

14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie
Hamburg 1980

Kommission II

Reiner Schwebel

CARL ZEISS, Oberkochen, West Germany

DAS PUNKTÜBERTRAGUNGSGERÄT PM-1,
EIN NEUER BAUSTEIN IM ZEISS-SYSTEM FÜR
ANALYTISCHE PHOTOGRAMMETRIE

Abstract:

The paper presents a new universal point transfer and marking instrument for aerotriangulation. Because of the fundamental importance of point transfer for the aerotriangulation accuracy, great emphasis has been placed on high point quality, marking accuracy and operation speed. The PM-1 is a logical and adequate supplement of the ZEISS instrument and software system for analytical photogrammetry comprising the PK-1 precision comparator, PSK-2 precision stereocomparator, C-100 PLANICOMP and the PK-1 -AS and CAMOC programs.

1. Einleitung

Die Aerotriangulation wird heute weltweit in großem Stil praktiziert. In ähnlichem Maße, wie sich Computertechnik, mathematische Grundlagen und Programme entwickelt haben, sind die Ansprüche an Genauigkeit, Schnelligkeit und Zuverlässigkeit des Verfahrens gestiegen. Dabei hat sich insbesondere die Punktübertragung als ein Engpaß in der Aerotriangulation erwiesen. CARL ZEISS, Oberkochen, leistet zur weiteren Entwicklung folgende Beiträge:

- Verbesserung und Erhöhung der Qualität und Genauigkeit der Punktübertragung;

- praktisch fehlerfreie Messung der Bildkoordinaten und
- kontinuierliche Qualitätskontrolle durch on line-Berechnung.

Dabei wurde die bisher bewährte Methode der klaren Trennung der einzelnen Arbeitsabschnitte

- Vorbereitung,
- Punktübertragung,
- Messung

beibehalten, letzteres ergänzt durch Rechnerstützung. Im einzelnen wurden von CARL ZEISS zwei Linien verfolgt (Fig. 1.).

1. Instrumentarium geringen Aufwandes mit Punktübertragungsgerät, Monokomparator, Tischcomputer und
2. anspruchsvolle Gesamtsysteme mit Punktübertragungsgerät, Stereokomparator oder analytisches Stereoauswertegerät mit Minicomputer inklusiv Blocktriangulations-Programme.

Im folgenden wird vor allem das erstgenannte, einfache System mit dem Schwerpunkt Punktübertragung behandelt. Das dabei angewandte Verfahren der totalen Punktübertragung (Markierung jeden Punktes in jedem Bild) und der Messung im Einzelbild wird im weiteren als "Mono-Methode" bezeichnet.

2. Punktübertragungsgerät PM-1

Bei der Triangulation mit künstlichen Punkten ist mit steigenden Genauigkeitsansprüchen bewußt geworden, daß die Genauigkeit insbesondere bei der Mono-Methode primär von der Punktübertragung bestimmt wird. Demnach ist es wenig sinnvoll, aufwendige Präzisionsmeßgeräte mit Punktmarkiergeräten geringer Genauigkeitsleistung zu kombinieren. Ziel der Entwicklung war es, ein Punktübertragungsgerät zu schaffen, das bezüglich Leistung und Genauigkeit den Präzisionsmeßgeräten adäquat ist.

2.1 Aufgabenstellung und Konzept

Bei der Aerotriangulation mit künstlichen Punkten sind in Abhängigkeit von einer späteren Stereo- oder Monoauswertung

- Punkte jeweils nur in einem Bild zu markieren;
- Punkte zu übertragen, d.h. nach Einstellen eines schon im ersten Bild markierten Punktes die Parallaxen im zweiten Bild zu beseitigen und den Punkt im zweiten Bild zu markieren und
- Punkte gleichzeitig in einem Bildpaar einzustellen und zu markieren.

Bei der Konzipierung eines Gerätes sind zu berücksichtigen:

- extreme Längs- und Querüberdeckungsverhältnisse einschließlich 60 % Querüberdeckung;
- Verfahren, nach denen ein Punkt in einem Bild markiert und bei exaktem Festhalten dieses Bildes direkt nacheinander in alle Bilder übertragen wird (Fig. 2);
- eine wahlweise Orientierung des Querüberlappungsbereiches parallel oder quer zur Augenbasis.

Weiterhin wurde aus Gründen der Schnelligkeit die manuelle Freihandverschiebung der einzelnen Bilder gegenüber einer parallelgeführten gemeinsamen Bewegung der Bilder vorgezogen.

2.2 Konstruktiver Aufbau

2.21 Allgemeines

Für das PM-1 wurde ein konstruktiver Aufbau gewählt (Fig. 3), der dem Operateur eine freie und unbehindert zugängliche Arbeitsfläche in Form zweier Bildträgerplatten (1) bietet, die auf einem Grundgußteil (2) gelagert und in x- und y-Richtung gemeinsam oder einzeln über jeweils ± 15 mm verschiebbar sind. Die Meßoptik inklusiv Meßmarken sind im Grundgußteil gelagert, die Betrachtungsoptik wird im Optikarm (3) über die Arbeitsfläche hinweg nach vorne geführt. Die beiden Markiergruppen (4) links und rechts des Optikarmes sind mit dem Grundgußteil fest verbunden. Die Versorgung und Steuerung des optisch-mechanischen Grundgerätes, insbesondere der Markiervorgänge erfolgt von der Steuereinheit (5) aus. Sämtliche Bedienelemente sind zentral an der Vorderseite (6) des Gerätes angebracht.

2.22 Koordinatenbewegungen

Das Bildpaar wird entsprechend den Überdeckungsverhältnissen auf den Bildträgerplatten aufgelegt, freihand verschoben und mittels Vorrichtung (7) per Fußtasterdruck automatisch geklemmt. Die genaue Einstellung eines Punktes und die Beseitigung der Parallaxen erfolgt über die zentrische Feineinstellung (8), an die wahlweise die Bildträgerplatten gemeinsam oder einzeln links oder rechts mit Magneten gekoppelt werden. Die Arbeitsweise der Punkteinstellung und der Parallaxenbeseitigung entspricht somit der des Stereokomparators PSK-2 oder des PLANICOMP C-100.

2.23 Optik-System (Fig. 4)

Das zu markierende Photo (1) wird durch das Zoom-Objektiv (6) auf eine Zwischenbildebene mit einem Meßmarkenspiegel (7) mit 4 wählbaren Punktmarken abgebildet.

Die Dove-Prismen (9) erlauben eine individuelle oder gemeinsame Bild-drehung, letztere von 90° und 180°. Wegen der unterschiedlichen Dicke vom Plattenmaterial kann mit dem Fokussierglied (4) über einen Bildhöhenbereich von 7 mm fokussiert werden. Die Planplatte (5) dient der Justierung der Meßmarke auf dem markierten Punkt.

Das optische System zeichnet sich durch eine hohe Qualität mit einem Auflösungsvermögen von bis zu 120 L/mm (26-fache Vergrößerung) aus.

2.24 Markierung

Die künstlichen Punkte werden mit Wärmemarkierung mit einer beheizten Nadel erzeugt (Fig. 5). Die Nadel wird mit ihrem kegelförmigen Ende mit definierter Kraft und Geschwindigkeit aufgesetzt, wobei sie eine Temperatur von ca. 150° C aufweist. Die Beheizung der Nadel erfolgt induktiv in ca. 2 sec, wobei hochfrequente Ströme durch die Nadel umgebende Spule geführt werden. Mit dem Aufsetzen der Nadel wird die Emulsion geschmolzen und so nach außen verdrängt, daß ein Ringwulst um die ausgeräumte, helle Fläche entsteht, der bei Betrachtung im Meßgerät als dunkler Ring erscheint. Die Markierung ist sowohl für Film und Platte als auch für helle und dunkle Stellen im Photo in gleicher Weise wirksam (Fig. 6). Infolge der glatten Oberflächenstruktur der Punkte sind diese unempfindlich gegen Schmutz und Beschädigungen und stellen somit eine dauerhafte Markierung dar.

Zum Wiederauffinden von markierten Punkten kann ein zweites, rotierendes Werkzeug mit Faserstift zur Erzeugung einer Ringmarke hereingeschwenkt werden. Punkt- und Ringmarkierung lassen sich gemeinsam oder unabhängig voneinander auslösen. Die Markierung mit Faserstift hat folgende Vorteile:

- die Emulsion wird nicht zerstört;
- das Bild bleibt im markierten Teil transparent;
- es stehen verschiedene Farben und Durchmesser zur Verfügung und
- die Markierung kann wieder gelöscht werden.

Die technischen Daten des PM-1 sind in Fig. 7 zusammengestellt.

2.3 Genauigkeit

Für die Genauigkeit der Punktübertragung sind bestimmend:

- die Qualität der markierten Punkte;
- die Genauigkeit der x- und y-Parallaxenbeseitigung, insbesondere bei schon in einem Bild markierten Punkten;
- die Reproduzierbarkeit der Markierung, d.h. der Identität zwischen Meßmarke und markiertem Punkt und
- die Langzeit-Justierhaltigkeit des Gerätes.

Bei guter Punktqualität kann die Meßmarke des Punktübertragungsgerätes oder des Meßgerätes mit hoher Genauigkeit auf den markierten Punkten eingestellt werden. PM 1-Punkte wurden z.B. bei einem Versuch mit dem Präzisionskomparator PK-1 mit einem mittleren Koordinatenfehler von $\pm 0,8 \mu\text{m}$ eingestellt.

Die Genauigkeit der Parallaxenbeseitigung hängt sowohl von subjektiven Faktoren - wie Erfahrungheit des Operateurs, Qualität des Luftbildes oder Topographie - als auch von den Geräteeigenschaften ab. Beim PM-1 wird durch hohe Optikqualität, feinfühliges Wagenbewegung und 90° -Bildrotation günstige Voraussetzungen geschaffen. Die Kontrastverhältnisse in und um den markierten Punkt sind so, daß sie die stereoskopische Betrachtung wenig stören.

Die Reproduzierbarkeit der Markierung beträgt nach Fig. 8 ca. $\pm 1 \mu\text{m}$. Die Reproduziergenauigkeit läßt sich beim PM-1 ermitteln, indem ein Punkt markiert, die Meßmarke auf den Punkt neu eingestellt und die Abweichung der neuen Stellung der Bildträgerplatte gegenüber der alten Stellung gemessen wird. Demgemäß enthält die genannte Reproduziergenauigkeit noch Fehleranteile der Punkteinstellung.

In ähnlicher Form läßt sich die Justierhaltigkeit des Gerätes überprüfen. In Fig. 9 ist Bewegung von markierten Punkten gegenüber der Meßmarke dargestellt, wobei über einen Zeitraum von 8 h in Zeitabständen von 5 min markiert und gemessen wurde. Bemerkenswert ist insbesondere die Stabilität in x-Richtung, was der Höhengenaugigkeit der übertragenen Punkte besonders zugute kommt.

2.4 Geräteeigenschaften

Wegen des Engpasses Punktübertragung bei der Aerotriangulation und der allgemeinen Tendenz, im Block stärker zu verknüpfen, d.h. mehr Punkte zu übertragen, wurde beim PM-1 insbesondere eine höhere Arbeitsschwindigkeit angestrebt. Wie die ersten Erfahrungen zeigen, wurde dies erreicht mit

- der guten Zugänglichkeit und dem freien Blick auf die Arbeitsfläche,
- der schnellen Freihandverschiebung der Bilder, der zentrischen Anordnung der beiden Feineinstellelemente und

- der mit Fußtaster auslösbaren Bildfixierung und dem schnellen Wechsel von parallaktischer und gemeinsamer Bewegung.

Weiterhin wurde beachtet, daß das PM-1 universell zur Vorbereitung der Aerotriangulation einsetzbar ist. Dies bedeutet, daß extreme Überdeckungsverhältnisse bearbeitbar, die Durchmesser der markierten Punkte in weiten Grenzen (40 μm bis 200 μm) variierbar und Punkt- oder Ringmarkierungen wählbar sind. Somit können z.B. feinste natürliche Details gekennzeichnet und in Kombination mit künstlichen Punkten zur Verknüpfung verwendet werden. Größere Punkte ohne Ringmarkierungen können z.B. direkt zur Einpassung von Luftbildern in Entzerrungsgeräten verwendet werden.

Mit dem PM-1 wurde damit ein Punktübertragungsgerät geschaffen, das höchsten Ansprüchen genügt und die Basis für die Aerotriangulation nach der Mono-Methode bildet.

3. Präzisionskomparator PK-1

Die weitere wesentliche Gerätekomponente für die Mono-Methode ist der Monokomparator. Mit dem 1976 vorgestellten Präzisionskomparator PK-1 von CARL ZEISS /1/ können Bildkoordinaten mit einer Genauigkeit von mindestens $\pm 1 \mu\text{m}$ gemessen werden /2/ (Fig. 10). Somit sind PM-1 und PK-1 in der Genauigkeitsleistung gleichwertig. PM-1 und PK-1 bilden somit ein äußerst preisgünstiges und genaues Gerätesystem, das nach den Untersuchungen in /3/ für die analytische Präzisionspunktbestimmung eingesetzt werden kann.

4. Programmsystem CAMOC

Wie die praktischen Erfahrungen zeigen, sind Monokomparator-Messungen gegenüber Punktverwechslungen, nicht eindeutigen Punktdefinitionen und Punktverdeckungen in stärkerem Maße als Stereomessungen anfällig. Die on line-Berechnung der relativen Orientierung und die interaktive Fehlerbereinigung mittels direkt angeschlossenen Rechner hat deshalb besondere Bedeutung. Darüber hinaus können bereinigte Modellkoordinaten berechnet und unmittelbar als Eingabe für die weit verbreitete Modellblocktriangulation verwendet werden. Hierfür existiert neben dem überaus weit konzipierten Programm PK 1-AS für Minicomputer /4/ ein einfaches Programm mit der Bezeichnung CAMOC (Computer Assisted Monokomparator Measurements) für on-line angeschlossenen Tischcomputer.

CAMOC wurde am Photogrammetrischen Institut der Universität Stuttgart unter Mitwirkung von C. Chen, J. Saile und E. Stark entwickelt.

Das Programm umfaßt im wesentlichen folgende Abschnitte:

- automatische Übertragung von Punktnummern und x-, y-Maschinenkoordinaten zum Rechner;
- Berechnung der inneren Orientierung unter Berücksichtigung von Filmschrumpf, Verzeichnungs- und Erdkrümmungskorrektur;
- automatische Ermittlung von identischen Punkten im überdeckten Bereich;
- Berechnung der relativen Orientierung und Ausgabe von Restparallaxen;

- interaktive Fehlerbereinigung;
- Ausgabe von Bild- oder Modellkoordinaten auf angeschlossenen Peripheriegeräten für Bündel- oder Modellblocktriangulation.

Das Programm verarbeitet bis zu 50 Punkte/Bild und 30 Punkte/Überdeckungsbereich. Die Rechenzeit für die relative Orientierung mit 12 Punkten beträgt ca. 30 sec. Mit dem vorliegenden Programm werden bei geringem instrumentellen Mehraufwand Monokomparatormessungen sicherer und die Modellbildung am Meßgerät vollzogen.

Literatur:

- /1/ Schwebel, R.: Der neue Präzisionskomparator PK-1, Bildmessung u. Luftbildwesen 44, 147 ff., 1976.
- /2/ Schwebel, R.: Die Genauigkeit des Präzisionskomparators PK-1, Zeitschrift für Vermessungswesen 104, 1979.
- /3/ Ackermann, F. und Bettin, R.: An empirical accuracy test on point transfer in aerotriangulation, Presented Paper, Comm. III, ISP-Congreß Hamburg, 1980.
- /4/ Hobbie, D.: Interaktive Erfassung und Aufbereitung photogrammetrischer Daten mit dem ZEISS AS-Programmsystem für Minicomputer, 37. Photogrammetrische Woche, 1979, Stuttgart.

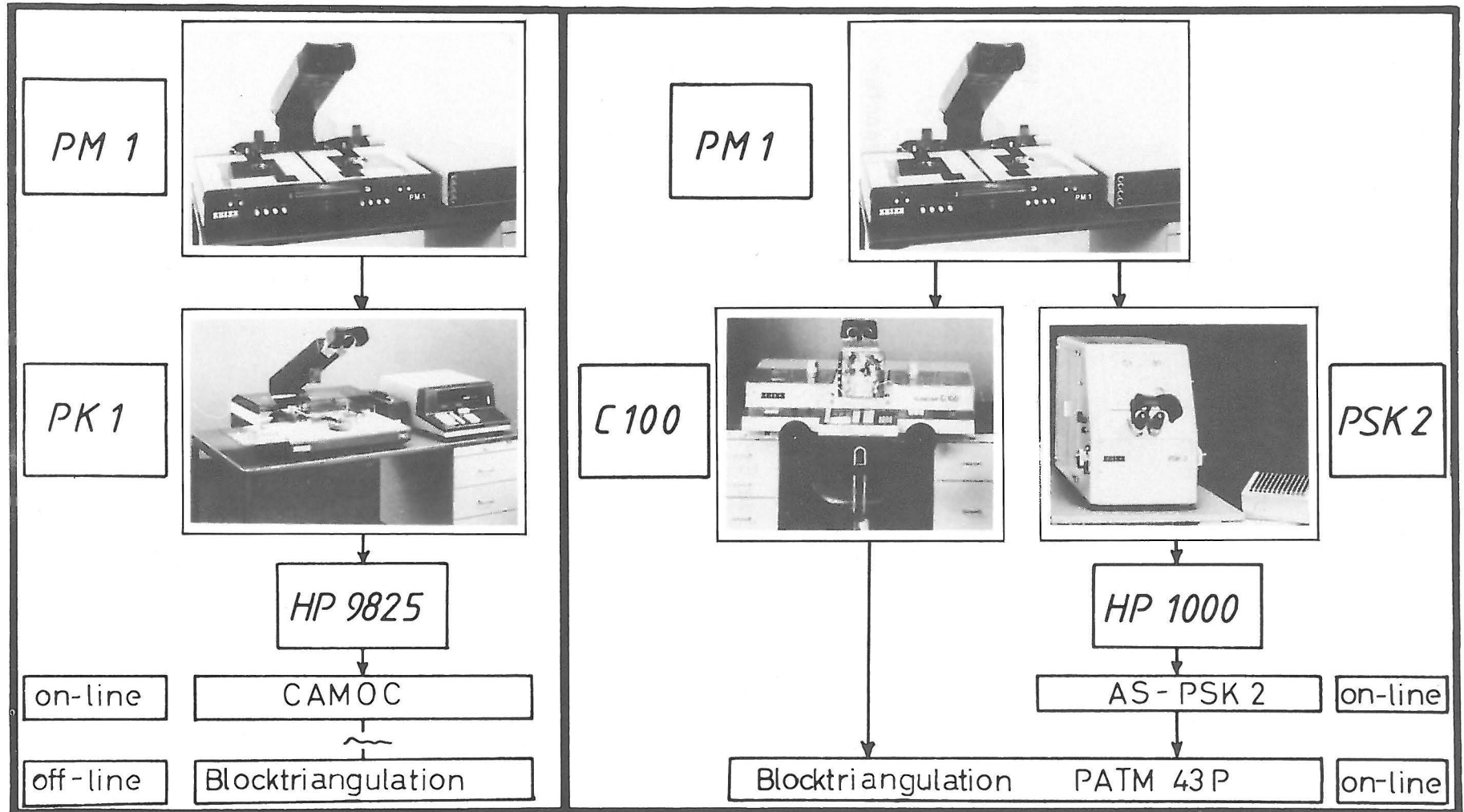


Fig. 1.: Gerätesysteme für analytische Auswertung von CARL ZEISS

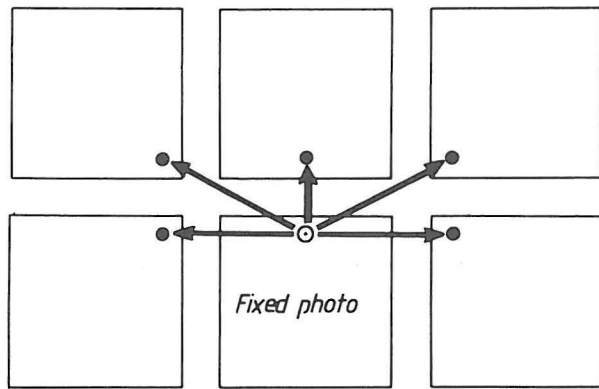


Fig. 2.: Punktweise Übertragung

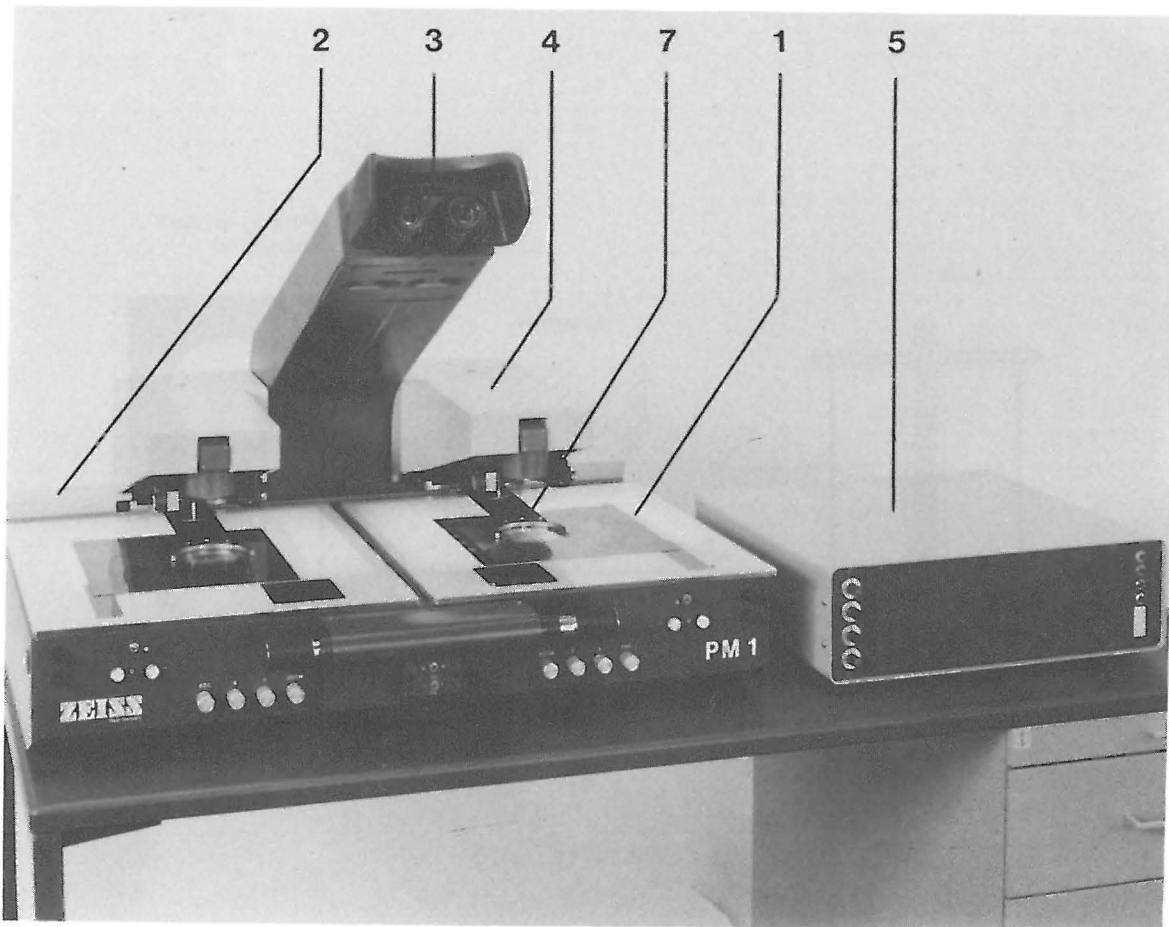


Fig. 3.: Punktübertragungsgerät PM-1

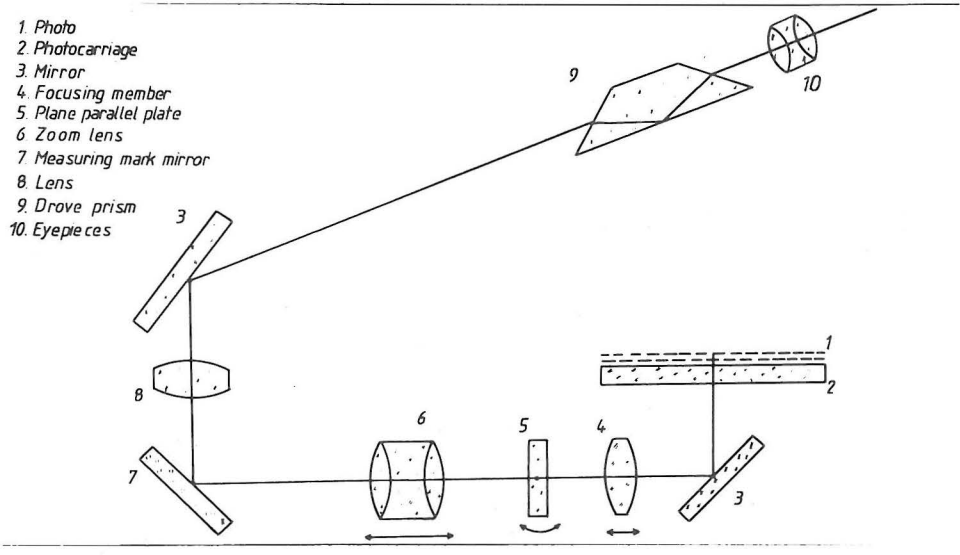


Fig. 4.: Optik-System

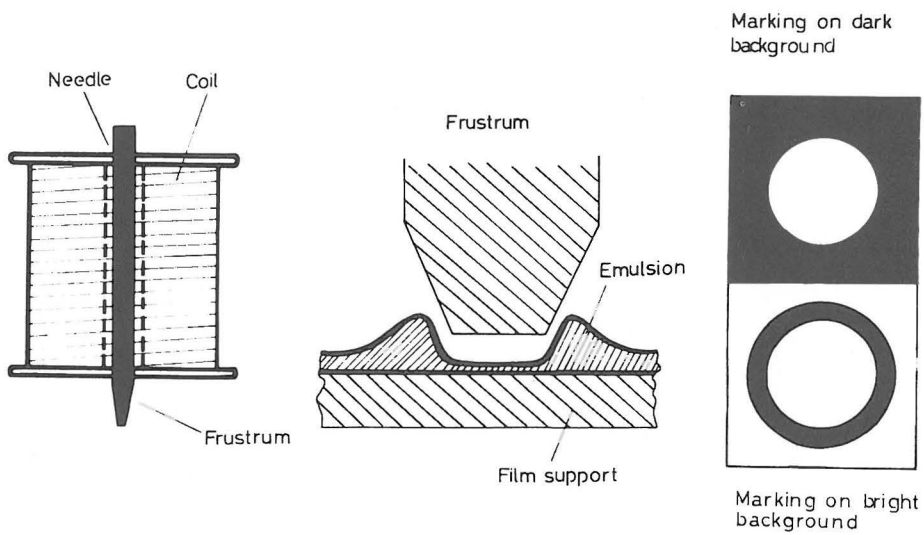


Fig. 5.: Prinzip der Markierung

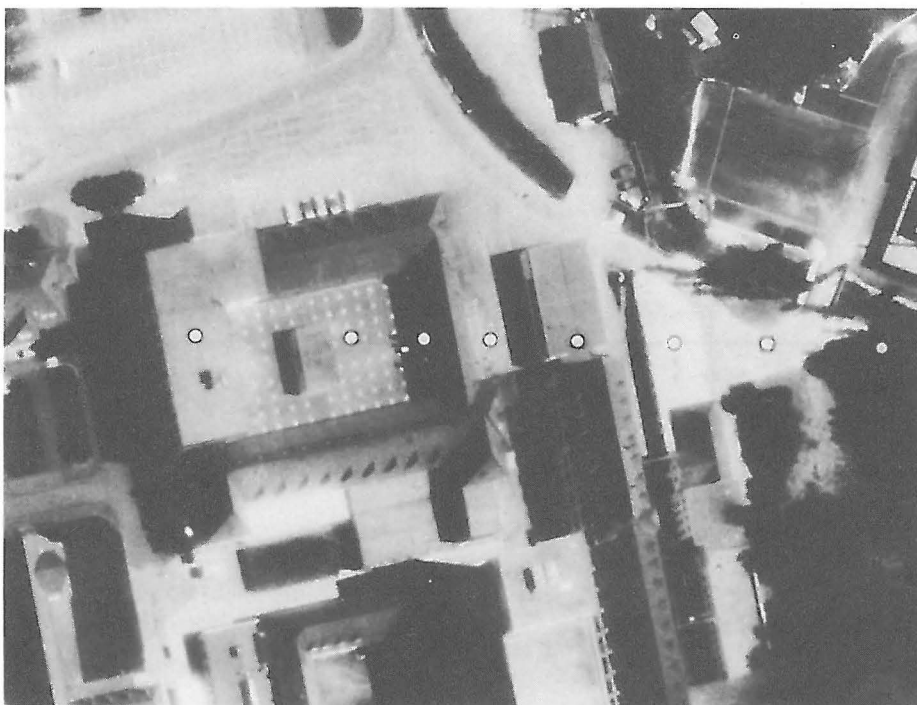


Fig. 6.: Markierbeispiele PM-1

Optisches System:

Zoom-System 6,5- bis 26-fach, beidseitig
unabhängig einstellbar
Gesichtsfelddurchmesser 28 mm bis 7 mm
Bildrotation beidseitig 0 - 360°, koppelbar
Fokussierung auf 0 - 7 mm Bildhöhe
Auflösungsvermögen bis 120 L/mm

Meßmarken:

Konzentrische Schwarz/Leuchtmarke,
umschaltbar auf \varnothing 25, 40, 60, 90 μ m

Koordinatenbewegung:

Freihandverschiebung auf Bildträgerplatte
425 mm (x) x 480 mm (y)
Zentrale Feineinstellung für gemeinsame oder
parallaktische Bewegung \pm 15 mm, wahlweise
links oder rechts

Markierung:

Punktmarkierung mit beheizter Nadel,
Punktdurchmesser 40, 70, 100, 200 μ m
Ringmarkierung mit Faserstift \varnothing 2, 4, 6 mm

Maße und Gewichte:

Punktübertragungsgerät: Breite 860 mm, Tiefe 680 mm,
Höhe 600 mm, Gewicht 85 kg
Steuereinheit: Breite 467 mm, Tiefe 420 mm,
Höhe 150 mm, Gewicht 20 kg

Fig. 7.: Technische Daten PM-1

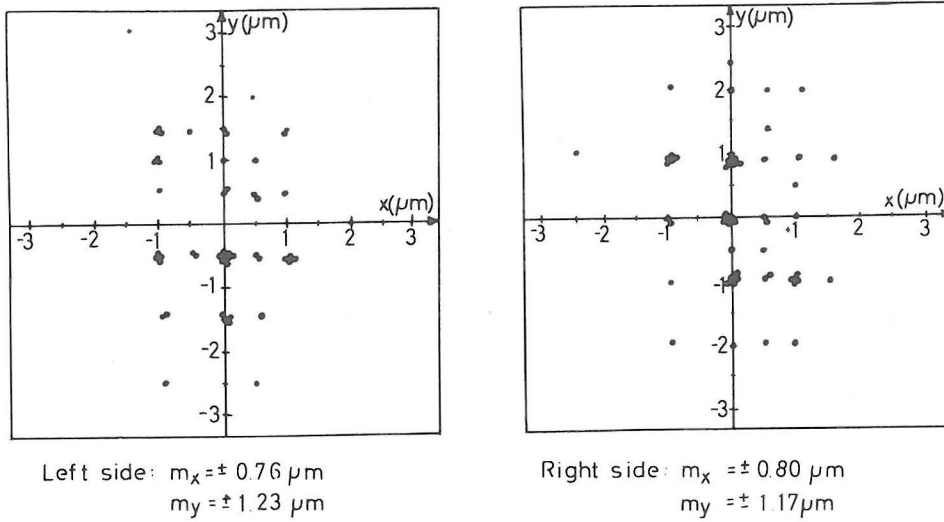


Fig. 8.: Reproduzierbarkeit der Markierung

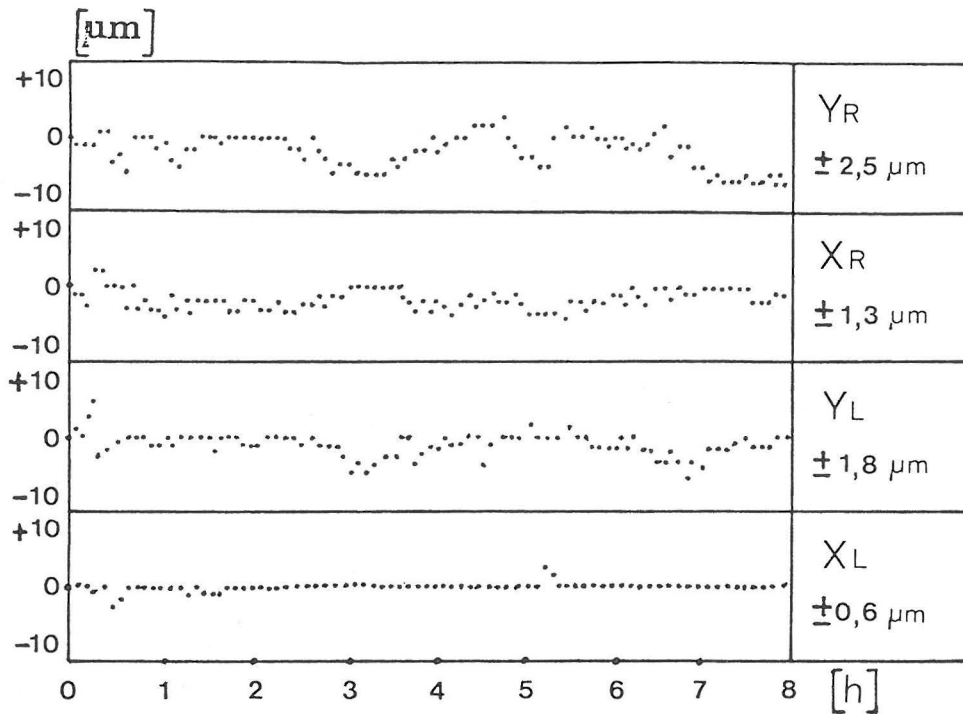


Fig. 9.: Justierhaltigkeit PM-1

Point	V_x μm	V_y μm
1	- 0.01	- 0.06
2	0.62	0.17
3	0.40	- 0.50
4	0.38	- 0.42
5	- 0.23	0.66
6	- 0.51	0.53
7	0.86	- 0.30
8	0.23	- 0.28
9	0.45	0.39
10	- 0.03	- 0.04
11	- 0.70	- 0.42
12	0.18	- 0.34
13	1.06	- 0.51
14	0.79	- 0.18
15	0.27	0.90
16	0.10	0.87
17	0.02	0.44
18	0.24	- 0.04
19	- 0.14	- 0.62
20	- 0.17	- 0.95
21	- 0.44	- 0.43
22	- 0.31	0.00
23	- 0.53	- 0.17
24	- 0.80	0.91
25	- 1.17	0.39
m_x	± 0.57	± 0.51
V_{max}	- 1.17	- 0.95

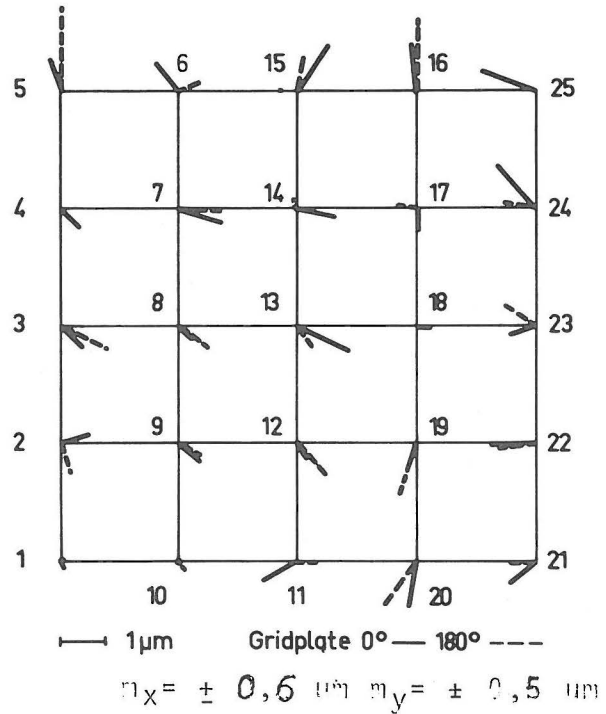


Fig. 10.: Genauigkeit des PK-1