

Presented Paper

Verm.-Ing. Herbert S t a r o s c z i k
JENOPTIK JENA GmbH, GDR-69 Jena, Carl-Zeiss-Platz 1

Topocart D und Technocart D

Abstract

The new types of the photogrammetric plotting machines - Topocart for aerial and terrestrial restitutions, Technocart for terrestrial restitution - are characterized by a range of calibrated focal length from 45 mm to 310 mm, extension of the range of magnifications from model to map to 12,5x, four speed rates for the handwheels, and unreversed positive and negative observation at various viewing magnifications which can be switched to 6x, 8,5x and 12x. They incorporate facilities for additionally connecting: digitizers for the output of model and image coordinates, a second viewing head for instruction purposes, and Orthophot D, whose range of calibrated focal length was likewise extended to 310 mm.

1. Allgemeines

Die beiden Stereokartiergeräte - Topocart D für die Auswertung von Meßbildern aus Luftbild- und terrestrischen Meßkammern und der Technocart D nur für die Auswertung von terrestrischen Meßbildern - sind analoge Auswertegeräte. Unter Beibehaltung des Prinzips des analogen ebenen mechanischen Rechners wurden beide Geräte neu entwickelt. Ziel der Entwicklung war es, die Bereiche der Kammerkonstanten so zu erweitern, daß alle Meßbilder der gebräuchlichsten Meßkammern ausgewertet werden können, den Bedienungskomfort zu erhöhen, die Stabilität und Genauigkeit zu steigern, und ein Grundgerät zu schaffen, daß auch für weitere Neuentwicklungen die Basis bilden kann.

Topocart D und Technocart D konnten dabei soweit vereinheitlicht werden, daß sie sich nur in den verwendeten Analogrechnern unterscheiden.

Mit der Neuentwicklung des Topocart D wurde ein universelles Stereokartiergerät geschaffen, das zu den verschiedensten Arbeiten und Aufgaben eingesetzt werden kann.

2. Besonderheiten der Konstruktion

2.1 Aufbau

Über 3 Füßen ist eine massive Grundplatte angeordnet. Sie besteht aus Grauguß und ist das tragende Element des Topocart. Ihre konstruktive Ausführung garantiert die Stabilität des Gerätes.

Auf der Grundplatte werden die beiden mechanischen Analogrechner und die z-Führungen befestigt. Der z-Wagen mit den x-y-Führungen und Wagen fährt auf der z-Führung. Zusammen bilden sie die Projektionsebene. Angetrieben werden die Koordinatenwagen in der Projektionsebene von Handrädern über Gelenkwellen und Spindeln.

Über 4 Ecksäulen, die auf der Grundplatte befestigt sind, befindet sich die Bildebene.

Primärführungen sind die x' -Führungen. Auf ihnen fährt der x' -Wagen mit den y' -Führungen. Der y' -Bildwagen, der sich auf dem x' -Wagen bewegt, wird über einen y' -Hilfswagen mit einem Mitnehmerlineal angetrieben.

Die Übertragung von der Projektionsebene auf die Bildebene geschieht durch das Linealsystem der Analogrechner.

Das Verbindungselement vom Analogrechner in die Bildwagen läßt sich über Spindeln relativ zum Projektionszentrum verschieben und realisiert die Kammerkonstanteneinstellung. Für jeden Rechner ist sowohl für die x- als auch für die y-Koordinate eine getrennte, kontinuierliche Kammerkonstanteneinstellung (ohne Umrüstungen) möglich.

Der Betrachtungsaufsatz wird über einer Konsole ebenfalls auf der Grundplatte befestigt.

Verkleidungsbleche an allen Seiten gestalten den mechanischen Aufbau zu einem kompakten und geschlossenen Gerät, schützen die mechanischen Teile vor Staub und machen das Gerät servicefreundlich.

2.2 Analogrechner

Der Topocart ist ein Auswertegerät mit rein mechanischer Projektion.

Die Projektionsstrahlen werden mit ebenen Lenkern in zwei Reißebenen zerlegt. Dieser Analogrechner arbeitet nach einer strengen Lösung. Die Raumkoordinaten x - und y - für jedes Teilbild werden in Abhängigkeit von z und den Daten der inneren und äußeren Orientierung in zwei Schritten in die Bildkoordinaten x und y eines um φ und ω geneigten Meßbildes transformiert.

Die Beziehungen zwischen den Bildkoordinaten x' , y' und den Raumkoordinaten x , y , z eines Meßbildes sind durch die bekannten Transformationsformeln für die perspektive Umbildung gegeben.

Unter Beibehaltung des Konstruktionsprinzips wurde unter Berücksichtigung der technologischen Fertigung und den Erfahrungen beim Vorgängertyp der Analogrechner umkonstruiert.

Die kurzen Seiten des Parallelogramms wurden um den Faktor 1,45 vergrößert. Mit dieser Vergrößerung konnte die Genauigkeit um den gleichen Faktor gesteigert werden.

Der erweiterte Kammerkonstantenbereich, der nun von 45 mm bis 310 mm reicht, erforderte auch eine Verlängerung der Lineale.

Durch die im Topocart verwendeten ebenen Analogrechner ergeben sich folgende Vorteile:

- ein Gewichtsausgleich wie bei Raumlener-Geräten ist nicht notwendig
- das Projektionszentrum ist sehr stabil und verändert sich nicht bei der Bewegung des Koordinatenwagens
- der z -Bereich, insbesondere das Verhältnis $z_{\min}:z_{\max}$, das für die auswertbaren Höhenunterschiede ausschlaggebend ist, ist größer als bei Raumlener-Geräten, da man näher an das Projektionszentrum heranfahren kann
- durch die stets horizontale Lage der Bildebene können direkt Bildkoordinaten gemessen werden
- die Zerlegung der Raumkoordinaten in eine x - z und y - z -Ebene gestattet es, die Kammerkonstanten für x und y getrennt einzugeben und so einen Affinschrumpf zu berücksichtigen
- trotz der großen Bereiche sind die Abmessungen der Geräte relativ klein.

2.3 Elemente der äußeren Orientierung

Die Bild Drehungen α' und α'' erfolgt direkt an den Bildträgern. Für die Bildneigungen in Längs- und Querrichtung befinden sich an den Linealenden des Analogrechners Einstellelemente, die bequem zu erreichen sind. An Zähltrommeln kann 0,01 gon direkt abgelesen werden.

Die Basiskomponenten b_x , b_y und b_z wirken auf das rechte Bild.

Ihre Bereiche können aus Abschnitt 5 entnommen werden. Durch die Zerlegung der Projektion in eine x - z und y - z -Ebene sind für die b_z -Koordinaten zwei Einstellelemente notwendig.

Die Einstellelemente befinden sich an den Koordinatenwagen in der Projektionsebene. Für die Koordinatenablesung sind neben den Einstellelementen Zähltrommeln angeordnet, an denen 0,02 mm als kleinste Einheit direkt abgelesen werden können.

2.4 Koordinatenantriebe

Der Antrieb der x- und y-Koordinaten geschieht von den Handrädern und für die z-Koordinate von der Fußscheibe aus. Jeder Koordinate ist ein Digitalzähler zugeordnet, der im Drehsinn umschaltbar ist und auf beliebige Werte eingestellt werden kann. Vor dem z-Digitalzähler befindet sich ein Wechselgetriebe, mit dem 10 unterschiedliche Maßstäbe eingestellt werden können. Außerdem kann der z-Zähler wahlweise der Fußscheibe oder der z-Koordinate in der Projektionsebene zugeordnet werden. Das ist notwendig, um terrestrische Meßaufnahmen auszuwerten oder mit dem Orthophot Orthophotopläne herzustellen.

Der Drehsinn sämtlicher Antriebe ist mit einem Hebel umschaltbar, so daß die Handradbewegungen und die Bewegungen der Meßmarken individuell einander zugeordnet werden können.

Untereinander lassen sich die Antriebselemente durch eine neue bequeme mechanische Arretierung an den Gelenkwellen vertauschen. So können y mit z bei Aufrißkartierungen terrestrischer Meßbilder sowie x mit y und y mit z bei Seitenrißkartierungen vertauscht werden. Mit einer Klemmschraube kann jeder Antrieb festgehalten werden.

Um das bisherige Verhältnis Bild-Kartenmaßstab um den Faktor 2 zu vergrößern, wurde ein Schieberadgetriebe zwischen den Koordinatenausgängen zum Zeichentisch und der Projektionsebene in den Topocart eingebaut.

Mit diesem mechanischen Getriebe kann die Projektionsebene im Verhältnis 1:1 und 2:1 angetrieben werden. Der Abtrieb zum Zeichentisch bleibt unverändert.

Bei einer Kammerkonstanten von 150 mm kann das max. Verhältnis zwischen Bild- und Modellmaßstab 1:2,2 und zwischen Modell- und Kartenmaßstab 1:6,25 betragen. Durch das vorher beschriebene Übersetzungsgetriebe ergibt sich eine maximale Gesamtvergrößerung vom Bild- zum Kartenmaßstab von 1:27,5.

Die Handradgruppen besitzen zwei Geschwindigkeitsstufen, die in Verbindung mit dem oben erwähnten Übersetzungsgetriebe von 2:1 insgesamt 4 Antriebsgeschwindigkeiten (5 mm/U, 2,5 mm/U, 1,7 mm/U, 0,85 mm/U) ermöglichen. Hinzu kommt noch die Freihandführung für x und y durch Ausklinken der Spindelmuttern in der Projektionsebene.

2.5 Bildträger

Über ein Dreipunktauflege sind die Bildträger auf den Bildwagen angeordnet. Untereinander sind die Bildträger austauschbar. Durch die hohe Genauigkeit beim Austauschen und bei der Übernahme der Daten der äußeren Orientierung kann auch nach dem Verfahren für Folgebildanschluß trianguliert werden.

Die Markenplatten sind mit Marken für terrestrische Meßkammern und Luftbildmeßkammern bis zum Format 24 cm x 24 cm ausgerüstet.

Um bei terrestrischen Auswertungen die Nullstellungen von φ und ω exakt zu ermitteln, sind auf den Markenplatten in den Hauptachsen und Diagonalen Kreuze graviert, deren Abstand von den Mittellinien 80 mm beträgt. Diese Markierungen können auch zur Kontrolle der Justierung des Gerätes herangezogen werden. Die Klemmvorrichtungen sind so gestaltet, daß beliebige Bild-

formate sicher gehalten werden können.
Ein Warnsystem schützt das Gerät vor dem Überfahren der Bereiche.

2.6 Analoge Ausgabe

An Topocart D und Technocart D können Zeichentische und die bekannten Zusatzgeräte wie Modellkorrektor und Neigungsrechner, mechanisch über Gelenkwellen oder elektrisch über Drehmelder angeschlossen werden. Die Drehmelder sind in der Adapterbox eingebaut, die an der rechten Seite des Topocart angeschraubt ist. Außerdem enthält die Adapterbox noch mechanische Ausgänge. Die analogen Ausgänge sind im Drehsinn umkehrbar und mechanisch abschaltbar.

2.7 Digitale Ausgänge

Für die digitale Ausgabe bestehen zwei Möglichkeiten. Die Modellkoordinaten x , y , z können über rotatorische Geber, die in der Nähe der Meßspindeln in der Projektionsebene eingebaut sind, ausgegeben werden.

Für die Ausgabe der Bildkoordinaten x' , y' , x'' , y'' können in der Bildebene für jede Koordinate ein inkrementelles, translatorisches Meßsystem angesetzt werden.

Diese universelle digitale Ausgabe erweitert die Anwendungsmöglichkeiten des Topocart auf alle Triangulationsverfahren (Bündeltriangulation, Triangulation mit unabhängigen Modellen). Speziell für die Triangulation mit unabhängigen Modellen sind in der Projektionsebene Indizes angebracht, die ein schnelles Einstellen des Projektionszentrums und das Ablesen des Projektionsabstandes ermöglichen, so daß während der relativen Orientierung des Modells die Freihandführung benutzt werden kann.

Weiterhin können durch die digitale Erfassung der Bildkoordinaten bestimmte Aufgaben der terrestrischen Photogrammetrie (Oberflächendigitalisierung) mit höherer Genauigkeit gelöst werden, weil die Meßmarken in Profilen des Modellraumes gesteuert, aber Bildkoordinaten registriert werden können.

2.8 Betrachtungsaufsatz

Gegenüber den Vorgängergeräten ist der Betrachtungsaufsatz neu konstruiert worden.

Sowohl für den Topocart D als auch für den Technocart D werden die gleichen Betrachtungsaufsätze verwendet.

Der Okulareinblick wurde um 50 mm weiter nach vorn gezogen, um den Operateuren eine bequeme Sitzhaltung zu gewährleisten.

Für eine seitenrichtige Diapositiv- und Negativ-Betrachtung ist eine umschaltbare Prismengruppe in den Strahlengang eingebaut worden.

Die Betrachtungsvergrößerung kann auf einfache Weise zwischen $6\times$, $8,5\times$ und $12\times$ umgeschaltet werden.

Die Meßmarke ist eine grüne Leuchtmarke von 0,04 mm Durchmesser. Die Meßbilder werden mit Halogenlampen im Durchlicht von unten beleuchtet. Durch die feststehende Bildbeleuchtung und das Beobachtungssystem ist immer eine gleichmäßige Ausleuchtung gewährleistet. Beide Bildebenen können getrennt fokussiert werden. Die Bild- und Meßmarkenbeleuchtung sind getrennt regelbar.

Zur Korrektur von Augenfehlern können Schielkeile in die Okulare eingesetzt werden.

Für den Einsatz der Geräte zu Ausbildungszwecken kann ein Zweiteinblick an den Betrachtungsaufsatz angeschraubt werden. Die Strahlenteilung erfolgt über einen teilverspiegelten Würfel, der in den Betrachtungsaufsatz eingebaut wird.

3. Orthophot D - 300

Analog den Veränderungen am Topocart D wurde das Orthophot D adaptiert.

Mit dem Topocart D - Orthophot D-300 sind Meßbilder, deren Kammerkonstante zwischen 45 mm und 310 mm liegt, auswertbar.

Der Zweiteinblick ist ebenso wie das translatorische Meßsystem ansetzbar.

Zur Reduktion der Abfahrzeit bei der Differentialentzerrung von Bildausschnitten kann beim mäanderförmigen Abfahren der y-Bereich laufend verändert werden.

Alle anderen Daten entsprechen denen des Orthophot D.

4. Genauigkeit

Die Genauigkeitsuntersuchungen erfolgten an den Funktionsmustern des Topocart D und des Technocart D nach der Funktionstestung.

4.1 25-Punkte-Messung in der Bildebene

Wie bei der Testung von Stereokomparatoren wurde mit Hilfe der translatorischen Meßsysteme die Bildkoordinaten von 25 Punkten mit einer Maschenweite von 50 mm gemessen.

Als Meßnormal dienten Gitterplatten mit einer Genauigkeit von 0,001 mm.

Bei der Berechnung des mittleren Gewichtseinheitsfehlers wurden die Orientierungsfehler der Gitterplatten sowie die systematischen Maßstabs- und der Rechtwinkligkeitsfehler berücksichtigt.

Die Einstellfehler und die Gitterplattenfehler sind im mittleren Gewichtseinheitsfehler enthalten.

Die Ergebnisse sind

Kammer A

$$m'_{x,y} = 1,8 \text{ } \mu\text{m}$$

Kammer B

$$m'_{x,y} = 2,1 \text{ } \mu\text{m}$$

4.2 25-Punkte-Messungen im Modell

Die Messungen beim Topocart D erfolgten entsprechend den Standardtests bei ausgekanteter Gitterplatte und φ und $\omega = 0$ in verschiedenen c_k - und z-Stellungen.

Es wurde ein Gitterquadrat von 200 mm Seitenlänge und einer Maschenweite von 50 mm im Hin- und Rückgang ausgemessen.

Bei der Berechnung des mittleren Gewichtseinheitsfehlers wurden die Orientierungsfehler der Gitterplatten, die Bildneigungen und die Maßstabsfehler in Abzug gebracht.

Tabelle 1 zeigt die mittleren Gewichtseinheitsfehler in den verschiedenen c_k - und z-Stellungen.

c_k /mm/	z /mm/	$m'_{x,y}$ /um/
90	90	5,6
90	198	4,7
150	150	5,6
150	300	5,0
210	105	8,1
210	315	3,1
305	152,5	9,4
305	335,5	6,3

Tabelle 1: Mittlerer Gewichtseinheitsfehler bezogen auf die Bildebene aus 25-Punkte-Gittermessungen

Beim Technocart wurde ein quadratisches Gitter von 160 mm Seitenlänge bei den Kammerkonstanten 100 mm, 200 mm, 300 mm und bei $c_k = 50$ mm von 80 mm Seitenlänge ausgemessen. Die 25 Punkte waren gleichmäßig über das Gitter verteilt. Die Berechnung der mittleren Gewichtseinheitsfehler erfolgte für x und z getrennt, die Orientierungsfehler der Gitterplatten und die Maßstabsfehler wurden in Abzug gebracht.

c_k /mm/	y /mm/	m'_x /um/	m'_z /um/
50	50	1,7	1,3
50	200	1,2	1,4
50	300	0,6	0,7
100	50	3,2	3,6
100	200	1,0	2,2
100	300	1,6	2,2
200	50	7,6	8,6
200	200	2,0	1,6
200	350	2,8	1,8
300	60	12,2	10,8
300	180	6,0	5,5
300	330	3,0	2,5

Tabelle 2: Mittlere Gewichtseinheitsfehler bezogen auf die Bildebene aus 25-Punkte-Gittermessungen.

4.3 Gittermodellmessungen

Die 15-Punkte-Gittermessungen wurden am Topocart bei verschiedenen Kammerkonstanten und in unterschiedlichen Projektionsentfernungen durchgeführt.

Durch relative und absolute Orientierung von Gitterplatten wurde ein Raummodell erzeugt, daß eine Ebene darstellt. Zur absoluten Orientierung wurden die 4 Eckpunkte verwendet.

Die Basis, bezogen auf die Bildebene, betrug $b' = 80$ mm. Das ausgemessene Gitter hatte in x-Richtung eine Ausdehnung von 100 mm und in y-Richtung von 200 mm. Die Punkte waren gleichmäßig verteilt.

Bei der Berechnung des mittleren Gewichtseinheitsfehlers wurden die Orientierungsfehler der Gitterplatte und die Maßstabsfehler in Abzug gebracht.

c_k /mm/	z /mm/	$m'_{x,y}$./,um/	mh %o	mh H
90	90	5,6	0,04	1:25 000
90	198	4,5	0,03	1:33 333
150	150	3,2	0,03	1:33 333
150	300	5,4	0,04	1:25 000
300	200	4,9	0,05	1:20 000
300	300	6,0	0,05	1:20 000

Tabelle 3: Mittlerer Gewichtseinheitsfehler, bezogen auf die Bildebene und Höhenfehler in %o auf die Flughöhe aus Gittermodellmessungen.

Beim Technocart D wurde ein Gittermodell mit 17 Punkten gemessen. Das Gitter hatte ein Format von 160 mm in x' -Richtung und 120 mm in z' -Richtung. Die Meßpunkte waren gleichmäßig verteilt, zusätzlich wurde der Modellmittelpunkt gemessen. Die Orientierung des Modells erfolgte in Fernstellung der y-Koordinate auf die 4 Eckpunkte. Danach wurde das Modell ohne weitere Orientierung in allen 3 y-Ebenen gemessen. Die Berechnung für x und z wurde getrennt durchgeführt. Die Orientierungsfehler der Gitterplatte und die Maßstabsfehler wurden in Abzug gebracht.

c_k /mm/	y /mm/	m'_x ./,um/	m'_z ./,um/	m'_y ./,um/	m'_{px} ./,um/	Basisverhältnis
100	80	9,3	11,7	13,8	3,4	1:5
100	160	23,9	27,4	64,0	4,0	1:10
100	320	48,9	45,6	94,0	1,5	1:20
200	85	4,4	6,0	13,0	5,6	1:5
200	170	5,5	4,3	19,0	2,0	1:10
200	340	13,9	14,1	52,0	1,5	1:20
300	82,5	4,6	3,9	8,0	5,7	1:5
300	165	4,8	7,2	22,0	3,9	1:10
300	330	9,0	9,0	37,0	1,7	1:20

Tabelle 4: Mittlere Gewichtseinheitsfehler bezogen auf die Projektions- und Parallaxenfehler aus 17-Punkte-Gittermodellmessungen.

5. Technische Daten

Bildformat	bis max. 23 cm x 23 cm
Betrachtungsvergrößerung	6x 8,5x 12x
Gesichtsfeld bezogen auf die Bildebene	40 mm, 28 mm, 20 mm
Meßmarke	grüne Leuchtmarke
Durchmesser	0,04 mm
Abstand der Okulare	55 mm bis 75 mm
Dioptrieneinstellung	± 5 dptr

Raumkoordinaten

x-Koordinate	480 mm
y-Koordinate	480 mm
z-Koordinate (Topocart)	+ 70 mm bis + 350 mm
(Technocart)	+ 35 mm bis + 350 mm
Bildkoordinaten x^i, y^i	240 mm
Kammerkonstante	45 mm bis 310 mm
Basiskomponenten	
bx	0 bis 240 mm
by ₂	± 20 mm
bz ₂	± 20 mm
Längsneigung $\varphi' \quad \varphi''$	± 5 gon (Topocart)
Querneigung $\omega' \quad \omega''$	± 5 gon (Topocart)
Kantung $\kappa' \quad \kappa''$	± 30 gon
Konvergenz γ	- 2 gon bis + 6 gon (Technocart)
max. Bildwinkel in einer Koordinatenrichtung	52°

Anmerkung: Beim Technocart entspricht die y- der z-Koordinate und die z- der y-Koordinate.

Literatur

- [1] Szangolies, K.: Topocart, Entwicklung und mathematische Darstellung, Komp. Photogrammetrie, Bd.X, S. 132-140
- [2] Spata, P., Beier, L.: Topocart-Orthophot D mit Digital steuereinheit und Querneigungskorrektor, Presented Paper, Komm. II, Hamburg 1980
- [3] Starosczyk, H., Tiedeken, W.: Topocart C, Presented Paper, Komm. II, Helsinki 1976
- [4] Starosczyk, H.: Technocart - ein Stereokartiergerät für die terrestrische Photogrammetrie, Komp. Photogrammetrie, Bd. X, S. 112-131
- [5] Szangolies, K., Mark, R.-P., Starosczyk, H.: Die Anwendung von Standardtests für die Prüfung von Auswertegeräten, Komp. Photogrammetrie, Bd. IX, S. 341-361

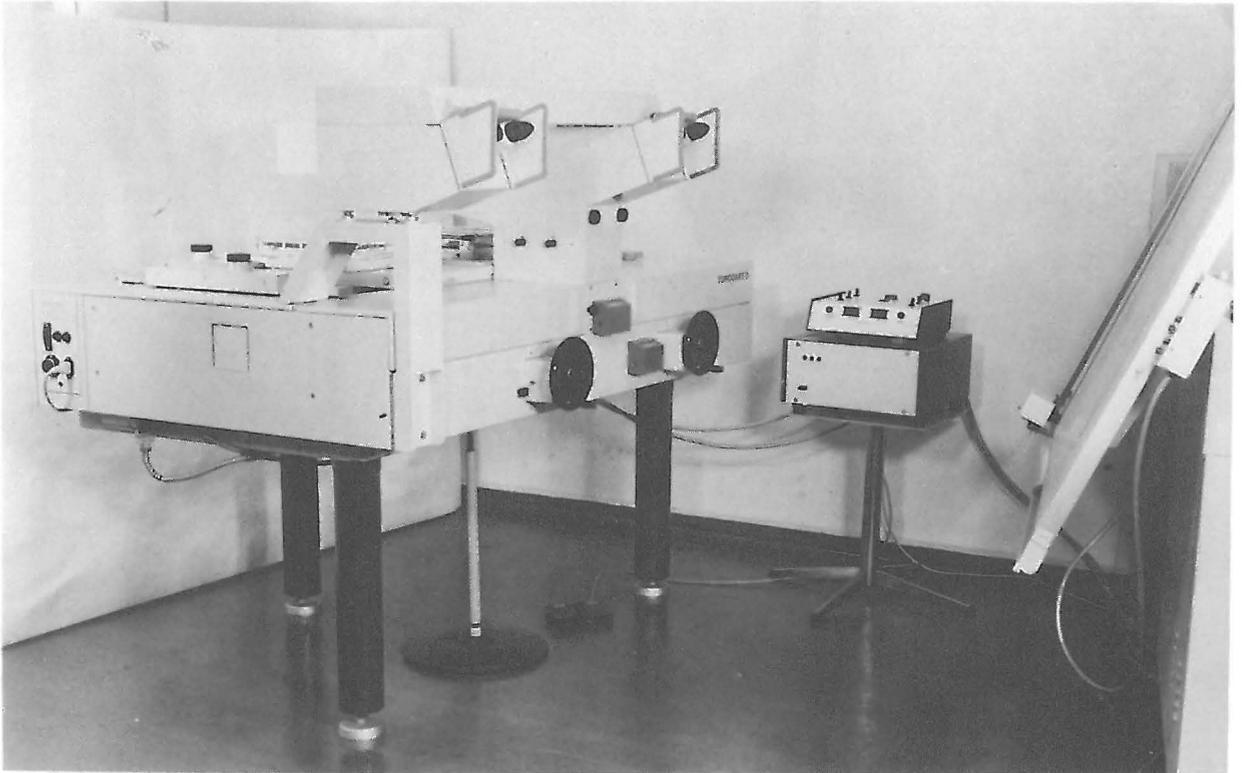


Bild 1 Topocart D mit Zweiteinblick und DT-Zeichentisch

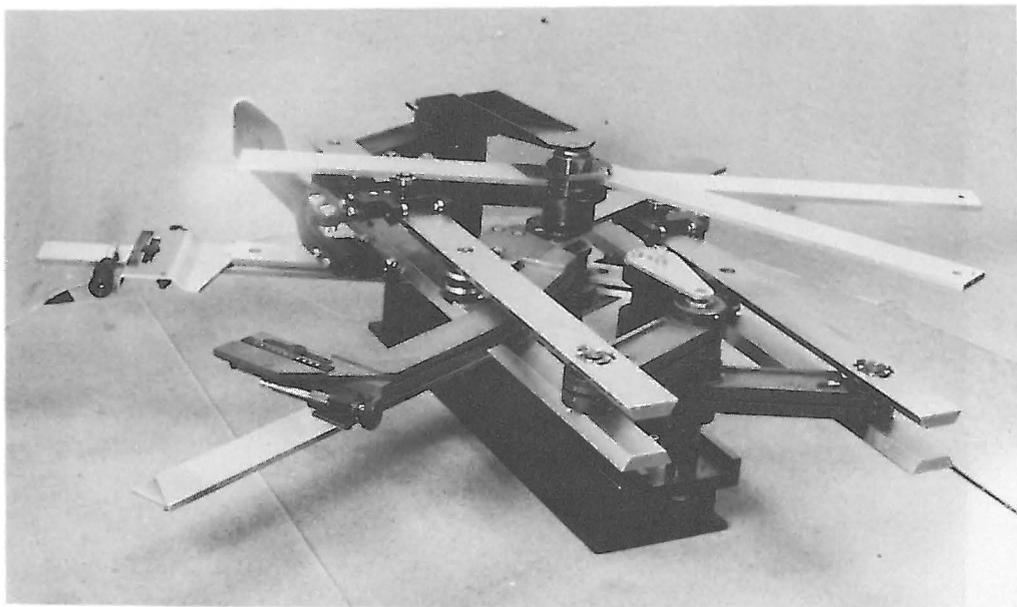


Bild 2 Mechanischer Analogrechner des Topocart

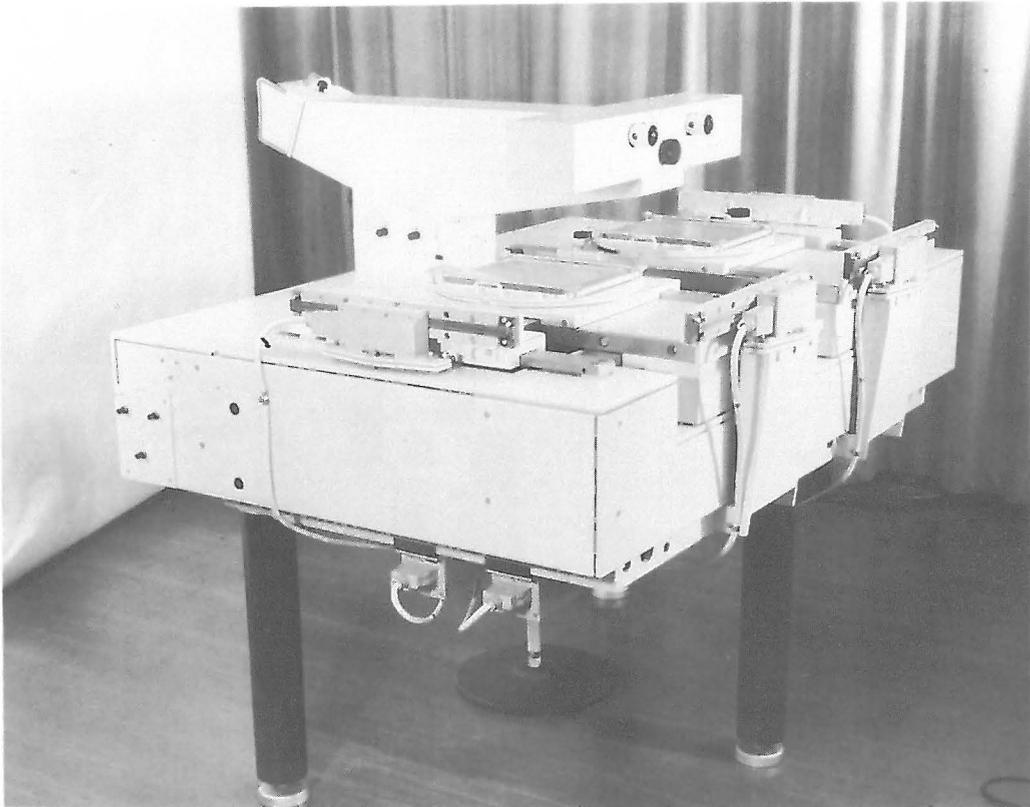


Bild 3 Bildwagen am Topocart

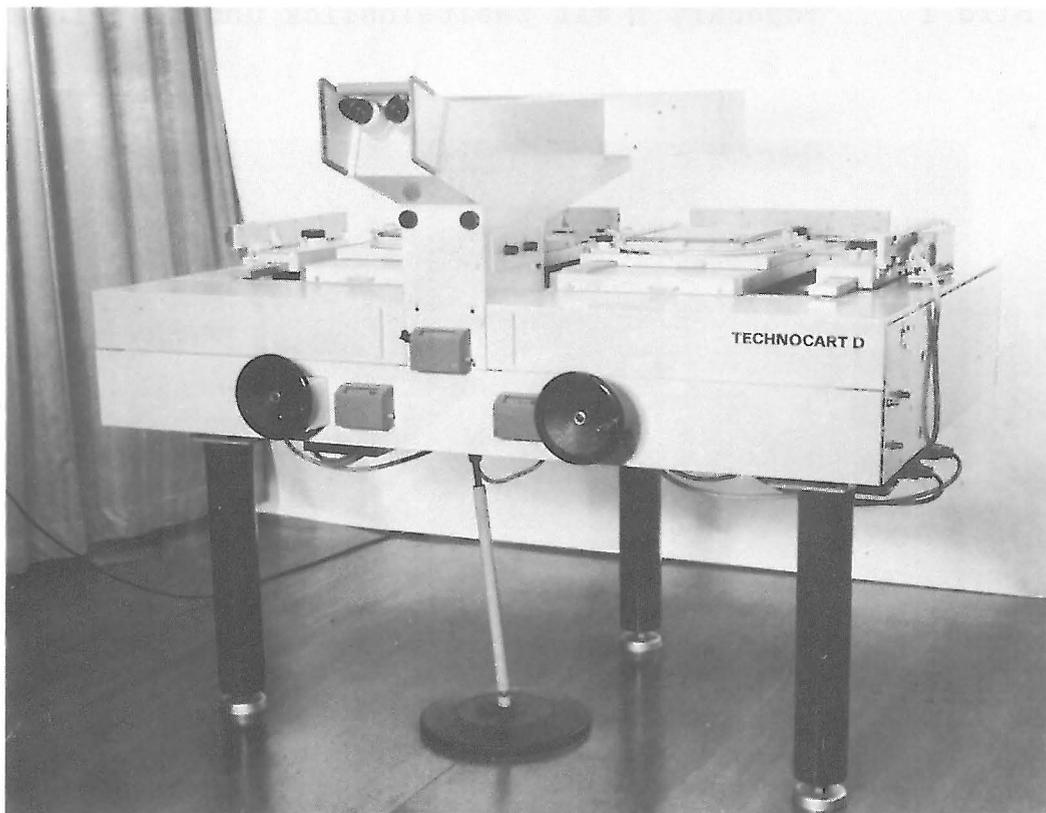


Bild 4 Technocart mit translatorischem Meßsystem IAL-1 ,um

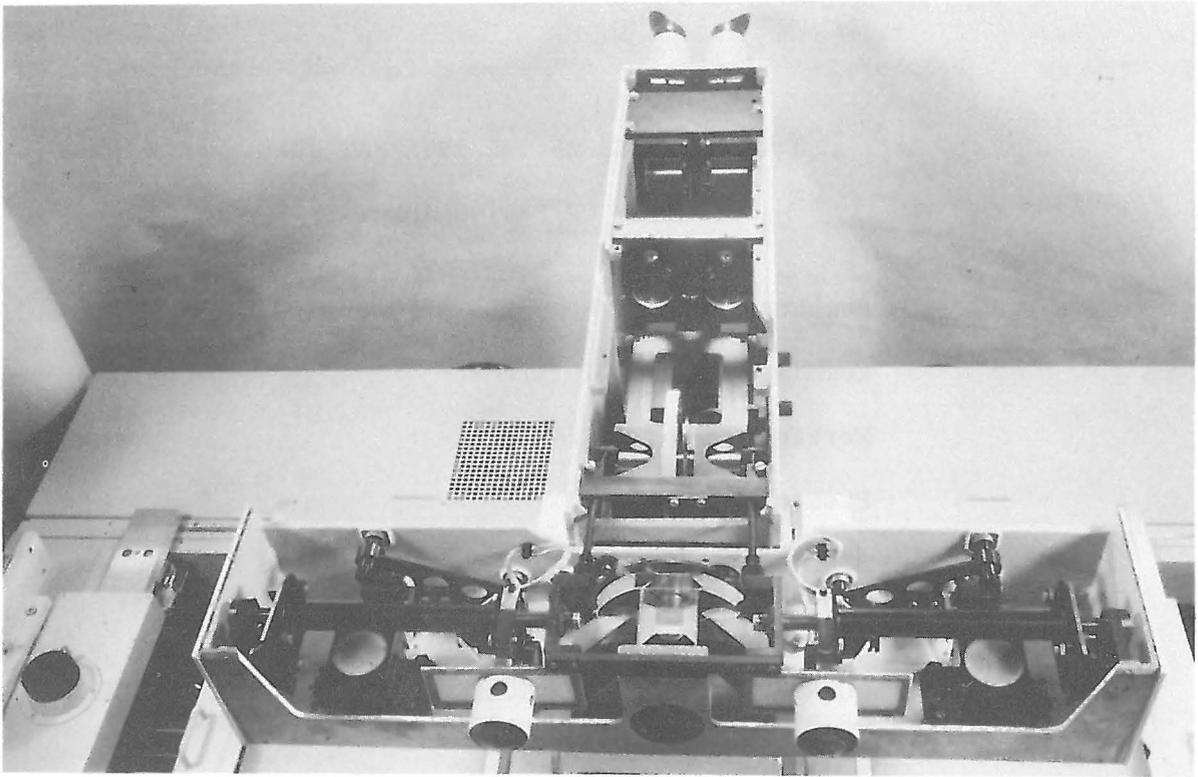


Bild 5 Betrachtungsaufsatz

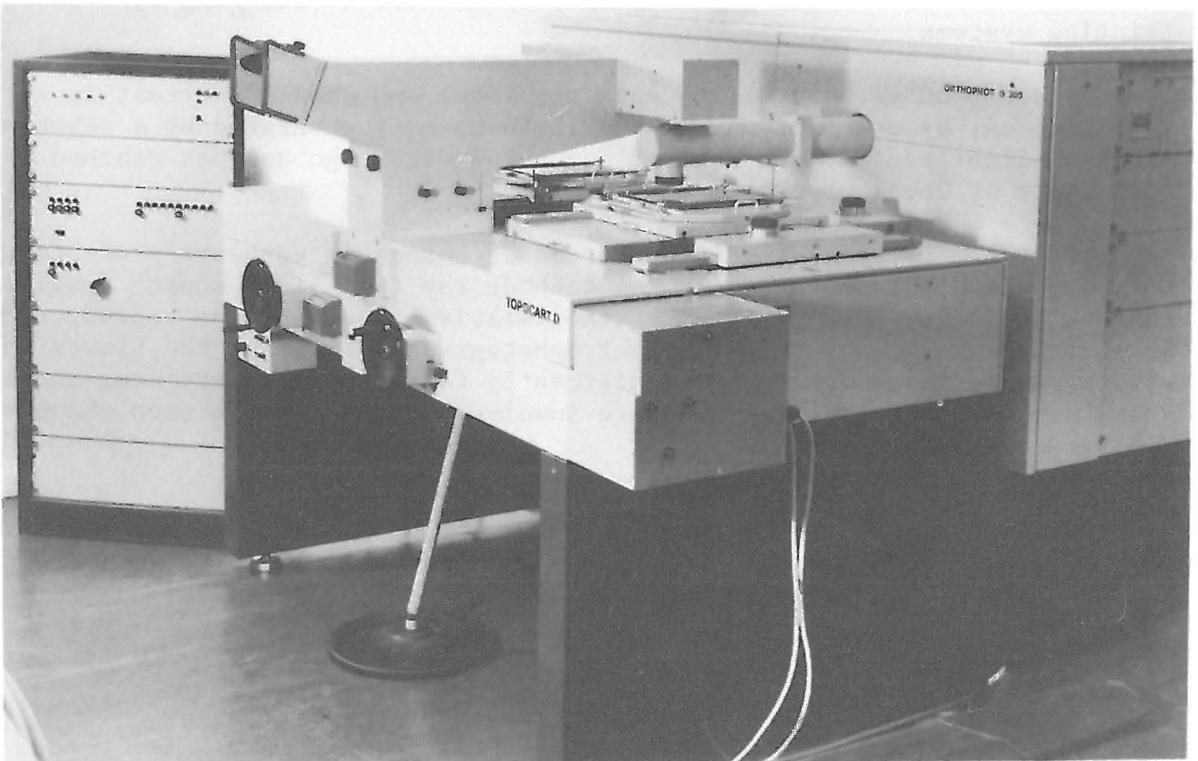


Bild 6 Topocart D mit Orthophot D-300