folgenden Funktionen: Übermittlung der gegenwärtigen Messmarkenposition, Anfahren eines bestimmten Ortes, Messung von Einzelpunkten, Linienzügen und Profilen, Emulation von INTERGRAPH-Funktionstasten am PLANICOMP-Panel sowie Austausch von grösseren Datensätzen (HOBBIE 1983 & 1984a).

Ebenfalls ab 1983 wurden unter Einbeziehung der neuen Rechnerfamilie HP 1000 A mit seinen abgestuften Modellen A 600, A 700 und A 900 (auch mit MICRO 26, 27 und 29 bezeichnet) und der beiden Viewer-Varianten verschiedene Standardkonfigurationen angeboten, die sich hinsichtlich Hardware-Leistung, Software-Umfang und Kosten unterschieden:

- C 100 / C 110: Zoom-Viewer mit HP 1000 A 900,
- C 120: Zoom-Viewer mit HP 1000 A 700,
- C 130: Normal-Viewer mit HP 1000 A 600.

Zwei Jahre später kam noch der C 140 als C 130 mit noch weiter reduzierter Ausstattung hinzu (SCHWEBEL 1985). Während die höherwertigen Konfigurationen mit umfangreicherer Software als "Auswertesystem bzw. -station" bezeichnet wurden und äusserlich den bisherigen Systemen ähnlich sahen (Bild 11.28), fanden bei den "Workhorse"-Ausstattungen der Rechner und die Elektronik in den Unterbauschränken Platz (Bild 11.29).



Bild 11.28: PLANICOMP C 120 mit HP 1000 A 700 Computer

Ab 1985 wurde auch das verbesserte Betriebssystem RTE-A von Hewlett-Packard eingesetzt, und die zusätzlich angebotenen PLANITAB-Zeichentische konnten jetzt ebenfalls vom PLANICOMP aus genutzt werden. Damit war die Hardware-Entwicklung zur PLANICOMP C 100 Familie abgeschlossen.



Bild 11.29: PLANICOMP C 140 mit HP 1000 A 600 Computer, ohne Schranktüren (1985)

Wesentliche Erweiterungen bei der Software waren auch bei Entwicklungspartnern und Kunden entstanden, teilweise mit Unterstützung von ZEISS und über ZEISS angeboten. Darunter war ab 1980 das Programm BLUH zur Bündelblockausgleichung der Technischen Universität Hannover und ab 1986 auch das Programm BINGO, mit welchem am C 100 u. a. auch SPOT-Aufnahmen ausgewertet werden konnten (KONECNY et al. 1987). Ab 1983 stand für terrestrische Aufnahmen das Programm C007 BUNDLE ORIENTATION zur einstufigen Orientierung von Bildpaaren und Nutzung von Zusatzinformationen zur Verfügung, welches an der Universität Bonn entwickelt wurde. Und auch das Programm B 198 EXTENDED CALIBRATION für die Reseau-Korrektur von z. B. Teilmesskammern war in Bonn entstanden.

Für die Messung digitaler Höhenmodelle nach der Methode des "Progressive Sampling" war - nach Voruntersuchungen in Hannover (RÜDENAUER 1980) - mit Unterstützung von ZEISS an der Technischen Universität München das Programm PROSA entwickelt worden (REINHARDT 1983 & REINHARDT et al. 1989). Diese dynamische Verdichtungsmethode war am PLANICOMP das ideale Messprogramm, auch im Hinblick auf die weitere Verarbeitung mit HIFI. Und ein amerikanischer Kunde (KUCERA ASSOCIATES in Mentor, Ohio/USA) hatte zum PLANICOMP ein "Highway Design Package" entwickelt, welches entsprechende Messungen, Berechnungen und Kartierungen nach den US-Vorschriften beherrschte.

An der Universität Stuttgart war 1983 das dortige PLANICOMP C 100 von ZEISS mit zwei CCD-Kameras der Fa. HAMAMATSU ausgerüstet worden (Bilder 11.30 und 11.31), die mit jeweils 243 x 256 Bildelementen (Pixelgröße 20  $\mu\text{m}$  in der Bildebene) vom HP 1000-Rechner 60mal pro Sekunde ausgelesen wurden (GÜLCH 1984 & 1985). Damit wurde ein zuvor entstandenes Verfahren der digitalen Bildkorrelation (ACKERMANN 1983) mit Unterstützung von der VOLKSWAGEN AG und von ZEISS für die Anwendung am PLANICOMP erfolgreich weiterentwickelt und ab Herbst 1986 beim Pilotkunden in Wolfsburg in der Karosserievermessung eingesetzt (SCHEWE 1987). Diese Messeinrichtung wurde unter dem Namen INDUSURF von ZEISS vertrieben und an mehrere Automobilfirmen ausgeliefert.



Bild 11.30: PLANICOMP C 100 mit digitaler Bildkorrelation

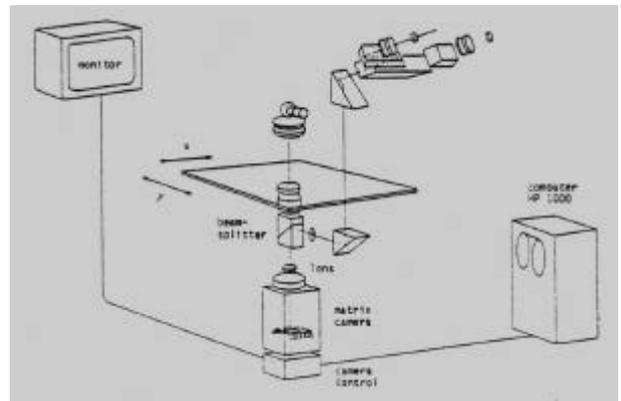


Bild 11.31: Optik-Schema des C 100 mit CCD-Kamera

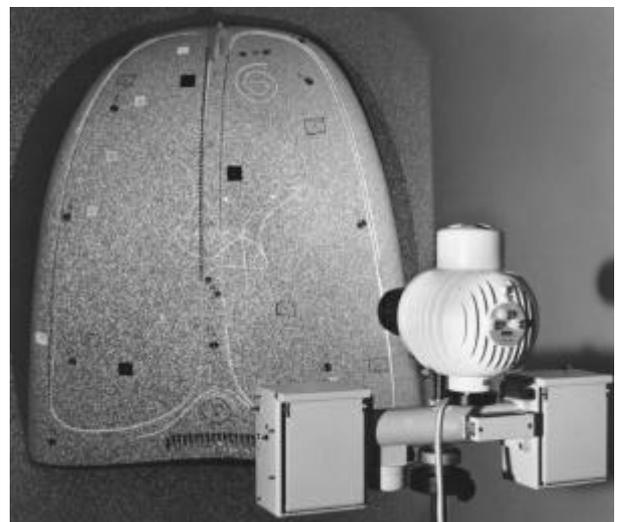


Bild 11.32: Stereomesskammer SMK 40 mit Texturprojektor und Messobjekt für Auswertung mit INDUSURF

Dazu gehörte in der Regel auch die Stereomesskammer SMK 40 von ZEISS (siehe Kapitel 13.1), die für diese Anwendung mit einem neuentwickelten Texturprojektor ausgestattet war (Bild 11.32).

Dieses, für den C 100 beschriebene, Verfahren der digitalen Bildauswertung am analytischen Auswertegerät war auch patentiert worden (Ackermann et al. 1984). Damit hatte CARL ZEISS, Oberkochen nach 1968, als mit dem ITEK-Korrelator EC 5 zum PLANIMAT eine erste Realisierung der automatischen Stereokorrelation vorge-

stellt und in einer Kleinserie verkauft worden war, erneut die rechnergesteuerte Bildkorrelation an einem Stereoauswertegerät realisiert, auch wenn in diesem Fall ebenfalls nur wenige Einheiten zur Auslieferung kamen. Zuvor war die Entwicklung des RASTAR-Projektes an der Universität Hannover zeitweise finanziell unterstützt worden, an dem als Gast-Wissenschaftler auch GILBERT L. HOBROUGH wesentlich mitgearbeitet hatte (KONECNY et al. 1980 & PAPE 1983). Dieses Projekt war jedoch 1983 abgebrochen worden.

#### 11.4 "ZIP" - ZEISS-INTERGRAPH Projekt

Die guten Kontakte zur Fa. INTERGRAPH in Huntsville, Alabama/USA seit 1981 hatten 1982 bzw. 1983 zu der zuvor beschriebenen On-line-Kopplung von PLANICART E 3 und PLANICOMP C 120 mit deren Stereodigitizer-Workstation geführt. In der Folge dieser Kooperation bekundete INTERGRAPH Ende 1983 Interesse an einem neuen analytischen Auswertegerät, welches noch enger in die graphischen Arbeitsstationen eingebunden und für besondere Aufgabenstellungen geeignet sein sollte. Da in Oberkochen unter dem Arbeitstitel "C 200" bereits seit mehreren Monaten eigene Überlegungen zu einer neuen PLANICOMP-Generation liefen, konnte ZEISS in kurzer Zeit unter dem Projektnamen "CAPI" ein attraktives Angebot erarbeiten, mit Detailpräsentationen erläutern und diesen Auftrag - gegen einen kleineren Schweizer Wettbewerber - im Juli 1984 gewinnen.

Dieser Grossauftrag war für den Produktbereich Photogrammetrie und die Fertigungsbereiche von ZEISS eine extreme Herausforderung. Doch schon genau ein Jahr später konnte das erste Gerät dieses "ZEISS-INTERGRAPH-Projektes" (ZIP) termingerecht an INTERGRAPH in Anwesenheit des Endkunden, einer amerikanischen Regierungsstelle, übergeben werden (Bild 11.33).



Bild 11.33: Auslieferungsbeginn des "ZIP" im Juli 1985

Zwischen Juli 1985 und Ende 1988 wurden 320 ZIP-Geräte ausgeliefert. Das bedeutete, dass zusätzlich zur eigenen PLANICOMP-Produktion monatlich 10 Geräte an INTERGRAPH zu liefern waren. Dafür war in Oberkochen für die Montage von analytischen Stereoauswertegeräten extra eine neue Halle eingerichtet worden (Bild 11.34).



Bild 11.34: Montagehalle für die analytischen Plotter von CARL ZEISS in Oberkochen (1986)

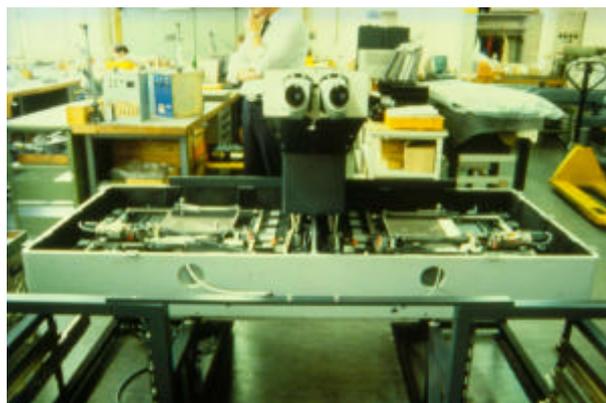


Bild 11.35: Innenleben des ZIP-Grundgerätes

Bild 11.35 zeigt das unfertige Grundgerät, an dem unmittelbar die grossen Bildwagen auffallen, die auch die Gerätedimension bestimmen. Die wesentlichen Geräteparameter des ZIP-Grundgerätes waren (HOBBIE 1986):

- Messbereiche:  $x' = 330 \text{ mm}$ ,  $y' = 240 \text{ mm}$ ,
- Messauflösung:  $0,001 \text{ mm}$ ,
- Ortho/Pseudo/Binokular Links & Rechts-Umschaltung, rechnergesteuert,
- Bild- und Messmarken-Helligkeit: rechnergesteuert,
- Bildaufrichter: Doveprismen  $360^\circ$ , rechnergesteuert,
- Vergrösserung: 10-fach bis 40-fach, rechnergesteuert,
- Messmarkendurchmesser:  $10 - 70 \mu\text{m}$ , rechnergesteuert,
- Betrachtungsauflösung:  $200 \text{ Linienpaare/mm}$ ,
- Optische Schnittstelle für  $15''$  Farbtraster-Bildschirm.

Mit dem grossen Messbereich war es z. B. möglich, Stereomodelle der  $9'' \times 18''$ -Aufnahmen der Large Format Camera (LFC) der Fa. ITEK, Lexington, Massachusetts/USA mit 60 % Längsüberdeckung auszuwerten.

Während von ZEISS die Optik, Mechanik und die Elektrik des "nackten" Grundgerätes geliefert wurde, vervollständigte INTERGRAPH das System um den Grundaufbau mit Arbeitsplatte und Geräteverkleidung, um den Computer, den Monitor zur graphischen Einspiegelung und um die Software. Besonderer Wert wurde auf die Ergonomie gelegt, um u. a. auch besonders grossen und kleinen Auswertern eine angenehme Körperhaltung zu ermöglichen (Bild 11.36).



*Bild 11.36:  
Ergonomie von Auswertegeräten: Anpassung an unterschiedliche Körpergrößen*

Dazu war der gesamte "Viewer" mit Okulareinblick und Arbeitsfläche motorisch in der Höhe verstellbar, was auch in der späteren, 1986 unter dem Namen IMA (INTERMAP ANALYTIC) angekündigten kommerziellen Version realisiert war (Bild 11.37). Das IMA wurde 1988 als ein, vollständig in ein geographisches Informationssystem integriertes, analytisches Auswertegerät auf dem IGPF-Kongress in Kyoto auch international ausgestellt, gleichzeitig mit dem - in Optik und Mechanik baugleichen - PLANICOMP P1 von ZEISS.



*Bild 11.37: INTERMAP ANALYTIC (IMA) von INTERGRAPH (1987)*

### 11.5 PLANICOMP P-Serie

Schon im Zuge der im Januar 1983 begonnenen Überlegungen zu einem "C 200" als hochwertigem Nachfolgesystem für den PLANICOMP C 100 war daran gedacht worden, zusätzlich auch die "Workhorse"-Version eines vollwertigen analytischen Plotters zu entwickeln. Nachdem im Sommer 1985 das ZIP-Projekt gestartet worden war und parallel damit intern auch die technische Konzeption des "C 200" feststand, begann der Entwurf von einfacheren Geräteausführungen unter den Arbeitstiteln "C 150" und "G 5". Als "G 3" war ja bereits 1981 das verbesserte STEREOCORD vorgestellt worden. Alle drei Entwicklungen wurden dann als PLANICOMP P-Serie mit P 1, P 2 und P 3 - zusammen mit der in Kapitel 10.7 beschriebenen photogrammetrischen und kartographischen Software PHOCUS - im März 1987 auf einem Hausseminar in Oberkochen vorgestellt (Bild 11.38)

und anschliessend im April auf dem "March-Meeting" in Baltimore und im September auf der Photogrammetrischen Woche in Stuttgart präsentiert (HOBBIE 1987a & 1987b, SAILE 1987a & 1987b).

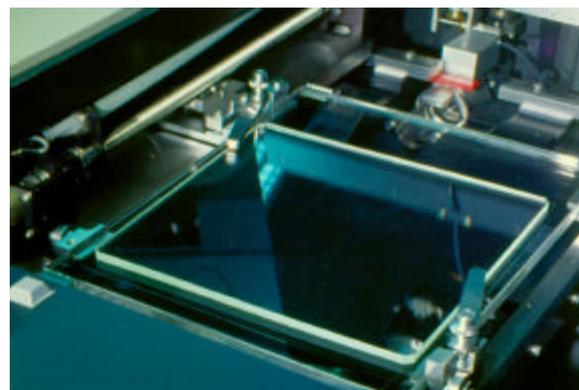


*Bild 11.38: Logo von PLANICOMP P-Serie und PHOCUS (1987)*

Das PLANICOMP P1 (Bild 11.39) von ZEISS war im mechanisch-optischen Grundaufbau baugleich mit dem IMA für INTERGRAPH, auch die Bildwagengröße (Bild 11.40). Damit konnten z. B. Stereobildpaare der Large Format Camera LFC mit dem Bildformat 9" x 18" ausgewertet werden, oder - um 90° gedreht - der russischen Grossformatkammern mit dem Format 30 cm x 30 cm, oder zwei Folgemodelle der üblichen 9" x 9" - Aufnahmen, oder aber gleich mehrere Bildpaare von kleinformatigen terrestrischen Kammern. Auch das Optikschemata (Bild 11.41) war im Prinzip ähnlich, wobei sich ausser den optischen Parametern auch die Einkopplung des graphischen Bildschirms unterschied: während für INTERGRAPH die Einspiegelung in die Okularebene geschah und damit das Monitorbild bezüglich Massstab und Drehung elektronisch dem auszuwertenden Bild anzupassen war, entschied sich ZEISS für die bewährte Einspiegelung in die Messmarkenebene.



*Bild 11.39: PLANICOMP P1 von CARL ZEISS (1987)*



*Bild 11.40: Bildwagen des PLANICOMP P1*

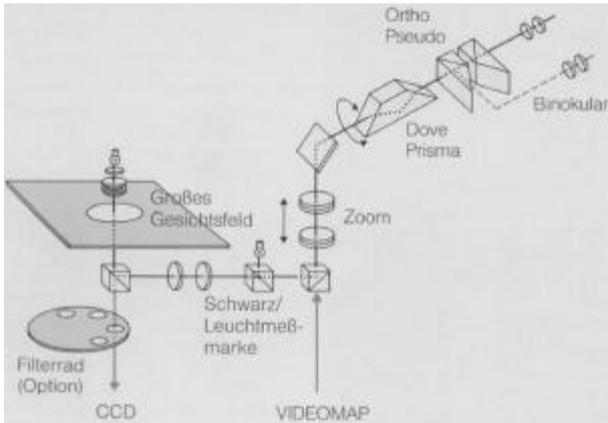


Bild 11.41: Optik-Schema zum PLANICOMP P 1 (rechte Seite)

Die wesentlichen Parameter des PLANICOMP P 1 waren:

- Messbereiche:  $x' = 330 \text{ mm}$ ,  $y' = 240 \text{ mm}$ ,
- Messauflösung:  $0,001 \text{ mm}$ ,
- Messgenauigkeit:  $s_{x'}, s_{y'} = \pm 0,002 \text{ mm}$ ,
- Messmarken: identische schwarze und regelbare Leuchtmeßmarke mit Durchmesser  $30 \mu\text{m}$ , (optional  $60 \mu\text{m}$ ),
- Vergrößerung: 5- bis 20-fach, getrennt einstellbar (optional 10- bis 40-fach mit 16-fach Steckokularen),
- Gesichtsfeld:  $40 \text{ mm}$  bei 5-facher Vergrößerung,
- Betrachtungsauflösung: bis  $120 \text{ Linienpaare/mm}$ ,
- Bildaufrichter: Doveprismen  $360^\circ$ ,
- Bildbetrachtung: orthoskopisch, pseudoskopisch, binokular links, binokular rechts; manuell oder rechnergesteuert,
- Einblickhöhe des Okulars: einfacher Wechsel zwischen den Positionen  $475 \text{ mm}$  und  $535 \text{ mm}$  über Arbeitsfläche,
- Optische Schnittstellen für Ein- und Ausspiegelung.

Ein besonderer Vorteil des P 1 war darüber hinaus die grosse Arbeitsfläche mit einem eingearbeiteten Digitalisierbereich mit den Abmessungen  $800 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$  und  $0,025 \text{ mm}$  Auflösung, auf dem auch das Computer-Terminal Platz fand. Die aktive Fläche diente vor allem der neu entwickelten Freihandführung, dem so genannten P-Cursor (Bild 11.42). Diese "P-Maus" hatte auf der Oberseite vier Schnellfahrtstasten für die Grundrissbewegung, davor fünf programmierbare Funktionstasten, zusätzlich an der Vorderseite z-Rändel und Schnellfahrtstasten zur Höhenverstellung, sowie das Fadenkreuz zur Zentrierung auf einer Vorlage. Damit konnten z. B., wie angedeutet, Punkte in einem (orientierten) Kontaktabzug ausgewählt und näherungsweise angefahren werden, in einem Papier-Menue Befehlseingaben erfolgen, oder es konnte eine Karte digitalisiert werden. Eine Besonderheit des P-Cursors war die patentierte progressive Kennlinie für die Freihandbewegung (HANSSEN et al. 1983): während bei messender Linienverfolgung die Cursor-Bewegung entsprechend fein untersetzt wurde, stieg bei schneller Bewegung der Transportweg der Bildwagen überproportional an (Bild 11.43). Natürlich waren auch Handräder, Fusscheibe und Fusstaster vorhanden.

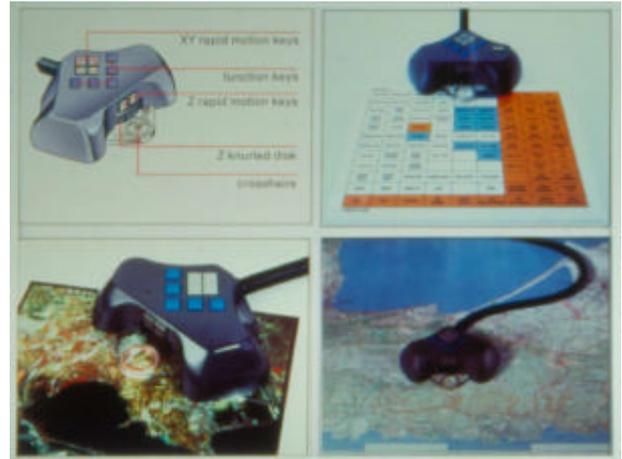


Bild 11.42: P-Cursor und Anwendungsmöglichkeiten

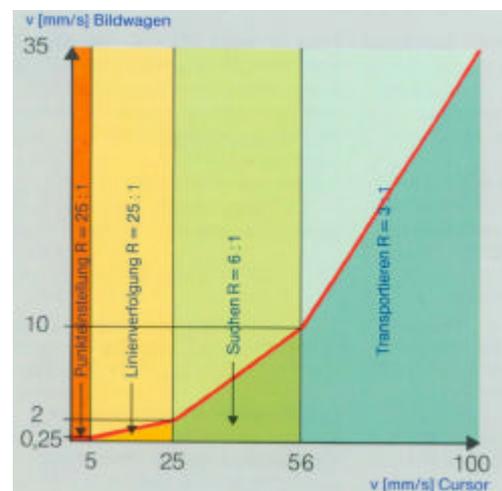


Bild 11.43: Progressive Kennlinie des P-Cursors



Bild 11.44: PLANICOMP P 2 (1987)

Das PLANICOMP P 2 war im Prinzip ein, an die Elektronik, Software und Handhabung der P-Serie adaptierter C 120 (Bild 11.44). Statt des bisherigen Bedienpanels und des neuen P-Cursors stand das, bereits vom PLANICOMP her bekannte "Soft"-Panel zur Eingabe zur Verfügung. Auf Wunsch zahlreicher Kunden wurden ab 1989 zusätzlich einige Dutzend C 100 mit entsprechenden Umbausätzen in einen P 2 umgewandelt (SCHWEBEL 1994). Die Parameter des P 2 waren:

- Messbereiche:  $x' = 240 \text{ mm}$ ,  $y' = 240 \text{ mm}$ ,
- Messauflösung:  $0,001 \text{ mm}$ ,
- Messgenauigkeit:  $s_{x'}, s_{y'} = \pm 0,002 \text{ mm}$ ,
- Messmarken: identische schwarze und regelbare Leuchtmessmarke mit Durchmesser  $40 \mu\text{m}$ , (optional  $20 \mu\text{m}$ ),
- Vergrößerung: 7,5- bis 30-fach, getrennt einstellbar,
- Gesichtsfeld:  $26 \text{ mm}$  bei 7,5-facher Vergrößerung,
- Betrachtungsauflösung: bis  $120 \text{ Linienpaare/mm}$ ,
- Bildaufrichter: Doveprismen  $\pm 105^\circ$ ,
- Bildbetrachtung: orthoskopisch, pseudoskopisch, binokular links, binokular rechts; manuell oder rechnergesteuert,
- Einblickhöhe des Okulars: fest,
- Optische Schnittstellen für Ein- und Ausspiegelung.

Eine völlige Neukonstruktion war der "Viewer" des PLANICOMP P 3 (Bild 11.45). Die kompakte Form dieses Tischgerätes wurde erreicht durch überlappende Fahrbereiche der beiden Bildwagen mit dem Standardformat  $240 \text{ mm} \times 240 \text{ mm}$  (Bild 11.46). Damit, und wegen des



Bild 11.45: PLANICOMP P 3 (1987)



Bild 11.46: Bildwagen des PLANICOMP P 3

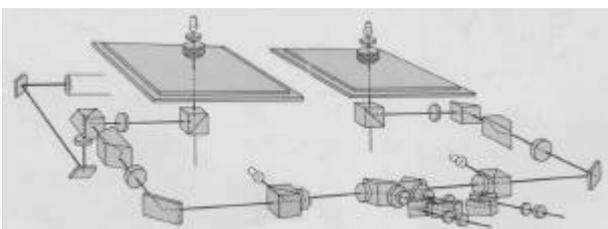


Bild 11.47: Optik-Schema zum PLANICOMP P 3

einfachen optischen Strahlenganges (Bild 11.47) war keine pseudoskopische Auswertung ("Basis aussen") möglich, jedoch eine Längsüberdeckung bis zu  $100 \%$  auswertbar. Auch der P 3 hatte optische Schnittstellen für Ein- und Ausspiegelungen. Als Besonderheit ist die motorische Höhenverstellung des Viewers zu nennen, mit der die Okularhöhe bequem angepasst werden konnte. Für die Nutzung des P-Cursors war serienmässig ein handelsübliches Digitalisieretablett mit den Abmessungen  $594 \text{ mm} \times 420 \text{ mm}$  und einer Auflösung von  $0,025 \text{ mm}$  vorhanden. Bild 11.48 zeigt den optionalen Doppelseinblick, der insbesondere für Schulungszwecke und für Interpretationsarbeiten gedacht war.



Bild 11.48: Doppelseinblick zum PLANICOMP P 3

Die Geräteparameter des PLANICOMP P 3 waren:

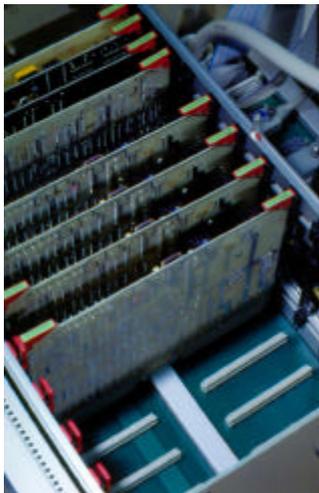
- Messbereiche:  $x' = 240 \text{ mm}$ ,  $y' = 240 \text{ mm}$ ,  
einlegbares Bildformat:  $270 \text{ mm} \times 270 \text{ mm}$ ,
- Messauflösung:  $0,001 \text{ mm}$ ,
- Messgenauigkeit:  $s_{x'}, s_{y'} = \pm 0,003 \text{ mm}$ ,
- Messmarken: identische schwarze und regelbare Leuchtmessmarke mit Durchmesser  $72 \mu\text{m}$ , optional  $36 \mu\text{m}$ ,
- Vergrößerung: 5- bis 20-fach, gemeinsam einstellbar,
- Gesichtsfeld:  $40 \text{ mm}$  bei 5-facher Vergrößerung,
- Betrachtungsauflösung: bis  $100 \text{ Linienpaare/mm}$ ,
- Bildaufrichter: Doveprismen  $\pm 25^\circ$ ,
- Bildbetrachtung: orthoskopisch,
- Einblickhöhe des Okulars: motorisch verstellbar zwischen  $440 \text{ mm}$  und  $570 \text{ mm}$ ,
- Optische Schnittstellen für Ein- und Ausspiegelung.

Diese, auf die photogrammetrische Produktion ausgerichtete, hohe Leistungsfähigkeit bei sehr kompakten Abmessungen machte den P 3 zu einem sehr beliebten und erfolgreichen Arbeitspferd, welches auch noch 20 Jahre nach seiner Markteinführung an vielen Stellen im praktischen Einsatz war. Trotz des schon sehr günstigen Preises wurde ab 1992 eine nochmals abgespeckte Version als PLANICOMP P 33 ausgeliefert. Bei dieser Variante waren zwecks Einsparung gegenüber dem P 3 die

motorische Höhenverstellung durch eine, bei Installation wählbare, feste Einblickhöhe von 510 oder 560 mm, die Zoom-Vergrößerung durch einen Vergrößerungswechsler für 6x / 10x / 16x, sowie die Schwarz-/Leuchtmärke durch eine reine Leuchtmessmarke ersetzt worden. Die Betrachtungsauflösung war auf, für die normale Praxis völlig ausreichende, 60 bis 80 Linienpaare / mm beschränkt.

Eine, auf dem Washington-Kongress 1992 als "P 25" angekündigte, bezüglich der Betrachtungsoptik erweiterte Fassung des PLANICOMP P 3 ging allerdings nicht in Serie. Diese Gerätevariante wäre mit einer neuen, patentierten Umschaltung "Ortho/Pseudo/Binokular Links-Rechts" (FAUST et al. 1991), einer motorisierten Verstellung von Zoom und Messmarkendurchmesser (separat für beide Seiten) und geringfügig erweiterten sonstigen Bereichen ausgestattet gewesen. In Washington wurde auch über das PC-basierende SCAN-Program für einen, mit CCD-Sensoren ausgestatteten P 3 berichtet, welches für CARL ZEISS vom Institut für Photogrammetrie der Universität Bonn entwickelt worden war (SAILE 1992).

Die Elektronik der P-Serie fand mit den Leiterplatten im jetzt üblichen Doppel-Europaformat, einschliesslich Leistungselektronik für die Bildwagenmotoren, in einem



einzigem Einschub Platz (Bild 11.49), während es beim C 100 noch drei gewesen waren.

Bild 11.49:  
Elektronik-  
Leiterplatten zur  
PLANICOMP P-Serie

Diese Elektronik war für alle PLANICOMP der P-Serie weitgehend einheitlich und durch einen neuen P-Prozessor in Stereomodellbildung und Punktregistrierung autonom. Auf der Basis des Mikroprozessors INTEL 8086 mit arithmetischem Koprozessor 8087 steuerte die in PASCAL geschriebene Firmware alle gerätebezogenen Echtzeitaufgaben wie Überwachung der Betriebszustände, Übernahme der Eingabeinkremente, Berechnung und gegebenenfalls Echtzeitkorrektur der Bildkoordinaten und der daraus resultierenden Verschiebungen und deren Ausgabe an die Servoantriebe, Überwachung der Funktionstasten, Ausführung von Punkt- und Inkrementalregistrierungen und ihre Zwischenspeicherung sowie Durchführung des Datenverkehrs mit

dem Arbeitsplatzrechner. Für diese Kommunikation war der Mikroprozessor über einen dokumentierten Satz von ca. 50 Befehlen über eine IEC- oder eine RS232-Schnittstelle ansprechbar. Damit konnte im Prinzip jeder Arbeitsplatzrechner und nicht nur der HP 1000-Computer zur Steuerung der PLANICOMP P-Serie eingesetzt werden. Mit diesen, über eine FORTRAN-Programmibibliothek aufrufbaren, Befehlen konnten erfahrene Programmierer auch ohne PHOCUS und P-Software die Geräte der P-Serie ansteuern und nutzen.

Die wesentlichen Funktionen der P-Software auf der Basis von PHOCUS (dazu siehe Kapitel 10.7) waren:

- *PHOCUS Basissoftware mit Funktionen zur Steuerung und Bedienung des P-PLANICOMP durch Kommunikation mit dem P-Prozessor, mit der Rechnerperipherie, und mit graphischen Ausgabegeräten,*
- *Objektorientierte und strukturierte Datenbank mit einfachen Verwaltungs- und Editierfunktionen,*
- *Flexible und komfortable innere, relative und absolute Orientierung von Stereomodellen,*
- *Aufbau, Verwaltung und Protokollierung von Dateien für Aufnahmekammern, Orientierungsdaten, Passpunkte, Kalibrierungsdaten sowie für auswerter-spezifische Betriebs-einstellungen,*
- *Objekterfassung mit Festlegung von Objektschlüssel-Tabellen, Messung mit verschiedenen Registrierkriterien, automatisches Anfahren bereits gespeicherter Punkte, Kontrolldarstellung auf VIDEOMAP oder anderen Ausgabegeräten sowie erfassungsnahes Editieren,*
- *Umfangreiche und komfortable Editierung,*
- *Kartenblattvorbereitung und graphische Ausgabe,*
- *Umfangreiche Messfunktionen für die Aerotriangulation,*
- *Umfangreiche Messfunktionen für digitale Höhenmodelle.*

Bild 11.50 zeigt die Möglichkeiten der Systemkonfiguration für die P-Serie auf der Basis von PHOCUS.

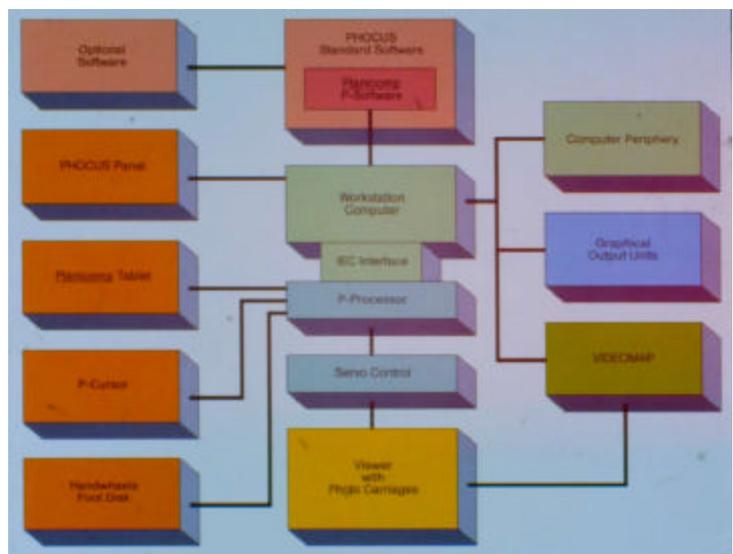


Bild 11.50: Systemkonfiguration von P-Serie und PHOCUS

Als Workstation Computer konnten ab 1989 nicht mehr nur Mini- und Mikrocomputer der HP 1000-Familie mit dem RTE-Betriebssystem von HEWLETT-PACKARD angeboten werden, sondern auch eine VAXstation und die MicroVAX mit dem VMS-Betriebssystem der Firma DIGITAL EQUIPMENT CORPORATION (DEC). Ab 1992 kamen noch die DECstation sowie die Graphik-Computer der Fa. SILICON GRAPHICS mit jeweils UNIX-Betriebssystemen hinzu.

Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit und Verbreitung der IBM-Personal Computer (PC) mit dem Betriebssystem MS-DOS wurden auch diese für den Einsatz an analytischen Auswertegeräten interessant. Nach der Ankündigung auf dem Kyoto-Kongress 1988 konnte dann auf dem "March-Meeting" 1989 in Baltimore eine PC-basierende Version des PLANICOMP P 3 vorgestellt werden (Bild 11.51). Dazu wurde an der Ohio State University in Columbus, Ohio/USA die Orientierungssoftware P-CAP entwickelt (SCHENK et al. 1989 & SAILE 1989).



Bild 11.51: PLANICOMP P 3 mit PC-Software P-CAP (1989)

Bei P-CAP erfolgte die gesamte photogrammetrische Projekt- und Modellverwaltung sowie auch die Orientierung des Stereomodells bereits unter dem Betriebssystem WINDOWS. Die Orientierung lief in den drei üblichen Schritten innere, relative und absolute Orientierung ab. Dazu waren, neben den allgemeinen Kommunikationsaufgaben mit dem P-Prozessor des PLANICOMP, Mess- und Editierfunktionen unter Nutzung des P-Cursors vorhanden, ähnlich wie bereits bei der P-Software der PHOCUS-Umgebung. Nach Abschluss der Orientierung wurden die Transformationsdaten auf einer ASCII-Datei in einem definierten Format (PHOREX) abgelegt. Damit standen sie z. B. für andere Auswertegeräte oder für interaktive Anwendungen von Drittanbietern zur Verfügung. Ab Anfang 1991 umfasste P-CAP auch Funktionen zur raster- und profilweisen DHM-

Messung sowie zur Messung von Aerotriangulationsdaten. Insgesamt wurden in den ersten 10 Jahren über 300 Installationen von P-CAP ausgeliefert.

Die PC-Version des PLANICOMP P 3 war besonders interessant als Arbeitspferd für umfangreiche Kartierung und Erfassung von Objektdaten für GIS/LIS-Systeme. So war nicht nur die Datenkompatibilität mit PHOCUS gegeben, sondern es standen auch so genannte "Driver" für die folgenden Fremdprodukte zur Verfügung:

- AutoCAD von AUTODESK,
- MICROSTATION PC von INTERGRAPH, (ab 1995 wieder von der Fa. BENTLEY Inc., Exton, Pennsylvania/USA),
- pcARC/INFO von ESRI.

Ab 1993 bot Zeiss exklusiv das, seit 1985 in den USA von MIKE KITAIF entwickelte CADMAP in der PC-Version an (ROTH 1993). CADMAP hatte in nordamerikanischen Photogrammetrie-Firmen bereits eine grosse Verbreitung gefunden. Zahlreiche der in diesem Programm verfügbaren und beliebten Funktionen wurden im Jahr darauf unter den Bezeichnungen MICROSTATION-Driver (bzw. CADMAP/dgn für MICROSTATION 5) und AutoCAD-Driver (bzw. CADMAP/dwg für AutoCAD 12) für diese anderen Programme verfügbar gemacht (SCHWEBEL 1994). Ab 1997 gab es für die PLANICOMP P-Serie ausserdem einen Gerätetreiber für die unmittelbare photogrammetrische Datenerfassung für das Geo-Informationssystem ALK-GIAP (Kresse 1997). Alle diese CAD-Programme konnten am PLANICOMP P 3 auch das, seit 1993 verfügbare VIDEOMAP 30 zur graphischen Einspiegelung nutzen (MENKE 1994).

Für die weitere Auswertung der gemessenen Triangulations- und Höhendaten standen die PC-Versionen der bekannten Programme wie einerseits PATM-PC, PATB-PC und BINGO, andererseits SCOP (PC) und HIFI-88 zur Verfügung.

Insgesamt war der PLANICOMP P-Serie und hier insbesondere den "Workhorses" P 3 und P 33 ein grosser Erfolg beschieden. Mit in Summe über 700 ausgelieferten PLANICOMP der P-Serie war diese analytische Plotter-Familie die erfolgreichste auf dem Markt überhaupt. Etwa 90 % entfielen dabei auf P 3 und P 33. Zusammen mit den Geräten der vorherigen C 100-Generation und den an INTERGRAPH gelieferten Viewern waren in Oberkochen damit über 1.300 analytische Auswertegeräte hergestellt worden.

## 12. Luftbildauswertung digital

Seit Anfang der 1990er Jahre begann die messende Auswertung digitalisierter Bilder allmählich Eingang auch in die photogrammetrische Praxis zu finden. Die akademische Welt hatte sich da bereits zwei Jahrzehnte damit befasst. Die Arbeiten der Universität Stuttgart zur digitalen Bildkorrelation hatten, wie in Kapitel 11.3 beschrieben, 1984 bei ZEISS zum Produkt INDUSURF zur automatischen Messung von Industrie-Oberflächen am analytischen Plotter C 100 geführt.

Allerdings wurden dabei nur jeweils kleine Bildausschnitte für die unmittelbare Korrelation erfasst und keine ganzen Bilder digitalisiert. Letzteres wurde im Oberkochener Produktbereich Photogrammetrie 1986 mit der Vorentwicklung zu einem photogrammetrischen Bildscanner intensiv angegangen und 1989 als Gemeinschaftsentwicklung von ZEISS und INTERGRAPH vorgestellt (Kapitel 12.1). Das 1995 vorgestellte Folgemodell war dann eine vollständige Eigenentwicklung von ZEISS (Kapitel 12.2).

Mit den Methoden der digitalen Bildgewinnung und -verarbeitung befassten sich bei CARL ZEISS in Oberkochen schon seit den frühen 1980er Jahren Forschungsgruppen, um ständig die Verwendbarkeit für die diversen, abbildenden und messenden, Produkte von ZEISS zu prüfen. Über Erkenntnisse daraus zur Verarbeitung hochauflösender Bilder wurde u. a. anlässlich der Photogrammetrischen Woche 1989 berichtet (GROSSKOPF 1989). Zu diesem Zeitpunkt befasste sich die Photogrammetrie-Entwicklung, parallel zur laufenden Bildscanner-Entwicklung, längst auch schon mit Vorüberlegungen zu einem Programmsystem zur photogrammetrischen Auswertung digitalisierter Bilder. Aber erst 1991 wurde hierüber erstmals berichtet (Kapitel 12.3).

### 12.1 PHOTOSCAN

Mit dem erfolgreichen Einsatz des PLANICOMP C 100 mit INDUSURF in der PKW-Vorentwicklung bei mehreren grossen deutscher Automobilfirmen war ab 1986 deutlich geworden, dass die automatische Auswertung von ganzen digitalen Bildern bei einzelnen photogrammetrischen Anwendungen bald praxisreif sein würde. Daraufhin begannen Überlegungen zur digitalen Abtastung und auch Aufzeichnung ganzer photogrammetrischer Luftbilder (FELLE 1986 & FAUST et al. 1986). Während der erfolgreichen Zusammenarbeit mit INTERGRAPH im ZIP-Projekt wurde ersichtlich, dass auch Huntsville die Entwicklung eines Bildscanners vorbereitete. Daraufhin wurde beschlossen, auch dieses Projekt gemeinsam durchzuführen und als Produkt parallel anzubieten, indem ZEISS die Scanner-Hardware mit Optik, Mechanik und Elektronik und INTERGRAPH die Rechner-Hardware und die Software mit anwendungs-

bezogenen und datentechnischen Funktionen bereitstellt. Als Ergebnis wurde 1989 der PHOTOSCAN PS 1 auf der Photogrammetrischen Woche vorgestellt (FAUST 1989) und ab Mitte 1990 aus Serie geliefert. Bild 12.1 zeigt links die Scanner-Einheit in ZEISS-Lackierung und rechts davon die INTERGRAPH-Workstation INTERSERVE Serie 6000 mit grossem Graphik-Bildschirm.



Bild 12.1: PHOTOSCAN PS 1 mit Workstation von INTERGRAPH

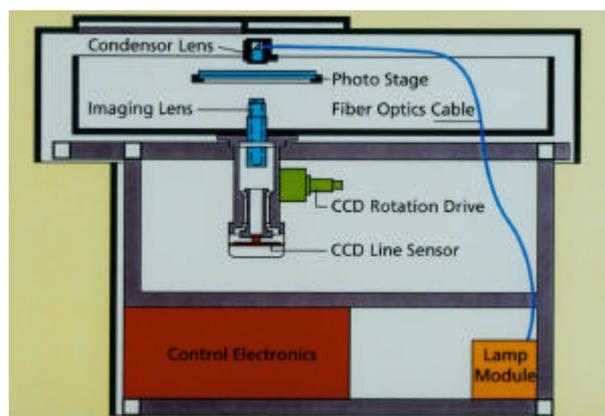


Bild 12.2: Schematischer Aufbau des PHOTOSCAN PS 1

Die Konstruktion des in zwei Achsen verschiebbaren Bildwagens beruhte auf dem, im PLANICOMP bewährten Kreuzschlitten-Prinzip. Das Bild wurde zur Vermeidung von Temperatureffekten über einen Lichtleiter beleuchtet und zeichnungsfrei auf eine CCD-Zeile mit 2.048 Pixel und einer Pixelgrösse von  $7,5 \mu\text{m}$  abgebildet (Bild 12.2). Diese Zeile war motorisch innerhalb von  $\pm 10$  gon drehbar, so dass in einem patentierten Verfahren (KRASTEL et al. 1989) zur Vermeidung eines ersten Resampling nach einer inneren Orientierung unmittelbar parallel zum Bildkoordinatensystem abgetastet werden konnte (Bild 12.3).

Durch eine 100 Watt-Halogenlampe und einen Kondensator hoher Öffnung war gewährleistet, dass auch bei maximaler Abtastgeschwindigkeit von 30 mm/sec die Sättigungsbelichtung des CCD-Sensors erreicht wurde. Für die Digitalisierung von Farbbildern war ein Filter-

Revolver mit vier Plätzen vorgesehen, so dass ausser mit weissem Licht auch sequentiell mit rot, grün und blau abgetastet werden kann (Bild 12.4).

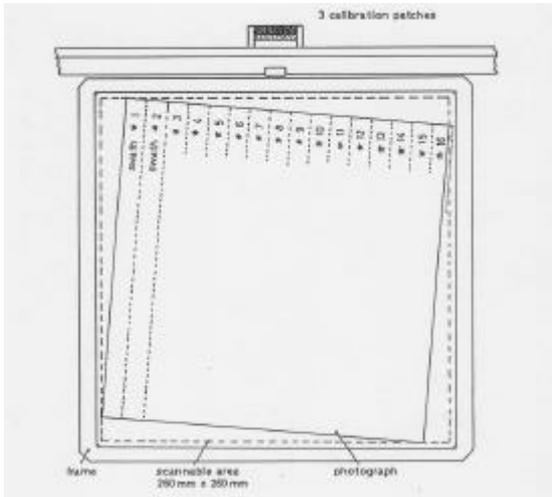


Bild 12.3: Scan-Schema des PHOTOSCAN PS 1

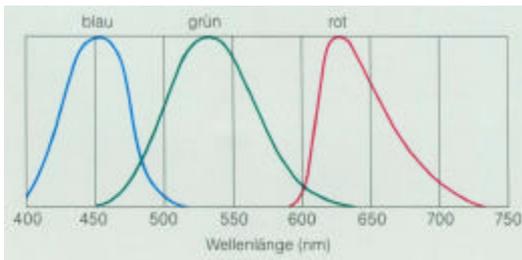


Bild 12.4: Charakteristik der PS 1 - Farbkanäle

Die Geräteparameter des PHOTOSCAN PS 1 waren:

- Scanbereich: 260 mm x 260 mm,
- geometrische Auflösung: 0,001 mm,
- Messgenauigkeit:  $s_x, s_y = \pm 0,002$  mm,
- Pixelgrößen: 7,5, 15, 30, 60 und 120  $\mu$ m,
- CCD-Zeilensensor: 1 x 2.048 pixel,
- Scanbreite: 15,36 mm,
- Abtastrichtung drehbar:  $\pm 10$  gon,
- radiometrische Auflösung: 8 bit,
- Farbabtastung: sequentiell,
- Filterrevolver für z. B.: weiss, rot, grün, blau,
- Beleuchtung: 100 W Halogenlampe, Kondensor,
- maximale Abtastgeschwindigkeit: 30 mm/sec,
- maximale Datenrate: 2 MPixel/sec.

Die von INTERGRAPH entwickelte Betriebs-Software zum PHOTOSCAN PS 1 umfasste folgende Funktionen:

- Justierung und Kalibrierung des Scanners,
- Festlegung von Abtastbereich und Abtastrichtung (innere Orientierung),
- Digitalisierung einer Bildübersicht,
- Digitalisierung des gewünschten Bildbereichs in der gewählten Auflösung,

- Speicherung der Bilddaten auf einem Massenspeicher,
- Darstellung der Daten auf dem graphischen Bildschirm,
- Übertragung von Bilddateien mittels Netzwerk oder Datenträger.

Als Workstation-Rechner wurde jeweils eine aktuelle, auch für die allgemeinen graphischen Arbeitsplätze von INTERGRAPH entwickelte Prozessor-Konfiguration angeboten, jeweils auf der Basis des INTERGRAPH-eigenen CLIPPER RISC Prozessors, der mit einem eigenen Graphik-Prozessor ausgestattet war. Bereits zwischen Prototyp-Vorstellung und Lieferbeginn aus Serie ein knappes Jahr später stiegen Prozessor-Geschwindigkeit und Massenspeicher-Kapazität um den Faktor 3, später auf das 10-fache und mehr. Insgesamt wurden von ZEISS etwa 120 Systeme des PHOTOSCAN PS 1 gefertigt.

## 12.2 SCAI

Aufbauend auf der Erfahrung mit dem PHOTOSCAN PS 1 befasste man sich in Oberkochen mit einer Folgeentwicklung (Bild 12.5), die 1995 auf der Photogrammetrischen Woche zur Vorstellung des SCAI (Scanner mit Autowinder Interface) führte (MEHLO 1995). Die Bilder 12.6 und 12.7 zeigen diesen, durch Patente und als Gebrauchsmuster geschützten Scanner mit dem optionalen Rollfilmzusatz (MEHLO et al. 1994 & KRSTEL et al. 1995), mit dem eine vollautomatische Digitalisierung ganzer Luftbildfilme ermöglicht wird. Auch ein besonderes Justierverfahren war durch ein Patent geschützt (FAUST et al. 1992).



Bild 12.5: Prototyp des SCAI mit Computer-Terminal (1994)



Bild 12.6:

Photoscanner SCAI  
mit Rollfilmzusatz



Bild 12.7: Rollfilmzusatz (Autowinder) des SCAI (geöffnet)

Im Autowinder erfolgt der Filmtransport durch zwei motorisch angetriebene Spulen mit bis zu 1 m/sec, so dass für ein selektives Scannen auch einzelne Bilder des Filmes sehr schnell angesteuert werden können. Ein elektronischer Filmlängenzähler erlaubt die automatische Positionierung auf ca. 3 mm genau. Während des Filmtransportes werden Deckglasplatte und beide Umlenkrollen mit dem Film getrennt motorisch angehoben.

Während des Scannens liegt das Bild fest auf dem Bildträger und die Scanoptik wird mäanderförmig über das Bild geführt. Diese, auf dem Sekundärwagen angebrachte, Optik (Bild 12.8) besteht aus dem Lichtleiter für die Beleuchtung sowie einer verzeichnungs- und aberrationsfrei abbildenden Spiegeloptik und CCD-Modul. Wegen der Dreifach-Zeile in den Farben rot, grün und blau werden Farbaufnahmen in einem einzigen Durchgang erfasst (One-pass). Auf Grund der gewählten diffusen Beleuchtung werden Kratzer und Staub auf der Filmbasis nicht mit abgebildet (Bild 12.9).

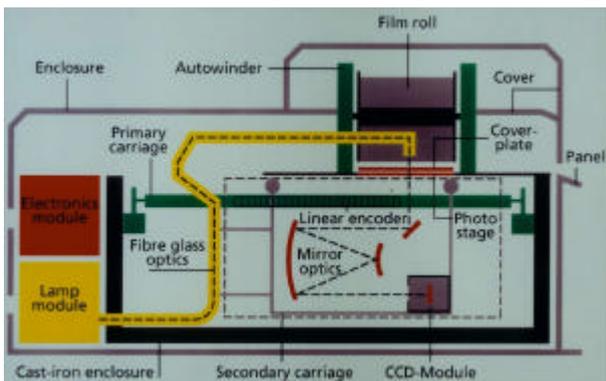


Bild 12.8: Schematischer Aufbau des SCAI

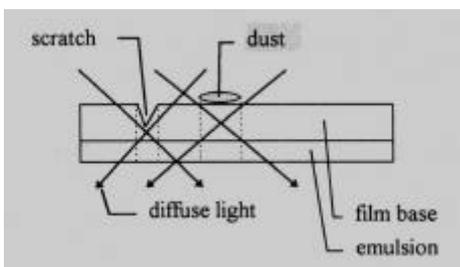


Bild 12.9: Prinzip der diffusen Beleuchtung im SCAI

Die Geräteparameter des Basisgerätes von SCAI sind:

- *Scanbereich: 250 mm x 275 mm,*
- *Geometrische Auflösung: 0,001 mm,*
- *Messgenauigkeit:  $s_x, s_y = \pm 0,002$  mm,*
- *Pixelgrößen: 7, 14, 28, 56, 112 und 224  $\mu$ m,*
- *CCD-Zeilensensor: 3 x 5.632 pixel,*
- *Scanbreite: 39,424 mm,*
- *Radiometrische Auflösung: 10 bit,*
- *Farbabtastung: parallel,*
- *Beleuchtung: 250, ab 2000 150 W Halogenlampe, diffus,*
- *Maximale Abtastgeschwindigkeit: 50 mm/sec,*
- *Maximale Datenrate: 4 MPixel/sec.*

Die in das Scannergehäuse integrierte Steuereinheit besteht aus der Elektronik für die Motorsteuerungen, der CCD-Elektronik einschl. A/D-Wandlung, der Ablaufsteuerung und dem SCSI-2 Interface für den Anschluss an eine Graphik-Workstation für Benutzerführung und Datenübernahme. ZEISS erweiterte, gleichzeitig mit SCAI, sein einige Jahre zuvor vorgestelltes photogrammetrisches, digitales Bildverarbeitungssystem PHODIS (siehe Kapitel 12.3) um das Scan-Modul PHODIS SC. Damit konnte SCAI in die, auf Graphik Computer der SILICON GRAPHICS Familie implementierte, PHODIS-Arbeitsumgebung integriert werden (Bild 12.10).

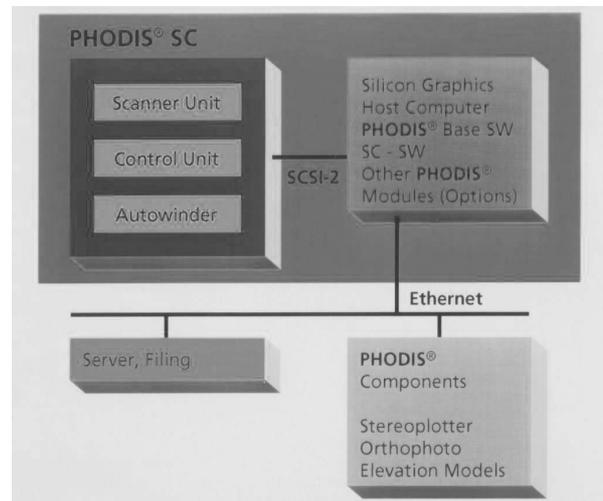


Bild 12.10: Schema des PHODIS SC

PHODIS SC umfasst u. a. die folgenden scan-bezogenen Funktionen (ROTH 1996 & VOGELANG 1997):

- *Schneller Übersichts-Scan mit 224  $\mu$ m Auflösung, Dauer ca. 1 min,*
- *Eingabe der geometrischen und radiometrischen Scanparameter,*
- *Festlegung von Zieldatei, Datenformat und automatisch nach dem Scan anzuschliessende Verarbeitungsschritte,*
- *Digitalisierung des festgelegten Bildbereichs mit den gewählten Parametern (z. B. Dauer ca. 8 min für den Scan eines ganzen Luftbildes mit 14  $\mu$ m),*
- *Generierung der Bildpyramide,*

- Automatische innere Orientierung,
- Speicherung der Bilddaten auf einem Massenspeicher,
- Autowinder-Funktionen für Filmtransport, Bildauswahl und -positionierung.

In Fortsetzung der guten Zusammenarbeit beim PHOTOSCAN PS 1 wurde SCAI auch von INTERGRAPH als OEM-Produkt bezogen und, zusammen mit der INTERGRAPH TDZ 2000 Workstation und eigener AUTOSCAN Software, unter der Bezeichnung PHOTOSCAN TD (später auch PHOTOSCAN 2000 bzw. 2001 und 2002) angeboten (Bild 12.11).



Bild 12.11: PHOTOSCANTD (1996)

Bereits bis zum Beginn des ZEISS/INTERGRAPH Joint Ventures Z/I IMAGING im Jahre 1999 waren über 200 auf SCAI basierende Scanner-Systeme ausgeliefert, bis zum Fertigungsende 2007 insgesamt 320 Stück. Damit war SCAI zum erfolgreichsten photogrammetrischen Bildscanner weltweit geworden. Besonders zu erwähnen ist, dass sich dieser Scanner auch ausserhalb der Photogrammetrie grosser Beliebtheit erfreute. Die Molekular-Biologen besaßen damit erstmals eine befriedigende Möglichkeit, ihre elektronen-mikroskopischen Aufnahmen ohne Genauigkeitsverlust zu digitalisieren.

### 12.3 PHODIS

Zur Photogrammetrischen Woche 1991 berichtete Carl Zeiss unter der Bezeichnung PHIPS erstmals über die Entwicklung eines "Photogrammetric Image Processing Systems" (MAYR 1991). Primäres Ziel war es zunächst, Orthophotos auf digitale Weise zu erzeugen und damit einerseits eine erste eigene Anwendung für die, mit dem inzwischen aus Serie gelieferten PHOTOSCAN PS 1 digitalisierten Luftbilder zu schaffen, andererseits den nach wie vor angebotenen ORTHOCOMP Z 2 durch ein noch flexibleres und leistungsfähigeres Instrumentarium zu ersetzen. Im Jahr darauf wurde der Name in PHODIS für "PHotogrammetric Digital Image processing Systems" geändert (Bild 12.12) und um weitere photogrammetrische Anwendungen erweitert, die ab 1993 nach und nach vorgestellt wurden.



Bild 12.12: PHODIS Logo

PHODIS wurde konzipiert für leistungsfähige Computer mit dem UNIX-Betriebssystem und auf Graphik-Workstations von SILICON GRAPHICS implementiert. Software, Datenformate und Netzwerkfähigkeit wurden weitgehend in Übereinstimmung mit den üblichen Standards entwickelt. Für einfache Stereomessungen und Qualitätskontrollen war von Beginn an eine Möglichkeit für die Stereobetrachtung mit Stereobrillen vorgesehen, die nach dem Flüssigkristall-Prinzip arbeiteten.

Bereits 1991 war als Option zu "PHIPS" die Programm-erweiterung TOPOSURF zur automatischen Generierung von digitalen Höhenmodellen (DHM) angeboten worden, um den Prozess der Orthophoto-Herstellung weitgehend zu automatisieren. Dabei handelte es sich um das Programmpaket MATCH-T der INPHO GmbH, Stuttgart, welches auf den Arbeiten zum Feature-based Matching der Universität Stuttgart beruhte (KRZYSTEK 1991) und aus den früheren Programmentwicklungen zur automatischen Messung im Nahbereich hervorging (von ZEISS als INDUSURF zum PLANICOMP C 100 angeboten, siehe Kapitel 11.3).

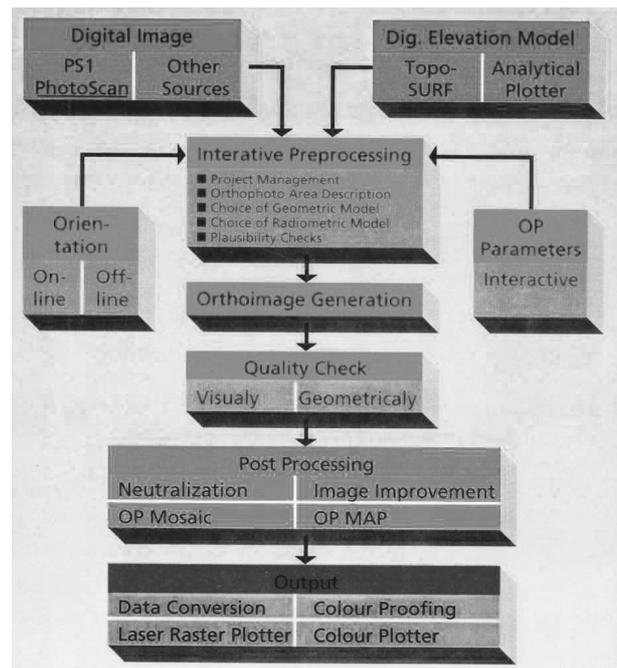


Bild 12.13: Arbeitsablauf mit PHODIS OP

Bild 12.13 zeigt den Arbeitsablauf der, ab 1992 PHODIS OP genannten, Anwendung zur Orthophoto-Erzeugung (MAYR 1992). Das zu entzerrende Bild konnte im PS 1 oder SCAI digitalisiert werden oder aus anderen Quellen stammen. Das DHM konnte übernommen werden (und z. B. in analytischen Auswertegeräten gemessen sein) oder innerhalb von PHODIS mit TOPOSURF automatisch generiert werden. Orientierungsdaten konnten ebenfalls am Arbeitsplatz bestimmt oder eingegeben werden oder aber übernommen werden, innerhalb der Systemfamilie von ZEISS als kompatible PHOREX-Datei z. B. von den PLANICOMP mit PHOCUS oder P-CAP (KRESSE 1993).

Nach Eingabe oder Übernahme weiterer Projektparameter erfolgte der automatische Entzerrungsvorgang, daran schlossen sich dann Qualitätsprüfung, Nachverarbeitung (z. B. Mosaikbildung, Kartenblattgestaltung) und Ausgabe an. Um für Orthophoto-Mosaik an den Übergängen eine Angleichung in Helligkeit und Farbgebung zu erreichen, wurde ab 1996 als Option das von der Firma STELLACORE, Parker, Colorado/USA entwickelte Programm ORTHOVISTA angeboten.

1993 wurde die Möglichkeit der stereoskopischen Messung von PHODIS OP zu einem vollständigen digitalen Stereoplotter erweitert und als PHODIS ST vorgestellt (MAYR 1993). Da die Auflösung der Graphik-Bildschirme im Vergleich zur Okularbetrachtung der Stereoauswertegeräte erheblich geringer ist, wurde der Stereomonitor ausschliesslich für die Modellbetrachtung vorgesehen und die Benutzerführung auf einem zweiten Bildschirm getätigt (Bild 12.14).



Bild 12.14: Stereo-Arbeitsplatz PHODIS ST

Zentrales Bedienelement war die P-Maus, die dem P-Cursor der PLANICOMP P-Serie ähnelt. Sie verwendete jedoch, wie die frühen PC-Mäuse, eine Rollkugel zur Erfassung der Horizontalbewegung und kam deshalb ohne Digitalisieretafelt aus. Zudem hatte sie zwei zusätzliche Tasten zur schnellen Umschaltung der übrigen Tastenfunktionen (MENKE 1994). Bild 12.15 zeigt die P-Maus und die Flüssigkristall-Stereobrille.

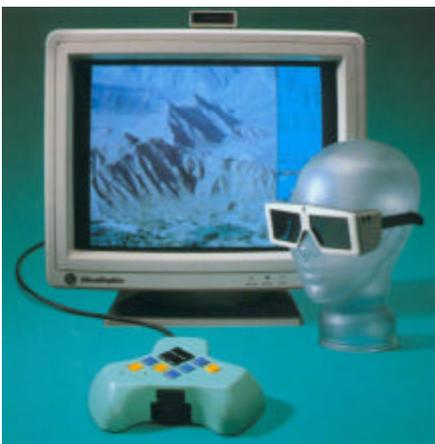


Bild 12.15: PHODIS ST mit P-Cursor und Stereobrille

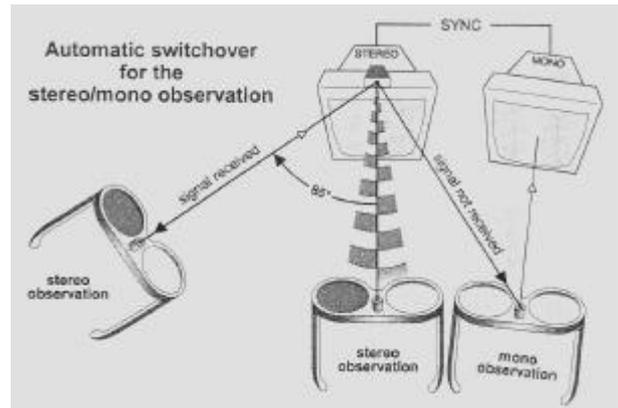


Bild 12.16: Schalt-Prinzip der Stereobrille zu PHODIS

Das Prinzip von Synchronisation und Steuerung der handelsüblichen Stereobrillen ist in Bild 12.16 dargestellt. Das Bild zeigt darüber hinaus das von ZEISS patentierte Prinzip, die Umschaltwirkung auf den Blick zum Stereomonitor zu begrenzen (DÖRSTEL et al. 1993). Damit wurde vermieden, dass die, durch die Flüssigkristallgläser der Stereobrille bewirkte, alternierende Abdunklung beim Blick auf den Dialogmonitor oder in das Umfeld unterbrochen wurde und nicht störte. Eine weitere geschützte Erfindung zum Betrieb zweier benachbarter Bildschirme mit unterschiedlichem Display-Modus kam nicht mehr zum Einsatz (Mehlo 1994).

Anfänglich erfolgte wegen der begrenzten Geschwindigkeit von Prozessoren und Datentransfer die Darstellung nach dem Prinzip "Bild fest - Messmarke bewegt", so dass erst bei Annäherung an den Bildschirmrand das Stereobild in einem Schritt neu geladen werden musste. Diese Variante wurde später noch als preiswertere Variante PHODIS ST 30 beibehalten, als dann schnellere und teurere Computer die komfortablere und von den Stereoauswertegeräten her gewohnte Methode "Messmarke fest - Bild bewegt" ermöglichten (PHODIS ST 10).

Bild 12.17 zeigt die funktionale Struktur von PHODIS ST. Neben der bereits beschriebenen Hardware definierte die Software mit Basisfunktionen, Orientierungs- und Anwendungsprogrammen die Leistungsfähigkeit dieses digitalen Stereoplotters von ZEISS.

Das PHODIS-Basispaket umfasste auf der Grundlage des UNIX-Betriebssystems die Projekt- und Passpunktverwaltung, Speicherung und Konversion der Messdaten, Bildverarbeitungsfunktionen, Help-Funktionen und Orientierungsprogramme. Innere und relative Orientierung des Stereobildpaares erfolgten automatisch mittels Rahmenmarkenerkennung bzw. Feature Based Matching. Als Anwendungsprogramme waren seitens ZEISS u. a. PHOCUS und CADMAP vorgesehen, wegen der offenen Schnittstellen konnten auch andere CAD- und GIS-Systeme wie z. B. AUTOCAD und MICROSTATION adaptiert werden (DÖRSTEL et al. 1994). Später konnten von PHODIS auch andere Aufnahmegeometrien ausgewertet

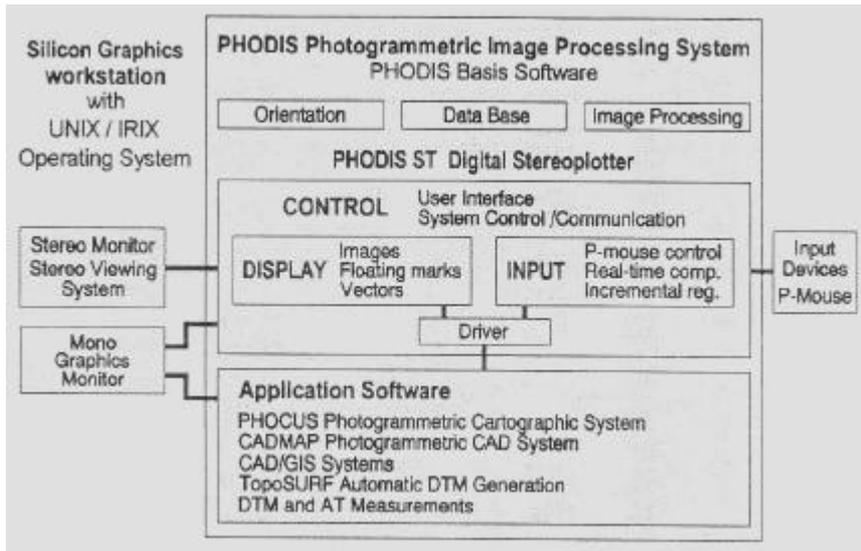


Bild 12.17: Struktur des Stereo-Arbeitsplatzes PHODIS ST

werden wie z. B. von SPOT und den Drei-Zeilen-Kameras MOMS-02, HRSC und WAOSS (DÖRSTEL et al. 1996 & BRAUN 1997).

Eine vereinfachte Variante von PHODIS ST war PHODIS M für das so genannte Monoplotting, zu Beginn auch als PHODIS MO und PHODIS PM bezeichnet. Damit waren Messungen in Einzelbildern möglich, in der Regel für die Ableitung von Punkt- und Vektordaten aus digitalen Orthobildern (WILLKOMM et al. 1995).

Ab 1995 wurde die in PHODIS OP enthaltene DHM-Komponente als PHODIS TS auch zu einer eigenständigen Produktvariante für die Generierung digitaler Geländemodelle (DÖRSTEL 1995). Diese bestand aus den Arbeitsschritten Stereomodellbildung, Datenvorbereitung, automatische Messung mittels TOPOSURF, Datenkontrolle, Editierung und Ausgabe (Bild 12.18).

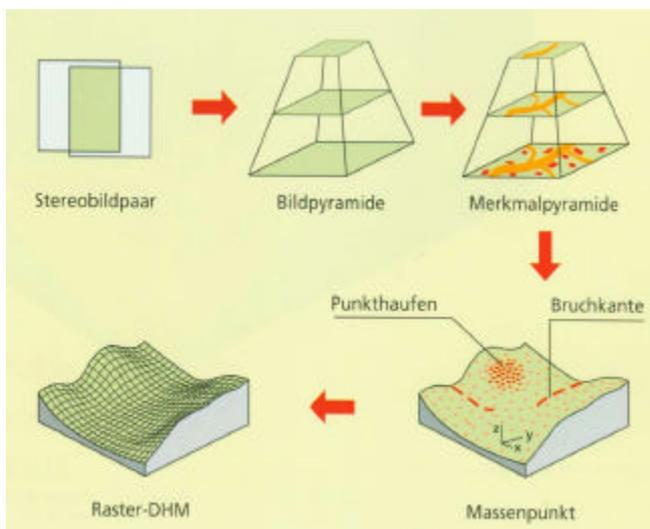


Bild 12.18: Arbeitsablauf von PHODIS TS

Ebenfalls 1995 wurde der neu vorgestellte Bildscanner SCAI mit dem Software-Modul PHODIS SC in die digita-

le Photogrammetrie von ZEISS eingebunden (siehe Kapitel 12.2). Dieses Modul war 1998 als einzige PHODIS-Anwendung auch noch nach WINDOWS NT portiert worden.

Und schliesslich wurde PHODIS auf der Photogrammetrischen Woche 1995 auch noch um die automatische Aerotriangulation erweitert und war damit komplettiert (Mayr 1995). PHODIS AT war u. a. konzipiert für sehr grosse und beliebig konfigurierte Bildverbände, sowie für eine robuste Bestimmung von Verknüpfungspunkten. Der Arbeitsablauf bestand aus den Arbeitsschritten

Blockvorbereitung, Blockmessung, Blockausgleichung und Blocknachbereitung:

- Blockvorbereitung durch Bereitstellung von digitalisierten Bildern, Kamera- und Aufnahmedaten sowie Passpunkten, durch Erstellung einer Blockübersicht und gegebenenfalls Unterteilung in Subblöcke, durch Konsistenzprüfungen, durch Bildung der Bildpyramiden, und durch automatische oder manuelle innere Orientierung der Bilder (falls noch nicht geschehen),
- Blockmessung durch vollautomatische Blockbildung und Suche nach konjugierten Punkten in allen Bildern, durch programmgesteuertes Aufzeigen aller Gebiete, in denen vom Auswerter geeignete Verknüpfungspunkte anzugeben, aber nur in einem Bild exakt einzustellen sind, und durch anschliessende automatische Feinmessung der Verknüpfungen,
- Blockausgleichung mit einem der marktüblichen Blockausgleichungs-Programmen wie PAT B, BINGO, BLUH oder anderen Bündelblock-Programmen,
- Blocknachbereitung mit Darstellung der Ergebnisse, mit Inspektion und gegebenenfalls manueller Nachmessung der groben Fehler, mit Zuordnung der berechneten Orientierungsdaten zu den Bildern, und mit Ausgabe von Orientierungsparametern für Stereoauswertegeräte und von Passpunkten.

Das Herzstück einer automatischen Aerotriangulation ist die automatische Bestimmung und Messung der Verknüpfungspunkte. Für PHODIS AT wurden dabei die Arbeiten der Universität München zur automatischen relativen Orientierung (TANG et al. 1994) zugrunde gelegt und in externer Zuarbeit durch LIANG TANG, München für ZEISS programmiert. Die positiven Erfahrungen mit PHODIS AT (BRAUN et al. 1996 & HARTFIEL 1997) führten dazu, dass diese Software auch unter der Regie von INTERGRAPH noch fortgeführt wurde (DÖRSTEL 1999 & DÖRSTEL et al. 2001).

1995 war damit PHODIS von ZEISS zu einem kompletten System für die digitale Photogrammetrie vervollständigt worden (MAYR et al. 1996):

- **PHODIS Basis**, Basisprogramm mit Datenmanagement, Interfaces etc. sowie automatischer innerer und relativer Orientierung von Bildern,
- **PHODIS SC**, automatisches Scannen von Bildern und ganzen Luftbildfilmen,
- **PHODIS AT**, automatische Aerotriangulation,
- **PHODIS ST**, digitaler Stereoplotter mit verschiedenen automatischen Messfunktionen,
- **PHODIS TS**, automatische Generierung von digitalen Höhenmodellen,
- **PHODIS OP**, automatische Entzerrung und Erzeugung von Orthophotos und Orthophotokarten,
- **PHODIS M**, interaktiver Arbeitsplatz für Monoplotting.

Diese Aufstellung zeigt den mit Ende des 20. Jahrhunderts erreichten weitgehenden Automatisierungsgrad der Photogrammetrie, insbesondere bei den für den Photogrammeter "stumpfsinnigen" Tätigkeiten (BRAUN 1997 & MAYR 1997). Das gibt ihm die Möglichkeit, sich zukünftig auf die interpretativen Aufgaben zu konzentrieren.

Bis zum Beginn des ZEISS/INTERGRAPH Joint Ventures Z/I IMAGING im Jahre 1999 waren bereits mehr als 200 Basis-Installationen von PHODIS ausgeliefert worden, die Zahl der Arbeitsplätze war erheblich grösser. Auch Z/I führte das Produkt PHODIS zunächst fort.

## 13. Terrestrische Photogrammetrie

Mit der terrestrischen Photogrammetrie hatte die Photogrammetrie bei ZEISS in Jena begonnen: Pulfrich hatte 1901 seinen ersten Stereokomparator, und fünf Jahre später die Stereometerkammer und das Stereometer als passenden Auswertekomparator, entwickelt. Nachdem ZEISS-AEROTOPOGRAPH 1934 in Jena die stereometrischen Doppelkammern DK 40 und DK 120 mit 55 mm-Normalwinkel-Objektiven vom Typ TESSAR für ein Film- bzw. Plattenformat von 6 cm x 9 cm vorgestellt hatte, begann man in Oberkochen ab 1955, in Zusammenarbeit mit Polizeidienststellen der Bundesrepublik eine neue, ähnliche Stereomesskammer zu entwickeln und bald darauf auch ein geeignetes Auswertegerät. Für die besonderen Belange der Verkehrsunfall-Abteilungen wurde auf einfache Handhabung von Aufnahme (bei jeder Witterung und bei Nacht) und Auswertung Wert gelegt.

### 13.1 Terrestrische Messkammern

1959 wurde zum 2. Internationalen Verkehrspolizei-Kongress in Essen erstmals über die Erfahrungen mit dem Prototyp einer Stereomesskammer berichtet. Aber erst im September 1960 wurde die Weitwinkel-Stereomesskammer SMK 120 (Bild 13.1), zusammen mit einem passenden Auswertegerät (siehe Kapitel 13.2), auf dem Internationalen Kongress für Photogrammetrie in London vorgestellt (HOTHMER 1960) und in einem Beitrag in Bildmessung und Luftbildwesen beschrieben (MEIER 1960b).

1960 bereits angekündigt, wurde die Stereomesskammer 1962 auch als SMK 40 vorgestellt. Die auf 40 cm verkürzte Basislänge war besser geeignet für z. B. die kriminalistische Tatortdokumentation und für Tierzuchtstudien, während die SMK 120 in der Architektur und eben vor allem bei der polizeilichen Unfallaufnahme zum Einsatz kam (BERLING 1969a & 1969b).

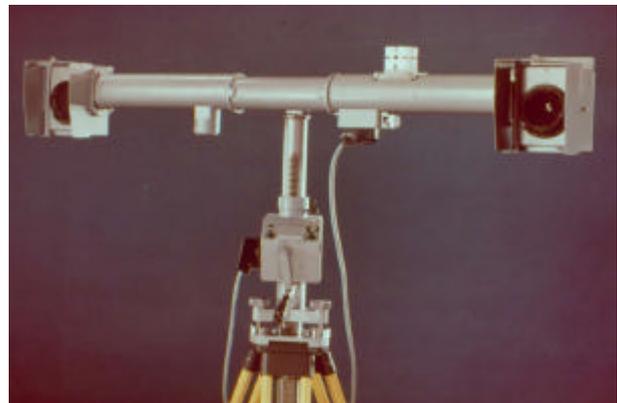


Bild 13.1: Stereomesskammer SMK 120 (1960)

Die wichtigsten Geräteparameter von SMK 120 und SMK 40 waren:

- *Basislänge: 120 cm bzw. 40 cm,*
- *Plattenformat: 9 cm x 12 cm, in handelsüblichen Plattenwechsellkassetten (Randstreifen enthielt Nebenabbildungen),*
- *Bildformat: 8 cm x 10 cm (Prototyp 8 cm x 8 cm),*
- *Objektiv: TOPOGON mit 60 mm Brennweite und festem Öffnungsverhältnis 1 : 11,*
- *Verschluss: COMPUR-Verschluss 1/400 sec - 1 sec,*
- *Aufnahmeentfernung: ca. 6 m bis 25 m (SMK 120) bzw. ca. 2,5 m bis 10 m (SMK 40).*

Speziell für Anwendungen wie z. B. in Architektur und Denkmalschutz (BRUCKLACHER 1972) war ein reichhaltiges Zubehör gedacht, um die Aufnahmerichtungen zu neigen ( $\pm 30$ ,  $\pm 70$ ,  $\pm 100$  gon), die Basis senkrecht zu stellen, oder für Innenraum-Aufnahmen einen synchronisierten Blitz einsetzen zu können (Bild 13.2).

Schliesslich wurde 1984 im Hinblick auf die automatische Auswertung von Karosserieaufnahmen mit PLANICOMP C 100 und INDUSURF (siehe Kapitel 11.3) noch ein Texturprojektor zur SMK 40 geschaffen (Bild 13.3).



Bild 13.2: SMK 120 und SMK 40 mit Zubehör



Bild 13.3: SMK 40 mit Texturprojektor (1984)

Schon bei der Premiere der SMK 120 wurde die verwendete photographische Messkammer auch als Einzelkammer TMK vorgestellt, um damit auch grossräumige Objekte und Aufnahmenentfernungen von über 25 m mit einer frei wählbaren Basis aufnehmen zu können. Die Terrestrische Messkammer TMK 6 besass damit die gleichen technischen Daten wie die SMK und damit das gleiche Weitwinkelobjektiv TOPOGON mit 60 mm Brennweite. Für die grossräumige terrestrische Anwendung waren zusätzliche Zieltafeln sowie manchmal ebenfalls die Neigbarkeit um feste, präzise Winkel erforderlich (Bild 13.4). Typische Anwendungen waren die Erfassung tektonischer Daten und andere geologische Aufgaben (ADLER et al. 1970) sowie der Talsperrenbau (BRUCKLACHER 1967a).

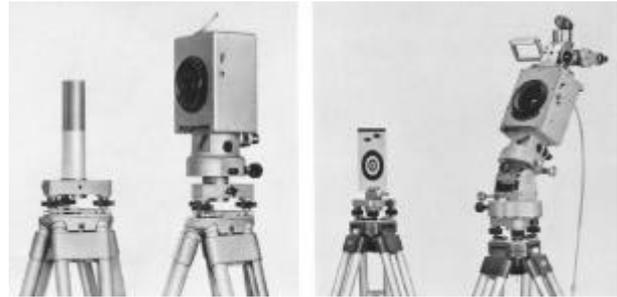


Bild 13.4: TMK 6 mit Zubehör

Auf dem Kongress 1972 in Ottawa wurde schliesslich noch eine TMK 12 mit dem Objektiv STEREOSTAR 8/120 und den Blenden 1 : 8, 1 : 11 und 1 : 16 und ansonsten mit den gleichen technischen Daten wie die TMK 6 vorgestellt. Damit konnte Forderungen entsprochen werden, auch bei grösseren Aufnahmeentfernungen keinen kleineren Bildmassstab als etwa 1 : 10 zu wählen, um zeichnerisch eine saubere Linienauswertung zu erreichen (BRUCKLACHER 1972).

Von den terrestrischen Messkamern wurden seit Lieferbeginn 1962 bis Mitte der 1980er Jahre insgesamt etwa 100 TMK (davon 80 % TMK 6) und 140 SMK (davon  $\frac{3}{4}$  SMK 120) ausgeliefert. Zu dieser Zeit stellten praktisch alle Instrumentenhersteller die Fertigung ihrer terrestrischen Messkamern ein, da mit den inzwischen verbreiteten analytischen Stereoauswertegeräten die Aufnahmen von preiswerten Teilmesskamern, also den mit Reseauplatten ausgestatteten Kameras z. B. der Firmen HASSELBLAD und ROLLEI, eine oft hinreichende Genauigkeit erzielt werden konnte.

### 13.2 TERRAGRAPH

So wie in Jena zusammen mit den stereometrischen Doppelkamern als Auswertegerät der Kleinautograph konstruiert worden war, entwickelte auch Oberkochen für seine beiden Stereomesskamern SMK 120 und SMK 40 ein Auswertegerät. Wieder entschied man sich für das bewährte v. OREL'sche Prinzip des Stereo-Autographen von 1911 und für die Beschränkung auf den Normalfall paralleler Aufnahmerichtungen senkrecht zur Stereobasis (MEIER 1960). Durch Kippung der Linealebene in eine geneigte Pultform ergab sich das markante Bild des, unter der Bezeichnung TERRAGRAPH bekannt gewordenen terrestrischen Auswertegerätes von CARL ZEISS, Oberkochen (Bild 13.5). Es wurde gemeinsam mit der Stereomesskammer 1960 in London vorgestellt und von 1963 bis 1984 in insgesamt 35 Exemplaren ausgeliefert.

Bild 13.6 zeigt das Prinzip des Vorwärtseinschnittes (rechts) und die Anordnung der Lineale (links). Die Bildträger waren mit zwei, den Vorwärtseinschnitt im Grundriss verkörpernden Richtungslinialen verbunden, die um feste Punkte (Projektionszentren) drehbar gelagert waren. Das Hebelverhältnis von Drehpunkt zu Bild-



Bild 13.5: TERRAGRAPH (1960)

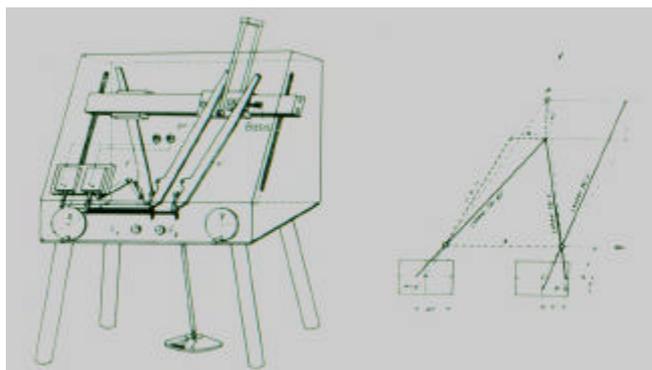


Bild 13.6: Funktionsschema TERRAGRAPH

punkt (gleich der festen Brennweite) bzw. zum Zeichenstift (Projektionsweite) entsprach dem Kartiermassstab. Die beiden Handräder bewegten die Lineale und damit die beiden Bilder in  $x$  und  $p_x$  und den Zeichenstift in  $x$  und  $y$ . Die Höhenverstellung mit der Fusscheibe ( $z$ ) verschob die Betrachtungsoptik gegenüber den Bildern über das Höhenlineal, wobei die Okulare ortsfest blieben. Die als Zeichenfläche benutzte Vorderfront des Gerätes war mit einem magnetischen Belag versehen (wie später auch bei PLANIMAT D 2 und Zeichentisch EZ 2), so dass das Zeichenpapier mit Stahllinealen befestigt werden konnte und damit unmittelbar im Blickfeld des Auswerters lag.

Die Geräteparameter des TERRAGRAPHEN waren:

- Bildformat: 9 cm x 12 cm Plattenformat (Hochformat), auswertbar 8 cm x 10 cm,
- Kammerkonstante: 52 mm - 67 mm,
- Basiseinstellung: 0 mm - 50 mm,
- Betrachtungsvergrößerung: 6-fach,
- Gesichtsfelddurchmesser: 15 mm,

- Messmarkendurchmesser: 0,1 mm,
- Modellbereich:  $x$ -Richtung  $\pm 250$  mm,  
 $y$ -Richtung: 60 mm - 610 mm,
- Grösse der Zeichenfläche: 50 cm x 60 cm,
- $z$ -Parallaxenschraube:  $\pm 4$  mm zum Ausgleich eines eventuellen Höhenunterschiedes zwischen beiden Aufnahmestandpunkten,
- Höhenmassstäbe: 1 : 10, 1 : 15, 1 : 20, 1 : 25, 1 : 30,  
1 : 40, 1 : 50, 1 : 75.

Die Brennweitereinstellung und die Höhenablesung erfolgten an, zwischen den Handrädern angeordneten, Zählwerken. Terrestrische Aufnahmen mit von 6 cm abweichender Brennweite mussten am TERRAGRAPH affin ausgewertet werden, für die TMK 12 ergab sich damit ein um den Faktor 2 gestauchtes Modell. Bei Ausgabe auf einen, ab 1964 anschliessbaren Externzeichentisch EZ 2 konnte das mit einer Getriebeübersetzung 2 : 1 kompensiert werden.

Für die Auswertung von um  $\pm 30$  gon oder  $\pm 70$  gon geneigten Aufnahmen wurde der TERRAGRAPH 1964 um den optionalen Profilineigungsrechner NR erweitert. Bild 13.7 zeigt den NR als Getriebezusatz am Ausgang zum mechanisch gekoppelten Externzeichentisch EZ 2. Das Bild zeigt ausserdem rechts die Drehmelder für den Anschluss des Einfachzeichentisches EZ 3.

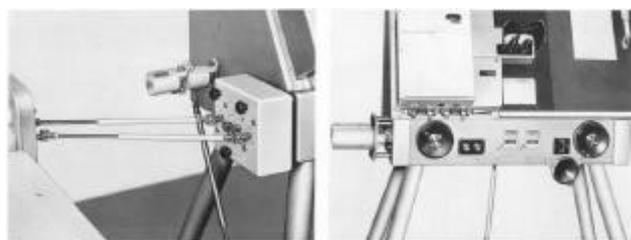


Bild 13.7: Neigungsrechner NR für mechanische Kopplung an EZ 2 (links) und Drehmelder-Anschluss an EZ 3 (rechts)

Ab 1972 wurde schliesslich noch der Universal-Neigungsrechner UNR angeboten (Bild 13.8).



Bild 13.8: Universal-Neigungsrechner UNR an TERRAGRAPH

Damit konnte die Kartierebene auf einem Externzeitentisch EZ 2, EZ 3 oder EZ 4 um einen beliebigen Winkel  $\varphi$  gedreht sein, entsprechend der Formel:

$$\begin{aligned}x &= x', \\y &= y' \cdot \cos \varphi - z' \cdot \sin \varphi, \\z &= z' \cdot \cos \varphi + y' \cdot \sin \varphi.\end{aligned}$$

Der UNR konnte sowohl am TERRAGRAPH über Drehmelder angeschlossen werden als auch am PLANIMAT, für den bereits seit 1969 ein terrestrischer Zusatz in Form von Zusatz-Armen für kurze Brennweiten (siehe Bild 10.22) verfügbar war.

### 13.3 Sonstiges

Ergänzend soll hier noch das Kleinentzerrungsgerät KEG 30 erwähnt werden (Bild 13.9), welches 1970 entwickelt wurde, um die um 30 gon geneigten Aufnahmen z. B. von Gebäudefassaden auf die Fassadenebene zu entzerren. Die Aufnahmen mit dem Format 9 cm x 12 cm wurden dabei auf Photoplatten des Formats 13 cm x 18 cm umgebildet und konnten dann gege-

benenfalls z. B. am Entzerrungsgerät SEG 5 feinentzerrt und vergrößert werden (BRUCKLACHER 1972). Das KEG 30 erlangte jedoch keine grosse Bedeutung.



Bild 13.9: Kleinentzerrungsgerät KEG 30 (1970)

Insgesamt hatte das Instrumentarium für die terrestrische Photogrammetrie keine grosse kommerzielle Bedeutung erlangt, und das bei allen Instrumenten-Herstellern. In der Blütezeit der frühen 1970er Jahre lag der Anteil am wertmässigen Photogrammetrie-Umsatz von ZEISS bei maximal 5 % p. a., der Anteil am Gesamtumsatz seit dem zweiten Weltkrieg bei etwa 1 %.

## 14. Sonderanwendungen

In diesem Abschnitt sollen die Entwicklungen beschrieben werden, die unter Nutzung der Erfahrungen mit hochauflösenden metrischen Kamern und mit der Stereoauswertung für Sonderanwendungen ausserhalb der eigentlichen Photogrammetrie entstanden sind. Das waren einerseits Messkamern für die in den 1960er und 1970er Jahren aktuelle Satellitengeodäsie, andererseits die Stereoauswertung von Röntgenaufnahmen und die Stereoprüfung von Industrieteilen. Schliesslich ist noch ein Versuch zu ergänzen, die in den 1970er Jahren gewonnene Erfahrung in der Entwicklung von Computer-Software in die Auswertung geodätischer Messungen einzubringen.

### 14.1 Ballistische Messkamern

Mit den ersten Erdsatelliten in den 1950er Jahren entstand auch das Interesse an der Satellitengeodäsie zur geodätisch-physikalischen Vermessung der Erde im Hinblick auf die Berechnung und Analyse von Satellitenbahnen. Für diese Bahnvermessung waren entsprechende Kamern entwickelt worden (z. B. die BAKER-NUNN-Kamera und die bewährte BC 4 von WILD). Auf der Basis der ab 1953 ausgelieferten RMK 21/18 befasste sich auch CARL ZEISS in Oberkochen mit der Konzeption einer solchen, auf den Himmel auszurichtenden Kamern und fertigte 1958 einige Ballistische Messkamern BMK 21/18 in azimutaler Montierung (Bild 14.1) für eine US-Systemfirma, die dann die Elektronik für Verschlusssteuerung und Zeitmessung ergänzte.



Bild 14.1:  
Ballistische  
Messkamern  
BMK 21/18  
(1958)

1964 waren für die Reihemesskamern RMK weitere Objektive, inzwischen mit A-Charakteristik, entwickelt worden und standen somit im Prinzip auch für die BMK zur Verfügung. Neben den Brennweiten 30 cm und 60 cm war darüber hinaus 1962 ein TOPAR 46 gerechnet worden. Und durch Verwendung einer parallaktischen Montierung der Oberkochener Astronomie-Abteilung, wie sie dort für den COUDÉ-Refraktor eingesetzt wurde, konnte die BMK nun auch äquatorial ausgerichtet und bei Bedarf automatisch der Erddrehung nachgeführt werden (AHREND 1964a). Auf dem Kongress in Lissabon wurde eine BMK A 30/23 mit parallaktischer Montierung gezeigt (Bild 14.2).



Bild 14.2: BMK 30/23 (1964)

Für die Aufgaben der dynamischen Geodäsie und der Netzverdichtung standen in den 1960er Jahren nur Satelliten mit geringer Helligkeit zur Verfügung. Deshalb entstand der Bedarf an ballistischen Kammeren mit grosser Öffnung und Brennweite. So entwickelte Bildmess die BMK 46/18/1:2 mit der enormen Öffnung 1 : 2, die 1969 an die Technische Universität Berlin, 1970 an die Universität Bonn und 1972 an die Universität Tainan / Taiwan ausgeliefert wurde. Diese Kammer war mit dem verzeichnungsarmen und hochauflösenden Objektiv ASTRO-TOPAR 2/460 für das Bildformat 18 cm x 18 cm und mit einem Bildwinkel von  $31^\circ$  ausgestattet. Die A-Charakteristik schloss die Wellenlänge 694 nm des für bestimmte Aufgaben zur Satellitenbeleuchtung eingesetzten Rubin-Lasers mit ein (SCHWEBEL 1970).

Bild 14.3 zeigt die BMK 46/18 in parallaktischer Montierung für die siderische Nachführung und den Elektronikschränk mit u. a. der auf 0,02 msec genau registrierenden Zeitmess-Station ZMS 2. Eine Wechselplattenautomatik für 6 Platten und ein wahlweise intermittierender Verschluss für Spurunterbrechungen der Satellitenbahn sind weitere Besonderheiten. Ein derart registrierter Satellitendurchgang ist in Bild 14.4 dargestellt.

Schon bald nach Auslieferung der BMK 46/18 wurde eine nochmals vergrösserte Brennweite verlangt und 1972 als BMK 75/18/1:2,5 mit einem ASTRO-TOPAR 2,5/750 und einem Bildwinkel von  $19^\circ$  zum Ottawa-Kongress angekündigt (Bild 14.5). Auf der Photogrammetrischen Woche 1973 berichtete der Leiter des Elektronik-Labors der Photogrammetrie, KARL FELLE, in einem Kurzreferat über diese Kammer. 1975 wurde sie an den Sonderforschungsbereich Satellitengeodäsie der TU München für das Geodätische Observatorium in



Bild 14.3: BMK 46/18 mit Steereinheit (1969)

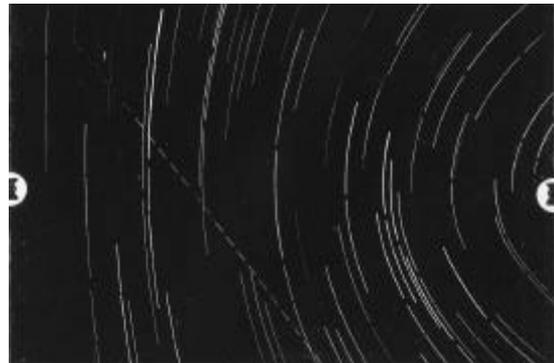


Bild 14.4: Aufnahme eines Satellitendurchganges



Bild 14.5: BMK 75/18 mit Steereinheit ZMS 3 (1972)

Wetzell sowie an die TU Graz ausgeliefert. Zu weiteren Lieferungen der BMK kam es nicht.

Bild 14.6 zeigt das elektrische Funktionsschema von BMK 46/18 und BMK 75/18.

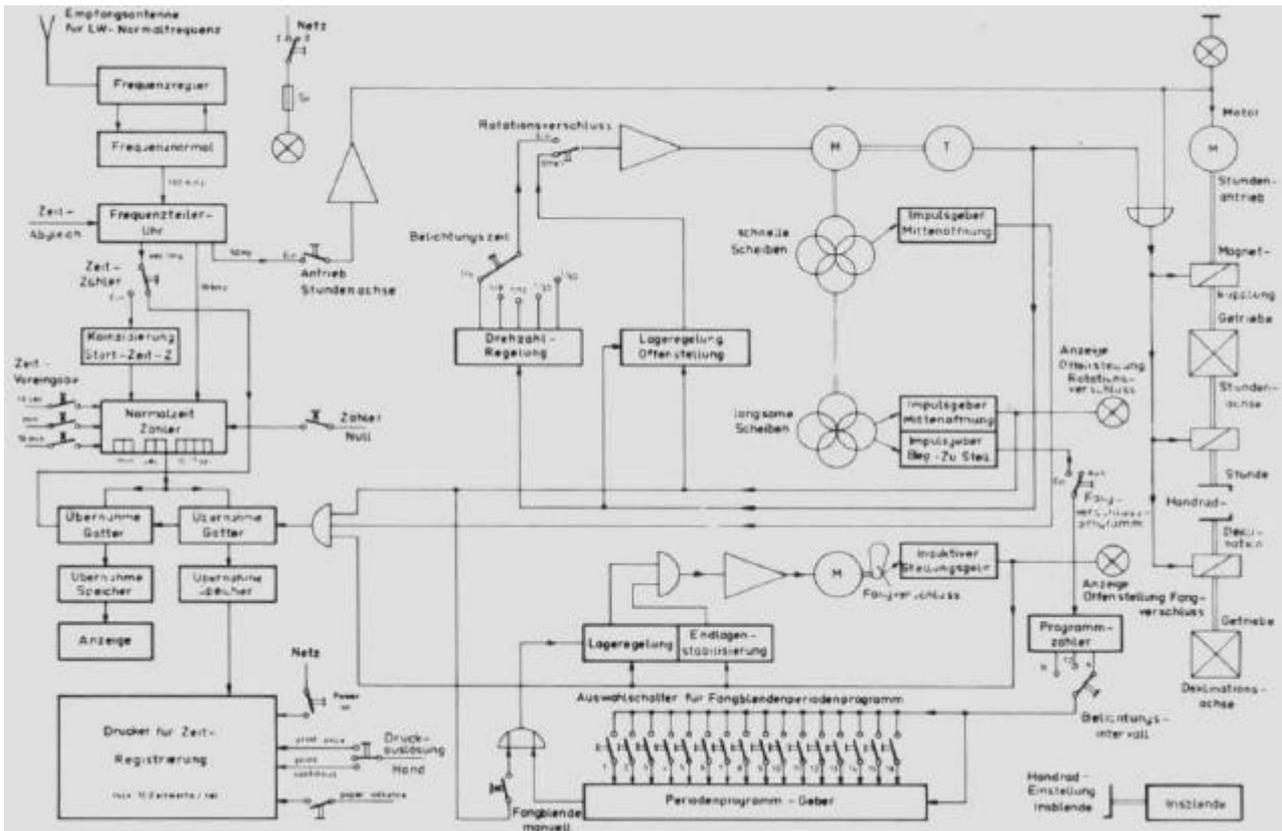


Bild 14.6: Funktionsschema von BMK 46/18 und BMK 75/18

### 14.2 Stereo-Röntgenkomparator StR

An der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule in Aachen hatte man sich in den 1960er Jahren mit der Stereoauswertung von Röntgenaufnahmen befasst und 1968 gelang es, CARL ZEISS in Oberkochen für den Bau eines entsprechenden Auswertegerätes zu interessieren. Auch Pulfrich hatte schon 1917 ein "Raumbildmessgerät für stereoskopische Röntgenbilder" entwickelt (Bild 14.7). Nachdem ZEISS im Leiter der Universitätsfrauenklinik Düsseldorf, Prof. Dr. med. H. GREUEL, einen engagierten und in der medizinischen Stereo-Röntgenbildmessung erfahrenen Berater gefunden hatte, begannen entsprechende Versuche. Eine von Aachen vorgeschlagene Lösung nach dem DEVILLE'schen Prinzip (Bild 14.8) stellte sich sehr bald als zu unhandlich und zu ungenau heraus.

Ausgehend von dem seit langem in Serienfertigung befindlichen STEREORET wurde schliesslich ein Gerät vom Typ Komparator gewählt und 1971 auf der Photogrammetrischen Woche als "Stereo-Röntgenkomparator StR" vorgestellt (MEIER 1971 & 1973a). Es war für ein Bildformat bis zu 40 cm x 40 cm so ausgelegt, dass das Grundgerät entweder als reines Betrachtungs-Stereoskop mit freiaugiger Ganzfeld-Betrachtung oder mit 3-fach-Vorsatzlupen (StR 1), oder zusätzlich mit in

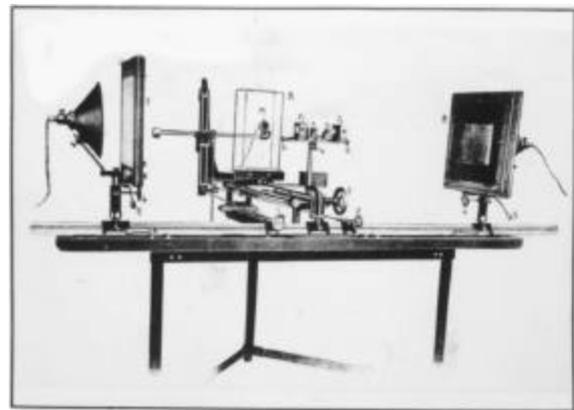


Bild 14.7: Röntgen-Raumbildmessgerät von PULFRICH (1918)



Bild 14.8: Röntgenauswertegerät nach dem DEVILLE'schen Prinzip (Funktionsmuster)

der Helligkeit regelbaren Messmarkenprojektoren und Massstäben und Nonien für die Ablesung der Bildkoordinaten  $x_1$ ,  $y_1$  und der Parallaxe  $p_x$  auf 0,1 mm genau (StR 2) angeboten werden konnte. Die zweite Stufe konnte darüber hinaus mit Inkrementalgebern und einem angeschlossenen Tischrechner ausgestattet werden (StR 3). In jedem Fall war ein Doppeleinblick für Simultanbeobachtungen für ärztliche Konsultationen vorgesehen (Bild 14.9).



Bild 14.9: Stereo-Röntgenkomparator StR 3 (1971)

Für den Anschluss an einen Tischrechner HP 9800 (später HP 9810) war eine einfache Elektronikeneinheit für Koordinatenzählung, -anzeige und (nach Fusstastenbetätigung) -übertragung konzipiert worden, die später zum DIREC 1 weiterentwickelt wurde (siehe Kapitel 9.1). Mit einfachen Rechenschritten konnten dann nach der Messung von zwei bzw. drei Punkten Strecken und Winkel berechnet werden. Als Aufnahmekonstanten waren vorab die Film-Fokus-Entfernung und die Stereobasis einzugeben. Im Gegensatz zu photographischen Aufnahmen liegt bei der Röntgen-Aufnahme das Objekt im "Bildraum", d. h. zwischen dem Fokus der Röntgenquelle und der Filmkassette, und zwar unmittelbar vor der Filmebene.

Trotz der mit dem StR 3 sehr gelungenen und auch für Mediziner verständlichen Gerätekonzeption, und auch trotz gleichzeitiger Publizierung ähnlicher Geräte-Entwicklungen an der Universität Göttingen, gelang der Stereophotogrammetrie in der Röntgen-Diagnostik (wie schon vor dem zweiten Weltkrieg) wiederum kein Durchbruch. Anscheinend ziehen es die Chirurgen vor, sich mit dem Skalpell unmittelbar am Objekt zu orientieren und zu informieren. Zwischen 1972 und 1979 gelang es nur, 18 Geräte zu verkaufen.

### 14.3 Differenzen-Sichtprüfgerät VITEST

Ein ähnlicher Misserfolg war 1976 die Entwicklung des Differenzen-Sichtprüfgerätes VITEST (Bild 14.10), welches auch als Gebrauchsmuster geschützt worden war (SEEH 1975). Stereoskopische Betrachtung vermittelt einen Raumeindruck, der sensibel für lokale Abwei-

chungen in einem der beiden Bilder ist. Dieser Effekt kann zur schnellen Aufdeckung von Unterschieden zwischen zwei Objekten führen, die eigentlich identisch aussehen sollten. Damit eignet sich dieses Prinzip ideal zur Feststellung von Abweichungen an Bauteilen wie z. B. Leiterplatten gegenüber einem fehlerfreien Kontrollmuster. Anstelle der durchaus geeigneten Stereobetrachtung wird dazu vorteilhafter ein "Wechselbild-Verfahren" angewendet, bei dem dann die Stellen mit Abweichungen "blinken" und damit sofort ins Auge fallen.

Im VITEST wurden Prüfling und Kontrollmuster über eine Zoomoptik mit wählbarer Vergrößerung (von 3- bis 17-fach) von einer Farbkamera erfasst und auf einen Monitor übertragen. Nach Ausrichtung beider Objekte und Anpassung der Helligkeit konnte der gemeinsame Objektschlitten feinfühlig verschoben werden.

Dieses, von der Firma SIEMENS an ZEISS herangetragene Vorhaben kam über 15 Geräte im Lieferzeitraum 1979 bis 1983 nicht hinaus.



Bild 14.10: Differenzen-Sichtprüfgerät VITEST (1976)

### 14.4 GEOS-1

Aufbauend auf den, in den 1970er Jahren in der photogrammetrischen Entwicklungsabteilung gesammelten Erfahrungen mit der Softwareentwicklung, und im Hinblick auf eine Markterweiterung für den neuen Digitalzeichentisch DZ 7 (siehe Kapitel 10.6), wurde im Mai 1980 das "Geodätische Auswerte- und Kartiersystem GEOS-1" eingeführt. Als ein Instrumentarium für die Auswertung und Ausgabe von geodätischen Daten wurde es zunächst auf einem Lehrgang "Automatisierte Verfahren in der Vermessungstechnik" an der Technischen Akademie in Esslingen vorgestellt und einige Monate später auch auf dem Geodätentag in Wiesbaden gezeigt (SCHWEBEL et al. 1980).

GEOS-1 diente zur Aufbereitung und Weiterverarbeitung vor allem der Messungen elektronischer Tachymeter (z. B. des ELTA 2 von CARL ZEISS, Oberkochen) und bestand aus einem umfangreichen Programmpaket, dem Tischrechner HP 9845 B und dem Digitalzeichentisch DZ 7 C von ZEISS (Bild 14.11). Die Datenübertragung zwischen Tachymetern und Auswertesystem erfolgte mittels Festkörperspeicher MEM der Feldgeräte und Datenumsetzer DAC 100 (im Bild links neben dem Rechner) bidirektional erfolgen. Alle Programme waren in der Programmiersprache BASIC geschrieben und mit offenen Schnittstellen für Erweiterungen versehen.



Bild 14.11: Geodätisches Auswerte- und Kartiersystem GEOS-1 (1980)

Die wesentlichen Funktionsgruppen der Software waren:

- *Umfangreiches und komfortables Programmsystem GAP für geodätische Berechnungen,*
- *Programmsystem TANA zur automatischen Auswertung von grossräumigen Tachymeteraufnahmen mittels Netzausgleichung für Lage und Höhe (externe Entwicklung durch LOTHAR GRÜNDIG, Universität Stuttgart),*
- *Zugriffsschnelle, projektbezogene Datenbank DACA zur Aufbereitung von Kartierdaten,*
- *Anwendungskartierprogramm MAP für geodätische Kartierung.*

Diese Entwicklung wurde von August 1978 bis Juni 1981 durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert (BÖTTINGER et al. 1981). GEOS-1 sollte insbesondere in kleineren Büros ohne Grossrechner den Datenfluss von der Messung bis zum Ergebnis ermöglichen. Da es also nicht in der Photogrammetrie seine Anwendung fand, soll es hier nicht ausführlicher beschrieben werden. Ausserdem wurde die weitere Entwicklungsbetreuung und Verwertung bald in andere Hände gegeben, um die Entwicklungskapazitäten für photogrammetrische Projekte zurückzugewinnen.

## 15. Fernerkundung & Aufklärung

Bereits in Jena waren mit der frühen Entwicklung der Flugzeuge und lenkbaren Luftschiffe aus der ersten, seit 1909 entstandenen Ballonkammer weitere Ballon- und Fliegerkammern geschaffen und für Erkundungszwecke im ersten Weltkrieg eingesetzt worden, teilweise mit Aufnahmebrennweiten von bis zu 120 cm. In der Folgezeit wurden, parallel zum Fortschritt bei den frühen Reihemesskammern RMK ab 1920, weitere Kameras für Beobachtungs- und Interpretationsaufgaben abgeleitet, u. a. auch terrestrische, stativgestützte Fernkameras mit Aufnahmebrennweiten von bis zu 3 m. Die 1931 entstandene Fliegerhandkammer HK 19 mit dem Bildformat 13 cm x 18 cm und wahlweise Film- oder Plattenwechselkassette, für die auch eine Senkrechtaufhängung angeboten wurde, war noch im zweiten Weltkrieg eine zu Tausenden produzierte und eingesetzte Aufklärungskamera. Schliesslich entstanden während des Krieges noch die Handkammer HKS (in Zusammenarbeit mit ZEISS-IKON), der Klein-Reihenbildner RMK S 6/7, sowie der Reihenbildner Rb 7/18, in dem das 1941 neu gerechnete Überweitwinkelobjektiv PLEON zum Einsatz kam.

Als dann CARL ZEISS, Oberkochen ab 1965 begann, wieder Kameras für Aufklärungszwecke zu entwickeln, konnte man auf eine lange Firmentradition zurückblicken. Zuvor hatte man bereits ab 1961 mit einem War-

tungsvertrag für Aufklärungskammern der amerikanischen Firma FAIRCHILD die Nachkriegserfordernisse für diese Anwendungen kennenlernen können. Und mit der 1967 abgeschlossenen Entwicklung der RMK-Überweitwinkelkammer als letztes Glied der RMK A-Familie hatte man auch ein erfahrenes Entwicklungsteam in den Startlöchern.

Obwohl die Aufklärungsaktivitäten später über lange Zeit in einer eigenen Entwicklungsabteilung bzw. in einem eigenen Produktbereich (jedoch immer im selben Geschäftsbereich Vermessung) geführt wurden, so sollen sie doch wegen der thematischen und personellen Verflechtung mit der Photogrammetrie in die vorliegende Dokumentation einbezogen werden. Während die Beschäftigung mit den Aufklärungskammern sehr erfolgreich war, blieben die wenigen Versuche, daraus Produkte für die Fernerkundung abzuleiten (Kapitel 15.3), nahezu erfolglos.

### 15.1 Reihenbildner KRb und TRb

Für Aufklärungszwecke waren neben langbrennweitigen Kameras für die Fernaufklärung mit dem Aufkommen der modernen Strahltriebflugzeuge vor allem auch sehr weitwinklige Ausführungen gefragt, um bei niedrigen Flughöhen ein möglichst grosses Bildfeld quer zur Flug-

richtung erfassen zu können. Für diese Aufgabe waren in den USA zunächst vor allem Panoramakameras entstanden, die diese Aufgabe mit Drehspiegeln erfüllten, wobei allerdings ein perspektivisch und dynamisch verzerrtes Bild entstand. Nachdem die Fa. CHICAGO AERIAL INDUSTRIES in den frühen 1960er Jahren die Aufklärungskamera KA-63A mit mehreren Objektiven anbot, schlug auch ZEISS in Oberkochen ein Konzept mit einem Fächer von drei, zueinander geneigten Objektiven gleicher Brennweite vor. Diese erfassten zusammen einen Bildwinkel von  $143^\circ$  quer zur Flugrichtung und erfüllten damit die Forderung, quer die sechsfache Flughöhe abzudecken. (Bild 15.1).

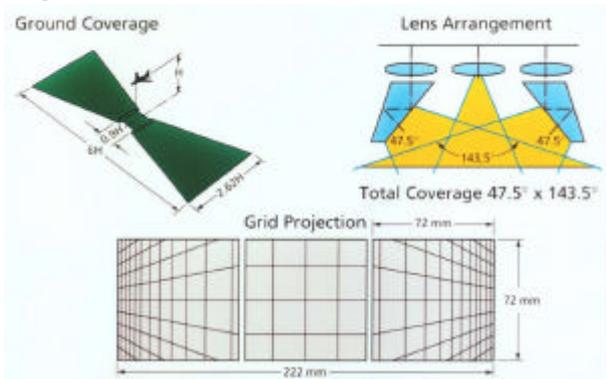


Bild 15.1: Aufnahmeschema der KRb 8/24 (Trilens)

1968 wurde der Prototyp des Hochleistungs-Kleinreihenbildners KRb 8/24 C potentiellen Interessenten vorgestellt, was dann auch nach einer Erprobung zu einem ersten Grossauftrag führte. Die KRb 8/24 C war für einen unbemannten Flugkörper konstruiert und musste in eine "Drohne" (heute mit UAV für "Unmanned Air Vehicle" bezeichnet) der Fa. CANADAIR mit einem Durchmesser von nur 33 cm passen. Später folgten weitere Aufträge von entsprechend weiterentwickelten Versionen des gleichen Kameratyps (KRb 8/24 D, KRb 8/24 Dm und KRb 8/24 F), die sich jedoch äusserlich kaum unterschieden (Bild 15.2 & 15.3). Nur die späteren flugzeuggestützten Versionen KRb 8/24 E und "KS-153A Trilens" waren räumlich nicht so sehr eingengt und sahen deshalb anders aus (siehe Kapitel 15.2).

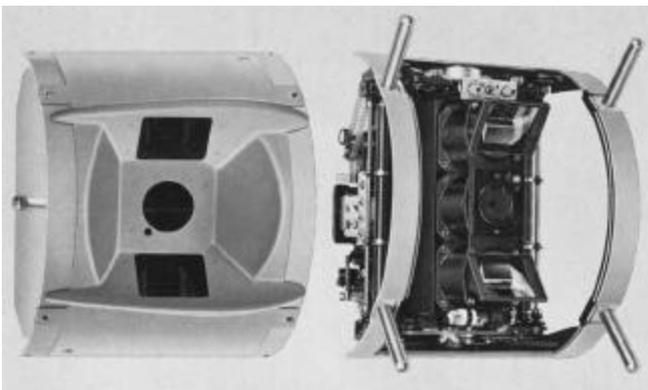


Bild 15.2: Kleinreihenbildner KRb 8/24 C (1968)



Bild 15.3: Kleinreihenbildner KRb 8/24 F (1989)

Die Klein-Reihenbildner von ZEISS zeichneten sich u. a. aus durch einen patentierten, winkeltreuen Bildwandausgleich auch für den schnellen Tiefflug (PRINZ 1984), durch eine hohe Bildfolge und durch Nachttauglichkeit mittels einer Synchronisationsmöglichkeit mit Elektronenblitzlicht oder Kartuschenabschuss. Die Weiterentwicklungen betrafen jeweils hauptsächlich die Steigerung im Hinblick auf Bildfolge und Winkelgeschwindigkeit sowie die Kapazität der Filmkassetten.

Die wesentlichen Leistungsdaten z. B. der KRb 8/24 C bzw. 8/24 E waren:

- *Objektiv:* 3 x ZEISS TOPAR AS 2/80,
- *Brennweite:* 80 mm,
- *Blendenöffnung:* 1 : 2 bis 1 : 16,
- *Achsneigung zueinander:*  $47,5^\circ$ ,
- *Bildwinkel:*  $48^\circ$  längs und quer zur Flugrichtung,  $143^\circ$  quer zur Flugrichtung insgesamt,
- *Bildformat:*  $71,5 \text{ mm} \times 71,5 \text{ mm}$ ,
- *Belichtungszeit:*  $1/150$  bis  $1/2000 \text{ sec}$ ,
- *Filter:* z. B. Orange (ZEISS D) und gelb (ZEISS B),
- *Bildfolge:* max. 4 Bilder/sec  
[KRb 8/24 E: max. 5 Bilder/sec],
- *Bildwandausgleich:* durch Filmbewegung, winkeltreu über das gesamte Bildformat,
- *kompenzierte Winkelgeschwindigkeit (v/h):*  $1,4 \text{ rad/sec}$   
[KRb 8/24 E: max.  $3,6 \text{ rad/sec}$ ],
- *Filmbreite:* 9,5 " (240 mm),
- *Filmlänge:* 50' (15 m), [KRb 8/24 E: 167' (51 m) bei einer Filmdicke von 4 mil (0,1 mm) bzw. 242' (74 m) bei 2,5 mil (0,06 mm) in kleiner Filmkassette, in grosser jeweils das 2,5-fache],
- *Abmessungen:* 330 x 330 x 264 mm,  
[KRb 8/24 E: 422 x 443 x 504 mm],
- *Gewicht:* 11,6 kg, [KRb 8/24 E: 50 kg].

Neben der, auch bei zivilen Messbildflügen üblichen Filmdicke von 0,1 mm wurden im Aufklärungsbereich auch besonders dünne Filme eingesetzt. Das war notwendig, da für die Tageslicht-Filmkassetten - wie für die Klein-Reihenbildner selbst - nur sehr wenig Platz zur Verfügung stand. Die dünnen Filme wiederum erforderten wegen der hohen dynamischen Beanspruchung besondere Massnahmen beim Filmtransport (PRINZ 1975 & TULL et al. 1989).

Die Forderung, in möglichst engen Mass- und Gewichtsgrenzen eine leistungsstarke, vorprogrammierte oder fernbediente Mehrbildkamera unterzubringen, stellte die Konstrukteure von Mechanik und Elektronik vor extreme Schwierigkeiten (Bild 15.4).



Bild 15.4: Klein-Reihenbildner KRb 8/24 Dm, ohne Gehäuse

Nicht viel grösser waren die späteren Aufklärungsbehälter, die als Nutzlast aussen unter Jagdflugzeuge gehängt werden. Und dennoch sollte die Kamera für eine einfache Bedienung und schnelle Wartung modular aufgebaut sein (Bild 15.5).

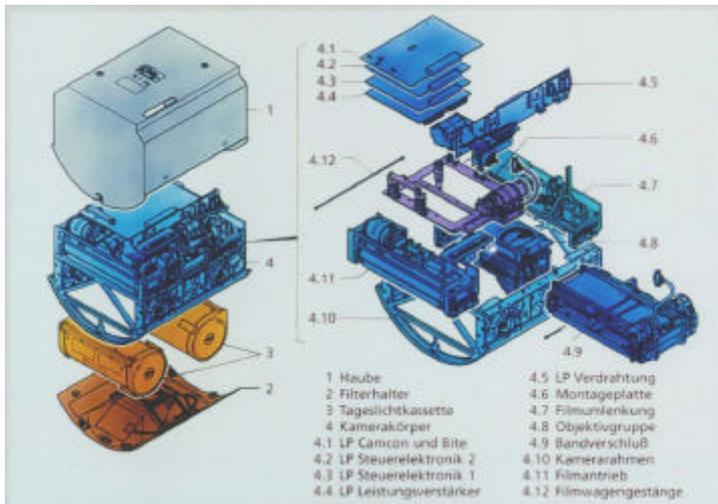


Bild 15.5: Module des Klein-Reihenbildners KRb 8/24

Zur Lieferung von Aufklärungssystemen an militärische Kunden gehörte nicht nur die Kamera selbst, sondern auch einfach zu handhabende Bediengeräte, Test- und Prüfgeräte, ein Ersatzteilverrat sowie umfangreiche Ausbildungen und Schulungen. Bild 15.6 zeigt links oben für die flugzeuggestützte Kamera KRb 8/24 E das Testgerät, welches auch während der Mission die Status- und Fehlersignale des "Built-in-test-equipment"

(BITE) auslesen konnte, und links unten den Simulator, der am Boden das einwandfreie Zusammenspiel mit einem übergeordneten Steuersystem prüfen liess. Auf der rechten Seite ist oben die zentral im Flugzeug platzierte generelle Bedieneinheit und unten die vereinfachte Pilotenversion, an der nur die Wahl von Tag-/Nachtbetrieb und die Start/Stop-Auslösung erfolgte, gezeigt.



Bild 15.6: Test- und Bediengeräte für den KRb 8/24

Die für die CANADAIR-Drohne bestimmte KRb 8/24 C wurde als KA-105A (entsprechend der in Nordamerika üblichen Benennung der militärisch eingesetzten Kameras) zwischen 1969 und 1975 insgesamt in über 400 Exemplaren ausgeliefert und in mehreren Nato-Staaten eingesetzt. Zum Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Ottawa wurde die KRb 8/24 C erstmals von ZEISS in einer zivilen Ausstellung gezeigt, zusammen mit einer abgeleiteten Multispektralkamera (siehe Kapitel 15.3). Zwischen 1978 und 1982 folgten noch 10 Systeme einer weiterentwickelten KRb 8/24 D für eine verbesserte Drohne. Im August 1982 wurde auch einer der wenigen öffentlichen Vorträge zu den Aufklärungssystemen von CARL ZEISS, Oberkochen auf dem "SPIE-Congress on Airborne Reconnaissance" in San Diego gehalten (DREYER 1986).

Mitte der 1970er Jahre trat die Forderung nach einem Klein-Reihenbildner für den Flugzeugeinsatz auf, der den ganzen Bereich von Horizont zu Horizont abdeckt. Angesichts der optischen Forderungen ergaben die internen Untersuchungen bei ZEISS, dass eine Anordnung mit 5 Objektiven und dem Einzelbildformat 40 mm x 50 mm am geeignetsten ist (Bild 15.7). Ab 1976 entstand ein Prototyp des Klein-Reihenbildners KRb 6/24, Bild 15.8 zeigt einen Filmausschnitt mit einer so gewonnenen Querüberdeckung von 182,7°.

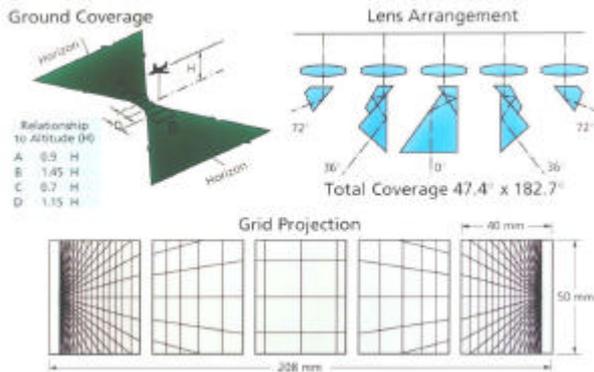


Bild 15.7: Aufnahmeschema der KRb 6/24 (Pentalens)

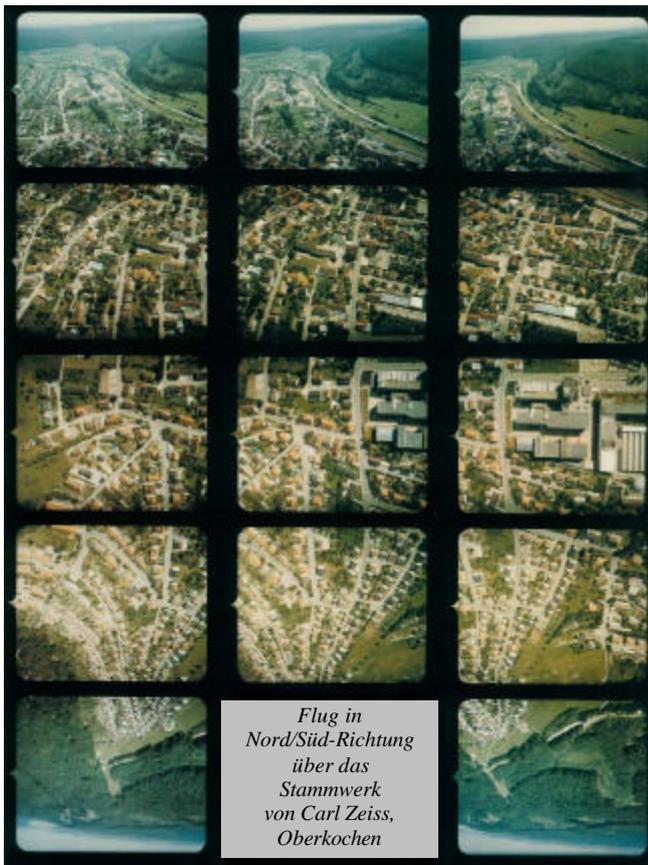


Bild 15.8: Bildbeispiel der KRb 6/24 (Pentalens)



Bild 15.9:

Klein-Reihenbildner KRb 6/24  
bzw. KA-106A (1979)

Die wesentlichen Leistungsdaten der KRb 6/24 (Bild 15.9) waren für den Prototyp bzw. für das spätere Seriengerät, welches bei den Kunden die Bezeichnung KA-106A bekam:

- *Objektiv:* 5 x ZEISS TOPAR AS 2/57,
- *Brennweite:* 57 mm,
- *Blendenöffnung:* 1 : 2 bis 1 : 16,
- *Achsneigung zueinander:* 36,0°,
- *Bildwinkel:* 47,4° längs zur Flugrichtung,  
38,7° quer zur Flugrichtung,  
182,7° quer zur Flugrichtung insgesamt,
- *Bildformat:* 50 mm x 40 mm,
- *Belichtungszeit:* 1/150 bis 1/2000 sec,
- *Filter:* z. B. Orange (ZEISS D) und gelb (ZEISS B),
- *Bildfolge:* max. 6 Bilder/sec  
[KA-106A: max. 7 Bilder/sec],
- *Bildwanderungsausgleich:* durch Filmbewegung,  
winkelkorrekt über das gesamte Bildformat,
- *kompensierte Winkelgeschwindigkeit (v/h):* 2,0 rad/sec  
[KA-106A: max. 5,0 rad/sec],
- *Filmbreite:* 9,5 " (240 mm),
- *Filmlänge:* 242' (74 m), [KA-106A: 167' (51 m) bei  
einer Filmdicke von 4 mil (0,1 mm) bzw. 242' (74 m)  
bei 2,5 mil (0,06 mm) in kleiner Filmkassette,  
in grosser jeweils das 2,5-fache],
- *Abmessungen:* 326 x 390 x 442 mm,  
[KA-106A: 492 x 390 x 504 mm],
- *Gewicht:* 35 kg, [KA-106A: 50 kg].

Ebenfalls ab etwa 1976 wurde die Entwicklung des Tele-Reihenbildners TRb 60/24 begonnen, so dass 1979 mit der dreilinsigen KRb 8/24 E (Trilens), der fünf-linsigen KRb 6/24 (Pentalens) und dem langbrennweitigen TRb 60/24 (Telelens) eine vollständige Familie von Aufklärungskameras entstanden war. (Ein weiteres Konzept für eine sehr kompakte "Strike Camera" mit dem Arbeitstitel SRb 8/7 wurde nicht realisiert. Ein wesentliches Merkmal wäre eine Abdeckung in Flugrichtung von 180° gewesen, mit winkeltreuer Bildwanderungsausgleich und einer Brennweite von 80mm.)

Im Zeitraum von 1979 bis 1984 wurden aus diesem Programm etwa 75 Einheiten verkauft, darunter der KRb 8/24 E als KA-107A in ein Aufklärungssystem des Kanadischen Militärs, der KRb 6/24 als KA-106A für das Aufklärungsflugzeug RF-104G (Starfighter) der Deutschen Marine, und der TRb 60/24 als KA-108A für die Flugzeugtypen RF-104G und MRCA (später TOR-NADO genannt).

Wesentliches Merkmal der langbrennweitigen Ausführung TRb 60/24 (Bild 15.10) war die Schwenkbarkeit des Objektivs mit dem geknickten Strahlengang, so dass beim üblichen Längseinbau die Blickrichtung vom linken bis zum rechten Horizont während des Fluges beliebig ausgerichtet werden konnte (Bild 15.11).



Bild 15.10: Tele-Reihenbildner, hier bereits in der Version KS-153A/610mm

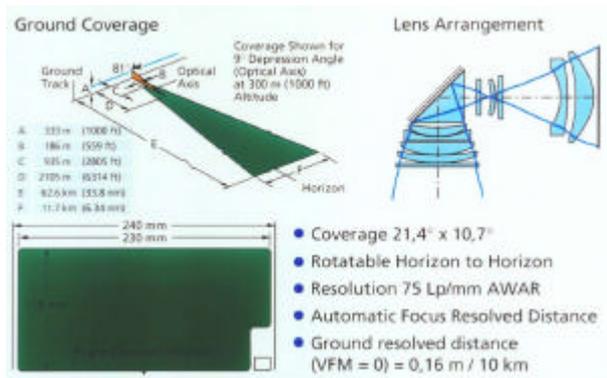


Bild 15.11: Aufnahmeschema von TRb 60/24 bzw. KS-153A / 610mm

Die wesentlichen Leistungsdaten der frühen Version TRb 60/24 (KA-108A) bzw. der späteren Ausführung KS-153A/610mm waren:

- **Objektiv:** ZEISS TELIKON A 4/612, [KS-153A: TELIKON A1 4/610],
- **Brennweite:** 612 mm, [KS 153: 610 mm],
- **Schwenkbereich:** -90° bis +90°,
- **Bildwinkel:** 10,7° längs zur Flugrichtung, 21,4° quer zur Flugrichtung,
- **Bildformat:** 115 mm x 213 mm, [KS-153A: 115 mm x 230 mm],
- **Belichtungszeit:** max. 1/1000 sec, [KS-153A: 1/150 bis 1/2000 sec],
- **Filter:** z. B. gelb (ZEISS B),
- **Bildfolge:** max. 4 Bilder/sec,
- **Bildwanderungsausgleich:** durch Filmbewegung, winkeltkorrekt über das gesamte Bildformat,
- **kompensierte Winkelgeschwindigkeit (v/h):** nicht angegeben, [KS-153A: max. 7,87 rad/sec, geringer bei Längsüberdeckung],
- **Filmbreite:** 9,5 " (240 mm),
- **Filmlänge:** 250' (75 m), [KS-153A: 125' (38 m) bei einer Filmdicke von 4 mil (0,1 mm) bzw. 200' (61 m) bei 2,5 mil (0,06 mm) in kleiner Filmkassette, in grosser jeweils das 2,5-fache],

- **Abmessungen:** 736 x 417 x 400 mm, [KS-153A mit grosser Filmkassette: 883 x 427 x 491 mm],
- **Gewicht:** nicht angegeben, [KS-153A: 110 kg].

Auch für den TRb waren zur Lösung der mechanischen Anforderungen Innovationen erforderlich gewesen (PRINZ 1980).

Ebenso wie 1984 für die KS-153A/610mm ein verbessertes Objektiv TELIKON A1 4/610 zur Verfügung stand, so waren auch für die Trilens und Pentalens die neuen Objektive ZEISS S-TOPAR A1 2/80 und ZEISS S-TOPAR A2 2/57 gerechnet und mit erheblich verbesserter Abbildungsleistung eingeführt worden. Und die mögliche Transportgeschwindigkeit des Films für den Bildwanderungsausgleich hatte nochmals um etwa den Faktor 2 gesteigert werden können auf jetzt maximal 570 mm (Pentalens), 800 mm (Trilens) bzw. 1.300 mm (Telelens). Auch die Test- und Prüfmöglichkeiten waren weiter verbessert und teilweise automatisiert worden (Bild 15.12).



Bild 15.12: KS-153A mit automatischem Prüfgerät LM-230A

1984 waren diese drei Reihenbildner unter der Bezeichnung KS-153A offiziell als System in die Familie der von den USA eingesetzten militärischen Kameras aufgenommen worden. Anschliessend wurden von der KS-153A/80mm (Trilens) zahlreiche Einheiten für das Aufklärungsflugzeug RF-4B von MCDONELL DOUGLAS an das U.S. Marine Corps geliefert, ebenso eine grosse Zahl der KS-153A/610mm (Telelens) für die Aufklärungsversion des TORNADO bei der Italienischen und Deutschen Luftwaffe.

## 15.2 Modulares Aufklärungssystem KS-153

Bald nach diesen Auslieferungen hatte die "Entwicklung Luftbildspezialsysteme" damit begonnen, diese drei Reihenbildner zu einem modularen Aufklärungssystem mit der Bezeichnung "KS-153" umzukonstruieren. Mit den Komponenten dieses modularen Systems (Bild 15.13) konnten, wie in einem Baukasten, aus den drei unterschiedlichen Objektiv-Stützen Trilens, Pentalens und Telelens alle drei bisherigen Kamera-Versionen gebildet werden (Bild 15.14).



Bild 15.13: Systemkomponenten des modularen Aufklärungssystem KS-153 (1994)



Bild 15.14: KS-153 in der Ausführung Trilens und Pentalens

Die Leistungsparameter der drei Ausführungen waren im Wesentlichen unverändert geblieben. Zusätzlich war ein Belichtungsmesser auch als elektronischer Sucher eingeführt und patentiert worden (RAASCH 1996). Mit diesen Kameras wurden Zusatzbehälter zum TORNADO der Deutsche Luftwaffe ausgestattet (Bild 15.15).

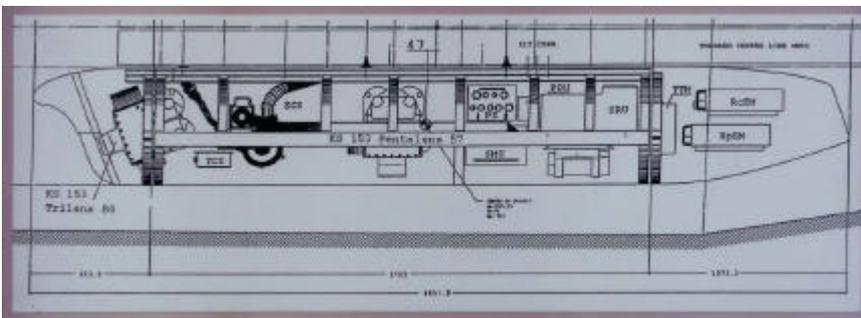


Bild 15.15: Schema des Aufklärungscontainers ("Recce Pod") mit u. a. der KS-153 Trilens und Pentalens

Für diesen "Reconnaissance Pod" (kurz "Recce-Pod") wurden in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre von dieser letzten Entwicklungsstufe der Oberkochener Aufklärungskameras mehrere Dutzend von vollständigen Kamera-Paaren von KS-153 Trilens 80 und Pentalens 57 geliefert. Im Recce-Pod war die Trilens 57 um 21° geneigt nach vorn schauend eingebaut, die Pentalens 80 in der Mitte nach unten schauend, sowie ausserdem ein Wärmebild-Abtaster der Fa. HONEYWELL (N.N. 1999). Bild 15.16 zeigt die Vorbereitung des "Recce Pod" am Boden.

Die zuletzt genannten Recce-Pods wurden in den Folgejahren wiederholt in der Tagespresse erwähnt, auch im Zusammenhang mit zivilen Einsätzen.



Bild 15.16: Wartung des "Recce Pod" zum TORNADO

Dass die Aufnahmen der ZEISS-Kleinreihenbildner trotz des Schlitzverschlusses vor der Bildebene und der grossen Dynamik der Bildwanderungskompensation durchaus für einfache photogrammetrische Auswertungen genutzt werden konnten, wurde bereits 1979 von der Technischen Universität München gezeigt (EBNER et al. 1980a).

### 15.3 Fernerkundung

Während der Entwicklung des Klein-Reihenbildner KRb 8/24 C entstand angesichts der zunehmenden Erörterungen zum Thema "Remote Sensing" als eine zivile Form der Fernerkundung für vor allem biologische und landwirtschaftliche Aufgabenstellungen in Oberkochen die Überlegung, eine zivile Kameraversion für Intergretationszwecke abzuleiten. Als Ergebnis wurde 1972 auf dem Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Ottawa, zusammen mit der KRb 8/24 C, ein Funktionsmuster der Multispektralkamera MUK 8/24 vorgestellt, bei der die drei Objektive parallel angeordnet waren und mit unterschiedlichen Filtern versehen werden konnten (Bild 15.17).



Bild 15.17: Multispektralkamera ZEISS MUK 8/24 mit Adapter und RMK-Aufhängung AS II (1972)

Die wesentlichen Leistungsdaten der MUK 8/24 waren:

- *Objektiv: 3 x ZEISS TOPAR AS 2/80, parallel angeordnet,*
- *A-Charakteristik: korrigiert für Aufnahmen auf panchromatischen Film, Infrarotfilm, Farbfilm und Falschfarbenfilm,*
- *Brennweite: 80 mm,*
- *Blendenöffnung: 1 : 2 bis 1 : 16,*
- *Filter: Standardfilter für die Spektralbereiche grün, gelb-orange, rot und infrarot,*
- *Bildwinkel: 48°, 64° diagonal,*
- *Bildformat: 71,5 mm x 71,5 mm,*
- *Belichtungszeit: 1/100 bis 1/2000 sec,*
- *Bildfolge: 0,25 bis 3 sec in Stufen, max. 4 Bilder/sec,*
- *Filmbreite: 9,5 " (240 mm),*
- *Filmlänge: 20 m bei einer Filmdicke von 0,1 mm,*
- *Abmessungen: 340 x 270 x 250 mm,*
- *Gewicht: 12 kg mit Film.*

Bei entsprechender Längsüberdeckung konnten damit jeweils aufeinander folgende Bilder stereoskopisch betrachtet und vereinfacht ausgemessen werden. Mit einem flugfähigen Muster der MUK 8/24 wurden von 1972 bis 1974 zusammen mit Kunden zahlreiche Erprobungsflüge durchgeführt, um u. a. die Flugtauglichkeit zu optimieren und für die verschiedenen Anwendungen die optimalen Filterkombinationen zu bestimmen. Diese Entwicklung wurde, wie auch die nachfolgend beschriebene Entwicklung einer Streifenkammer, von November 1972 bis Dezember 1978 durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie gefördert und in einem Abschlussbericht beschrieben (MEIER 1979).

Zusätzlich zur MUK 8/24 wurde auch das Funktionsmuster einer Streifenkammer SK 2 entwickelt (Bild 15.18). Diese nahm den überflogenen Geländestreifen kontinuierlich auf photographischen Film auf. Der Film bewegte sich dabei stetig hinter einem Spalt mit einer Geschwindigkeit, die der Geschwindigkeit des auf den Spalt projizierten Geländes entsprach.

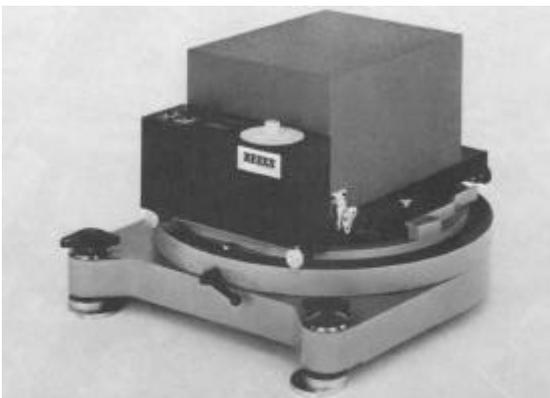


Bild 15.18: Streifenkamera ZEISS SK 2 und RMK-Aufhängung AS II (1973)

Auf diese Weise wurde mit einem einfachen mechanischen Aufbau eine Kompensation der Bildwanderung erreicht und damit auch bei längeren Belichtungszeiten von z. B. 1/15 sec ein scharfes Bild ermöglicht. Die Bildgeometrie war wie bei einem Linescanner eine Parallelprojektion in Flugrichtung und eine Zentralprojektion quer dazu.

Die wesentlichen Parameter der SK 2 waren:

- *Objektiv: ZEISS BIOGON 4,5/53, als Wechseloptik, bzw. alternativ ZEISS UV-SONNAR 4,3/105,*
- *Brennweite: 53 mm bzw. 105 mm,*
- *Blendenöffnung: 1 : 4,5 (bzw. 1 : 4,3) bis 1 : 32,*
- *Bildwinkel: 95° bzw. 57°,*
- *Bildbreite: 115 mm,*
- *Belichtungszeit: 3 Spaltbreiten 0,1 mm, 0,2 mm, 0,4 mm,*
- *Bildfolge: 0,25 bis 3 sec in Stufen, max. 4 Bilder/sec,*
- *Winkelgeschwindigkeit (v/h): 0,019 bis 0,70 rad/sec, [UV-SONNAR: 0,010 bis 0,35 rad/sec],*
- *Filmgeschwindigkeit: mit 24-Stufen-Schalter in zwei Bereichen einstellbar, 1 mm/sec bis 10 mm/sec und 5 mm/sec bis 37 mm/sec,*
- *Filmbreite: 5 " (127 mm),*
- *Filmlänge: 60 m Estar Thin Base (Filmdicke 0,07 mm).*

Mit einem Muster der SK 2 wurden von 1973 bis 1976 mehrere Testflüge bei Kunden durchgeführt, in einem Fall parallel zu einem Mikrowellensensor. Wie bei nicht-rollkorrigierten Linescannern störten für bestimmte Interpretationsaufgaben die Verzerrungen. Um das zu vermeiden, hätte die SK 2 in einer stabilisierten Plattform aufgehängt werden müssen. Beide Entwicklungen zur Fernerkundung, die MUK 8/24 und die SK 2 wurden jedoch nicht weitergeführt, da einerseits die für Luftbild- und Aufklärungskammern tätige Entwicklungsmannschaft mit dringenderen Projekten ausgelastet war, andererseits die Marktperspektive für spezielle photographische Fernerkundungskameras angesichts der Fortschritte bei den elektro-optischen Sensoren und bei den satellitengestützten Systemen (FAUST 1977) als nicht ausreichend erachtet wurde.

Bereits in den Jahren 1971 und 1972 war im Bereich auch ein luftgestützter Laserscanner zur Geländeabtastung, heute als "Airborne Lidar" verbreitet, entwickelt und in Laborversuchen erprobt worden (REICHE 1973, KÖHLER 1983), und um 1976 wurde an einer Infrarotscanner-Studie namens MIRAS gearbeitet. Aber auch diese Arbeiten wurden seinerzeit, teils als "zu früh für den Markt" beurteilt, wieder eingestellt.

Erst wieder um 1990 befasste sich die Abteilung "Entwicklung Luftbild-Spezialsysteme" erneut mit dem Thema Fernerkundung. Zu dieser Zeit (die RMK TOP war gerade eingeführt worden), wurde bereits deutlich, dass zukünftige Sensorentwicklungen die elektro-

optische Technologie einsetzen würden, beginnend zunächst für die Fernerkundung, später dann auch für photogrammetrische Luftbildkameras (siehe Kapitel 7.8). Deshalb begann man mit einer "EO-Studie", die dann aber ab Herbst 1991 bei der ZEO (ZEISS ELTRO OPTRONICS GmbH) als Oberkochener Tochterunternehmen von ZEISS, unter "Mitnahme" des Projektleiters, weitergeführt wurde. Nachdem der traditionelle ZEISS-Bereich für militärische Sonderoptik zwischenzeitlich in der ZEO mit wechselnden Partnern als Gemeinschaftsunternehmen betrieben worden war, war er zuletzt als CARL ZEISS OPTRONICS GmbH wieder ein 100%iges Tochterunternehmen von ZEISS. Damit gehörte dieses Geschäftsfeld, ebenso wie der Produktbereich Photogrammetrie, wieder vollständig zum Unternehmensbereich Optisch-Elektronische Systeme (OES-UB). Deshalb soll das dort aus der genannten EO-Studie hervorgegangene, von einem vormaligen Photogrammetrie-Mitarbeiter verantwortete elektro-optische Kamerasystem VOS 60 in die vorliegende Beschreibung mit einbezogen werden. Über beides wurde 1995 auf der Photogrammetrischen Woche berichtet (CLAUS 1995).



Bild 15.19: Digitales Farbvideo-Beobachtungssystem VOS-60

Die elektro-optische Kamera VOS 60 (Bild 15.19) bestand im wesentlichen aus einem ZEISS-Objektiv mit 80 mm Brennweite, einem CCD-Detektor mit  $3 \times 6.000$  Pixel für die Farben rot-grün-blau, der Steuerelektronik und einem Monitor für die Online-Anzeige während des Fluges. Die VOS 60 (Video Sensor Open Skies) fand ihre erste Anwendung im 1992 beschlossenen Open Skies-Abkommen zur Überwachung der Abrüstung am Ende des kalten Krieges. Im Rahmen dieses Vorhabens rüstete die Deutsche Luftwaffe eine TUPOLEV TU 154M aus militärischen DDR-Beständen bis 1995 zu einem Überwachungsflugzeug um, mit folgender Sensorausstattung:

- 3 Stück der Luftbildmesskammer LMK 2015 mit Filtereinsatz und stabilisierter Aufhängung von CARL ZEISS in Jena, Brennweite 152 mm, Bildformat  $228 \times 228$  mm, Bildwinkel je Kamera  $90^\circ$ , Bodenauflösung vertraglich

auf 30 cm begrenzt, für die Aufgabe der Photogrammetrie in Nadir und Seitensicht und für das Erkennen, Identifizieren und Kalibrieren,

- 3 Stück der elektro-optischen Kamera VOS-60 von CARL ZEISS in Oberkochen mit  $3 \times 6.000$  Pixel, Bildwinkel  $60^\circ$ , als Primärsensor für geringe Flughöhe zum Entdecken, Beobachten in Echtzeit, als Auswertungsunterstützung und als Bildsucher für die Kameras,
- 1 Stück Panoramakamera A 84 von der Fa. ZENITH in Russland mit Brennweite 300 mm, Bildgröße  $118 \times 748$  mm, Bildwinkel  $20^\circ \times 143^\circ$ , Bodenauflösung vertraglich begrenzt auf 30 cm, mit automatischer Belichtungseinstellung und rotierendem Objektiv, als Ergänzung zu einem Zeilenabtastgerät und zum Entdecken und Kartieren.

Bild 15.10 zeigt die TU 154M und den Einbau der LMK. Die drei nicht sichtbaren VOS 60 sind parallel zu den LMK ausgerichtet. Leider ging dieses Flugzeug bereits am 13.09.1997 bei einem tragischen Zusammenstoß über dem Südatlantik verloren und wurde auch nicht wieder ersetzt.

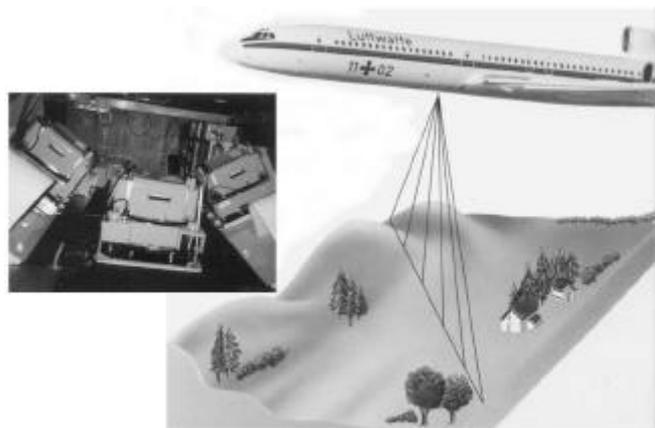


Bild 15.20: Open Skies-Konzept mit VOS-60 / LMK (1994)

1996 stellte ZEISS die System-Variante VOS 80 C vor (Bild 15.21). Bei sonst gleicher Ausstattung war jetzt das Objektiv ZEISS PLANAR 2,8/80 vorgesehen. Mit der Brennweite von 80 mm und wiederum dem KODAK-CCD-Detektor mit  $3 \times 6.000$  Pixel und  $12 \mu\text{m}$  Pixelabstand ergab sich ein Bildwinkel quer zur Flugrichtung von  $48,5^\circ$ . Bei Bedarf konnten auch andere Objektive verwendet werden. Dieses System wurde jedoch ebenfalls von der CARL ZEISS OPTRONICS GmbH vertrieben und soll deshalb hier nicht weiter besprochen werden.



Bild 15.21: Systemkomponenten der VOS-80 C

## 16. Die Photogrammetrie-Entwicklung und ihre Mitarbeiter

Die Dokumentation der Oberkochener Entwicklung photogrammetrischer Instrumente und Verfahren bliebe unvollständig, wenn nicht auch einiges zur Entwicklungstätigkeit selbst und zu den erbrachten Leistungen und allgemeinen Ergebnissen gesagt würde.

### 16.1 Die Entwicklung in einigen Zahlen

Jährlich wurden für die Entwicklung photogrammetrischer Instrumente in Oberkochen zwischen 50.000 und 60.000 Mitarbeiterstunden aufgewendet, relativ gleich bleibend seit Beginn der Stundenaufzeichnungen Mitte der 1950er Jahre bis Ende der 1980er Jahre. Das entsprach etwa 30 bis 40 Mannjahren bzw. Vollzeitkräften. Hierin sind die Stunden für die in Auftragsentwicklung entstandenen Aufklärungskameras nicht enthalten. Erst in den 1990er Jahren ging die Zahl der jährlichen zivilen Entwicklungsstunden auf etwa 30.000 zurück. Zu Beginn betrug der Anteil der Mechanik-Konstrukteure 45 %, zusammen mit den Elektronik-Ingenieuren (10 %) und der Prototypenfertigung (25 %) entfielen also etwa 80 % auf die Detaillierung der "Hardware". Das eigentliche Bildmess-Labor, in dem Konzeption, Betreuung und Erprobung der Projekte erfolgte, war mit ca. 15 % beteiligt. Von der zentralen Mathematischen Abteilung waren statistisch zwischen 2 und 3 Mitarbeiter mit der Optik-Berechnung befasst, wobei die ständige Verbesserung der Luftbildobjektive im Vergleich zur Geräteoptik den grösseren Anteil ausmachte.

Mit dem Übergang zu analytischen Systemen in der ersten Hälfte der 1970er Jahre nahm der Anteil des Bildmess-Labors wegen der dort angesiedelten Software-Programmierung stark, und der Anteil der Leiterplatten-Entwicklung leicht zu, während der Aufwand für die Mechanik entsprechend zurückging. Und in den 1990er Jahren entfielen 2/3 aller Entwicklungsstunden auf die Soft- und Firmware-Programmierung.

In den ersten zwei Jahrzehnten nach Wiederbeginn in Oberkochen konnte die für die Photogrammetrie verantwortliche Technische Leitung, zusammen mit der Führungsmannschaft, relativ selbständig entscheiden, welche Instrumente zu entwickeln waren, und welche Ausführungsform gewählt werden sollte. Erst Anfang der 1970er Jahre wurde von der Geschäftsleitung für alle Instrumentengruppen ein im Rechenzentrum installiertes Entwicklungs-Planungssystem (EPla) eingeführt, mit dem projektbezogen die benötigten Stunden vorab aufzuplanen und danach auch abzurechnen waren. Dieses führte zu einer grösseren Disziplin bei Auswahl erfolgversprechender Projekte und bei deren Durchführung. Als Folge wurden im Photogrammetrie-Bereich, alle drei bis

vier Jahre stattfindende, Strategie-Klausuren eingeführt, in denen die verschiedenen Projektvorschläge von Vertrieb und Entwicklung nach Aufwand und Ertragsmöglichkeit untersucht und abschliessend einem Ranking unterworfen wurden. Dieses Prozedere führte in den Folgejahren zu einer konzentrierteren Produktentwicklung und zu noch besseren Produkten und Ergebnissen.

In der Regel wurden ständig etwa 2 bis 4 grosse Hauptentwicklungen und etwa 4 bis 8 kleinere Entwicklungsprojekte bearbeitet. Die kleineren Projekte betrafen einerseits Studien und Vorentwicklungen zu geplanten grösseren Vorhaben, andererseits kleinere Geräte, Zubehör oder Verbesserungen an laufenden Seriengeräten. Diese dauerten über einen Zeitraum von mehreren Monaten bis zu zwei Jahren. Grosse Entwicklungsprojekte liefen je nach Komplexität zwischen vier und (zunehmend nur noch) zwei Jahren lang.

Ein Beispiel für die zunehmend kostenbewusstere Ausgestaltung der Instrumente und konsequente Verwendung neuer Technologien ist die Entwicklung jeweils eines neuen Stereoauswertegerätes I. Ordnung. Während der 1952 vorgestellte STEREOPLANIGRAPH C 8 noch aus 2.600 gezeichneten und 5.000 gefertigten Einzelteilen bestand, enthielt der PLANIMAT D 2 (1967) nur noch 650 gezeichnete und 1.700 gefertigte Teile. Damit konnte er bei - für die meisten Anwendungen - gleicher Flexibilität und etwas höherer Genauigkeit zu einem 1/3 des Preises für den C 8 angeboten werden. Anders ausgedrückt: die Herstellung des C 8 hätte z. B. 1975 gegenüber dem D 2 die dreifachen Kosten verursacht. Trotz der inflatorischen Preis- und Lohnentwicklung seit z. B. 1962 auf etwa das Dreifache war der D 2 1985 nur so teuer wie seinerzeit der C 8. Damit konnte das Kostenniveau dieses photogrammetrischen "Arbeitspferdes" noch unter dem Niveau anderer feinmechanisch-optischer Erzeugnisse gehalten werden, deren Index inzwischen auf 150 % gestiegen war (Bild 16.1).

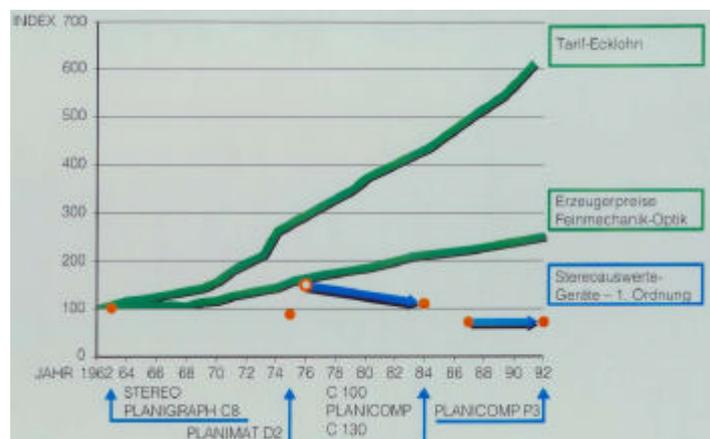


Bild 16.1: Kostenentwicklung bei Stereoauswertegeräten

Mit der Vorstellung der analytischen Plotter konnte ZEISS diese Preiskonstanz fortsetzen (der C 100 bestand aus nur noch 460 gefertigten Teilen), auch wenn zu Beginn die für den PLANICOMP C 100 benötigten Mini-computer mit ihrer Peripherie noch sehr teuer waren. Das wurde aber in den Folgejahren trotz weiter fortschreitender Inflation günstiger, und mit dem PLANICOMP P 3 war dann ab 1987 das Ausgangsniveau sogar noch unterschritten bzw. der rechnerische Abstand zum C 8 auf den Faktor 7 angestiegen.

## 16.2 Patente und Publikationen

Im Zusammenhang mit der eigentlichen Produktentwicklung waren von den Mitarbeitern auch umfangreiche "Schreibtischarbeiten" zu erledigen. Neben internen Projektbeschreibungen, Entwicklungsanträgen, Besprechungsprotokollen, Fortschrittsberichten, Fertigungsunterlagen und Basismaterial für Service- und Gebrauchsanleitungen sind vor allem zu nennen: die wissenschaftlich-technischen Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und zu Tagungen und die Erfindungsmeldungen zu schützenswerten Produktlösungen.

Etwa 100 Patente und Gebrauchsmuster wurden insgesamt zwischen 1949 und 2000 für die Oberkochener Photogrammetrie-Entwicklung angemeldet (letztere mit einem Anteil von etwa 15 %). Etwa 1/3 dieser Anmeldungen betrafen Stereoauswertegeräte und 1/4 Luftbildkameras. Ungefähr 2/3 der angemeldeten Ideen wurden auch tatsächlich in Gerätelösungen realisiert. Da aus Schutzgründen nahezu alle Erfindungen und Gebrauchsmuster auch in den Ländern der wichtigsten Wettbewerber (also mindestens in der Schweiz) und in bedeutenden Absatzmärkten (also mindestens in den USA) angemeldet wurden, beträgt die Gesamtzahl aller durchgeführten Anmeldungen über 300.

Die Publikationen (und auch die verwendeten Patente) zu spezifischen Geräten wurden bereits in den vorangegangenen Kapiteln als Literaturquelle genannt. Darüber hinaus wurden zahlreiche Übersichtspaper zu neuen Produktfamilien verfasst (u. a. AHREND 1966a, 1967b & 1969, MEIER 1966c, 1969, 1976a, 1976b, 1978b & 1989, HOBBIÉ 1981a & 1984b, SCHWEBEL 1980a). Ausserdem haben die Oberkochener Wissenschaftler oft auch zu allgemeinen wissenschaftlich-technischen Themen im Umfeld der Photogrammetrie schriftliche Beiträge verfasst. So z. B. zu optischen Aspekten (ROOS 1950 & 1952, SCHWIDEFISKY 1952b), zu Anwendungsfragen bei Luftbilddaufnahme, Aerotriangulation, Entzerrung und Flurbereinigung (BRUCKLACHER 1949, 1950, 1955, 1962 & 1967b, MEIER 1958, 1964c, 1970a & 1972a) und allgemein zur technologischen Entwicklung (HOBBIÉ 1977d & 1999, MEIER 1970e, 1987 & 2002, SCHWEBEL 1991 & 1999).

Insgesamt wurden ca. 350 Erstveröffentlichungen publiziert, von denen die meisten (und auch die verwendeten Patente) im anschliessenden Literaturverzeichnis aufgeführt sind. Da viele nochmals an anderer Stelle und oft in anderen Sprachen abgedruckt wurden, wird die Zahl aller technisch-wissenschaftlichen Veröffentlichungen etwa doppelt so hoch gewesen sein. Eine Besonderheit war ein Beitrag im chinesisch-sprachigen Sonderheft der Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung (ZPF) anlässlich des Symposiums der Kommission III in Wuhan im Mai 1990 (HOBBIÉ 1990).

Zusätzlich haben die Mitarbeiter des Entwicklungsbereiches oft mitgeholfen, die produktbezogenen Informationen für Kataloge und Prospekte vorzubereiten. In den 50 Jahren sind in der Vertriebs- und Marketing-Abteilung etwa 1.000 verschiedene Druckschriften entstanden (davon ca. 250 bis 1964 bei ZEISS-AEROTOPOGRAPH und 750 bei CARL ZEISS). Fast alle wurden parallel in englischer Sprache herausgegeben, die wichtigsten zusätzlich in Spanisch und Französisch. In Japan wurden darüber hinaus durch den Photogrammetrie-Fachmann und ZEISS-Kollegen NOBUAKI HORIE noch japanische Übersetzungen verfasst und gedruckt. Auch wurde umfangreiches Vortragmaterial wie Poster- und Dia-Serien erstellt, letztere wurden ab Mitte der 1980er Jahre durch Overhead-Folien abgelöst.

Eine weitere Vielfalt der Dokumentation bzw. Notwendigkeit der Aktualisierung ergab sich aus der Anpassung des Firmennamens bzw. des Firmenlogos. Da bis 1965 der Vertrieb der photogrammetrischen Instrumente über ZEISS-AEROTOPOGRAPH lief, trugen die Verkaufsunterlagen zunächst deren Logo. Danach musste dieses Material, wie auch zuvor schon die Beschriftung der Oberkochener Geräte, je nach Bestimmungsland den Namen ZEISS oder OPTON tragen. In Folge der Namensstreitigkeiten mit VEB CARL ZEISS JENA hatte CARL ZEISS, Oberkochen in u. a. den Ländern des Ostblocks als OPTON Feintechnik GmbH zu firmieren. Mit der politischen Wiedervereinigung änderte sich "West Germany" in "Germany", und mit der Wiedervereinigung von Jena mit Oberkochen sowie der zunehmenden Globalisierung von ZEISS entfiel schliesslich noch der Zusatz "Germany" (Bild 16.2).



Bild 16.2: Logos von ZEISS-AEROTOPOGRAPH und CARL ZEISS

### 16.3 Sonstige Tätigkeiten

Die zuvor beschriebenen, überwiegend produktbezogenen Publikationen der "ZEISS-Photogrammeter" gingen häufig einher mit entsprechenden Vorträgen auf nationalen und internationalen Fachveranstaltungen, die hier nicht aufgeführt werden können, ebenso nicht die Tätigkeit als nationaler Berichtersteller oder eine andere Mitwirkung in den Gremien der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, als Gutachter bei externen Streitfällen und die firmeninterne Referententätigkeit im Sinne von Fortbildung und Know-how-Transfer. Erwähnt werden sollte aber die externe Vorlesungstätigkeit einzelner Wissenschaftler an z. B. den Universitäten in Stuttgart, München und Hannover, die u. a. zur Ernennung von MEIER, SCHWEBEL und HOBBIE zu dortigen Honorarprofessoren führte.

Auch für die, für Industriefirmen wichtige Normungsarbeit des Deutschen Instituts für Normung (DIN) haben sich im Laufe der Jahre ZEISS-Mitarbeiter eingesetzt (MEIER 1977) und - zeitweise auch noch im Ruhestand - an der Erstellung von DIN-Normen federführend mitgewirkt: DIN 18716 "Photogrammetrie und Fernerkundung" (MEIER 1994 & 1995) und DIN 18740 "Photogrammetrische Produkte" (KRESSE et al. 2001, SCHWEBEL 2001, 2002a & 2002b).

Die gelegentliche Verbandsarbeit wie die Mitarbeit im Fachbereich Geodäsie des Fachverbandes für Feinmechanik und Optik (F&O, heute SPECTARIS Fachverband für Photonik und Präzisionstechnik) ist an dieser Stelle sicher weniger erwähnenswert, ebenso die Mitarbeit und zeitweise Leitung von GEOKART, einer eingetragenen Vereinigung deutscher Privatfirmen der Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie mit dem Ziel der Unterstützung von internationalen Aktivitäten der Mitglieder, zu der auch die Teilnahme (als Mitglied der deutschen Delegation) an den kartographischen Regionalkonferenzen der Vereinten Nationen gehörte (HOBBIE 1993b, 1994 & 1997).

Auch zu Fragen der Berufsausbildung der Vermessungsingenieure wurde als Erkenntnis aus der eigenen Berufserfahrung und aus den beruflichen Fortbildungsangeboten innerhalb von CARL ZEISS in Oberkochen Stellung genommen (Hobbie 1989, 1998 & 2002).

Schliesslich ist noch der CARL-PULFRICH-PREIS zu nennen, der 1968 von CARL ZEISS, Oberkochen gestiftet wurde (KÜHN 1969). Damit werden bis heute alle zwei Jahre herausragende wissenschaftliche, anwendungstechnische oder konstruktive Tätigkeiten auf dem Gebiet des Vermessungswesens in Verbindung mit geodätischen oder photogrammetrischen Instrumenten gefördert. Ein unabhängiger Verleihungsrat soll primär Preisträger auszeichnen, die das 40. Lebensjahr noch nicht überschritten haben, und dadurch zu weiteren

guten Leistungen anspornen. Die vom Leiter des Geschäftsbereichs Vermessung koordinierte Verleihung zeichnete ab 1969 etwa zu gleichen Teilen "Photogrammeter" und "Geodäten" aus (MEIER 1985a). Seit dem Übergang des Produktbereichs Photogrammetrie in das Gemeinschaftsunternehmen mit INTERGRAPH wird der CARL-PULFRICH-PREIS, da auch der Produktbereich Geodäsie von ZEISS an einen Partner abgegeben wurde, von Z/I IMAGING vergeben, in der Regel jeweils während der Photogrammetrischen Woche.

### 16.4 Mitarbeiter und Abteilungen

Auch wenn in der vorliegenden Arbeit die technisch-wissenschaftlichen Aspekte im Vordergrund stehen, so sollen doch die Wissenschaftler und Ingenieure nicht unerwähnt bleiben, die die Entwicklung photogrammetrischer Instrumente in Oberkochen wesentlich geprägt haben und für ihren Erfolg verantwortlich waren.

Die Initiative für den Beginn der Photogrammetrie in Oberkochen geht, wie bereits in Kapitel 4 beschrieben, auf EDUARD OSKAR MESSTER und WALTER BAUERSFELD zurück. MESSTER knüpfte bereits ab 1946 an seine Kundenkontakte der Vorkriegszeit an, wiederbelebte die ZEISS-AEROTOPOGRAPH in München und erteilte im Winter 1949/50 ZEISS-OPTON in Oberkochen den Auftrag zur "Rekonstruktion und Herstellung von Stereoplanigraphen neuester Konstruktion". Dort nahm sich BAUERSFELD, der "Vater" dieser frühen Jenaer Entwicklung (1920) und einer der vier Geschäftsleiter in Oberkochen, dieser Sache an. MESSTER und BAUERSFELD stehen damit primär für die in Kapitel 4 beschriebene "Rekonstruktionsphase" von 1948 bis 1951.

Im Juni 1951 kam KURT SCHWIDEFESKY aus Wetzlar zurück, wohin er zuvor seit 1947 als wissenschaftlicher Leiter bei der zu ZEISS gehörenden Tochter HENSOLDT & SÖHNE AG, von Oberkochen aus, abgeordnet war, und übernahm die neu gegründete "Technische Leitung Bildmess". Auch von Wetzlar aus hatte er sich weiter für die Photogrammetrie eingesetzt (und sich u. a. mit dem Entzerrungsgerät befasst) und konnte nach wenigen Monaten auf der ersten, nach dem Krieg und in München abgehaltenen Photogrammetrischen Woche im September 1951 STEREOPLANIGRAPH C 7 und darüber hinaus SEG V, STEREO TOP und RADIALSECTOR präsentieren. Unmittelbar zuvor war GÜNTER WEIMANN zu Bildmess gekommen, schied aber bereits nach 3 ½ Jahren wieder aus.

Bei ZEISS-AEROTOPOGRAPH war WALTER BRUCKLACHER bereits unmittelbar seit Wiederbeginn nach dem Krieg für die Technische Abteilung aktiv. ROLF HERMINGHAUS und HERMANN DEKER stiessen ab 1951 bzw. 1952 hinzu, die auch ab 1954 bzw. ab 1959 (nach dem frühen Tod von HERMINGHAUS) die Technische

Leitung bei ZA übernehmen. BRUCKLACHER sowie DEKER waren als technisches Verbindungsbüro zu Bildmess in einer Baracke vor dem Oberkochener Werksgelände stationiert. Von 1954 bis 1958 gehörte auch FRIEDRICH ACKERMANN dazu. Für die in Kapitel 5 beschriebene Phase "Erneuerung" (1952-1956) stehen damit vor allem die Namen SCHWIDEFSKY, BRUCKLACHER und DEKER. HEINRICH SONNENBERGER trug - als 1951 aus Jena gekommener ZEISS-Konstrukteur - zu vielen Bildmess-Geräten wesentliche Innovationen bei.

Zwischen 1953 und 1957 wurden nach ihrem Vermessungsstudium drei neue Mitarbeiter bei Bildmess für die Entwicklung eingestellt, die alle später Leitungsfunktionen übernehmen sollten: MARTIN AHREND (1953), HANS-KARSTEN MEIER (1955, nach seiner Assistentenzeit an der TU München) und GÜNTER DREYER (1957). Ausserdem kam HERBERT MONDON etwa 1956 von ZEISS in Jena dazu, der später interessante Problemlösungen zum Orthoprojektor GZ 1 beisteuerte, allerdings 1967 zu früh verstarb. Dieser Verlust, sowie die Fülle der begonnenen Entwicklungsprojekte ab Mitte der 1960er Jahre, erforderte in der Bildmess-Entwicklung die Einstellung weiterer Geodäten als Kenner der Anforderungen der Praxis an die photogrammetrischen Instrumente (HEINRICH EBNER war Ende 1966 nach nur zwei Jahren in Oberkochen an die TU Stuttgart gewechselt). Und so begannen im April 1968 DIERK HOBBIE und REINER SCHWEBEL, genau ein Jahr später auch WINFRIED LORCH ihre Mitarbeit in Oberkochen, die beiden letzteren nach ihrer Assistentenzeit an der TU Stuttgart. Während SCHWEBEL und HOBBIE den organisatorisch neu gebildeten Entwicklungslabors "Bms-Labor 1" (Leiter: MEIER) und "Bms-Lab 2" (Leiter: BRUCKLACHER) für die zivilen Aufnahme- und Auswertegeräte zugeordnet wurden, nahm LORCH, wie auch ab 1972 HANS-WOLFGANG FAUST, seine Tätigkeit zunächst im "Bms-Lab 3" (Leiter: DREYER) auf, welches für die neuen Aufklärungskameras zuständig war.

Nachdem SCHWIDEFSKY einen Ruf an die Technische Hochschule in Karlsruhe angenommen hatte, hatte AHREND zum April 1960 die "TL-Bildmess" übernommen (ab 1966 erweitert zur, auch für die Vermessungsinstrumente zuständigen technischen Leitung "TL Geo-Bms"). Und nachdem dieser im November 1968 zunächst zum Sonderbeauftragten, und mehrere Monate später zum Mitglied der Geschäftsleitung ernannt wurde, folgte ihm MEIER im November 1968 in dieser Verantwortung. AHREND und MEIER sind es auch, die die Oberkochener Phase der "Photogrammetrischen Analoggeräte" für Aufnahme und Auswertung von Mitte der 1950er bis Mitte der 1970er Jahre entscheidend geprägt haben, gegen Ende schon mit deutlichem Anteil von DREYER, SCHWEBEL und HOBBIE. Von ZEISS-AEROTOPOGRAPH, nach Auslaufen des 30-jährigen Koopera-

tionsvertrages zwischen 1963 und 1965 schrittweise in CARL ZEISS, Oberkochen aufgegangen (in München war zwischen 1962 und 1964 auch OTTO HOFMANN, von Jena kommend, kurz bei ZA gewesen), war kein wesentlicher Beitrag mehr in die Oberkochener Entwicklung der photogrammetrischen Grossgeräte eingeflossen.

In der ersten Hälfte der 1970er Jahre begann mit den Möglichkeiten von Halbleiter-Elektronik, Mikroprozessoren und Tischrechnern die "Analytische Entwicklungsphase". Mit der Beendigung der Entwicklungsarbeiten zu analogen Auswertegeräten und zum Geräteprogramm für terrestrische Photogrammetrie, und nach der Pensionierung von BRUCKLACHER 1975, wurden die Entwicklungsabteilungen auf die "Photogrammetrie" (Leiter: SCHWEBEL, der schon gleich nach MEIER das Bms-Lab 1 geleitet hatte) und "Luftbild-Spezialsysteme" (Leitung: DREYER) konzentriert.

Der enorme Erfolg des PLANICOMP C 100 mit umfangreichen Software-Programmen und vielfältigen, bezogenen Rechnerkomponenten erforderte innerhalb der Photogrammetrie bald die Einrichtung einer Abteilung "Systemtechnik" als Bindeglied zwischen Entwicklung einerseits und Montage, Service und Vertrieb andererseits, um diese neuen komplexen Systeme in die noch "analoge Praxis" zu überführen. Mit Aufbau und Leitung dieser neuartigen Abteilung wurde SCHWEBEL betraut, und HOBBIE übernahm im März 1982 die Entwicklungsleitung. Die Software-Entwicklung für die neuen analytischen Auswertegeräte und auch für die rechnerunterstützten Analoggeräte erforderte die Einstellung weiterer Diplom-Ingenieure für Vermessung mit Software-Erfahrung, von denen einige auch am Ende des Berichtszeitraumes (2002) noch für die Oberkochener Photogrammetrie tätig waren: JOHANNES SALLE (1980-1993), JOSEF BRAUN (1981-1998), HELMUT RÜDENAUER (1981-1985), ENRICO CLERICI (1981-1983), KURT MENKE (1983-1994), MICHAEL CLAUS (1984-1991, danach mit einem Sensor-Projekt in den Bereich Sondertechnik gewechselt, später in der Forschung), VOLKER UFFENKAMP (1984-1990), WOLFGANG KRESSE (1985-1995), ERWIN KRUCK (1987-1993), CHRISTOPH DÖRSTEL (1989-), PHILIPP WILKOMM (1989-1993), WERNER MAYR (1990-1997) und ZOLTAN POTH (1990-). Darüber hinaus waren auch Diplom-Informatiker und Diplom-Mathematiker unter den Mitarbeitern der Photogrammetrie-Entwicklung, u. a. HEINZ SPRONGL (1975-1989), WALTER LEIDEL (1981-) und RASMUS DEBITSCH (1994-1998 & 2001-).

Bereits seit Anfang 1980 hatten HANS-KARSTEN MEIER und KARLHEINZ VOGEL, der als Vermessungsingenieur bereits seit 1961 bei CARL ZEISS in verschiedenen Funktionen für den Produktbereich Geodäsie tätig gewesen war, gemeinsam die Gesamtverantwortung für den

technischen und wirtschaftlichen Erfolg der Geodäsie und Photogrammetrie (ab 1981 "Geschäftsbereich Vermessung" genannt) übernommen. Als MEIER 1986 auf persönlichen Wunsch in den vorzeitigen Ruhestand ging, übernahm VOGEL die alleinige Verantwortung für den GB Vermessung, der gleichzeitig in die Produktbereiche Geodäsie, Photogrammetrie und Spezialsysteme gegliedert wurde. Die Leitung für den PB Photogrammetrie wurde DIERK HOBBIE übertragen und ein Jahr später die Entwicklungsleitung Photogrammetrie KURT MENKE anvertraut. Als VOGEL 1991 zum Leiter des umfassenden Unternehmensbereichs Optisch-Elektronische Systeme (OES-UB) berufen wurde, übernahm HOBBIE von ihm die Leitung des GB Vermessung. Er ist es auch, der die Phase der analytischen Systeme entscheidend geprägt hat, mit deutlichem Anteil von WINFRIED LORCH, HANS-WOLFGANG FAUST, JOHANNES SAILE und JOSEF BRAUN.

Mit diesem Wechsel 1991 übernahm MENKE die Produktbereichsleitung Photogrammetrie, Entwicklungsleiter wurde im Jahr darauf WERNER MAYR. Die in die Folgezeit fallenden Anfänge der digitalen Photogrammetrie sind u. a. von CHRISTOPH DÖRSTEL wesentlich mitgestaltet worden. Der Produktbereich Spezialsysteme wurde ab diesem Zeitpunkt von RUDOLF SPILLER geleitet, der bereits einige Jahre in diesem Bereich tätig gewesen war. DREYER war bereits 1988 in den Vorruhestand gegangen, Bereichsleiter war zwischenzeitlich kurz KARL-HEINZ FRIEDRICH gewesen.

Als ZEISS 1995 nach schwierigen Jahren der Wiedervereinigung unter einer neuen Geschäftsleitung die Entscheidung getroffen hatte, die teilweise immer noch doppelten Produktbereiche der wiedervereinigten Standorte zusammenzufassen, wurde der Produktbereich Photogrammetrie Oberkochen, und der PB Geodäsie der 100%igen Tochter CARL ZEISS Jena GmbH zugeordnet. Ab Dezember 1995 konzentrierte sich HOBBIE damit wieder auf den PB Photogrammetrie, der nun aus den technischen Abteilungen "Auswertesysteme" (Phm-A, Leitung: MAYR), "Sensorsysteme" (Phm-S, Leitung: SPILLER) sowie dem Verkauf/Marketing (Phm-V, Leitung: HANS-JOACHIM HELLMIEIER) bestand (Bild 16.3).

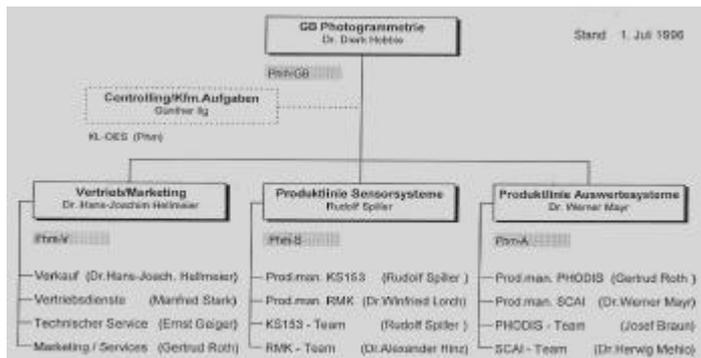


Bild 16.3: Organigramm des PB Photogrammetrie (1996)

Anfang 1998 zeichnete sich ab, dass die Partnersuche für die Photogrammetrie erfolgreich sein würde. Das war auch der Zeitpunkt, dass die Produktbereichsleitung SPILLER übertragen wurde, der dann später in der Funktion des "Chief Operating Officer" (COO) einer der beiden Geschäftsführer von Z/I IMAGING Corp., des Gemeinschaftsunternehmens mit INTERGRAPH (bis zum Ausstieg von ZEISS) war.

An dem grossen Erfolg der photogrammetrischen Entwicklung in Oberkochen haben neben den vorgenannten Verantwortlichen und wissenschaftlichen Mitarbeitern sowie zahlreichen weiteren, hier nicht genannten Ingenieuren und Technikern der Entwicklungslabors mehrere andere Abteilungen grossen Anteil. Hier sind vor allem zu nennen:

- **die Mathematische Abteilung für Objektiventwicklung** (nach dem Tod von ROBERT RICHTER 1956 hatte WOLFGANG ROOS, der seit 1935 schon in Jena mit RICHTER zusammenarbeitete, die Verantwortung für u. a. die Bildmess-Objektive übernommen, und nach dessen Pensionierung 1973 zunächst HANS LAHRES und ab 1977 HANFRIED ZÜGGE),
- **die Konstruktions-Abteilung** (diese zunächst zentrale und später der Photogrammetrie zugeordnete Abteilung für die Mechanik- und Elektrik-Konstruktion leitete in den 1960er Jahren zunächst HANS UTZ und ab 1968 HEINZ KRASTEL),
- **die Elektronik-Entwicklung** (dieses, ebenfalls zunächst zentrale und später dem Produktbereich Photogrammetrie zugeordnete Labor wurde seit Gründung 1961 von KARL FELLE geleitet, und nach dessen Pensionierung 1990 zuletzt von HERWIG MEHLO),
- **die Montage und Justierung (für Bildmess-Geräte) MJ 6** (dieser, während der meisten Zeit zentral geführte und für die konstant hohe Produktqualität massgebliche Fertigungsbereich wurde von 1949 bis zu seiner Pensionierung 1956 vom Werkmeister KURT WOLF geführt, der bereits seit 1912 in Jena und ab 1921 dort in der Bildmess-Fertigung dabei war, anschliessend 29 Jahre lang von HANS STROBACH).

Die "Geodäten", Wissenschaftler und technischen Führungskräfte, die über 25 Jahre und damit mindestens die Hälfte der Oberkochener Photogrammetrie-Phase begleitet haben, seien hier nochmals genannt: BRUCKLACHER, DREYER, FAUST, FELLE, HOBBIE, KRASTEL, LORCH, MEIER, ROOS, SCHWEBEL, STROBACH und UTZ.

Eine solche Aufzählung von Abteilungen und verantwortlichen und massgeblichen Mitarbeitern bleibt jedoch unvollständig. Zahlreiche weitere ZEISSIANER (vor allem in Service und Vertrieb, aber auch in Zentralbereichen) und auch externe Partner (sei es Universitätsinstitute, Firmen oder Privatpersonen) haben Anteil am grossen Erfolg der Photogrammetrie in Oberkochen. Allen sei auch an dieser Stelle noch einmal besonders gedankt.

## 16.5 Der Weg in die Zukunft

Die vorliegende Dokumentation der photogrammetrischen Entwicklung bei CARL ZEISS in Oberkochen zeigt die Vielfalt und Hochwertigkeit der entstandenen instrumentellen Lösungen. Dennoch war seit Anfang der 1990er Jahre der bevorstehende Durchbruch der Digitalisierung bildfassender und bildverarbeitender Verfahren erkennbar. Und damit wurde in den Folgejahren auch deutlich, dass der Anteil der Optik und Feinmechanik an den Aufnahme- und Auswertesystemen für Photogrammetrie und Fernerkundung deutlich abnehmen würde, und dass umfangreiche Software-Produkte und handelsübliche Computer-Komponenten dominieren würden. Das bedeutete für die Strategie des Unternehmens CARL ZEISS, dass der Geschäftsbereich Photogrammetrie (wie auch der Geschäftsbereich Geodäsie mit seinen Vermessungsinstrumenten) zusammen mit geeigneten Partnern in ein geeigneteres, flexibleres Umfeld überführt und auf lange Sicht ganz abgegeben werden sollte.

Dieses vor allem auch vor dem Hintergrund, dass man nach der Wiedervereinigung ab Oktober 1991 auch wieder die unternehmerische Verantwortung für das Kerngeschäft der CARL ZEISS JENA GmbH übernommen hatte und sich deshalb aus wirtschaftlichen Gründen (viele Geschäftsbereiche waren plötzlich doppelt vorhanden) ab 1995 auf weniger und wachstumsstärkere Geschäftsfelder konzentrieren musste. Das waren (und sind) vor allem die Medizintechnik, die Mikroskopie, Objektive für die Halbleiter-Industrie, die Industrielle Messtechnik und - im publikumsnahen Sektor - Brillengläser, Objektive für Kameras, Handys und Webcams, sowie Planetarien. Deshalb konnten auch die Jenaer Geodäsie- und Photogrammetrie-Bereiche mit ausgewählten Produkten nach 1995 nicht parallel weitergeführt werden, wie noch 1993 beabsichtigt (HOBBIE 1991a, 1991b, 1992, 1993a & HOBBIE et al. 1993).

Im Zeitraum von 1994 bis 1997 wurde zunächst beim langjährigen Entwicklungspartner INTERGRAPH, dann aber auch bei anderen Unternehmen mit Kompetenz in photogrammetrischer Software (bei GDE SYSTEMS INC., San Diego und INPHO, Stuttgart) vertraulich die Bereitschaft zu einer engen Kooperation ausgelotet. Nachdem diese Kontakte zunächst nicht zu zufriedenstellenden Ansätzen führten, gelang Anfang 1998 bereits relativ schnell eine Einigung mit der Fa. LH SYSTEMS, San Diego, einem Tochterunternehmen von GDE SYSTEMS Inc. und LEICA GEOSYSTEMS AG, Heerbrugg. In einer Absichtserklärung, dem so genannten "Letter of Intent" (LOI), vom Februar 1998 wurde vereinbart, dass sich ZEISS als Drittpartner an LH SYSTEMS beteiligt, sein Geschäft einbringt sowie als "Camera Competence Center" federführend die (Weiter-)Entwicklung einer digitalen Kamera betreibt (WALKER 1998 & ZEISS

1998). Da in den folgenden Monaten die kartellrechtlichen Bedenken der Europäischen Union jedoch nicht zerstreut werden konnten, musste diese Absicht im November desselben Jahres wieder aufgegeben werden.

Die unmittelbar danach wieder aufgenommenen Verhandlungen mit INTERGRAPH führten bereits im Dezember 1998 zu einem LOI und am 15. Mai 1999 wurde die Z/I IMAGING Corp. in Huntsville, Alabama/USA gegründet, mit INTERGRAPH (60 %) und CARL ZEISS (40 %) als Anteilseignern. Der Geschäftsbereich Photogrammetrie von ZEISS ging damit fast vollständig in der kurz zuvor zum 1. April 1999 gegründeten Z/I IMAGING GmbH in Oberkochen auf, die als 100%ige Tochter von Z/I IMAGING Corp. geführt wurde und noch bis 2002 im Oberkochener Werksgelände blieb (Bild 16.4). Die GmbH war weiterhin verantwortlich für die Entwicklung der photogrammetrischen Hardware, insbesondere der entstehenden digitalen Luftbildkamera, und für Verkauf und Service des bestehenden Programms für Photogrammetrie und militärische Aufklärung (SPILLER 1999).



Bild 16.4: CARL ZEISS, Oberkochen im Jahr 2000

Zum 30. September 2002 schliesslich übertrug ZEISS seinen 40%-Anteil an diesem Joint Venture an INTERGRAPH und zog sich damit, bis weiterhin auf Zulieferung anspruchsvoller Komponenten (u. a. Luftbildobjektive) und Kalibrierdienste, ganz aus der Photogrammetrie zurück. Zu diesem Zeitpunkt bezogen die Z/I-Mitarbeiter neue Räume im Technologiezentrum in der Nachbarstadt Aalen. Damit ging das Nachkriegskapitel "Photogrammetrie in Oberkochen" nach über 50 Jahren endgültig zu Ende. Mehrere bisherige ZEISSianer setzen diese Tradition erfolgreich fort, seitdem unter dem Logo Z/I IMAGING (Bild 16.5).



Bild 16.5:

Firmenlogo von Z/I Imaging

## 17. Literaturverzeichnis

### Legende:

- AVN** *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*. Zeitschrift für alle Bereiche des Vermessungswesens, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- BuL** *Bildmessung und Luftbildwesen*. Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- DGK** *Deutsche Geodätische Kommission*, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission beim Verlag C. H. Beck, München.
- NaKaVerm** *Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen*, Verlag des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt a. M.
- PFG** *PFG - Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*. Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung e. V., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.
- VR** *Vermessungswesen und Raumordnung* (bis 1972: *Vermessungstechnische Rundschau*). Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.
- ZfV** *ZfV - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* (bis 1972: *Zeitschrift für Vermessungswesen*), Wissner-Verlag, Augsburg.
- ZPF** *ZPF - Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung (früher BuL)*. Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.

- ACKERMANN, FRIEDRICH (1956): *Zur rechnerischen Orientierung von Konvergentaufnahmen*. BuL, 1956, Sonderheft zum VIII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Stockholm, S. 24 ff.
- ACKERMANN, FRIEDRICH & BETTIN, ROLF (1969): *Überprüfung einer grossmassstäbigen Orthophotokarte*. BuL, 1969, Heft 5, S. 186-191.
- ACKERMANN, FRIEDRICH (1983): *High Precision Digital Image Correlation*. Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche 1983, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1984, Heft 9, S. 231-243.
- ACKERMANN, FRIEDRICH, FELLE, KARL & HOBBIE, DIERK (1984): *Computer-controlled evaluation of aerial stereo images*. United States Patent Office, US 4 669 048, Anmeldung vom 14.09.1984.
- ACKERMANN, FRIEDRICH (1985): *Digitale Bildverarbeitung in der photogrammetrischen Stereoauswertung*. Vorträge der 40. Photogrammetrischen Woche 1985, Schriftenreihe des Instituts für Pho-

togrammetrie der Universität Stuttgart, 1986, Heft 11, S. 61-67.

- ADLER, RUDOLF, BERLING, DIETRICH, BODECHTEL, JOHANN & VIETEN, WILFRIED (1970): *Anwendung der Photogrammetrie zur Erfassung tektonischer Daten*. Clausthaler Tektonische Hefte, Verlag Ellen Pilger, Clausthal-Zellerfeld, Heft 10, Juni 1970, S. 337-358.
- AHREND, MARTIN (1957): *Zur Wahl des Schichtträgers bei Luftaufnahmen*. DGK, München 1957, Reihe C, Nr. 23.
- AHREND, MARTIN (1958): *Stereoskopisches Auswertegerät*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 377 545, Anmeldung vom 21.07.1959 (Deutsche Anmeldung vom 26.07.1958).
- AHREND, MARTIN (1959): *Photogrammetrisches Doppelprojektionsgerät*. Deutsches Patentamt, DE 1 105 623, Anmeldung vom 06.03.1959.
- AHREND, MARTIN (1960a): *Elektrische Analogierechner in der Photogrammetrie und eine neue Lösung: Das PLANITOP*. BuL, 1960, Heft 3, S. 134-147.
- AHREND, MARTIN (1960b): *Der AEROMAT, ein neues Kartiergerät II. Ordnung mit optischem Prinzip und photoelektrischer Nachsteuerung*. BuL, 1960, Heft 3, S. 166-174.
- AHREND, MARTIN (1961): *Verfahren zur Verzeichnungskorrektur für photogrammetrische Stereokartiergeräte*. Deutsches Patentamt, DE 1 194 161, Anmeldung vom 16.02.1961.
- AHREND, MARTIN (1964a): *Hilfsmittel für die ballistische Geodäsie*. BuL, 1964, Heft 2, S. 61-65.
- AHREND, MARTIN (1964b): *Über die Abhängigkeit des ?-Überkorrekturfaktors von der Anordnung der Kammerkardane*. BuL, 1964, Heft 3, S. 101-105.
- AHREND, MARTIN, BRUCKLACHER, WALTER, MEIER, HANS-KARSTEN & UTZ, HANS (1964): *Der Orthoprojektor GIGAS-ZEISS*. BuL, 1964, Heft 3, S. 153-160.
- AHREND, MARTIN (1966a): *Aerial Survey Cameras*. ZEISS-Information, 14. Jahrgang, Heft 59, Januar 1966, S. 7-14.
- AHREND, MARTIN (1966b): *Analyse photogrammetrischer Fehler*. ZEISS-Mitteilungen, 4. Band, 5. Heft, S. 62-100, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1966.

- AHREND, MARTIN (1967a): *Der PLANIMAT, ein neues photogrammetrisches Gerät II. Ordnung*. BuL, 1967, Heft 5, S. 193-205.
- AHREND, MARTIN (1967b): *Rectifiers and Orthoprojection Equipment*. ZEISS-Information, 15. Jahrgang, Heft 66, Oktober 1967, S. 130-143.
- AHREND, MARTIN & DREYER, GÜNTHER (1968): *Der Doppelprojektor DP 1, ein Stereokartiergerät der Ordnung II b*. BuL, 1968, Heft 1, S. 16-22.
- AHREND, MARTIN (1969): *Photogrammetric Plotting Machines for Map Production and Determination of Coordinates*. ZEISS-Information, 17. Jahrgang, Heft 71, Juni 1969, S. 17-29.
- ARCH, I. & PAPE, ERWIN (1974): *Zur Wiederverwendung von Speicherplatten beim Orthoprojektor GZ 1*. BuL, 1974, Heft 1, S. 19-21.
- BAECK, ERNST (1977): *Digital computers for photogrammetric process control - present state and future development of their technology*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 103-110. (In Deutsch: *Digitalrechner für photogrammetrische Prozesssteuerung am Beispiel des Minirechners HP 21 MX*. BuL, 1977, Heft 6, S. 169-175).
- BARING, RICHARD (1963): *E. O. MESSTER siebzig Jahre*. BuL, 1963, Sonderheft November 1963, S. 124-138.
- BAUERSFELD, WALTER & SONNBERGER, HEINRICH (1953a): *Projektionstisch für selbsttätige Entzerrungsgeräte*. Deutsches Patentamt, DE 0 928 028, Anmeldung vom 18.03.1953.
- BAUERSFELD, WALTER & SONNBERGER, HEINRICH (1953b): *Um das Projektionszentrum eines Messbildes in einem photogrammetrischen Auswertgerät allseitig drehbares optisches System*. Deutsches Patentamt, DE 1 082 058, Anmeldung vom 04.03.1953.
- BERLING, DIETRICH (1969a): *Polizeiphotogrammetrie*. Technik im Dienste der Polizei, Steintor-Verlag Hamburg GmbH, 1969, S. 65-69.
- BERLING, DIETRICH (1969b): *Use of Photogrammetry in Collision Investigation*. Presented Paper at the Collision Investigation Methodology Symposium, Warrenton/VA, USA, 24.-28.08.1969. Printed by Cooper-Trent/Keuffel & Esser Co., Arlington/VA.
- BÖTTINGER, WOLF-ULRICH, GRÜNDIG, LOTHAR, LORCH, WINFRIED & SCHWEBEL, REINER (1981): *Digitales Kartiersystem*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 13 N 5090, August 1981.
- BRAUN, JOSEF (1989): *Current status of the PHOCUS Development*. Vorträge der 42. Photogrammetrischen Woche 1989, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1989, Heft 13, S. 41-55.
- BRAUN, JOSEF, TANG, LIANG & DEBITSCH, RASMUS (1996): *PHODIS AT - An Automated System for Aerial Triangulation*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B2, 1996, S. 32-37.
- BRAUN, JOSEF (1997): *Automated Photogrammetry with PHODIS*. Photogrammetric Week '97, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1997, S. 33-40, ISBN 3-87907-317-1.
- BRUCKLACHER, WALTER (1949): *Raumbildplan, der aus einer Mehrzahl von Raumbildern zusammengesetzt ist*. Deutsches Patentamt, DE 0 850 2237, Anmeldung vom 01.11.1949.
- BRUCKLACHER, WALTER (1950): *Der "gefugte" Raumbildplan*. AVN, 1950, Nr. 3, S. 61-67, (vereinigt mit BuL, Heft 1, S. 13-19).
- BRUCKLACHER, WALTER (1952): *Der STEREOPLANIGRAPH C 7*. ZEISS-OPTON Werkszeitung, Heft 1, 1952, S. 14-15.
- BRUCKLACHER, WALTER (1954): *Geräte-Entwicklung bei ZEISS-AEROTOPOGRAPH von 1949 - 1954*. VR, 17. Jahrgang, Heft 1 und 2, (In Englisch: *New Developments in the Field of Instrument Design at the ZEISS-AEROTOPOGRAPH from 1949 to 1954*. Photogrammetric Engineering, 1954, S. 642-651.)
- BRUCKLACHER, WALTER (1955): *Luftphotogrammetrische Vermessung der Flurbereinigung Bergen*. Schriftenreihe für Flurbereinigung, Lengerich / Westfalen, 1955.
- BRUCKLACHER, WALTER (1956): *Gesichtspunkte zur Verwendung der Konvergentkammer 2 x RMK 21/18 von ZEISS-AEROTOPOGRAPH*. BuL, 1956, Sonderheft zum VIII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Stockholm, S. 38-46.
- BRUCKLACHER, WALTER & LÜDER, WOLFGANG (1956): *Untersuchung über die Schrumpfung von Messfilmen und photographischem Plattenmaterial*. DGK, München 1956, Reihe B, Nr. 31, ISBN 3 7696 8430 3.
- BRUCKLACHER, WALTER (1957): *Beitrag zur Planung, Vorbereitung und Durchführung photogrammetrischer Bildflüge*. DGK, München 1957, Reihe C, Nr. 25.

- BRUCKLACHER, WALTER (1961): *Geräte zur Markierung natürlicher und zur Herstellung künstlicher Punkte bei der Bildvorbereitung für die Aerotriangulation*. BuL, 1961, Heft 1, S. 15-20.
- BRUCKLACHER, WALTER (1962): *Zur Korrektur des Einflusses der Erdkrümmung bei der Bestimmung von Punkthöhen mittels Aerotriangulation*. BuL, 1962, Heft 4, S. 194-197.
- BRUCKLACHER, WALTER (1967a): *Terrestrische Photogrammetrie für Talsperrenplanung*. BuL, 1967, Heft 1, S. 22-28.
- BRUCKLACHER, WALTER (1967b): *Rationalisierung der Kartenherstellung durch Umstellung auf Photokarten*. Kartographische Nachrichten, 1967, No. 4.
- BRUCKLACHER, WALTER (1968): *Automatische Orthoprojektorsteuerung durch PLANMAT mit Korrelator*. BuL, 1968, Heft 2, S. 117-120.
- BRUCKLACHER, WALTER (1970a): *Zur Frage des optimalen Bildmassstabes bei der Herstellung von Orthophotokarten*. BuL, 1970, Heft 3, S. 188-193.
- BRUCKLACHER, WALTER (1970b): *Photogrammetrisches Auswertegerät*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 524 810, Anmeldung vom 28.05.1971 (Deutsche Anmeldung vom 11.06.1970).
- BRUCKLACHER, WALTER (1972): *Denkmalschutz und Photogrammetrie - Ein Gerätekonzept für die Architektur-Photogrammetrie*. db-Deutsche Bauzeitung, 1972, Heft 12.
- BRULAND, R. V. (1981): *Integrated Air Survey Navigation*. Vorträge der 38. Photogrammetrischen Woche 1981, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1982, Heft 8, S. 59-72.
- CLAUS, MICHAEL, RAASCH, MICHAEL, NOLTING, JÜRGEN & DUCHATEAU, RÜDIGER (1991a): *Vorrichtung und Verfahren zur dreidimensionalen Fernerkundung*. Europäisches Patentamt, EP 0 548 526, Anmeldung vom 13.11.1992 (Deutsche Anmeldung vom 15.11.1991).
- CLAUS, MICHAEL, RAASCH, MICHAEL, NOLTING, JÜRGEN & DUCHATEAU, RÜDIGER (1991b): *Optische Detektoranordnung*. Europäisches Patentamt, EP 0 549 907, Anmeldung vom 02.12.1992 (Deutsche Anmeldung vom 21.12.1991).
- CLAUS, MICHAEL (1995): *Demands on Electro-optical Cameras for Sensing and Mapping*. Photogrammetric Week '95, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1995, S. 37-44, ISBN 3-87907-277-9.
- CLAUS, MICHAEL & ESSWEIN, KARL-HEINZ (1998): *Vorrichtung und Verfahren zur elektronischen Bildstabilisierung*. Europäisches Patentamt, EP 0 948 197, Anmeldung vom 09.03.1999 (Deutsche Anmeldung vom 03.04.1998).
- CLERICI, ENRICO & HARLEY, IAN (1980): *Two methods of plotting from LANDSAT Imagery using analogue instruments*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIII, 1980, Part B 3, S. 117-124.
- CLERICI, ENRICO (1983): *The Production of Stereo-Orthophotos with Analytical Orthoprojection*. Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche 1983, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1984, Heft 9, S. 153-157.
- DEKER, HERMANN (1953): *Einrichtung für die stereoskopische Auswertung angenähert nadirwärts aufgenommener Luftbilder*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 324 717, Anmeldung vom 29.05.1954 (Deutsche Anmeldung vom 13.06.1953).
- DEKER, HERMANN (1954): *Gerät für die stereoskopische Auswertung von Luftbildern*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 332 176, Anmeldung vom 27.01.1955 (Deutsche Anmeldung vom 08.03.1954).
- DEKER, HERMANN (1956): *Theorie und Praxis des STEREOTOP*. BuL, 1956, Heft 2, S. 56-67.
- DEKER, HERMANN (1959): *Rechengetriebe in neueren photogrammetrischen Stereoauswertegeräten*. Dissertation, 1959, Technische Universität Stuttgart.
- DEKER, HERMANN (1962): *Probleme und Erfolge der Automation in der Photogrammetrie*. BuL, 1962, Sonderheft, S. 113-122.
- DÖHLER, MANFRED (1968): *Ausstellungsbericht zum XI. Internationalen Kongress für Photogrammetrie, Lausanne, 1968*. BuL, 1968, Heft 4, S. 222-233.
- DÖHLER, MANFRED (1969): *Bild-Adapter für kleine Formate zum Präzisions-Stereokomparator ZEISS PSK*. BuL, 1969, Heft 1, S. 14-15.
- DÖRSTEL, CHRISTOPH, MAYR, WERNER & MENKE, KURT (1993): *Shutterbrille*. Deutsches Patentamt, DE 4 331 715, Anmeldung vom 17.09.1993.
- DÖRSTEL, CHRISTOPH & WILLKOMM, PHILIPP (1994): *PHODIS ST Digital Stereoplotter - Automating Photogrammetric Operations and Workstation Design*. International Archives of Photogrammetry

- and Remote Sensing, Vol. XXX, 1994, Part 3/1, S. 188-193.
- DÖRSTEL, CHRISTOPH (1995): *PHODIS Innovations*. Photogrammetric Week '95, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1995, S. 5-10, ISBN 3-87907-277-9.
- DÖRSTEL, CHRISTOPH & OHLHOFF, TIMM (1996): *Processing and Display of Three-Line-Imagery at a Digital Photogrammetric Workstation*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B2, 1996, S. 72-77.
- DÖRSTEL, CHRISTOPH (1999): *Perspectives for aerial triangulation offered by Z/I IMAGING*. Photogrammetric Week '99, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999, S. 205-210, ISBN 3-87907-340-6.
- DÖRSTEL, CHRISTOPH, TANG, LIANG & MADANI, MOSTAFA (2001): *Automatic Aerial Triangulation Software of Z/I IMAGING*. Photogrammetric Week '01, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2001, S. 177-181, ISBN 3-87907-359-7.
- DORRER, EGON (1975): *Rechnergestützte Stereokartierung - Aufgaben, Rechenprogramm, Erfahrungen*. Vorträge der 35. Photogrammetrischen Woche 1975, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1976, Heft 2, S. 181-192.
- DREYER, GÜNTHER (1986): *Multilens cameras for high velocity/low altitude photoreconnaissance*. Optical Engineering, 1986, November, Vol. 25 No.11, S. 1253-1260.
- EBNER, HEINRICH (1966): *Zum Problem der Bildverschiebungen am Entzerrungsgerät SEG V*. ZEISS-Mitteilungen, 4. Band, 2. Heft, S. 98-100, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1966.
- EBNER, HEINRICH & WAGNER, W. (1970): *Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen am PLANIMAT von ZEISS - eine Geräteuntersuchung*. BuL, 1970, Heft 4, S. 249-257.
- EBNER, HEINRICH (1979): *Experience with the ZEISS C-100 PLANICOMP analytical stereoplottting system in training and research*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 6, 1979, S. 79-84.
- EBNER, HEINRICH & STEPHANI, MANFRED (1980a): *A Mathematical model for the reconstruction of objects using a multilens camera with a focal plane shutter and FMC*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIII, Part B3, 1980, S. 178-192.
- EBNER, HEINRICH, HOFMANN-WELLENHOF, BERNHARD, REISS, PETER & STEIDLER, FRANZ (1980b): *Ein Minicomputer-Programmsystem für Höheninterpolation mit finiten Elementen*. ZfV, 1980, S. 215-225.
- EBNER, (1981): *Erfahrungen mit dem Programmpaket HIFI*. Vorträge der 38. Photogrammetrischen Woche 1981, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1982, Heft 8, S. 157-164.
- ELLENBECK, KARL HEIKO & TÖNNESSEN, KARL (1981): *Datengewinnung für die analytische Orthoprojektion durch Digitalumsetzung der GZ 1-Speicherplatten*. BuL, 1981, Heft 1, S. 1-7.
- ELLENBECK, KARL HEIKO (1983): *Analytisch-Photogrammetrisches Verbundsystem des Landesvermessungsamtes Nordrhein-Westfalen*. Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche 1983, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1984, Heft 9, S. 69-76.
- FAUST, HANS-WOLFGANG (1975): *Das STEREOCORD G 2 - Seine Anwendung in der messenden Luftbildinterpretation*. Vorträge der 35. Photogrammetrischen Woche 1975, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1976, Heft 2, S. 267-274.
- FAUST, HANS-WOLFGANG (1977): *Remote sensors*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 169-186.
- FAUST, HANS-WOLFGANG (1980): *ORTHOCOMP Z 2, the Analytical Orthoprojector from CARL ZEISS, Oberkochen*. BuL, 1980, Heft 4, S. 110-118.
- FAUST, HANS-WOLFGANG (1981): *The Program System for the ZEISS Z-2 ORTHOCOMP*. Vorträge der 38. Photogrammetrischen Woche 1981, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1982, Heft 8, S. 25-30.
- FAUST, HANS-WOLFGANG (1984): *Methods and Instruments for the Production of Photo Maps*. BuL, 1984, Heft 3a, S. 187-194.
- FAUST, HANS-WOLFGANG (1985): *Developments in Photogrammetric Plotting*. Vorträge der 40. Photogrammetrischen Woche 1985, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1986, Heft 11, S. 41-47.
- FAUST, HANS-WOLFGANG & N.,N. (1986): *Verfahren zur Datenaufnahme mittels Detektorarrays und Vorrichtungen zur Durchführung der Verfahren*. Deutsches Patentamt, DE 3 630 739, Anmeldung vom 20.09.1986.

- FAUST, HANS-WOLFGANG (1989): *Digitization of Photogrammetric Images*. Vorträge der 42. Photogrammetrischen Woche 1989, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 13, 1989, S. 69-78. (In Deutsch: *Digitalisierung photogrammetrischer Bilder*, ZPF, 1990, Heft 1, S. 6-11).
- FAUST, HANS-WOLFGANG & KRSTEL, HEINZ (1991): *Optisches System in stereoskopischen Strahlengängen*. Deutsches Patentamt, DE 4 140 368, Anmeldung vom 07.12.1991.
- FAUST, HANS-WOLFGANG & MAYR, WERNER (1992): *Justierverfahren für die Datenaufnahme mit einem Detektorarray*. Deutsches Patentamt, DE 4 239 104, Anmeldung vom 20.11.1992.
- FELLE, KARL & MONDON, HERBERT (1966): *Verfahren und Einrichtung zur automatischen Herstellung eines Schichtlinienplanes*. Deutsches Patentamt, DE 1 548 562, Anmeldung vom 07.10.1966.
- FELLE, KARL & RÖSEL, WOLFGANG (1969): *Automatische Erzeugung von Höhenschichtlinien bei der Herstellung von Orthophotos*. BuL, 1969, Heft 5, S. 227-2234.
- FELLE, KARL (1974a): *Anordnung zur automatischen Steuerung der Belichtungszeit bei Reihenbildkameras mit Überdeckungsregelung*. Deutsches Patentamt, DE 2 403 862, Anmeldung vom 28.01.1974.
- FELLE, KARL (1974b): *Einrichtung zur Belichtungsregelung*. Deutsches Patentamt, DE 2 403 863, Anmeldung vom 28.01.1974.
- FELLE, KARL (1986): *Verfahren und Einrichtung zur optischen Bildaufzeichnung*. Deutsches Patentamt, DE 3 614 261, Anmeldung vom 26.04.1986.
- FELLE, KARL & KRSTEL, HEINZ (1988): *Verschluss für eine photogrammetrische Aufnahmekamera*. Europäisches Patentamt, EP 0 368 039, Anmeldung vom 17.10.1989 (Deutsche Anmeldung vom 05.11.1988).
- FINKE, HERBERT & FAUST, HANS-WOLFGANG (1977): *STEREORECORD G 2, Anwendung in der Planungs-Praxis*. VR, 1977, Heft 5, S. 225-241.
- FORSELL, MATS (1969): *Ein wirtschaftlicher Massstabbereich bei Orthoprojektion mit Speicher-verfahren*. BuL, 1969, Heft 5, S. 215-218.
- GROSSKOPF, RUDOLF (1989): *Digital processing of high definition images*. Vorträge der 42. Photogrammetrischen Woche 1989, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1989, Heft 13, S. 169-185.
- GÜLCH, EBERHARD (1984): *Geometric calibration of two CCD-cameras used for digital image correlation on the PLANICOMP C 100*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXV, 1984, Part A 3 a, S. 363-372.
- GÜLCH, EBERHARD (1985): *Instrumental realisation and calibration of digital correlation with the PLANICOMP*. Vorträge der 40. Photogrammetrischen Woche 1985, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1986, Heft 11, S. 91-107.
- HANSSEN, ADALBERT & SCHWARTZ, JÜRGEN (1983): *Anordnung zur Steuerung einer Bewegung*. Deutsches Patentamt, DE 3 330 476, Anmeldung vom 24.08.1983.
- HARDY, JOHN, JOHNSTON, RONALD & GODFREY, JOHN (1969): *Ein elektronischer Korrelator für den PLANIMAT*. ZEISS-Mitteilungen, 5. Band, 3. Heft, S. 127-145, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1969.
- HARDY, JOHN W. (1970): *Automatic Stereoplotting with the EC5/PLANIMAT*. BuL, 1970, Heft 1, S. 62-68.
- HARTFIEL, PAUL (1997): *Higher performance with automated aerial triangulation*. Photogrammetric Week '97, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1997, S. 109-113, ISBN 3-87907-317-1.
- HEIER, HELMUT (1999): *Applications and market for digital airborne cameras*. Photogrammetric Week '99, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999, S. 43-49, ISBN 3-87907-340-6.
- HEIER, HELMUT & LAUENROTH, GERHARD (2000): *A Digital Airborne Camera System for Photogrammetry and Thematic Applications*. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, 2000, Band 8, S. 95-101, ISSN 0942-2870.
- HEIER, HELMUT (2001): *Deploying DMC in today's workflow*. Photogrammetric Week '01, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2001, S. 35-45, ISBN 3-87907-359-7.
- HEIER, HELMUT, KIEFNER, MICHAEL & ZEITLER, WOLFGANG (2002): *Calibration of the Digital Modular Camera*. XXII FIG International Congress, 2002, Washington DC, Proceedings Technical Program, TS 5.12 Calibration of Survey Equipment.
- HEIER, HELMUT & HINZ, ALEXANDER (2002): *Results from the Digital Modular Camera*. XXII FIG International Congress, 2002, Washington DC, Proceedings Technical Program, TS 5.12 Calibration of Survey Equipment.

- HELLMUTH, EDITH & MÜHLFRIEDEL, WOLFGANG (1996): *CARL ZEISS 1846-1905 - Vom Atelier für Mechanik zum führenden Unternehmen des optischen Gerätebaus*. Böhlau Verlag, Weimar-Köln-Wien, 1996, ISBN 3-412-05696-0.
- HERMANN, ARMIN (1989): *Nur der Name war geblieben - Die abenteuerliche Geschichte der Firma CARL ZEISS*. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1989. ISBN 3-421-06515-2.
- HESS, GUSTAV (1951): *Einrichtung zum Markieren von Bildpunkten auf einer photographischen Schicht*. Deutsches Patentamt, DE 0 901 499, Anmeldung vom 15.07.1951 (Erstanmeldung vom 12.03.1943).
- HINZ, ALEXANDER (1997): *Design Concepts for Digital Photogrammetric Cameras*. Photogrammetric Week '97, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1997, S. 43-48, ISBN 3-87907-317-1.
- HINZ, ALEXANDER (1999): *The Z/I IMAGING Digital Airborne Camera System*. Photogrammetric Week '99, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999, S. 109-115, ISBN 3-87907-340-6.
- HINZ, ALEXANDER, DÖRSTEL, CHRISTOPH & HEIER, HELMUT (2000): *Digital Modular Camera: System Concept and Data Processing Workflow*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, 2000. (In Deutsch: *DMC - Digital Modular Camera: Systemkonzept und Ablauf der Datenverarbeitung*. PFG, 2001, Heft 3, S. 189-198.)
- HINZ, ALEXANDER, DÖRSTEL, CHRISTOPH & HEIER, HELMUT (2001): *DMC - The Digital Sensor Technology of Z/I IMAGING*. Photogrammetric Week '01, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 2001, S. 93-103, ISBN 3-87907-359-7.
- HOBBIE, DIERK (1969a): *Affinverfahren in der Orthoprojektion*. ZEISS-Mitteilungen, 5. Band, 3. Heft, S. 146-155, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1969.
- HOBBIE, DIERK (1969b): *Instrumentelle Neuerungen am Orthoprojektor GIGAS-ZEISS*. BuL, 1969, Heft 5, S. 219-226.
- HOBBIE, DIERK (1970a): *Höhenauswertung in Orthoprojektoren*. Presented Paper zum Internationalen Symposium der Kommission der IGP, München 1970. BuL, 1971, Heft 1, S. 29-36.
- HOBBIE, DIERK (1970b): *Possibilities and Methods of Orthophoto Production*. Paper submitted by the Federal Republic of Germany to the Sixth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Far East, Teheran Juni 1970. (In Deutsch: *Möglichkeiten und Verfahren der Orthophoto-Herstellung, dargestellt am ZEISS-Orthoprojektor-System*. VR, 1971, Heft 2, S. 41-50 und Heft 3, S. 105-112).
- HOBBIE, DIERK (1971): *Der Präzisions-Stereokomparator PSK 2 mit elektronischer Registrieranlage ECOMAT 21*. Vortrag zur 33. Photogrammetrischen Woche an der Universität Stuttgart 1971 (Unveröffentlichtes Manuskript).
- HOBBIE, DIERK (1972): *Einige Messungen zum Einfluss des Fertsch-Effektes auf den stereoskopischen Höhen-Einstellfehler*. Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. habil. GERHARD LEHMANN, Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Technische Universität, Hannover, 1972, S. 91-110.
- HOBBIE, DIERK (1973): *Zur Verfahrensdisposition bei differentieller Entzerrung von photogrammetrischen Luftbildern*. Dissertation 1973, DGK, Reihe C, Nr. 197, München 1974, ISBN 3 7696 9253 5. (Autorreferat in BuL, 1974, Heft 2, S. 64-64).
- HOBBIE, DIERK (1974): *Orthophoto Project Planning*. Photogrammetric Engineering, Vol. 40, 1974, S. 967-984. (In Deutsch: *Die Projektparameter bei differentieller Entzerrung*. Presented Paper zum Symposium der Kommission IV der IGP, Paris, September 1974, International Archives of Photogrammetry, Vol. XX, 1974).
- HOBBIE, DIERK (1975a): *Weitere Hinweise zur Bildflugplanung für Orthophoto-Projekte*. BuL, 1975, Heft 6, S. 212-217.
- HOBBIE, DIERK (1975b): *Das ZEISS STEREOCORD G 2, ein einfaches Stereomessgerät für rechnergestützte Auswertungen*. Vorträge der 35. Photogrammetrischen Woche 1975, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1976, Heft 2, S. 37-52. (In Englisch: *The ZEISS G-2 STEREOCORD, a simple stereoplotter for computer supported plotting*. The Photogrammetric Record, 8 (47), April 1976, S. 563-582).
- HOBBIE, DIERK (1976a): *Numerische Einpassung am Entzerrungsgerät SEG 5 mit der Orientierungseinrichtung ZEISS OCS 1*. BuL, 1976, Heft 4, S. 164-168.
- HOBBIE, DIERK (1976b): *PLANICOMP C 100, das analytische Auswertesystem von CARL ZEISS, Oberkochen*. Presented Paper der Kommission II zum IGP-Kongress, Helsinki, 1976, Vol. XXI Internat. Archive of Photogrammetry. (In Englisch: *C-100 PLANICOMP, the Analytical Stereoplotting System from CARL ZEISS, Oberkochen*. Photogrammetric Engineering, Vol. 43, 1977, No. 11, S. 1377-1390).

- HOBBIE, DIERK (1977a): *The ZEISS SEG 6 Rectifier*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 13-18. (In Deutsch: *Das ZEISS-Entzerrungsgerät SEG 6*. BuL, 1978, Heft 1, S. 16-20).
- HOBBIE, DIERK (1977b): *Configuration and performance features of the C-100 PLANICOMP analytical plotting system*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 81-102.
- HOBBIE, DIERK (1977c): *Results and Experience of 18 months' work with the C-100 PLANICOMP*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 111-118. (In Deutsch: *Ergebnisse und Erfahrungen aus 1 1/2-jähriger Arbeit mit dem PLANICOMP C 100*. BuL, 1977, Heft 6, S. 175-182).
- HOBBIE, DIERK (1977d): *Der Einfluss von Elektronik und Datenverarbeitung auf den photogrammetrischen Instrumentenbau*. Festschrift zur Emeritierung von o. Prof. Dr. techn. FRITZ LÖSCHNER am 30.09.1977, Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der Rheinisch Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1977, Nr. 23.
- HOBBIE, DIERK (1978): *On-line aerial triangulation with the PLANICOMP C 100*. NaKaVerm, Reihe II, Nr. 36, Frankfurt, 1978, S. 141-149.
- HOBBIE, DIERK (1979a): *Automatische Entzerrung*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 79-129, "Neue Geräte für Geodäsie und Photogrammetrie", Teil III A, Dezember 1979.
- HOBBIE, DIERK (1979b): *Interactive Acquisition and Editing of Photogrammetric Data with the ZEISS AS Program system for Minicomputers*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1980, Heft 6, S. 47-56. (In Deutsch: *Interaktive Erfassung und Aufbereitung photogrammetrischer Daten mit dem ZEISS AS Programmsystem für Minicomputer*. BuL, 1980, Heft 2, S. 55-61).
- HOBBIE, DIERK (1979c): *The present development status of the C-100 PLANICOMP*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1980, Heft 6, S. 57-67.
- HOBBIE, DIERK (1980a): *Die Bedeutung des ZEISS PLANICOMP für die photogrammetrische Praxis*. Presented Paper der Kommission IV zum IGP-Kongress, Hamburg, 1980. Vol. XXIII, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1980.
- HOBBIE, DIERK (1980b): *Testprozeduren für das PLANICOMP C 100*. Presented Paper der Kommission II zum IGP-Kongress, Hamburg, 1980. Vol. XXIII, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1980.
- HOBBIE, DIERK (1980c): *Verfahren zur Einbelichtung von Zeichen in Orthophotos*. Deutsches Patentamt, DE 3 047 519, Anmeldung vom 17.12.1980.
- HOBBIE, DIERK (1981a): *The Integrated Photogrammetric Plotting System from ZEISS*. Presented Paper zum ACSM/ASP Annual Meeting der American Society of Photogrammetry, Washington DC, Februar 1981.
- HOBBIE, DIERK (1981b): *The PLANI-AS Program for computerized acquisition of photogrammetric data*. Vorträge der 38. Photogrammetrischen Woche 1981, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1982, Heft 8, S. 15-24.
- HOBBIE, DIERK & FAUST, HANS-WOLFGANG (1981): *Z-2 ORTHOCOMP, the New High Performance Orthophoto Equipment from ZEISS*. Presented Paper zum ACSM/ASP Annual Meeting der American Society of Photogrammetry, Washington DC, Februar 1981. (Auch in: *Photogrammetric Engineering*, Vol. 49, 1983, No. 5, S. 635-640).
- HOBBIE, DIERK (1983): *Extended graphical plotting with the PLANICOMP*. Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche 1983, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1984, Heft 9, S. 17-26. (In Deutsch: *Weiterentwickelte Graphik zum PLANICOMP*. BuL, 1984, Heft 1, S. 50-58).
- HOBBIE, DIERK (1984a): *PLANICOMP-INTERGRAPH Interfaces*. Invited Paper zum INTERGRAPH-Seminar, Barcelona, 29./30. März 1984.
- HOBBIE, DIERK (1984b): *The ZEISS Line of Photogrammetric Systems*. BuL, 1984, Heft 3a, S. 134-142.
- HOBBIE, DIERK & RÜDENAUER, HELMUT (1984c): *The ZEISS PLANICOMP Family: A user-oriented solution to practical requirements*. BuL, 1984, Heft 3a, S. 163-171.
- HOBBIE, DIERK (1985): *Progress in Digital Mapping Instruments Design*. Vorträge der 40. Photogram-

- metrischen Woche 1985, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 11, 1986, S. 13-20. (In Deutsch: Fortschritte im Instrumentenbau für Digitale Kartierung, BuL 1986, S. 55-62.
- HOBBIE, DIERK (1986): *Latest Upgrades to Analytical Stereoplotters from ZEISS OBERKochen*. Presented Paper zum Symposium der Kommission II der IGPF, Baltimore, 1986. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1986, Vol. XXVI, Part 2, S. 548-555.
- HOBBIE, DIERK (1987a): *PHOCUS und PLANICOMP P-Serie*. BuL, 1987, Heft 3, S. 71-76.
- HOBBIE, DIERK (1987b): *Introduction into the new product generation from ZEISS: P-Series PLANICOMP / PHOCUS*. Vorträge der 41. Photogrammetrischen Woche 1987, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1987, Heft 12, S. 21-24.
- HOBBIE, DIERK (1989): *Gedanken zur wissenschaftlichen Ausbildung in der Photogrammetrie*. Festschrift FRIEDRICH ACKERMANN zum 60. Geburtstag, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1989, Heft 14, S. 99-109.
- HOBBIE, DIERK (1990): Main points of photogrammetric development at OPTON FEINTECHNIK GmbH, Oberkochen. ZPF, 1990, Sonderheft 1 in chinesischer Sprache, S. 17-20.
- HOBBIE, DIERK (1991a): *Joint Future of ZEISS in Jena and Oberkochen*. Geodetical Info Magazine, September 1991, S. 58-61.
- HOBBIE, DIERK (1991b): *Eine gemeinsame Zukunft für ZEISS in Jena und Oberkochen*. VR, Dezember 1991, Heft 8, S. 421-424.
- HOBBIE, DIERK (1992): *Die Zukunft von ZEISS in Jena und Oberkochen*. AVN, 1992, Heft 3, S. 139-141.
- HOBBIE, DIERK (1993a): *The reunification of CARL ZEISS in Jena and Oberkochen*. Photogrammetric Record, 14 (81), April 1993, S. 419-424.
- HOBBIE, DIERK (1993b): *GEOKART - Empresas alemanas de geodesia y cartografía y sus actividades a nivel internacional*. Fifth United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas, New York, January 1993, E/Conf.86/1, Working Paper No. 27.
- HOBBIE, DIERK & MEIER, HANS-KARSTEN (1993): *Past and future of the ZEISS enterprises in Jena and Oberkochen*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 48, No.4, 1993, S. 12-16.
- HOBBIE, DIERK (1994): *International Projects of the German GEOKART Enterprises*. Thirteenth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific, Beijing, May 1994, E/Conf. 87/Inf. 34.
- HOBBIE, DIERK (1997): *The contribution of Germany to the Technical Cooperation in Mapping and GIS*. Fourteenth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific, Bangkok, February 1997, E/Conf. 89/Inf/15.
- HOBBIE, DIERK (1998): *Notwendige Studienplan-Aktualisierung des universitären Vermessungs-Studiums*. VR, Oktober 1998, Heft 7, S. 363-371.
- HOBBIE, DIERK (1999): *Ein Jahrhundert photogrammetrischen Instrumentenbaus*. Festschrift für Prof. Dr.-Ing. HEINRICH EBNER zum 60. Geburtstag, Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität, München, 1999, S. 121-131.
- HOBBIE, DIERK (2002): *Das Berufsbild des Geodäten im Wandel der Zeit und die Auswirkungen auf die Ingenieurausbildung*. Festschrift 150 Jahre Geodätisches Institut der Technischen Universität Dresden, 2002, Heft 2 der Schriftenreihe des Geodätischen Instituts, Dresden, 2003.
- HOFMANN, WALTER (1953): *Die photogrammetrische Ausstellung*. Ausstellungsbericht zum VII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie, Washington, D.C, 1952. AVN, 1953, Sonderheft 1 von BuL, S. 28-32).
- HOFMANN, WALTER (1956): *Die photogrammetrische Ausstellung*. Ausstellungsbericht zum VIII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie, Stockholm, 1956, BuL, Heft 4, S. 137-139).
- HOTHMER, JÜRGEN (1960): *Ausstellungsbericht zum IX. Internationalen Kongress für Photogrammetrie, London, 1960*. BuL, 1960, Heft 4, S. 231-238.
- HÜLL, JOHANN & TRUNZ, MICHAEL (2000): *Kamera-system mit mindestens zwei ersten und zweiten Kameras*. Deutsches Patentamt, DE 10 034 601, Anmeldung vom 14.07.2000.
- JORDAN, E. & KRESSE, WOLFGANG (1981): *Die Computer-gestützte quantitative Luftbilddauswertung mit dem ZEISS STEREOCORD und seinen Peripheriegeräten zur Rationalisierung der Feldforschungen in den Geowissenschaften*. Erdkunde 35, 1981, S. 222-231.

- JUNG, RUDOLF (1960): *Zur Entwicklungsgeschichte der Photogrammetrie in Deutschland unter Berücksichtigung des internationalen Fortschritts*. BuL, 1960, Heft 1, S. 23-41.
- KERSTING, R. (1969): *Erfahrungen mit dem Orthoprojektor GZ 1 in der Landeskulturverwaltung Rheinland-Pfalz*. BuL, 1969, Heft 5, S. 192-196.
- KLEIN, HERMANN (1977): *Aerotriangulation with PLANICOMP C-100 and the Stuttgart programs*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 119-124.
- KLEIN, HERMANN (1978): *Block-Adjustment Programs for Minicomputers*. NaKaVerm, Reihe II, Nr. 36, Frankfurt, 1978, S. 151-161.
- KÖHLER, HORST (1983): *30 Jahre Forschung und Entwicklung im ZEISS Werk Oberkochen*. Herausgeber CARL ZEISS Oberkochen, 1983, Band 1, S. 79-82.
- KONECNY, GOTTFRIED (1977): *Analytische Auswertegeräte - Zielsetzung, Entwicklung und technische Realisierung*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 51-80.
- KONECNY, GOTTFRIED (1979): *Das Europäische Weltraum-Fernerkundungs-Programm*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1979, Heft 6, S. 179-196.
- KONECNY, GOTTFRIED & PAPE, DIETMAR (1980): *Correlation Techniques and Devices*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIII, 1980, Part B 11, S. 31-50.
- KONECNY, GOTTFRIED (1984): *The Photogrammetric Camera Experiment on Spacelab 1*. BuL, 1984, Heft 3a, S. 195-200.
- KONECNY, GOTTFRIED, LOHMANN, PETER, ENGEL H. & KRUCK, ERWIN (1987): *Evaluation of SPOT imagery on analytical photogrammetric instrument*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53 (9), 1987, S. 1223-1230.
- KRASTEL, HEINZ (1973): *Auswertekammer*. Deutsches Patentamt, DE 2 360 459, Anmeldung vom 05.12.1973.
- KRASTEL, HEINZ (1975a): *Optische Messeinrichtung mit einer im Strahlengang angeordneten Messmarke*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 592 891, Anmeldung vom 21.05.1976 (Deutsche Anmeldung vom 05.02.1975).
- KRASTEL, HEINZ (1975b): *Vorrichtung zum Verschieben eines Messschlittens relativ zur Grundplatte*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 597 587, Anmeldung vom 14.06.1976 (Deutsche Anmeldung vom 05.09.1975).
- KRASTEL, HEINZ, FELLE, KARL, HOBBIE, DIERK, FAUST, HANS-WOLFGANG, KAISER, RICHARD J., KUEHLTHAU, ROBERT L., PINARD, ALWARD J. & WYLIE GARY D. (1989): *Verfahren zur Datenaufnahme mittels eines, mindestens eine Detektorzeile enthaltenden Detektorarrays und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens*. Europäisches Patentamt, EP 0 417 625, Anmeldung vom 05.09.1990 (Deutsche Anmeldung vom 11.09.1989).
- KRASTEL, HEINZ & PREIS, KARL-HEINZ (1995): *Roll Film Flat Bed Scanner*. United States Patent Office, US Des. 412 520, Anmeldung vom 03.08.1995 (Deutsche Geschmacksmuster-Anmeldung vom 03.02.1995).
- KRAUSS, GEORG (1967): *Laufendhaltung von topographischen Karten - Probleme und Erfahrungen*. BuL, 1967, Heft 5, S. 225-234.
- KREILING, WALTER (1976): *Die Instrumentenausstellung (Bericht vom ISP-Kongress in Helsinki)*. BuL, 1976, Heft 4, S. 2327-244.
- KRESSE, WOLFGANG (1993): *Digital orthophoto production with PHODIS*. Photogrammetric Week '93, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1993, S. 11-15, ISBN 3-87907-255-8.
- KRESSE, WOLFGANG (1997): *Kopplung von PLANICOMP und ALK-GIAP - Technik und Anwendungen*. PFG, 1997, Heft 4, S. 253-258.
- KRESSE, WOLFGANG & SCHWEBEL, REINER (2001): *Statusbericht über Stand und Planung der internationalen und nationalen Standards für Photogrammetrie und Fernerkundung*. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, 2001, Band 10, S. 51-62, ISSN 0942-2870.
- KRZYSZEK, PETER (1991): *Fully Automatic Measurement of Digital Elevation Models with MATCH-T*. Vorträge der 43. Photogrammetrischen Woche 1991, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1991, Heft 15, S. 203-214.
- KÜHN, GERHARD (1969): *CARL-PULFRICH-Preis*. BuL, 1969, Heft 2, Seite 67-68.
- KUPFER, GÜNTER (1957a): *Zur Höhenauswertung am STEREOTOP*. BuL, 1957, Heft 3, S. 87-93.

- KUPFER, GÜNTER (1957b): *Basisverbesserung am STEREOTOP*. BuL, 1957, Heft 4, S. 118-120.
- LEHMANN, GERHARD (1960a): *Versuchsauswertungen am PLANITOP*. BuL, 1960, Heft 3, S. 175-182.
- LEHMANN, GERHARD (1960b): *Probemessungen am ZEISS Präzisions-Stereokomparator*. ZfV, 1960, Heft 12, S.473-478.
- LORCH, WINFRIED (1976): *Belichtungsautomatik bei ZEISS-Reihenmesskammern*. BuL, 1976, Heft 4, S. 158-164.
- LORCH, WINFRIED (1977): *The NA automatic navigation meter - a module of the ZEISS RMK control system for automatic overlap and drift control*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 5-11. (In Deutsch: *Der Navigationsautomat NA - Ein Baustein des ZEISS RMK-Steuerungssystems zur automatischen Überdeckungs- und Abdriftsteuerung*. BuL, 1978, Heft 1, S. 20-25).
- LORCH, WINFRIED (1979): *ZEISS Reihenmesskammer RMK A 30/23 im Spacelab*. ZEISS-Information, 24. Jahrgang, Heft 89, S. 54, Dezember 1979.
- LORCH, WINFRIED & SCHWEBEL, REINER (1980): *Ein Digitalzeichentisch für die graphische photogrammetrische Auswertung*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIII, 1980, Part B 2, S. 128-138.
- LORCH, WINFRIED (1986): *The RMK Aerial Camera System: Performance Potential of Aerial Photography with Forward Motion Compensation*. Presented Paper zum Symposium der Kommission I der ISPRS, Stuttgart 1986, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXVI, 1986, S. 363-366.
- LORCH, WINFRIED (1991): *RMK TOP Aerial Camera System*. Vorträge der 43. Photogrammetrischen Woche 1991, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1991, Heft 15, S. 25-86
- LORCH, WINFRIED (1992): *ZEISS RMK TOP - erweiterte Möglichkeiten eines Luftbildaufnahmesystems*. ZPF, 1992, Heft 1, S. 19-24.
- MAYR, WERNER (1991): *PHIPS - A New Tool for Digital Photogrammetry*. Vorträge der 43. Photogrammetrischen Woche 1991, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1991, Heft 15, S. 31-35.
- MAYR, WERNER (1992): *Das Photogrammetrische Bildverarbeitungssystem von CARL ZEISS*. ZPF, 1992, Heft 1, S. 13-18.
- MAYR, WERNER (1993): *Photogrammetric digital image processing at CARL ZEISS*. Photogrammetric Week '93, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1993, S. 137-142, ISBN 3-87907-255-8.
- MAYR, WERNER (1995): *Aspects of Automatic Aerotriangulation*. Photogrammetric Week '95, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1995, S. 225-234, ISBN 3-87907-277-9.
- MAYR, WERNER & DÖRSTEL, CHRISTOPH (1996): *PHODIS - Digital Photogrammetry from CARL ZEISS*. ZPF, 1996, Heft 4, S. 130-139.
- MAYR, WERNER (1997): *Bemerkungen zum Potential Digitaler Photogrammetrischer Systeme*. PFG, 1997, Heft 6, S. 347-357.
- MCLEOD, M. H. (1973): *Halbautomatische grossmassstäbige Kartierung beim Ontario Ministry of Transportation and Communication*. BuL, 1973, Heft 6, S. 212-218.
- MEHLO, HERWIG (1994): *Vorrichtung mit mindestens zwei benachbart aufgestellten Bildschirm-Monitoren mit unterschiedlichem Display-Modus und Verfahren zu deren Betrieb*. Deutsches Patentamt, DE 4 417 664, Anmeldung vom 20.05.1994.
- MEHLO, HERWIG, PREIS, KARL-HEINZ & RAASCH, MICHAEL (1994): *Vorrichtung zum scannenden Digitalisieren von Bildvorlagen sowie Verfahren zu deren Betrieb*. Deutsches Patentamt, DE 19 544 178, Anmeldung vom 28.11.1995 (Innere Priorität vom 29.11.1994).
- MEHLO, HERWIG (1995): *Photogrammetric Scanners*. Photogrammetric Week '95, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1995, S. 11-17, ISBN 3-87907-277-9.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1956): *Ein neues Statoskop mit elektrischer Registrierung*. BuL, 1956, Sonderheft zum VIII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Stockholm, S. 60-69.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1958): *Vereinfachte Ausgleichung von Aerotriangulationen auf der Grundlage eines Passpunktschemas*. ZfV, 1958, S. 145-149.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1960a): *Diskussion der Bewegungsunschärfe bei Luftbildern mit Hilfe der Kontrastübertragungsfunktion*. BuL, 1960, Heft 2, S. 65-77.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1960b): *Stereomesskammer, Terrestrische Messkammer und TERRAGRAPH, eine neue Gerätekombination für den terrestrischen Normalfall*. BuL, 1960, Heft 3, S. 147-155.

- MEIER, HANS-KARSTEN (1962): *Über die Benutzung von Infrarotemulsionen in der Photogrammetrie*. BuL, 1962, Heft 2, S. 27-37.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1964a): *Erfahrungen bei Entwicklung und Bau von Luftbildgeräten*. BuL, 1964, Heft 1, S. 19-28.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1964b): *Untersuchungen zur Wahl des Bildwinkels und Bildformats von Luftbildkammern*. BuL, 1964, Heft 3, S. 83-92. (In Englisch: *Angular Field and Negative Size*. Photogrammetric Engineering, 1966, S. 126-135).
- MEIER, HANS-KARSTEN (1964c): *Über die Bezugsflächen photogrammetrische bestimmter Höhen*. ZfV, 1964, Heft 4, S. 113-118.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1964d): *Reseau-Anordnung in Reihenmesskammern*. Deutsches Patentamt, DE 1 279 342, Anmeldung vom 11.07.1964.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1966a): *Art und Genauigkeit der Höhendarstellung im Orthoprojektor GIGAS-ZEISS*. BuL, 1966, Heft 2, S. 65-69.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1966b): *Theorie und Praxis des Orthoprojektors GIGAS-ZEISS*. ZEISS-Mitteilungen, 4. Band, 2. Heft, S. 79-98, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1966.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1966c): *Über die instrumentelle Entwicklung für die Bildmessung*. Beitrag in der Artikelreihe "Forschung und Entwicklung im CARL-ZEISS-Werk", Neue Zürcher Zeitung, Beilage Technik, 1966, 30. November, 7. und 28. Dezember, S. 26-29.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1967): *Farbtreue Luftbilder ?* BuL, 1967, Heft 5, S. 206-214.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1968): *ZEISS - RMK A 8,5/23, die neue 125°-Überweitwinkelkammer*. BuL, 1968, Heft 2, S. 100-106.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1969): *Die Entwicklung im photogrammetrischen Instrumentenbau während der letzten 30 Jahre, dargestellt am Beispiel der ZEISS-Geräte*. ZEISS-Mitteilungen, 5. Band, 3. Heft, S. 105-127, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1969.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1970a): *Modellvorstellungen zur Luftbild-Aufnahmedisposition und ihr Vergleich mit praktischen Ergebnissen*. BuL, 1970, Heft 1, S. 50-62.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1970b): *Prüfung und Kalibrierung von Messkammern*. Veröffentlichung des Geodätischen Instituts der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Nr. 15, 1970.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1970c): *Le chambres de prise de vues modernes CARL ZEISS Oberkochen - Leur contrôle et leur étalonnage*. Bulletin No. 39 de la Société Française de Photogrammetrie, Juli 1970.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1970d): *Orthoprojection Systems and their Practical Potential*. Presented Paper at the Fourth National Survey Conference, Durban, July 1970.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1970e): *Gewinnung und Nutzung der geometrischen Information aerophotogrammetrischer Messbilder*. Photographie und Film in Industrie und Technik III, Verlag Dr. Othmar Helwich, Darmstadt, 1970, S. 240-246.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1970f): *Weiterentwicklung des elektronischen Höhenschichtlinienzeichners HLZ zum Orthoprojektor GIGAS-ZEISS*. BuL, 1970, Heft 6, S. 355-357.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1971): *Der Stereo-Röntgenkomparator StR 1-3*. BuL, 1971, Heft 3, S. 131-133.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1972a): *Zur Filmplanlage in Luftbildkammern*. BuL, 1972, Heft 1, S. 56-63.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1972b): *Belichtungsautomatik für Luftbildkammern*. BuL, 1972, Heft 3, S. 134-143.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1972c): *Über den Einfluss von Flugzeug-Abschlussgläsern auf die Verzeichnung von Luftbildkammern*. Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. habil. GERHARD LEHMANN, Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Technische Universität Hannover, 1972, S. 111-121.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1973a): *STR 1-3 Stereoplotting System for X-Ray Photography*. ZEISS-Information, 19. Jahrgang, Heft 79, S. 76, Mai 1973.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1973b): *E 2 PLANICART*. ZEISS-Information, 19. Jahrgang, Heft 79, S. 77, Mai 1973.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1975a): *Über den Einfluss der Umweltbedingungen auf die Verzeichnung von Luftbildkammern*. BuL, 1975, Heft 2, S. 69-73.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1975b): *Über die geometrische Genauigkeit von Luftbildkammern*. Vorträge der 35. Photogrammetrischen Woche 1975, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1976, Heft 2, S. 89-103.

- MEIER, HANS-KARSTEN (1976a): *Neues von CARL ZEISS, Oberkochen zur Unterstützung und Steuerung photogrammetrischer Auswertungen durch Rechner*. BuL, 1976, Heft 4, S. 140-146.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1976b): *Neue Geräte für die Photogrammetrie*. ZEISS-Information 22. Jahrgang, Heft 85, 1976, S. 60.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1977): *Sollten im photogrammetrischen Instrumentenbau grössere Anstrengungen zur Standardisierung unternommen werden?* BuL, 1977, Heft 5, S. 160-161.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1978a): *Verzeichnung, Kammerkonstante und Fokussierung von Luftbildkamern unter dem Einfluss bildflugspezifischer Umweltbedingungen*. BuL, 1978, Heft 6, S. 193-198.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1978b): *25 Jahre Bau photogrammetrischer Instrumente in Oberkochen*. ZEISS-Information, 24. Jahrgang, Heft 88, 1978/79, S. 26.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1979): *Multispektralkammer ZEISS-MUK 8/24 und Streifenkammer ZEISS-SK 2*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 79-129, "Neue Geräte für Geodäsie und Photogrammetrie", Teil II, Dezember 1979.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1980): *Über den gegenwärtigen Stand aerophotogrammetrischer Aufnahmesysteme*. BuL, 1980, Heft 4, S. 103-110.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1984): *Progress by Forward Motion Compensation for ZEISS Aerial Cameras*. BuL, 1984, Heft 3a, S. 143-152.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1985a): *Der CARL-PULFRICH-Preis*. Festschrift zum 60. Geburtstag von Professor GERHARD EICHHORN, Technische Hochschule Darmstadt, 1985.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1985b): *Image Quality Improvement by Forward Motion Compensation*. Vorträge der 40. Photogrammetrischen Woche 1985, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1985, Heft 11, S. 235-249.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1986): *Photogrammetrischer Instrumentenbau bei CARL ZEISS*. Unveröffentlichtes Manuskript, Carl Zeiss, Oberkochen, 1986.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1987): *Gedanken zur Entwicklung photogrammetrischer Instrumente*. Vortrag anlässlich der Verabschiedung von Dr. ERWIN PAPE am 26.06.1987 in Bonn- Bad Godesberg, Nachrichten aus dem öffentlichen Vermessungswesen Nordrhein-Westfalen, NÖV NRW, 1/1988, S. 3-7.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1989): *Photogrammetrische Instrumente - Die Entwicklung der photogrammetrischen Instrumente bei CARL ZEISS in Oberkochen von 1945 bis 1985*. Auszug des Kapitels 7.7 aus "30 Jahre Forschung und Entwicklung im ZEISS Werk Oberkochen" als Sonderdruck, CARL ZEISS Oberkochen, 1989, 91 Seiten.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1994): *DIN-Norm 18716: Photogrammetrie und Fernerkundung*. ZPF, 1994, Heft 2, S. 80-81.
- MEIER, HANS-KARSTEN (1995): *Neue DIN-Norm 18716 für "Photogrammetrie und Fernerkundung"*. ZPF, 1995, Heft 6, S. 239-244.
- MEIER, HANS-KARSTEN (2002): *DR. MAX GASSERS Beitrag zur analogen Photogrammetrie unter Berücksichtigung seiner Patente und deren Bewertung*. PFG, 2002, Heft 2, S. 125-134.
- MENKE, KURT (1985): *Review of standards for cartographic data exchange*. Vorträge der 40. Photogrammetrischen Woche 1985, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1986, Heft 11, S. 197-206.
- MENKE, KURT (1987a): *PHOCUS - Das neue universelle photogrammetrische und kartographische System von CARL ZEISS, Oberkochen*. BuL, 1987, Heft 3, S. 83-91.
- MENKE, KURT (1987b): *Production and revision of topographic maps with PHOCUS*. Vorträge der 41. Photogrammetrischen Woche 1987, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1987, Heft 12, S. 153-160.
- MENKE, KURT (1989): *PHOCUS - Concept and Perspectives*. Vorträge der 42. Photogrammetrischen Woche 1989, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1989, Heft 13, S. 153-163.
- MENKE, KURT (1991): *PHOCUS for cartographic applications*. Vorträge der 43. Photogrammetrischen Woche 1991, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1991, Heft 15, S. 115-121.
- MENKE, KURT (1994): *Vorstellung neuer Produkte von CARL ZEISS zur Photogrammetrischen Woche 1993*. ZPF, 1994, Heft 1, S. 15-19.
- MOHL, HANS (1980): *Conception and accuracy of the program system for the STEREOCORD G 2*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIII, 1980, Part B 2, S. 177-186.

- MOHL, HANS (1981): *The STEREOCORD G 3*. Vorträge der 38. Photogrammetrischen Woche 1981, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1982, Heft 8, S. 7-14. (In Deutsch: *Das STEREOCORD G 3*. BuL, 1982, Heft 1, S. 7-15.)
- MOHL, HANS (1985): *STEREOCORD G 3 TERRESTRIAL - ein universelles System für die terrestrische Photogrammetrie*. Presented Paper zur Wissenschaftlich-technischen Jahrestagung der DGPF, Berlin, 1985.
- MOHL, HANS & TAUBER, HERBERT (1987): *Detection of unexploded bombs of World War II by quantitative interpretation of reconnaissance photographs*. Vorträge der 41. Photogrammetrischen Woche 1987, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1987, Heft 12, S. 253-259.
- MOHL, HANS (1989): *G 3 GRAPHIC, ein eigenständiges Kartiersystem mittlerer Genauigkeit für Luftbildinterpretation und terrestrische Photogrammetrie*. Festschrift FRIEDRICH ACKERMANN zum 60. Geburtstag, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1989, Heft 14, S. 199-213.
- MONDON, HERBERT (1959a): *Ein neuer Parallaxenrechner zur Auflösung der aerophotogrammetrischen Höhenformel*. BuL, 1959, Heft 3, S. 86-91.
- MONDON, HERBERT (1959b): *Screw drive for measuring instruments*. United States Patent Office, US 3 004 445, Anmeldung vom 14.10.1960 (Deutsche Anmeldung vom 14.10.1959).
- MONDON, HERBERT (1959c): *Reibungsgetriebe zur Umwandlung einer Drehbewegung in eine Vorschubbewegung*. Deutsches Patentamt, DE 1 140 420, Anmeldung vom 16.10.1959.
- MONDON, HERBERT (1963): *Verfahren zur Herstellung eines differentiell entzerrten orthogonalen Bildplanes von räumlichen Objekten und Anordnung zur Durchführung des Verfahrens*. Deutsches Patentamt, DE 1 184 626, Anmeldung vom 08.08.1963.
- MONDON, HERBERT (1965): *Verfahren zur Herstellung eines differentiell entzerrten orthogonalen Bildplanes von räumlichen Objekten und Anordnung zur Durchführung des Verfahrens*. Deutsches Patentamt, DE 1 261 391, Anmeldung vom 13.08.1965.
- MONDON, HERBERT & DREYER, GÜNTHER (1966): *Verfahren und Einrichtung zur automatischen Herstellung eines Schichtlinienplanes*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 491 363, Anmeldung 13.02.1967 (Deutsche Anmeldung vom 07.10.1966).
- MOTTWEILER, JAKOB, MEIER, HANS-KARSTEN & EICHINGER, RUDOLF (1969): *Filter in einer Luftkammer*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 524 832, Anmeldung vom 16.10.1970 (Deutsche Anmeldung vom 31.12.1969).
- N.N. (1953): *Einige Streiflichter über die Ausstellung photogrammetrischer Geräte des 8. Internationalen Geometer-Kongresses Paris 28.8.-6.9.1953*. AVN, 1953, Nr. 12, S. 304-306, (vereinigt mit BuL, Heft 4, S. 132-134).
- N.N. (1999): *GAF Recce Pod - German Air Force Reconnaissance Pod*. AeroSpace, 1999, Heft 4, S.87.
- NEUBAUER, H. G. (1969a): *Eine Genauigkeitsuntersuchung des Orthoprojektors GIGAS-ZEISS*. NaKa-Verm, Reihe I, Band 42, S. 5-76, Frankfurt 1969.
- NEUBAUER, H. G. (1969b): *Die Geländeneigungen und ihr Einfluss auf die Lagefehler der differentiellen Entzerrung*. BuL, 1969, Heft 5, S. 179-182.
- PAPE, DIETMAR (1983): *Der digitale Bildkorrelator RASTAR - Konzept und Ergebnisse*. Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche 1983, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1984, Heft 9, S. 195-204.
- PENNING, KURT & AHREND, MARTIN (1959): *Photogrammetrisches Kartiergerät mit lichtelektrischer Nachlaufsteuerung*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 381 870, Anmeldung vom 22.01.1960 (Deutsche Anmeldung vom 31.01.1959).
- PRINZ, REINHARD (1975): *Reihenbildkamera*. Deutsches Patentamt, DE 2 542 031, Anmeldung vom 20.09.1975.
- PRINZ, REINHARD & FELLE, KARL (1976): *Verfahren und Vorrichtung zur Messung der Geschwindigkeit einer Bildstruktur*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 616 508, Anmeldung vom 18.05.1977 (Deutsche Anmeldung vom 14.08.1976).
- PRINZ, REINHARD (1980): *Vorrichtung zur Verstellung zweier spielfrei im Gewindeeingriff befindlicher Teile*. Deutsches Patentamt, DE 3 030 549, Anmeldung vom 13.08.1980.
- PRINZ, REINHARD (1984): *Verfahren und Vorrichtung zum Ausgleich der Bildwanderung bei einer Luftbildkammer*. Europäisches Patentamt, EP 0 123 271, Anmeldung vom 18.04.1984 (Deutsche Anmeldung vom 20.04.1983).

- RAASCH, MICHAEL (1996): *Kamera mit elektronischem Sucher*. Deutsches Patentamt, DE 19 603 064, Anmeldung vom 29.01.1996.
- REICHE, SIEGFRIED (1973): *Objektabtastung und Bildaufzeichnung mit Lasern*. *Optik*, 37, 1973, S. 50-60.
- REINHARDT, WOLFGANG (1983): *A Program for Progressive Sampling for the ZEISS PLANICOMP*. Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche 1983, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1984, Heft 9, S. 83-90.
- REINHARDT, WOLFGANG (1986): *Optical superimposition of stereo model and graphical information as a tool for DEM quality control*. Symposium der Kommission IV der IGP, Edinburgh, 1986. International Archives of Photogrammetry, Vol. XXVI.
- REINHARDT, WOLFGANG & HÖSSLER, RAINER (1989): *Interactive generation of digital terrain models*. Vorträge der 42. Photogrammetrischen Woche 1989, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 13, 1989, S. 129-139.
- RICHTER, ROBERT (1952): *TOPAR 1:4, f=210 mm für 18 cm x 18 cm Luftbildkameras*. AVN, 1952, Nr. 9, S. 219 ff. (vereinigt mit BuL, Heft 3, S. 71 ff.).
- RICHTER, ROBERT (1955): *Die Entstehung und Vervollkommnung des TOPOGON*. BuL, 1955, Heft 4, S. 95-101.
- ROOS, WOLFGANG & SAUER, EDGAR (1949): *Optisches Gerät, insbesondere Stereophotogrammetrisches Auswertegerät*. Deutsches Patentamt, DE 0 820 215, Anmeldung vom 19.10.1949.
- ROOS, WOLFGANG (1950): *Über die Definition des Bildhauptpunktes und der Aufnahmeachse*. AVN, 1950, Nr. 10, S. 235-243, (vereinigt mit BuL, Heft 3, S. 51-59).
- ROOS, WOLFGANG (1952): *Über die Definition der photogrammetrischen Grundbegriffe*. AVN, 1952, Nr. 3, S. 53-66, (vereinigt mit BuL, Heft 1, S. 5-18).
- ROOS, WOLFGANG (1957): *Binokulares optisches Gerät*. Deutsches Patentamt, DE 1 048 047, Anmeldung vom 09.08.1957.
- ROSE, W. (1979): *Practical experience with analytical plotters in a civil engineering company*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1979, Heft 6, S. 75-78.
- ROTH, GERTRUD (1993): *Innovations and upgrades for analytical stereoplotting*. Photogrammetric Week '93, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1993, S. 17-20, ISBN 3-87907-255-8.
- ROTH, GERTRUD (1996): *Quality Features of a State-of-the-Art, High Performance Photogrammetric Scanning System PHODIS SC*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B2, 1996.
- RÜDENAUER, HELMUT (1980): *Analytische Plotter-Programme zur objektiven on-line Punktdichtebestimmung in Digitalen Höhenmodellen*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIII, 1980, Part B 11, S. 74-81.
- RÜDENAUER, HELMUT (1983): *The PLANICOMP Family, Characteristics and Innovation*. Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche 1983, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1984, Heft 9, S. 5-16. (In Deutsch: *Die PLANICOMP Familie, Merkmale und Neuerungen*. BuL, 1984, Heft 1, S. 40-49).
- SAILE, JOHANNES (1980): *Rechnergestützte Auswertung mit dem ZEISS Monokomparator PK 1*. Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1980.
- SAILE, JOHANNES (1984): *Graphical Plotting with the ZEISS PLANIMAP System*. BuL, 1984, Heft 3a, S. 179-186.
- SAILE, JOHANNES (1987a): *PLANICOMP P-Serie - Die neue ergonomische und intelligente PLANICOMP Familie von CARL ZEISS, Oberkochen*. BuL, 1987, Heft 3, S. 76-83.
- SAILE, JOHANNES (1987b): *Performance data of the P-Series PLANICOMP*. Vorträge der 41. Photogrammetrischen Woche 1987, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 12, 1987, S. 25-29.
- SAILE, JOHANNES (1989): *P-CAP, the PC Software for P-Series PLANICOMP*. Vorträge der 42. Photogrammetrischen Woche 1989, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 13, 1989, S. 57-67. (In Deutsch: *P-CAP, die PC-Software für die PLANICOMP P-Serie*. ZPF, 1990, Heft 2, S. 54-58).
- SAILE, JOHANNES (1992): *Photogrammetric data acquisition with the PLANICOMP for CAD, AM/FM and GIS/LIS systems*. Presented Paper zum XVII ISPRS Congress, Washington D.C., 1992, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX, 1992.

- SCHENK, ANTON & TOTH, CHARLES (1989): *A PC-based Version of the PLANICOMP Analytical Plotter*. Technical Papers 1989 ASPRS/ACSM Annual Convention, Baltimore, 1989, Volume 1, S. 10-18.
- SCHERLE, WINFRIED (1990): *Verfahren und Vorrichtungen zum punktweisen optischen Überstreichen einer Vorlage*. Europäisches Patentamt, EP 0 456 110, Anmeldung vom 02.05.1991 (Deutsche Anmeldung vom 09.05.1990).
- SCHWEWE, HEINRICH (1987): *Automatic photogrammetric car-body measurement*. Vorträge der 41. Photogrammetrischen Woche 1987, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1987, Heft 12, S. 47-55. (In Deutsch: *Automatische photogrammetrische Karosserievermessung*. BuL, 1988, Heft 1, S. 16-24).
- SCHMIDT-FALKENBERG, HEINZ & OLACH, R. (1969): *Über die Wiederverwendung von gespeicherten Geländeprofilen zur Herstellung von Orthophotos aus Luftbildern nachfolgender Bildflüge*. BuL, 1969, Heft 6, S. 281-285.
- SCHNEIDER, HELMUT (1969): *Experimentelle Untersuchungen über den Abtastfehler bei der Orthoprojektion*. BuL, 1969, Heft 5, S. 209-214.
- SCHÖLER, HORST H. (2006): *Über die Aktivitäten auf dem Gebiet der Photogrammetrie und des Baues von Bildmessgeräten im Jenaer ZEISS Werk in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts*. DGK, München 2006, Reihe E, Heft Nr. 27, ISSN 0065-5341, ISBN 3 7696 9670 0.
- SCHREINER, KATHARINA, GATTNAR, KLAUS-DIETER & SKOLUDEK, HORST (2006): *CARL ZEISS - Ost und West - Geschichte einer Wiedervereinigung*. Quartus-Verlag, Bucha bei Jena, 2006, ISBN 3-936455-48-1.
- SCHROEDER, MANFRED (1977): *Das erdwissenschaftliche Flugzeugmessprogramm (FMP) der Bundesrepublik Deutschland*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 215-228.
- SCHROEDER, MANFRED (1979): *Auflösetests mit Reihenmesskammern aus grosser Flughöhe*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1980, Heft 6, S. 215-234.
- SCHROEDER, MANFRED (2000): *Bericht über die Kommission I: "Sensoren, Plattformen und Bilder" anlässlich des 19. Kongresses der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung vom 16. bis 23. Juli 2000 in Amsterdam*. PFG, 2000, Heft 6, S. 428-430.
- SCHÜRER, KARL (1964): *Temperatur- und Aufstellungseinflüsse beim Präzisions-Stereokomparator PSK von ZEISS*. BuL, 1964, Heft 3, S. 166-173.
- SCHUMANN, RUDOLF (1986): *Die Entwicklung der photogrammetrischen Geräte in Jena von der Jahrhundertwende bis zum Jahr 1945*. Band VXIII, Kompendium Photogrammetrie, Akadem. Verlagsges. Geest & Portig, Leipzig 1986, ISSN 0232-6280, ISBN 3-321-00005-9.
- SCHWEBEL, REINER (1970): *Das Ballistische Messkammersystem BMK 46/18/1:2*. BuL, 1970, Heft 2, S. 135-144.
- SCHWEBEL, REINER (1971): *Neue Instrumente zur Digitalisierung von photogrammetrischen Modellen*. BuL, 1971, Heft 1, S. 48-54.
- SCHWEBEL, REINER (1972): *PLANICART E 2 - ein neues Stereokartiergerät*. BuL, 1972, Heft 1, S. 41-46.
- SCHWEBEL, REINER (1973a): *ECOMAT 11 Electronic Recording Unit*. ZEISS-Information, 19. Jahrgang, Heft 79, S. 77, Mai 1973.
- SCHWEBEL, REINER (1973b): *PSK 2 Precision Stereocomparator*. ZEISS-Information, 19. Jahrgang, Heft 79, S. 78, Mai 1973.
- SCHWEBEL, REINER (1973c): *Das topographische Kartiergerät PLANITOP F2*. BuL, 1973, Heft 6, S. 234-240.
- SCHWEBEL, REINER (1975a): *Der Digital-Zeichentisch DZ 5*. Vorträge der 35. Photogrammetrischen Woche 1975, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1976, Heft 2, S. 25-35. (Auch in: BuL, 1976, Heft 1, S. 23-29).
- SCHWEBEL, REINER (1975b): *Rechnergestützte Stereoauswertung - Instrumentelle Möglichkeiten und Voraussetzungen*. Vorträge der 35. Photogrammetrischen Woche 1975, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1976, Heft 2, S. 171-180.
- SCHWEBEL, REINER (1975c): *Vorrichtung zum Messen oder Einstellen von zweidimensionalen Lagekoordinaten*. Deutsches Patentamt, DE 2 521 618, Anmeldung vom 15.05.1975.
- SCHWEBEL, REINER (1976a): *Der neue Präzisionskomparator PK 1*. BuL, 1976, Heft 4, S. 147-151.
- SCHWEBEL, REINER (1976b): *Das neue photogrammetrische Datenerfassungs- und Übertragungssystem ECOMAT 12*. BuL, 1976, Heft 4, S. 151-158.

- SCHWEBEL, REINER (1979a): *Topographisches Kartiergerät*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 79-129, "Neue Geräte für Geodäsie und Photogrammetrie", Teil III B, Dezember 1979.
- SCHWEBEL, REINER (1979b): *Digitaltechnik*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 79-129, "Neue Geräte für Geodäsie und Photogrammetrie", Teil III C, Dezember 1979.
- SCHWEBEL, REINER (1979c): *Die Genauigkeit des Präzisionskomparators PK 1*. ZfV, 1979, Heft 4, S.157-165.
- SCHWEBEL, REINER (1979d): *PM-1, Point Transfer Instrument, a new module in the ZEISS System for Analytical Photogrammetry*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1980, Heft 6, S. 37-46. (In Deutsch: *Das Punktübertragungsgerät PM 1*. BuL, 1980, Heft 1, S. 5-14).
- SCHWEBEL, REINER & GÖTTSCHE, VOLKER (1979e): *DTM-3 Measurement System for PLANIMAT and PLANICART*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1980, Heft 6, S. 31-36. (In Deutsch: *Messeinrichtung DTM 3 für PLANIMAT und PLANICART*. BuL, 1980, Heft 1, S. 15-18).
- SCHWEBEL, REINER, LORCH, WINFRIED & BÖTTINGER, WOLF-ULRICH (1980): *Ein integriertes geodätisches Auswerte- und Kartiersystem*. Zusammenfassung der Vorträge zum Lehrgang "Automatisierte Verfahren in der Vermessungstechnik" an der Technischen Akademie Esslingen, 29.-30. Mai 1980.
- SCHWEBEL, REINER (1980a): *Die photogrammetrischen Auswertesysteme von CARL ZEISS*. Presented Paper zum Internationalen ISP-Kongress, Hamburg, 1980, Kommission II. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIII, 1980.
- SCHWEBEL, REINER (1980b): *Anwendung neuartiger Präzisionsmesssysteme auf den Bau photogrammetrischer Komparatoren*. Bundesministerium für Forschung und Technologie, Forschungsbericht T 80-134, Dezember 1980.
- SCHWEBEL, REINER (1981): *The DZ 7 Digital Tracing Table for photogrammetric and geodetic mapping*. Vorträge der 38. Photogrammetrischen Woche 1981, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1982, Heft 8, S. 31-41.
- SCHWEBEL, REINER (1983): *The Extended Performance Range of the G-3 STEREOCORD*. Vorträge der 39. Photogrammetrischen Woche 1983, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1984, Heft 9, S. 27-38. (In Deutsch: *Das erweiterte Leistungsspektrum des ZEISS STEREOCORD G 3*. BuL, 1984, Heft 1, S. 59-68).
- SCHWEBEL, REINER & MOHL, HANS (1984): *The ZEISS STEREOCORD G for manifold measuring and interpretation applications*. BuL, 1984, Heft 3a, S. 153-162).
- SCHWEBEL, REINER (1985): *Aspects of system technology in photogrammetric systems*. Vorträge der 40. Photogrammetrischen Woche 1985, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1986, Heft 11, S. 49-60. (In Deutsch: *Systemtechnische Gesichtspunkte bei photogrammetrischen Auswertegeräten*. BuL, 1986, S. 62-70).
- SCHWEBEL, REINER (1991): *Training concept for software oriented products*. Vorträge der 43. Photogrammetrischen Woche 1991, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1991, Heft 15, S. 37-41.
- SCHWEBEL, REINER (1994): *Upgrading von Stereoplotttern durch CARL ZEISS*. Presented Paper zum Symposium der Kommission II der ISPRS, Ottawa, 1994.
- SCHWEBEL, REINER (1999): *A/D-Wandlung - Die instrumentelle Entwicklung der Photogrammetrie*. Festschrift für Prof. Dr.-Ing. HEINRICH EBNER zum 60. Geburtstag, Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität, München, 1999, S. 291-296.
- SCHWEBEL, REINER (2001): *Qualitätssicherung für Bildflug und analoges Luftbild durch neue DIN-Norm*. PFG, 2001 Heft 1, S. 39-44.
- SCHWEBEL, REINER (2002a): *DIN Norm - Entwurf für digitale Orthophotos*. PFG, 2002, Heft 4, S. 304-305.
- SCHWEBEL, REINER (2002b): *Deutsche Normung in Photogrammetrie und Fernerkundung aus der Sicht von DIN*. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, 2002, Band 11, S. 285-293, ISSN 0942-2870.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1950): *Die Entwicklung der photogrammetrischen Instrumente in Deutschland seit 1938*. AVN, 1950, Nr. 12, Seite 289-306, (vereinigt mit BuL, Heft 4, S. 81-98).

- SCHWIDEFSKY, KURT (1952a): *Neues über deutsche photogrammetrische Instrumente*. AVN, 1952, Nr. 9, S. 207-219, (vereinigt mit BuL, Heft 3, S. 59-71).
- SCHWIDEFSKY, KURT (1952b): *Optische Probleme der Photogrammetrie*. Optik, 9, 1952, S. 433-435.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1953): *Verbesserungen und Neuentwicklungen bei den Geräten für Photogrammetrie*. ZEISS Werkszeitschrift, 1. Jahrgang, Heft 10, 1953, S. 96.
- SCHWIDEFSKY, KURT, HESS, GUSTAV & SANDER, WILLY (1954a): *Vorrichtung zur Herstellung von Schablonen für die Verknüpfung von durch Reihenbildaufnahmen gewonnenen Geländebildern*. Deutsches Patentamt, DE 0 924 289, Anmeldung vom 15.07.1954 (Erstanmeldung vom 04.08.1944).
- SCHWIDEFSKY, KURT, GULDBRANSEN, HENRY & SANDER, WILLY (1954b): *Vorrichtung zur Herstellung von Schablonen für die Verknüpfung von durch Reihenbildaufnahmen gewonnenen Geländebildern*. Deutsches Patentamt, DE 0 939 713, Anmeldung vom 23.12.1954 (Erstanmeldung vom 13.08.1941).
- SCHWIDEFSKY, KURT (1956a): *Zur Charakteristik der neuen ZEISS-Objektive für Luftaufnahmen*. BuL, 1956, Sonderheft zum VIII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Stockholm, S. 47-59.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1956b): *Ein neues Hilfsgerät für die photographische Umformung von Messbildern: der REDUKTOR*. BuL, 1956, Sonderheft zum VIII. Internationalen Kongress für Photogrammetrie in Stockholm, S. 70-73.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1957): *Einrichtung zum Messen der Koordinaten von Messpunkten in einer durchscheinenden, ebenen, in Richtung der Koordinaten verschiebbaren Vorlage*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 363 163, Anmeldung vom 12.08.1958 (Deutsche Anmeldung vom 20.08.1957).
- SCHWIDEFSKY, KURT (1958): *Neue Hilfsmittel der numerischen Photogrammetrie*. DGK, München, 1958, Reihe A, Nr. 28/III, Kneissl M. (Hrsg.) "Geodätische Streckenmessung", S. 5-22, ISBN 3 7696 8119 3. (In Englisch und modifiziert: *New aids for numerical photogrammetry*. Photogrammetria, Vol. XIV, 1957/58, S. 1-15.)
- SCHWIDEFSKY, KURT & UTZ, HANS (1958): *Stereoskopisches Auswertegerät mit Mitteln zur Erfassung von Profilen*. Deutsches Patentamt, DE 1 234 035, Anmeldung vom 09.10.1958.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1960a): *Über die bei Luftaufnahmen wirksame Beleuchtung*. BuL, 1960, Heft 1, S. 46-62.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1960b): *Kontrast-Übertragungsfunktionen zur Bewertung der Bildgüte in der Photogrammetrie*. BuL, 1960, Heft 2, S. 86-101.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1960c): *Ein neuer Präzisions-Stereokomparator*. BuL, 1960, Heft 3, S. 124-134.
- SCHWIDEFSKY, KURT & BRUCKLACHER, WALTER (1960): *Bauelemente zur automatischen Kartierung*. BuL, 1960, Heft 3, S. 156-165.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1963): *Grundriss der Photogrammetrie*. 6. neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 1963, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- SCHWIDEFSKY, KURT (1964): *Zur Leistung einfacher Doppelprojektoren*. BuL, 1964, Heft 3, S. 137-144.
- SEEBER, GÜNTER & WISSEL, HELMUT (1979): *Erfahrungen mit dem Präzisionsmonokomparator ZEISS PK 1*. ZfV, 1979, Heft 4, S.166-170.
- SEEGER, HERMANN (1970): *Erfahrungen mit dem Präzisions-Einbildkomparator PEK bei der Ausmessung optischer Satellitenbilder*. BuL, 1970, Heft 2, S. 111-121.
- SEEH, JOSEF (1975): *Leiterplatten-Prüfgerät*. Deutsches Patentamt, DE 2 530 750, Anmeldung vom 10.07.1975.
- SIGLE, MANFRED (1981): *Experimental Investigation on Point Transfer*. Vorträge der 38. Photogrammetrischen Woche 1981, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 8, 1982, S. 209-224.
- SONNBERGER, HEINRICH (1951): *Wechselblende für die Raumbilddarstellung nach dem Zeitfolgeverfahren*. Deutsches Patentamt, DE 0 866 905, Anmeldung vom 12.05.1951.
- SONNBERGER, HEINRICH (1953a): *Vergrößerungsgerät, insbesondere Entzerrungsgerät*. Deutsches Patentamt, DE 0 941 952, Anmeldung vom 15.04.1953.
- SONNBERGER, HEINRICH (1953b): *Photographisches Vergrößerungsgerät, insbesondere für ein Entzerrungsgerät*. Deutsches Patentamt, DE 0 951 189, Anmeldung vom 16.04.1953.
- SONNBERGER, HEINRICH & UTZ, HANS (1954): *Entzerrungsgerät*. Deutsches Patentamt, DE 0 963 921, Anmeldung vom 03.01.1954.

- SONNBERGER, HEINRICH (1954a): *Einrichtung zum Belichten von Hilfsabbildungen, insbesondere bei Luftbildkameras*. Deutsches Patentamt, DE 1 016 552, Anmeldung vom 26.08.1954.
- SONNBERGER, HEINRICH (1954b): *Rollfilmkameras, insbesondere für die Aufnahme von Luftbildern*. Deutsches Patentamt, DE 0 960 690, Anmeldung vom 27.08.1954.
- SONNBERGER, HEINRICH (1954c): *Kamera, insbesondere Luftbildkamera*. Deutsches Patentamt, DE 1 009 916, Anmeldung vom 13.09.1954.
- SONNBERGER, HEINRICH (1954d): *Überdeckungsregler*. Deutsches Patentamt, DE 1 009 916, Anmeldung vom 21.09.1954.
- SONNBERGER, HEINRICH (1954e): *Spiegelstereoskop für die Auswertung von Luftbildern*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 324 743, Anmeldung vom 10.01.1955 (Deutsche Anmeldung vom 24.02.1954).
- SONNBERGER, HEINRICH (1954f): *Stereoskopisches Auswertegerät mit bewegbarem Bildträger*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 327 333, Anmeldung vom 14.01.1955 (Deutsche Anmeldung vom 20.02.1954).
- SONNBERGER, HEINRICH (1955): *Filmtransportvorrichtung für Reihenbildkameras*. Deutsches Patentamt, DE 0 960 603, Anmeldung vom 03.02.1955.
- SONNBERGER, HEINRICH & SCHWIDEFSKY, KURT (1954): *Luftbildkamera*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 331 242, Anmeldung vom 18.05.1955 (Deutsche Anmeldung vom 13.09.1954).
- SPENNEMANN, R. (1963): *Bericht über die 9. Photogrammetrische Wochen 1963*. BuL, 1963, Heft 4, S. 206-209.
- SPILLER, RUDOLF (1999): *Z/I IMAGING: A New System Provider for Photogrammetry and GIS*. Photogrammetric Week '99, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999, S. 35-41, ISBN 3-87907-340-6.
- STARK, EBERHARD (1977a): *Experimental investigation with the ZEISS PLANITOP F 2*. Vorträge der 36. Photogrammetrischen Woche 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1977, Heft 4, S. 19-27.
- STARK, EBERHARD (1977b): *Results of comparative aerial triangulation with PLANICOMP, Mono- and Stereocomparator*. Proceedings of the 36th Photogrammetric Week 1977, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 4, 1977, S. 125-140.
- STRERATH, MARTIN (1979): *Practical experience with analytical plotters in state survey organizations*. Proceedings of the 37th Photogrammetric Week at Stuttgart University 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1979, Heft 6, S. 69-73.
- STROBEL, ERICH (1969): *Erfahrungen mit dem Orthophoto bei der Fortführung der Topographischen Karte 1 : 25.000*. BuL, 1969, Heft 5, S. 197-202.
- TANG, LIANG & HEIPKE, CHRISTIAN (1994): *An Automatic Procedure for the Relative Orientation of Aerial Images*. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Colloquium of LIESMARS on Integration, Automation and Intelligence in Photogrammetry, Remote Sensing and GIS, 1994, S. 49-58.
- TANG, LIANG, DÖRSTEL, CHRISTOPH, JACOBSEN, KARSTEN, HEIPKE, CHRISTIAN & HINZ, ALEXANDER (2000): *Geometric Accuracy Potential of the Digital Modular Camera*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, 2000.
- TEUCHERT, WOLF-DIETER (1997): *Photogrammetrische Kamera*. Deutsches Patentamt, DE 19 714 396, Anmeldung vom 08.04.1997.
- TEUCHERT, WOLF-DIETER & HINZ, ALEXANDER (2000): *Kamera, insbesondere Luftbildkamera*. Deutsches Patentamt, DE 10 017 415, Anmeldung vom 07.04.2000.
- THOM, CHRISTIAN & JURVILLIER, ISABELLE (1993): *Experiences with a digital aerial camera at Institut Géographique National (France)*. Photogrammetric Week '93, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1993, S. 73-84, ISBN 3-87907-255-8.
- TÖNNESSEN, KARL & ELLENBECK, KARL HEIKO (1981): *Datengewinnung, Datenaufbereitung und Datenverwendung für den ORTHOCOMP Z 2*. Proceedings of the 38th Photogrammetric Week 1981, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, Heft 8, 1982, S. 145-156.
- TRÄGER, HERBERT (1962): *Der SUPRAGRAPH*. BuL, 1963, Sonderheft November 1963, S. 139-147. (In Englisch: *The SUPRAGRAPH - A New Maximum Precision Plotter with Mechanical Analog Computers*. Presented Paper at the 28<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Society for Photogrammetry in Washington, D. C., March 1962. Photogrammetric Engineering, 1963, S. 174-184).
- TULL, BERNWARD & PUSCH, HANS-DIETER (1989): *Riemenantrieb*. Europäisches Patentamt, EP 0 403 818, Anmeldung vom 23.09.1990 (Deutsche Anmeldung vom 21.06.1989).

- UFFENKAMP, VOLKER (1986): *Improvement of digital mapping with graphics image superimposition*. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXVI, 1986, Part 3/2, S. 665-671.
- UTZ, HANS (1957): *Zählwerk für rasche Zahlenfolge*. Deutsches Patentamt, DE 1 115 061, Anmeldung vom 07.09.1957.
- VOGELSANG, ULRICH (1997): *Automated Photogrammetry with PHODIS*. Photogrammetric Week '97, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 1997, S. 25-31, ISBN 3-87907-317-1.
- WALKER, STEWART (1998): *LH Systems extends to LHZ Systems - CARL ZEISS enters the photogrammetric joint venture of LEICA GEOSYSTEMS and GDE Systems*. PFG, 1998, Heft 2, S. 121.
- WALTER, ROLF (2000): *ZEISS 1905-1945*. Böhlau Verlag, Köln-Weimar-Wien, 2000, ISBN 3-412-11096-5.
- WEIMANN, GÜNTER (1952): *Der STEREOPLANIGRAPH - Ein Musterbeispiel unserer heutigen Leistungsfähigkeit*. ZEISS-OPTON Werkszeitung, Heft 6, Juli 1952, S. 66.
- WILLKOMM, PHILIPP & DÖRSTEL, CHRISTOPH (1995): *Digitale Stereoplotter PHODIS ST - Workstation design und Automatisierung photogrammetrischer Arbeitsgänge*. ZPF, 1995, Heft 1, S. 16-23.
- WINKELMANN, GERHARD (1969): *Erfahrungen bei der Herstellung von Orthophotokarten*. BuL, 1969, Heft 5, S. 183-186.
- WOLF, KURT (1953): *Zeichenvorrichtung, insbesondere für Auswertegeräte von Luftbildern*. Deutsches Patentamt, DE 0 950 500, Anmeldung vom 28.11.1953.
- WUNDERLICH, WERNER (1962): *Erfahrungen mit dem Präzisions-Stereokomparator von ZEISS-AEROTOPOGRAPH*. BuL, 1962, Sonderheft, S. 122-132.
- ZEISS (1953): *Gerät zum Auswerten oder Entzerren von Luftbildern*. Deutsches Patentamt, DGM 1 735 857, Anmeldung vom 29.08.1953.
- ZEISS (1954a): *Luftbildkamera*. Deutsches Patentamt, DGM 1 711 278, Anmeldung vom 26.08.1954.
- ZEISS (1954b): *Gerät für die stereoskopische Auswertung von Luftbildern*. Deutsches Patentamt, DGM 1 767 221, Anmeldung vom 14.09.1954.
- ZEISS (1958a): *Zeichenvorrichtung für Auswertegeräte*. Deutsches Patentamt, DGM 1 778 788, Anmeldung vom 04.10.1958.
- ZEISS (1958b): *Vorrichtung zum Anspitzen der Minen einer Zeichenvorrichtung*. Deutsches Patentamt, DGM 1 778 514, Anmeldung vom 07.10.1958.
- ZEISS (1959): *Schreibgerät zum Beschriften von photographischem Material*. Deutsches Patentamt, DGM 1 791 518, Anmeldung vom 28.04.1959.
- ZEISS (1980): *Orthophotokartiergerät*. Deutsches Patentamt, DGM 8 033 473, Anmeldung vom 17.12.1980.
- ZEISS (1998): *CARL ZEISS beteiligt sich an US-Firma*. PFG, 1998, Heft 2, S. 121-122.
- ZEISS-AEROTOPOGRAPH (1951): *Vorrichtung zum Registrieren der Messwerte bei Bildmessgeräten*. Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, CH 304 066, Anmeldung vom 04.08.1952 (Deutsche Anmeldung vom 18.08.1951).
- ZEISS-AEROTOPOGRAPH (1953a): *Spule für Entwicklungsgerät für Filmbänder*. Deutsches Patentamt, DGM 1 663 739, Anmeldung vom 20.07.1953.
- ZEISS-AEROTOPOGRAPH (1953b): *Vorrichtung zum selbsttätigen Umschalten des Antriebs der Spulen eines Entwicklungsgeräts für Filmbänder*. Deutsches Patentamt, DGM 1 682 533, Anmeldung vom 20.07.1953.
- ZEISS-AEROTOPOGRAPH (1953c): *Vorrichtung zum Antrieb der Spulen eines Entwicklungsgeräts für Filmbänder*. Deutsches Patentamt, DGM 1 683 397, Anmeldung vom 20.07.1953.
- ZEISS-AEROTOPOGRAPH (1954): *Stereoskop*. Deutsches Patentamt, DGM 1 686 660, Anmeldung vom 15.10.1954.
- ZIPPELIUS, KURT (1979): *Neue Anwendungen analytischer Auswertegeräte in der Flurbereinigung*. Vorträge der 37. Photogrammetrischen Woche 1979, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1979, Heft 6, S. 85-98.
- ZÜGGE, HANFRIED (1989): *RMK TOP - The New Aerial Survey Camera System from CARL ZEISS, Oberkochen*. Vorträge der 42. Photogrammetrischen Woche 1989, Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, 1989, Heft 13, S. 79-86. (in Deutsch: *RMK TOP - das neue Luftbildkammersystem von CARL ZEISS, Oberkochen*. ZPF, 1990, Heft 2, S. 49-53).