

## ANALYTISCHE AUSWERTEGERÄTE - ZIELSETZUNG, ENTWICKLUNG UND TECHNISCHE REALISIERUNG

G. Konecny, Hannover

### 1. Einführung

Es ist mir eine besondere Ehre und Freude bei der diesjährigen Photogrammetrischen Woche den Einführungsvortrag zur ersten Themengruppe, über Analytische Auswertegeräte, halten zu dürfen. Denn zum ersten mal wird bei dieser traditionsreichen Veranstaltung das analytische Gerät Planicomp C-100 vorgestellt. Wir haben es zwar größtenteils schon beim Internationalen Kongreß für Photogrammetrie in Helsinki 1976, beim Geodätentag in München 1976, beim F.I.G. Kongreß in Stockholm 1977 oder bei der Tagung der amerikanischen Gesellschaft für Photogrammetrie in Washington 1977 gesehen. Bei der Photogrammetrischen Woche werden ihm allerdings erstmalig 2 Programmtage gewidmet sein.

Schon vor 19 Jahren war bei den Photogrammetrischen Wochen 1958 schon einmal von analytischen Auswertegeräten die Rede. Damals hörte ich als junger Assistent bei Prof. Finsterwalder an der T.H. München den Ausführungen von Herrn Uki Helava zu, der dieses Gerätekonzept im Vorjahr patentiert und publiziert hatte.

Ich glaube es ist uns allen hier eine Ehre, daß er nach 19 Jahren zur Photogrammetrischen Woche zurückgekehrt ist, und daß wir ihn hier begrüßen dürfen.

Mein Einführungsvortrag richtet sich von der Seite eines nunmehr 10-jährigen Nutzers eines analytischen Plotters an Sie. Er will Sie mit der Zielsetzung, Entwicklung und technischen Realisierung der analytischen Auswertegeräte vertraut machen. Herr Helava wird nach Schluß meines Vortrags noch besonders zu Ihnen sprechen.

Er hat die analytischen Auswertegeräte nicht nur erstmalig konzipiert, er hat sie beim National Research Council in Kanada und später bei den Firmen Ottico Meccanica Italiana und Bendix weiterentwickelt und mit zu ihrer Reife beigetragen, die wir heute im Planicomp C-100 bewundern können.

Mir war als Teilnehmer der ersten National Research Council Konferenz in Ottawa im Jahre 1963 schon damals klar, daß der Analytische Plotter das Gerät der Zukunft sein würde. Ich habe mich deshalb seither um seinen Einsatz bemüht und zwar von 1967 bis 1971 am O.M.I.-Bendix AP/C an der University of New Brunswick in Kanada und seit 1972 am AP/C-3 von Ottico Meccanica Italiana in Hannover.

Es gab bis vor einem Jahr nur wenige zivile Benutzer analytischer Auswertegeräte. Lediglich die amerikanischen militärischen Dienststellen, namentlich die Luftwaffe in St. Louis, zählten zu den Großabnehmern analytischer Instrumente. Auch die durch Herrn Hobrough im Jahre 1958 eingeleitete Entwicklung elektronischer Bildkorrelatoren erkannte bald, daß der analytische Plotter ideale Voraussetzungen für den Einbau von Bildkorrelatoren bietet; so entstand die Unamace von Bunker Ramo, der AS-11-B1 und der AS-11-BX von Bendix und das Gestalt-System von Hobrough als Analytischer Plotter. Es ist kein Zufall, daß auch Herr Hobrough, der Erfinder des Bildkorrelators heute hier anwesend ist, und daß wir ihn ebenfalls begrüßen können.

Der Internationale Kongreß für Photogrammetrie 1976 in Helsinki, den unsere hier so zahlreich anwesenden finnischen Freunde mustergültig organisiert haben, brachte aber selbst für die Anhänger analytischer Auswertegeräte eine große Überraschung: Insgesamt wurden 7 neue Geräte vorgestellt, welche man in die Klasse der analytischen Auswertegeräte zählen kann.

Dies war eine klare Antwort der Industrie auf das Zögern der Praxis analytische Systeme einzuführen.

Offensichtlich hatte sich die Ausgangssituation verändert, die ich im Folgenden kurz beschreiben will (Anlage 1):

Die Gründe, warum die Praxis mit dem Einsatz analytischer Geräte zögerte, waren manigfaltig:

Erstens hatte man mit digitalen Registrieranlagen an mechanischen Auswertegeräten und an Komparatoren unliebsame Erfahrungen gemacht und man traute der Integration eines Rechners in ein Auswertesystem noch weniger zu; allerdings zu unrecht. Prozeßrechnerbenutzer wissen allgemein, und der Analytische Plotter ist ein Prozeßrechner, daß der Rechner erheblich störungsfreier arbeitet als seine Peripherie.

Der zweite Grund war allerdings mindestens ebenso schwerwiegend. Er lag am hohen Preis der Systemkombination.

Wenn man schon das Doppelte für ein analytisches Auswertegerät bezahlen mußte als für ein einigermaßen vergleichbares analoges, dann sollte die Leistung dieses Gerätes mindestens doppelt so hoch sein. Wegen mangelnder Softwareentwicklungen war sie es aber im Standardfall nicht.

Analytische Plotter mußten also nur dort angewandt werden, wo ihre Leistung mit der analoger Geräte unbestreitbar war. Das war bei der Auswertung militärischer Panoramaaufnahmen aus Aufklärungsflugzeugen der Fall, und bei der Steuerungsfunktion automatischer Bildkorrelatoren.

1976 aber hatten sich die Hardwarepreise erheblich zugunsten des Rechners verschoben. Gegenüber 1972 ergab sich ein Absinken der Prozeßrechnerpreise auf etwa die Hälfte. Auch die Anschaffungskosten für Servosysteme und für den Bau der Rechnerschnittstelle, dem sogenannten Interface senkten sich um etwa ein Drittel. Bei relativ gleichbleibenden Ausgaben für Optik und Mechanik ergab sich somit eine erhebliche Kostensenkung für analytische Auswertegeräte.

(Anlage 2)

Die Kostentrends werden in der Computerindustrie weiterhin abnehmen. Dies ist in erster Linie durch die Verwendung verbilligter Bauelemente und verbilligter Fertigungstechnik zu begründen. Zu dem sich verbilligenden Hardwareanteil kommt ein Anteil der Programmierung, der sogenannten Software, welche für ein System fixe Kosten darstellt. Werden mehrere Systeme erstellt, so können sie auf mehrere Geräte umgelegt werden. Sie verbilligen die Gesamtsystemkosten um einen weiteren Anteil.

Ganz abgesehen von der Leistungsfähigkeit analytischer Geräte ist also damit zu rechnen, daß in Zukunft mechanische Auswertegeräte bei steigender Inflation nicht billiger sein werden und es zum Teil schon sind, also vergleichbare analytische Auswertegeräte.

## 2. Funktionsweise analytischer Auswertegeräte

Die Eigenschaften analytischer Auswertesysteme sollen im folgenden näher beschrieben werden. Hierzu hilft eine Klassifizierung der Geräte, welche als analytisch betrachtet werden können: Die Klassifizierung ist als eine Erläuterung der Prinzipien zu verstehen.

(Anlage 3)

1. Ein Analytischer Plotter nach dem Prinzip von Helava führt dem Rechner über Handräder und Fußscheibe Impulsfolgen zu, welche dort zu Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $z$  aufsummiert werden. Ein Echtzeitprogramm berechnet für  $x$ ,  $y$  und  $z$  bei bekannten Orientierungswerten zugehörige Bildkoordinaten  $x'$ ,  $y'$ ,  $x''$  und  $y''$  sowie Zeichentischkoordinaten  $x_T$  und  $y_T$ . Diese Koordinaten werden über 6 Servosysteme auf das Bildbetrachtungssystem und den Zeichentisch übertragen. Seine Einstellung wird mit den Sollwerten laufend in Echtzeit verglichen. Der analytische Plotter ist das Universalgerät der analytischen Photogrammetrie.

(Anlage 4)

2. Vom Analytischen Plotter nach Helava unterscheidet sich ein Gerät vom Typ eines "Digitalen Stereokartographen". In diesem Typ werden  $x'$ ,  $y'$  Koordinaten des linken Bildes und die Differenzkoordinate  $px''$  des rechten Bildes von Hand und Fuß eingeführt. Sie führen zu einer mechanischen Bewegung des Bildbetrachtungssystems und zu einer Kodierung dieser Bewegung in den Rechner.

Aus den Werten  $x'$ ,  $y'$ ,  $px''$  und  $py''$  (letzteres ist manuell verstellbar), lassen sich je nach Aufgabe verbesserte  $py''$  bzw.  $px''$  und  $py''$ -Werte, sowie die Zeichentischkoordinaten  $x_T$  und  $y_T$  berechnen. Hier reichen 4 Servosysteme oder Schrittschaltmotoren aus.

Der Digitale Stereokartograph hat den Nachteil, daß Punkte nicht rechnergesteuert angefahren werden können. Zwar werden weniger Servosysteme benötigt. Dies wird jedoch mit geringerer Flexibilität und mit hohem Rechenaufwand erreicht, wie später noch gezeigt wird.

(Anlage 5)

3. Geräte vom Typ des "Stereocord", die sogenannten "Image Space Plotters" enthalten keine Servosysteme für die Nachstellung der Parallaxen. Als Meßgrößen gehen mechanisch eingestellte  $x'$ ,  $y'$ ,  $px''$ ,  $py''$ -Werte in den Rechner ein.

Er kann  $x$ ,  $y$ ,  $z$ -Werte errechnen und am Zeichentisch die Werte  $x_T$ ,  $y_T$  einstellen. Dies kann über 2 digitale Einstellvorrichtungen geschehen. Er ist deshalb der billigste Gerätetyp. Da  $y$ -Parallaxen nicht automatisch weggestellt werden, ist die Auswertung umständlich.

Die 3 beschriebenen Typen "Analytischer Plotter", "Digitaler Stereokartograph", "Image Space Plotter" können als analytische Auswertesysteme betrachtet werden.

(Anlage 6)

Es gibt allerdings noch zwei weitere Gerätetypen, welche eine Mischung zwischen analogen und analytischen Auswertegeräten darstellen:

4. Hybride Systeme wurden im sogenannten "Hybrid Plotter" von Lanckton gebaut. In Europa sie von O. Hofmann und von Makarovic propagiert. In ihnen werden die Komponenten eines mechanischen Auswertegerätes zur Einstellung von  $x$ ,  $y$  und  $z$  verwendet. Der Rechner berechnet aus  $x$ ,  $y$ ,  $z$  lediglich Korrekturwerte  $\Delta x'$ ,  $\Delta y'$ ,  $\Delta x''$ ,  $\Delta y''$  zu den mechanisch grob eingestellten Koordinaten  $x'$ ,  $y'$ ,  $x''$  und  $y''$  berechnet. Ein hybrides System benötigt die gleiche Anzahl von Servosystemen wie ein Analytischer Plotter. Bei der Komplexität des mechanischen Aufbaus bieten sich deshalb keine Vorteile. Die hybriden Systeme sind deshalb als überholt zu betrachten.

(Anlage 7)

5. In Helsinki kam mit dem A.M.U. von Wild ein "servounterstütztes Auswertegerät" heraus, welches ein reines analoges Auswertesystem darstellt, aber einige Vorzüge des analytischen Plotters, wie die der computergesteuerten Einstellung von Modell- oder Geländekoordinaten erlaubt.

### 3. Historische Entwicklung analytischer Auswertegeräte

(Anlage 8)

Eine Übersicht über die historische Entwicklung analytischer Auswertegeräte zeigt, daß der "Analytische Plotter" eine lange Tradition hat.

Seine Erfindung erfolgte im Jahre 1957. Frühe Publikationen zeigen, daß die Digitalrechner dieser Zeit für eine Echtzeitberechnung der Kollinearitätsgleichungen ungeeignet waren. Deshalb schlug man damals elektrische Analogrechner vor. Da sie nur auf 3 bis 4 Stellen genau rechneten, mußte eine mechanische Führung von x und y vorgesehen und mit dem Bildwagen gekoppelt werden. Der Rechner sollte die Differenzbeträge  $\Delta x'$ ,  $\Delta y'$ ,  $\Delta x''$ ,  $\Delta y''$  einstellen.

1963 wurde so am National Research Council in Kanada der erste Prototyp fertig. Damals konnte erstmalig ein relativ schneller Prozeßrechner: Packard-Bell PB 252 Einsatz finden. Im Gegensatz zur Magnettrommel der ersten Digitalrechner besaß er den schnelleren Speicher einer magnetostriktiven Verzögerungslinie. Somit war die elektrische Echtzeitberechnung nicht mehr nötig.

1963 erschien auch ein militärisches Gerät der AS-11-A (ein militärischer Würdenträger, der sich nicht irren darf, las 11 statt II), der die Berechnung über digitale Differentialanalysatoren ausführte.

1964 erschien das erste von O.M.I. und Bendix gefertigte kommerzielle analytische Plottersystem, der AP/C. Wegen des Verzögerungslinienspeichers von 2.4 K Worten war er für den Nutzer äußerst schwierig zu programmieren. Maschinensprache und Zeitoptimierung waren hierzu nötig.

Im Gegensatz zum AP/C zeichneten sich die militärischen Geräte durch zusätzliche Schrittschaltmotorveränderungen für Okulare mit Zoomsystem und für Doveprismen zur Veränderung der Betrachtungsrichtung aus.

Produktionsmodelle zeichneten sich jedoch erst durch Verwendung von Rechnern mit Kernspeicher ab. Auf dem militärischen Sektor geschah dies 1968 durch den AS-11-A1 mit einem Bendix BX 272-Rechner.

Auf dem zivilen Sektor erschien 1972 der AP/C-3 von O.M.I. mit dem Rechner I.B.M. 1130. In Hannover ist dieses System inzwischen mit peripheren Geräten ausgerüstet worden.

Unter den militärischen Spezialmodellen für die elektronische Bildkorrelation wurde das "Universal Automatic Map Compilation Equipment", die sogenannte Unamace von der U.S. Armee bei Bunker Ramo entwickelt.

Die U.S. Luftwaffe unterstützte den Bau des AS-11-B1 bei Bendix und seine Weiterentwicklung in den AS-11-BX als einem hybriden (digital-analogen) Korrelator.

Auf dem zivilen Sektor entstand das Gestalt-System.

Bereits vor dem Helsinkikongreß wurde der Bau des Bendix US-1 eingeleitet durch den Prototyp der "Bendix Research Facility" von 1974.

Von den Geräten Anaplot von Instronics Gestalt und vom Stereodicomat von Jena kann ich hier leider keine Dias zeigen.  
Das Bild zeigt den von Matra vorgestellten TRASTER 77

Der AP/C 4 von O.M.I. wird in Zukunft mit einer PDP 11/03, einem Mikrocomputer, ausgerüstet sein. In Helsinki wurde er mit der Nova gezeigt.

Schließlich brachte der Planicomp C-100 in Helsinki die große Überraschung.

Die Bestandteile des Geräts vom Betrachtungsteil zum Zeichentisch, zum Rechner werden Ihnen im Laufe dieser Woche geläufig werden.

(Anlage 9)

"Digitale Stereokartographen" sind, abgesehen von in  $py$  nachgeführten Komparatoren (wie an der Technischen Hochschule Helsinki) nur von der Firma Galileo nach Inghilleri gebaut worden.

Die Idee des "Image Space Plotter" geht ursprünglich auf Forrest (früher Bendix, jetzt U. of New South Wales, Australien) zurück.

Unter den inzwischen gebauten Gerätetypen gibt es bei der U.S. Armee das sogenannte "Analytical Point Positioning System" genannt A.P.P.S.

und im zivilen Sektor das Stereocord von Carl Zeiß, Oberkochen.

Die inzwischen veralteten hybriden Geräte, und der Wild A.M.U. als neues servounterstütztes Gerät wurden schon erwähnt.

(Anlage 10)

Will man die zu erbringende Rechenleistung analytischer Auswertegeräte untereinander vergleichen so sei folgende Übersicht vorweggestellt:

1. Analytische Plotter des Helava-Typs haben die einfachste Berechnungsweise. Die  $x$ ,  $y$ ,  $z$ -Werte werden durch die Kollinearitätsgleichungen in  $x'$ ,  $y'$ ,  $x''$  und  $y''$ -Werte umgerechnet.
2. Digitale Stereokartographen haben eine umständliche Berechnungsweise. Die eingegebenen Werte  $x'$ ,  $y'$ ,  $px''$ ,  $py''$  müssen zunächst in  $x$ ,  $y$ ,  $z$ -Werte umgerechnet werden. Daraus leitet sich der zu berechnende Ausdruck für das nachzustellende  $y''$  ab. Für Punkte ist diese Berechnung ausreichend. Sollen aber Linien, z.B. Schichtlinien  $z = \text{const.}$  abgefahren werden, dann muß nicht nur  $py''$  sondern auch  $px''$  verbessert werden. Die Auflösung muß iterativ erfolgen.

(Anlage 11)

3. Für Geräte vom Typ des Stereocord ist wegen der verwendeten begrenzten Rechnerkapazität (es handelt sich um Tischrechner) nur eine genäherte Berechnung möglich.

#### 4. Vergleich neuer analytischer Auswertegeräte

Aus den Rechenanforderungen und den vorher erwähnten Überlegungen ergibt sich, daß für unsere weiteren Vergleiche und Betrachtungen eigentlich nur analytische Plotter vom Helava-Typ herangezogen werden sollen.

(Anlage 12)

Betrachten wir den O.M.I.-AP/C-3 aus dem Jahre 1972 als Vergleichsgrundlage für die neuen Typen so geht hervor:

1. Die Kernspeicherkapazität ist für nunmehr fast alle Typen von 8 K 16 bit-Worten auf mindestens 16 K oder besser noch 24 bis 32 K erweitert worden. So ist statt früher auf 32 K nunmehr beim C-100 bis auf 128 K vergrößerbar.  
Damit sind die Betriebsanforderungen gut, bei Erweiterung sehr gut abgedeckt.

2. Auch die Externspeichermöglichkeiten, welche beim AP/C-3 ohnedies schon ausreichend waren, sind bei den meisten Geräten verbessert.
3. Der Betrieb des Geräts geschieht bei allen Gerätetypen mit Ausnahme des Traster 77 über Handräder. Die zusätzlichen Eingabemöglichkeiten stellen beim klassischen AP/C-3 das operatorfreundliche Schaltpult dar. Es ist bei einigen Gerätetypen, wie beim C-100, beim Anaplot beibehalten. U.S.-1 teilweise, aber AP/C-4, Traster 77 ganz, bevorzugen den Bildschirm. Dadurch wird die Programmauswahl erleichtert.

Einige Geräte benutzen zur zusätzlichen Registriermöglichkeit einen Fernschreiber.

Der Anaplot schlägt sogar die Einbeziehung eines interaktiven Bildschirms vor.

4. Das Digitalisierungselement von 0.5  $\mu\text{m}$ , 0.625  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$  oder 2  $\mu\text{m}$  sagt nicht viel über die Gerätegenauigkeit aus, da wohl keines der Geräte für eine über  $\pm 3 \mu\text{m}$  hinausgehende Genauigkeit konzipiert worden ist. Auch diese Genauigkeit läßt sich ohne Kalibrierung nur von Geräten mit linearen Gebern, wie dem U.S.-1, dem Anaplot, dem Traster 77 und dem AP/C-4 erreichen. Die meisten dieser Geräte zeigten aber Nachführungsschwierigkeiten der Servos bei der Vorführung in Helsinki, weil der Antrieb über Spindeln erfolgen muß aber linear kontrolliert wird.

Demgegenüber ist ein Servosystem mit Drehgebern an der Antriebsspindel, wie beim AP/C-3 und beim Planicomp C-100 besser in den Griff zu bekommen, obwohl die Spindel Temperaturveränderungen während des Betriebs unterworfen ist.

Ein Teil der Veränderungen kann durch Gitter- und Spindelkalibrierungen behoben werden.

Der Stereodicomat scheint mit seinen Schrittschaltmotoren ein offenes Schleifensystem darzustellen. Seine Verlässlichkeit müßte erst nachgewiesen werden.

5. Die wesentlichsten Unterschiede zwischen den verschiedenen Gerätetypen ergeben sich bei der Zusatzhardware ihrer Rechner.
- a) Das Gleitkomma beim C-100, und beim Anaplot sogar mit doppelter Genauigkeit, ermöglicht eine zügigere Programmierung.
  - b) Das Multilevel Interrupt der PDP und HP-Rechner ermöglicht ein zügiges Abarbeiten mehrerer Aufgaben nach Prioritäten.
  - c) Schnelle Fortranprozessoren bei PDP-Rechnern ermöglichen (z.B. selbst bei der PDP 11/03) Fortranprogrammierung ohne Exekutionsverlust gegenüber Assemblerprogrammierung.
6. Die Zykluszeit neuer Rechner ist hoch genug, daß sie im Gegensatz zu 32 msek früher, nun in 20 msek Echtzeitberechnungszyklen ausführen können.

(Anlage 13)

Neben der verglichenen Hardware ist die Software von großer Bedeutung.

Die Software besteht aus dem Betriebssystem und der Anwendersoftware.

Im Betriebssystem sind enthalten:

- 1. Das Monitor- und Plattenbetriebssystem
- 2. Der Assembler
- 3. Der Fortran-Compiler

Die Anwendersoftware umfaßt

- 1. das Echtzeitprogramm im Kernspeicher,
- 2. die Orientierungsprogramme auf der Magnetplatte,
- 3. anwendungsorientierte Hilfsprogramme im Kern oder auf Platte.

#### (Anlage 14)

Der in neuen Gerätetypen vorhandene größere Speicherbereich erlaubt eine komfortablere Programmierung.

Verglichen mit dem AP/C-3 erlaubt z.B. der C-100 ein dreimal größeres Betriebssystem, einen 2.5 mal größeren Commonbereich zum Austausch von Daten in Unterprogrammen.

Dagegen verbleibt der Echtzeitzyklus in gleicher Größe wie früher in seinen Speicherplatzanforderungen.

#### (Anlage 15)

Die Programmstruktur sei hier zunächst am Beispiel des alten AP/C Programms erläutert:

Der Initializer bewirkt beim Einschalten des Rechners das Einlesen des Echtzeitprogramms in den Kernspeicher.

Die betätigten Eingabemedien (Handräder, Veltropolo, Inkrementalschalter) werden zunächst abgefragt. Aus den ermittelten  $x, y, z$ -Werten werden die Bildkoordinaten  $x', y', x'', y''$  und die Zeichentischkoordinaten  $x_T, y_T$  errechnet. Daraufhin erfolgt ein Datenaustausch des Kernspeichers mit dem Pufferspeicher des Interface, welches die Servosysteme per Hardware bedient.

Daraufhin wartet der Rechner in einer Schleife bis ein zeitkonstantes Interrupt (alle 32 msek) eintrifft. Dann erst erfolgt ein abwechselndes Abzweigen in Verbesserungsberechnungen der Bildkoordinaten, der Modellkoordinaten, der Ein- und Ausgabeauswahl und weiterer Statusberechnungen. Jede dieser Routinen wird etwa alle 1/5 sek ausgeführt.

Nur wenn die Statusroutine die Einleitung einer Orientierungsberechnung einleitet, wird das Orientierungsunterprogramm von der Platte in den Kernspeicher geholt und ausgeführt. Daraufhin wird der Kernspeicher wieder mit dem Echtzeitprogramm geladen. Dann oder ansonsten erfolgt eine Rückkehr zum Echtzeitprogrammbeginn.

Die Programmierung des AP/C in dieser sequentiellen schematisch klaren Form war allerdings so verknüpft und verwoben, daß selbst kleine Programmänderungen unmöglich wurden, weil durch sie das ganze System beeinflusst wurde. Deshalb entwarfen Herr Keune und Herr Rüdenauer vom Institut für Photogrammetrie der T.U. Hannover ein neues modulares Programmsystem.

#### (Anlage 16)

Es besteht aus einem Steuerungsprogramm in welchem Unterprogramme der in Modulen zusammengefaßten Operationen für Eingabe, Verarbeitung, Ausgabe und Hilfsberechnungen vereinigt werden.

Die Module betreffen alle möglichen Ein- und Ausgabe, sowie Verarbeitungsformen.

#### (Anlage 17)

Jeder Modul ist, wie in diesem Beispiel, in einem Strukturprogramm dokumentiert.

#### (Anlage 18)

Rechner mit Multilevel-Interrupt ermöglichen eine weitere Flexibilität der Programmierung.

Drei verschiedene Ebenen von Prioritäten können unabhängig voneinander programmiert und nach Prioritäten ausgeführt werden. Der höchsten Priorität kommt z.B. die Echtzeitberechnung zu. Die zweite Priorität erhalten z.B. Ein- und Ausgabe und die dritte die Zeichenprogramme.

## 5. Gegenwärtige Leistung analytischer Auswertegeräte

(Anlage 19)

Die gegenwärtige Leistung analytischer Auswertegeräte geht aus folgender Zusammenstellung hervor:

1. Die Genauigkeit ist mittels Selbstkalibrierung mit Gitter auf bis zu  $\pm 3 \mu\text{m}$  erreichbar.
2. Das Echtzeitprogramm erlaubt die Verbesserung systematischer Fehler in Form des Filmverzuges, der radialsymmetrischen Verzeichnung, der asymmetrischen radialen Verzeichnung der Berücksichtigung der Erdkrümmungs- und Refraktionseffekte auf die Höhe.
3. Bei Gleitkommaprogrammierung ergeben sich gegenüber analogen Auswertegeräten wesentliche Bereichserweiterungen für die Auswertung von Aufnahmen extremer Bildweite, mit extremen Vergrößerungsverhältnissen zwischen Bild-Modell und Zeichentisch. Auch Schrägaufnahmen werden auswertbar.
4. Statt des Echtzeitprogramms für die Auswertung von Luftbildern können vergleichbare Echtzeitprogramme für andere Sensortypen eingefügt werden. Somit sind Aufnahmen mit Schlitzverschlußkammern aus dem Gebiet der Aufklärung, Panoramaaufnahmen und Abtaster- sowie Radarbilder auswertbar.
5. Die Vorgänge der inneren, der gegenseitigen und der absoluten Orientierung sind durch das vorprogrammierte Anfahren von Punkten teilautomatisierbar.
6. Ein besonderer Vorteil des analytischen Plotterbetriebs liegt bei der halbautomatischen Punkteinstellung nach vorher festgelegten Landeskoordinaten, Modellkoordinaten oder Bildkoordinaten des linken oder rechten Bildes.
7. Der vom Rechner betriebene Zeichentisch ist durch Zeichensoftware für die automatische Kartierung von Punkten oder Linien im Gitter, als Punktfolge oder in Kurven benutzbar.
8. Insbesondere aber ist ein analytisches Auswertegerät ein ideales Mittel zur digitalen Datenerfassung von Höhen nach Punkten, in Profilen oder in Schichtlinien, registriert nach Weg, Zeit oder Koordinateninkrement.

Die Leistung eines analytischen Auswertegerätes betrifft also bei weitem das eines Analoggeräts.

(Anlage 20)

Hier seien einige der ausgesprochenen Korrekturen, wie sie im AP/C programmiert sind, erläutert:

- a) radiale Verzeichnung
- b) Filmschrumpf
- c) Translation der inneren Orientierung
- d) Erdkrümmung
- e) Refraktion

(Anlage 21)

Die innere Orientierung ist einfach programmierbar, oder es können kompliziertere Modelle herangezogen werden.

Die gegenseitige Orientierung eröffnet neue numerische Möglichkeiten. Wegen der fortlaufenden Echtzeitberechnung brauchen komplizierte Koeffizientenberechnungen für die Fehlergleichungen nicht ausgeführt zu werden. Die Differentialkoeffizienten ergeben sich aus Differenzenkoeffizienten bei um feste Beträge veränderten Orientierungsgrößen. In den Koeffizienten ist auch



die Lage der Punkte mit erfaßt. Bei der Orientierung kann beim Folgebildanschluß die Höhenübertragung in einem Rechengang mit ausgeführt werden:  
(Anlage 22)

Die absolute Orientierung kann, nach dem Vorbild der räumlichen Helmerttransformation im Schwerpunktssystem sehr rasch errechnet werden.

#### 6. Aufgabenbezogener Einsatz analytischer Auswertegeräte

Der optimale Einsatz analytischer Auswertegeräte wird jedoch nicht dadurch erreicht, daß man sie wie universelle Analogauswertegeräte betrachtet und verwendet.

Zwar sind sie für eine Vielzahl von Aufgaben einsetzbar.

(Anlage 23)

Die vorteilhafte, effiziente Anwendung wird aber in ihrer speziell automationsgerecht und verfahrensgerecht programmierten photogrammetrischen Auswerteaufgabe liegen.

Wie bei der Betrachtung allgemeiner Automationsvorgänge richtet sich das Augenmerk vom Einlegen des Diapositivs zur möglichst raschen, möglichst sicheren oder möglichst genauen Ermittlung von Koordinaten oder der Herstellung von Karten und Orthophotos.

(Anlage 24)

Insbesondere aber erscheint das analytische Auswertegerät auf 3 verschiedenen Gebieten besonders geeignet:

1. beim Einsatz als Aerotriangulator wegen des Aufsuchens bereits vorher registrierter Bildpunkte. Dadurch wird eine Beschleunigung der Messung und eine halbautomatische Punktübertragung erreicht, wobei der Operateur nicht  $x'$   $y'$  sondern nur  $z$  nachstellt.
2. als digitales Registriergerät zur Erfassung kodierter Punkte und zur Erfassung von Höhen, sowie zum Abfahren von Profilen.
3. als terrestrisches Auswertegerät. Bei der Orientierung terrestrischer Aufnahmen kann auch auf sonst unübliche Messungselemente, die Paßpunkte ersetzen oder die Lösung verbessern können, zurückgegriffen werden: Z.B. die Verwendung gerichteter oder beliebiger Strecken, von Raumwinkeln und von parallelen Beziehungen.

Einige der Möglichkeiten seien kurz erläutert:

(Anlage 25)

Die Aerotriangulationszeiten sind pro Modell für Gerätetypen eines Stereokomparators, eines konventionellen Auswertegerätes und eines analytischen Plotters ohne und mit halbautomatischer Punktübertragung aufschlüsselbar.

Sie setzen sich zusammen aus dem Einlegen der Diapositive, der eventuellen Messung der Rahmenmarken, bzw. der gegenseitigen Orientierung, sowie der aus Kodierung, Aufsuchen, Einstellen und Registrieren bestehenden Messung.

Bei der halbautomatischen Punktübertragung fällt insbesondere der Suchvorgang fort. Selbst bei kleinen Punktmengen pro Modell ist der Analytische Plotter gegenüber dem Stereokomparator, der Parallaxenwegstellung an jedem Punkt erfordert, von Vorteil; gegenüber dem konventionellen Auswertegerät ist der Vorteil wegen der einfacheren gegenseitigen Orientierung noch größer.

(Anlage 26)

Die halbautomatische Punktübertragung im Streifen und quer dazu wurde an der T.U. Hannover von Herrn Keune programmiert und mit Erfolg erprobt.

Nachdem die Aerotriangulation gemessen ist, befinden sich die Meßwerte auf der Plattendatei des AP/C. Sie können auf Magnetband gebracht und im Großrechner in einer Aerotriangulationsausgleichung weiterverarbeitet werden.

(Anlage 27)

Wir benutzen in Hannover dazu unser von Müller verfaßtes Bündelausgleichungsprogramm, welches in der Lage ist 1000 Bilder simultan auszugleichen.

Neben den Beobachtungsgleichungen für Bildpunkte und Paßpunkte enthält es nach Duane Brown auch Funktionen der Unbekannten als Beobachtungsgleichungen und insbesondere die durch Bauers Oberschwabenausgleichung bekanntgewordenen zusätzlichen Parameter. (Anlage 28)

(Anlage 29)

Alle Aerotriangulationsausgleichungen lassen sich, wie schon Schmid gezeigt und Ackermann begründet hat auf ein Partitionierungsschema zurückführen.

Bei einem Rechner mit 32 K Worten und mehr läßt sich dieses Partitionierungsschema für die Aerotriangulationsausgleichung anwenden. Das analytische Auswertegerät wird dann nicht nur zum Aerotriangulator, sondern auch zum Ausgleichsinstrument.

Selbst wenn auf Grund der beschränkten Speicherkapazität eine Beschränkung auf 50 bis 100 Modelle für die Ausgleichung in einem Guß nötig wird, so können größere Blöcke vorerst in Teilen im AP ausgeglichen werden, damit beim Simultanausgleich im Großrechner nur ein minimaler Rechenlauf ohne Fehlersuche nötig wird.

(Anlage 30)

In Bezug auf die digitale Datenregistrierung sind folgende Wege möglich:

1. die Registrierung von Koordinaten auf Platte mit und ohne Code
2. das Anfahren eines Punktrasters im Modell bei Einstellung von z
3. die Profilabtastung nach Weg, Zeit oder Koordinateninkrementen
4. das Anfahren von Geländekoordinaten bekannter (Trassen-)Punkte
5. Schichtlinienregistrierung nach Weg, Zeit oder Koordinateninkrementen
6. die Registrierung codierter Linien, einschließlich von Bruchkanten

(Anlage 31)

Die verschiedenen Vorteile und Nachteile bei der Erfassung eines digitalen Höhenmodells sind offenkundig.

Der A.P. erlaubt eine direkte statische Registrierung des D.G.M.-Rasters. Dies kann so mit höchster Genauigkeit und Geschwindigkeit erfolgen, während andere Erfassungsmethoden langsamer sind, oder zu wesentlich ungenaueren Ergebnissen führen, da sie nicht statisch, sondern dynamisch gemessen worden sind und interpoliert werden müssen.

Zur Anwendung des A.P. als terrestrisches Auswertegerät ist kürzlich in Hannover eine Dissertation von Schuhr erschienen, die auf diesem Sektor einen ersten Anfang darstellt.

## 7. Analytische Auswertegeräte in der zukünftigen Entwicklung

(Anlage 32)

Auf die Vorteile analytischer Auswertegeräte bei der Steuerung automatischer Bildkorrelatoren ist bereits eingegangen worden.

Es liegt deshalb nahe analytische Auswertegeräte, welche bereits alle Steuerungsmöglichkeiten besitzen, mit einem Bildkorrelator auszustatten.

Herr Hobrough befaßt sich gegenwärtig mit dem Bau eines Bildkorrelators mit neuen digitalen Komponenten für unseren AP/C-3. Im Prinzip ist der Korrelator aber so als Baustein konzipiert, daß er auch auf andere analytische Auswertegeräte übertragen werden kann.

(Anlage 33)

Die Korrelation wird besonders einfach, wenn die Abtastung nach Kernstrahlen erfolgen kann, wie das erstmals von Helava im Bendix AS-11-BX realisiert worden ist.

Es müßte in Zukunft daher auch bald möglich sein, digitale Korrelatoren von erschwinglicher Art für die Abtastung von Orthophotos oder die Gewinnung eines digitalen Höhenmodells zu erhalten.

(Anlage 34)

Weitere Überlegungen zur einfachen Herstellung digitaler Orthophotos ließen sich anschließen. Die digitale Entzerrung erfolgt ja bereits während der Bildkorrelation. Auch die Schwärzungswerte sind vorhanden. Sie brauchen nur auf Magnetband registriert, interpoliert und auf einem Trommelgerät ausgegeben werden, eventuell unter Einschluß der Bildverarbeitung. So werden sich der analytischen Plotterentwicklung bald noch neue Wege eröffnen, die hier nur angedeutet werden können.

Nach 19 Jahren stetiger Entwicklung ist aus dem analytischen Auswertegerät ein mit der konventionellen Geräteentwicklung konkurrenzfähiges Instrument geworden. Wegen seiner Automationsfreundlichkeit wird man von jetzt ab nicht mehr getrennte automatische Systeme konzipieren, sondern den Analytischen Plotter mit zusätzlichen Möglichkeiten der Automation versehen.

Der photogrammetrischen Praxis ist damit ein Mittel in die Hand gegeben, welches die Aufgabe der Auswertung erleichtert und unser Fachgebiet auf ein neues Niveau bringt.

Prof. Dr.-Ing. G. Konecny  
Technische Universität Hannover  
Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen  
D-3000 Hannover, Nienburger Str. 1

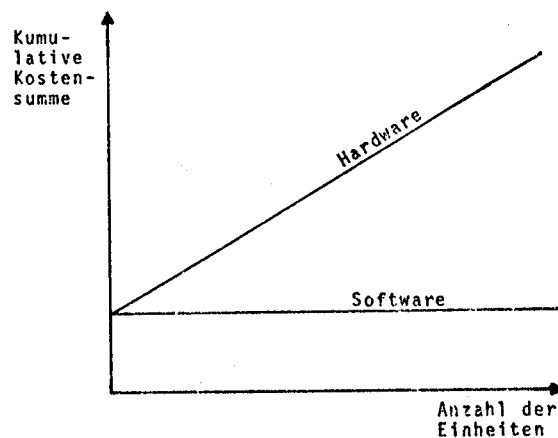
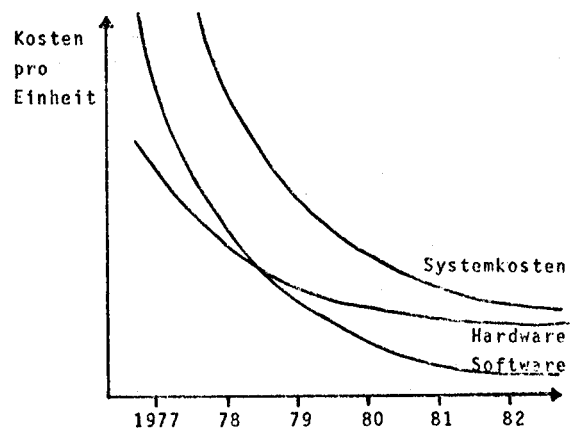
# KOSTEN FÜR BESTANDTEILE VON ANALYTISCHEN AUSWERTEGERÄTEN

| TEILE                                 | 1972 <sup>1)</sup> | 1977         |
|---------------------------------------|--------------------|--------------|
| OPTIK & MECHANIK                      | 30 %               | 30 %         |
| 6 SERVO-SYSTEME & INTERFACE           | 50 %               | 30 %         |
| DIGITAL-RECHNER & EINFACHE PERIPHERIE | 80 %               | 40 %         |
| <u>SUMME</u>                          | <u>160 %</u>       | <u>100 %</u> |

<sup>1)</sup> Bezogen auf % der Summe für 1977

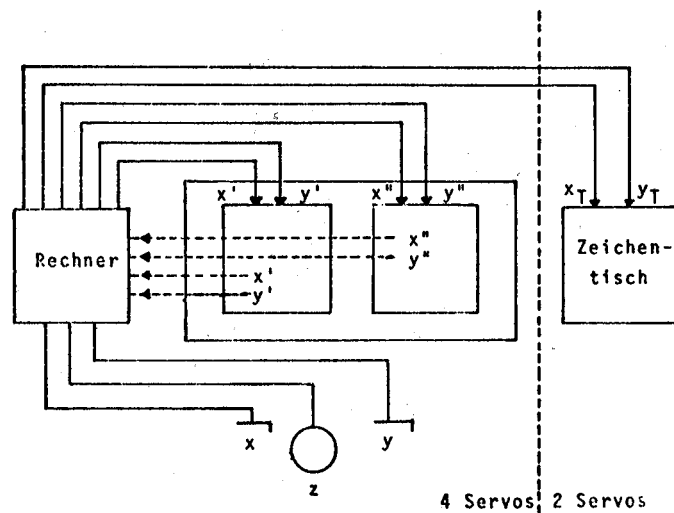
1

## KOSTENTRENDS



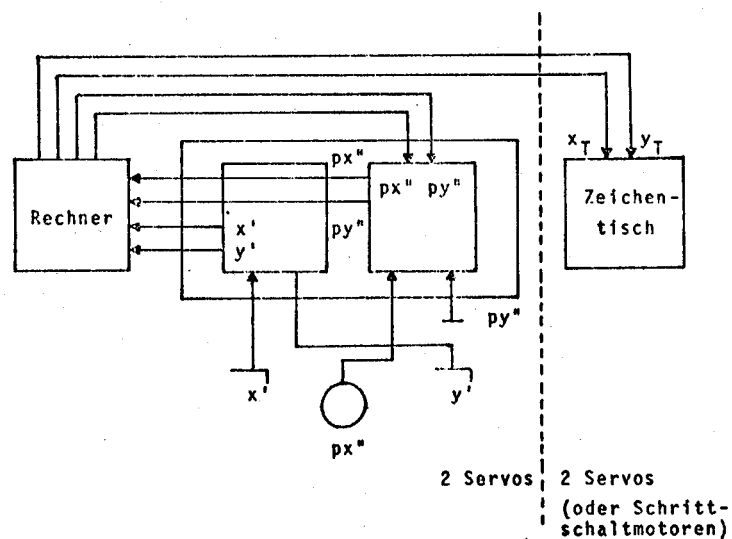
2

"ANALYTISCHE PLOTTER"



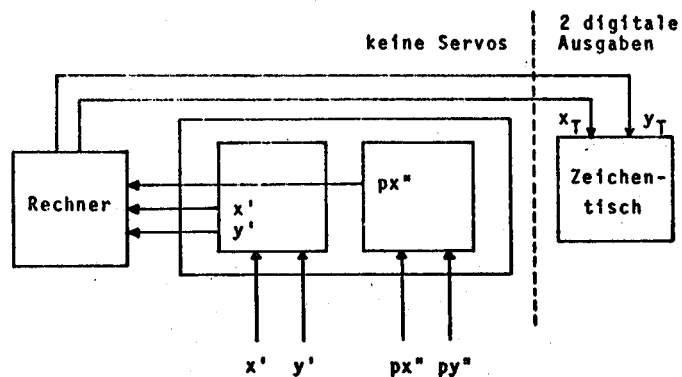
3

GERÄTE VOM TYP DES "DIGITALEN STEREOKARTOGRAPHEN"



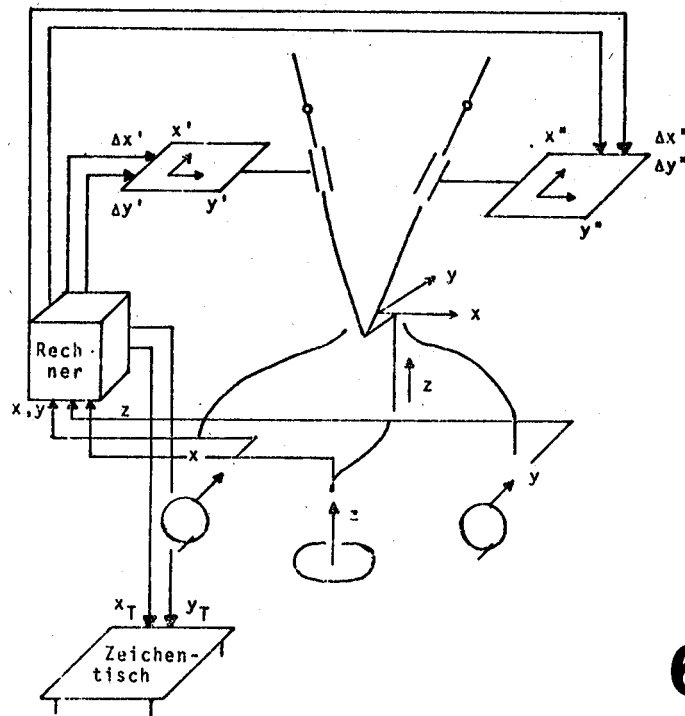
4

GERÄTE VOM TYP DES "STEREOCORDS"



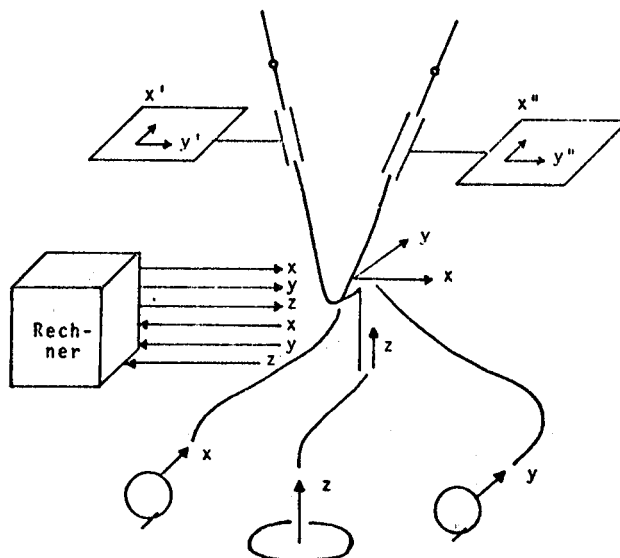
5

# HYBRIDE SYSTEME



6

# SERVOUNTERSTÜTZTE AUSWERTEGERÄTE



7

# HISTORISCHE ENTWICKLUNG ANALYTISCHER AUSWERTEGERÄTE

## ERFINDUNG

1957 U. Helava

## PROTOTYPEN & FROHMODELLE

|      |         |               |                          |
|------|---------|---------------|--------------------------|
| 1963 | AP-1    | NRC Ottawa    | Verzögerungslinie privat |
| 1963 | AS-11-A | O.M.I.-Bendix | D.D.A. militär.          |
| 1964 | AP/C    | O.M.I.-Bendix | Verzögerungslinie zivil  |

## PRODUKTIONSMODELLE

|      |          |               |                        |
|------|----------|---------------|------------------------|
| 1963 | AS-11-A1 | O.M.I.-Bendix | BX 272 (Kern) militär. |
| 1972 | AP/C-3   | O.M.I.-I.B.M. | IBM 1130 (Kern) zivil  |

## SPEZIALMODELLE

|      |          |               |        |                                                                               |
|------|----------|---------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1968 | Unamace  | Bunker-Ramo   | TRW    | } auto- militär.<br>mat. militär.<br>Bild- militär.<br>korre- zivil<br>lation |
| 1968 | AS-11-B1 | Bendix-O.M.I. | BX 272 |                                                                               |
| 1974 | TA 3/P1  | O.M.I.-Bendix | PDP 15 |                                                                               |
| 1972 | Gestalt  | Hobrough Ltd. | Nova   |                                                                               |

## NEUE MODELLE

|        |               |                    |                 |       |
|--------|---------------|--------------------|-----------------|-------|
| 1976   | U.S.1         | Bendix             | PDP 11/35       | zivil |
| * 1976 | Anaplot       | Instronics-Gestalt | PDP 11/45       |       |
| * 1976 | Stereodicomat | Jena, V.E.B.       | Kongsberg S14   |       |
| * 1976 | Traster 77    | Matra              | Telemech. Solar | 16-40 |
| 1975   | AP/C-3T       | O.M.I.             | PDP 11/35, Nova |       |
| * 1976 | AP/C-4        | O.M.I.             | PDP 11/03, Nova |       |
| * 1976 | Planicom      | Zeiss, Oberkochen  | HP 21 MX        | zivil |
|        | C-100         |                    |                 |       |

\* ISP-Ausstellung Helsinki 1976

ausgeliefert an zivile Besteller oder bis 1977 lieferbar

8

## GERÄTE VOM TYP DES

### "DIGITALEN STEREOKARTOGRAPHEN"

|        |                            |              |
|--------|----------------------------|--------------|
| 1972   | Digitaler Stereokartograph | Laber        |
|        | D.S. Galileo               | Minicomputer |
| * 1976 | Digitaler Stereokartograph | PDP 11/05    |
|        | D.S. Galileo               |              |

## GERÄTE VOM TYP DES

### "STEREOCORD"

|        |            |                     |                  |
|--------|------------|---------------------|------------------|
| 1974   | A.P.P.S.   | E.T.L. Fort Belvoir | HP 8910 militär. |
| * 1975 | Stereocord | Zeiss, Oberkochen   | HP 9810 zivil    |

## HYBRIDE SYSTEME

|      |                         |            |          |
|------|-------------------------|------------|----------|
| 1966 | Hybrid Plotter R.A.D.C. |            |          |
|      | von Lanckton            | Rome, N.Y. | militär. |

## SERVOUNTERSTÜTZTE GERÄTE

|        |        |      |      |       |
|--------|--------|------|------|-------|
| * 1976 | A.M.U. | Wild | Nova | zivil |
|--------|--------|------|------|-------|

\* ISP-Ausstellung Helsinki 1976

ausgeliefert an zivile Besteller oder bis 1977 lieferbar

9

# ECHTZEITBERECHNUNG IM GERÄT VOM TYP "ANALYT. PLOTTER"

$$\left. \begin{aligned} \underline{x}' &= -c \frac{a_{11}(x-x_0) + a_{12}(y-y_0) + a_{13}(z-z_0)}{a_{31}(x-x_0) + a_{32}(y-y_0) + a_{33}(z-z_0)} \\ \underline{y}' &= -c \frac{a_{21}(x-x_0) + a_{22}(y-y_0) + a_{23}(z-z_0)}{a_{31}(x-x_0) + a_{32}(y-y_0) + a_{33}(z-z_0)} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{links} \\ \& \\ \text{rechts} \end{array}$$

Echtzeiteingabe für Handräder und Inkremente in x, y, z

$$\left. \begin{aligned} x &= x_{\text{vorh.}} + v \cdot \sin \alpha \\ y &= y_{\text{vorh.}} + v \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{zusätzl. Echtzeiteingabe} \\ \text{für Veltropolo} \end{array}$$

# ECHTZEITBERECHNUNG FÜR GERÄTE VOM TYP "DIGIT. STEREOKARTOGRAPH"

$$\begin{aligned} x_1 &= \cos(y', x) p y'' + k_1 x' \\ y_1 &= \cos(y', y) p y'' + k_1 y' \\ z_1 &= \cos(y', z) p y'' + k_2 p x'' \\ x_2 &= \cos(x'', x) p x'' + k_2 x' \\ y_2 &= \cos(x'', y) p x'' + k_3 y' \\ z_2 &= \cos(x'', z) p x'' + k_4 p x'' \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{Echtzeiteingabe} \\ x' \ y' \ p x'' \ p y'' \end{array}$$

für  
Punkte

$$\begin{aligned} \underline{x} &= z \frac{x_1}{z_1} ; \quad \underline{z} = \frac{c/2}{\frac{x_1}{z_1} - \frac{x_2 - c/2}{z_2}} ; \quad \underline{y} = z \frac{y_1}{z_1} \longrightarrow \text{Anzeige} \\ \underline{y}'' &= \frac{x''(\cos(x'', y) - \frac{y_1}{z_1} \cos(x'', z) - c(\cos(c'', y) - \frac{y_1}{z_1} \cos(c'', z)))}{\frac{y_1}{z_1} \cos(y'', z) - \cos(y'', y)} \end{aligned}$$

für  
Schicht-  
linien

$$z = \text{const.} : \frac{x_2 - c/2}{z_2} = \frac{x_1}{z_1} - \frac{c/2}{k} \left( a \frac{x_1}{z_1} + b \frac{y_1}{z_1} + c \right) = \underline{f(x'')}$$

zusätzlich  $\longrightarrow$  iterative Auflösung

10



# HARDWARE-VERGLEICH NEUER ZIVILER ANALYTISCHER AUSWERTEGERÄTE

12

| Hersteller | Jahr | Modell             | Rechner                  | Kern-<br>speicher     | Magnet-<br>platte        | Betrieb                                                                | 1 Bit                           | Zusatz-<br>Hardware                                                  | Zyklus-<br>zeit |
|------------|------|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| O.M.I.     | 1972 | AP/C-3             | I.B.M. 1130              | 8K @ 16bit<br>→ 32K   | 512K @ 16bit             | Schaltpult<br>→ Bildschirm                                             | 2 µm                            | zeitkonst.<br>Interrupt                                              | 3.6 µsek        |
| Bendix     | 1976 | U.S.-1             | PDP 11/35                | 24K @ 16bit           | 1.2M @ 16bit             | Bildschirm                                                             | 1 µm                            | Multilevel<br>Interrupt<br>Lineargeber                               | 900 nsek        |
| Instronics | 1976 | Anaplot            | PDP 11/45                | 32K @ 32bit           | 2x1.2M Worte<br>geplant: | Bildschirm,<br>Fernschreiber,<br>Schaltpult<br>interakt.<br>Bildschirm | 1 µm                            | Doppelwort-<br>Gleitkomma,<br>Multilevel<br>Interrupt<br>Lineargeber | .               |
| Jena VEB   | 1976 | Stereo-<br>dicomat | Kongsberg<br>SM 4        | 16K @ 16bit           | .                        | Fernschreiber                                                          | 0.625µm<br>Schritt-<br>schaltm. | .                                                                    | .               |
| Matra      | 1976 | Traster 77         | Telemech.<br>Solar 16-40 | 32K @ 16bit           | 2x2.5M byte              | Bildschirm                                                             | 0.5 µm                          | Lineargeber                                                          | 750 nsek        |
| O.M.I.     | 1975 | AP/C-3T            | PDP 11/35                | 24K @ 16bit           | 1.2M @ 16bit             | Schaltpult<br>Fernschreiber                                            | 2 µm                            | Multilevel<br>Interrupt<br>Drehgeber                                 | 900 nsek        |
| O.M.I.     | 1976 | AP/C-4             | PDP 11/03                | 24K @ 16bit<br>→ 32K  | Kassette                 | Bildschirm                                                             | 2 µm                            | Linear-<br>geber                                                     | 1.2 µsek        |
| Zeiss      | 1976 | Planicom<br>C-100  | HP 21 MX                 | 24K @ 16bit<br>→ 128K | 4.9M byte                | Schaltpult<br>Bildschirm<br>Fernschreiber                              | 1 µm                            | Gleitkomma,<br>Multilevel<br>Interrupt<br>Drehgeber                  | 650 nsek        |

SOFTWARE

A. BETRIEBSSYSTEM

- |                                         |              |
|-----------------------------------------|--------------|
| 1. MONITOR & PLATTEN-<br>BETRIEBSSYSTEM | Kernspeicher |
| 2. ASSEMBLER                            |              |
| 3. COMPILER (FORTRAN)                   |              |

B. ANWENDERSOFTWARE

- |                                          |                            |
|------------------------------------------|----------------------------|
| 1. ECHTZEITPROGRAMM                      | Kernspeicher               |
| 2. ORIENTIERUNGS-<br>PROGRAMME           | Plattenspeicher            |
| 3. ANWENDERORIENTIERTE<br>HILFSPROGRAMME | Kern- &<br>Plattenspeicher |

13

SOFTWAREVERGLEICH VERSCHIEDENER ANALYTISCHER AUSWERTEGERÄTE

| Modell                             | Betriebs-<br>system | Common-<br>bereich | Echtzeit-<br>zyklus | Orientierungs-<br>programme | Echtzeit-<br>zyklusperiode                |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|
| AP/C 3                             | 1.6K<br>@ 16bit     | 0.6K<br>@ 16bit    | 6K<br>@ 16bit       | Platte                      | 32 msek                                   |
| Planicomp<br>C-100                 | 4.5K<br>16bit       | 1.5K<br>@ 16bit    | 6K<br>@ 16bit       | Platte                      | 20 msek                                   |
| DIGITALER<br>STEREOKARTO-<br>GRAPH | .                   | .                  | .                   | .                           | 20 msek                                   |
| STEREOCORD                         | .                   | .                  | .                   | .                           | 1 sek Anzeige<br>0.15 sek Be-<br>rechnung |

14

BERECHNUNG FÜR GERÄTE VOM TYP "STEREOCORD"

$$\underline{x} = x_o + x^* \cdot \frac{h_o - \Delta h}{c}$$

$$\underline{y} = y_o + y^* \cdot \frac{h_o - \Delta h}{c}$$

$$\underline{H} = h_o + \Delta h$$

$$\Delta h = h_o \frac{px^*}{b' + px^*}$$

$$x^* = x' - \left( \frac{\phi_1 c + x'^2 \frac{\phi_1}{c} x' y' \frac{\omega_1}{c}}{1 + \frac{\phi_1}{c} x' - \frac{\omega_1}{c} y'} \right)$$

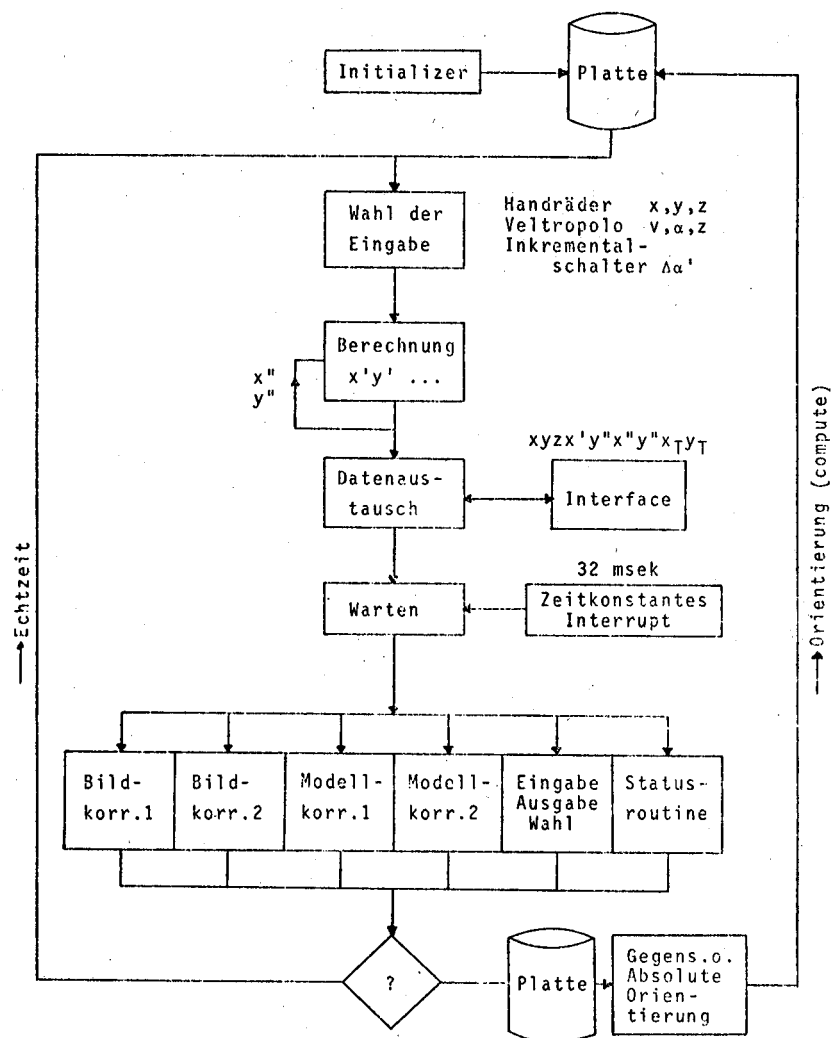
$$y^* = y' - \left( \frac{\omega_1 c + x' y' \frac{\phi_1}{c} - y'^2 \frac{\omega_1}{c}}{1 + \frac{\phi_1}{c} x' - \frac{\omega_1}{c} y'} \right)$$

$$px^* = px + \left( \frac{b'}{\omega_1 c} y' + \frac{\omega_1}{c} x' y' - \frac{\phi_1 - \phi_2 x'^2}{c} \right)$$

$$- 2 \left( \frac{b'}{c} \phi_2 + \frac{b'^2}{c} \right) x'$$

11

# AP/C PROGRAMMSTRUKTUR

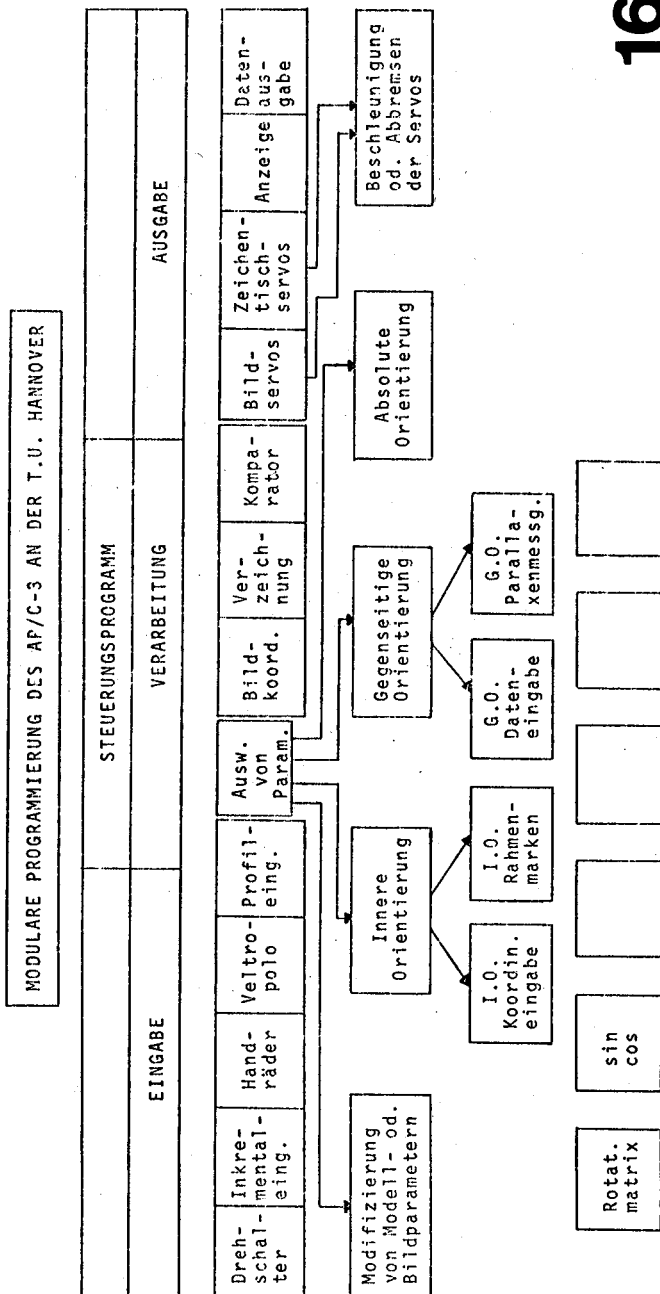


15

## DOKUMENTATION MODULARER PROGRAMME IN STRUKTOGRAMMEN

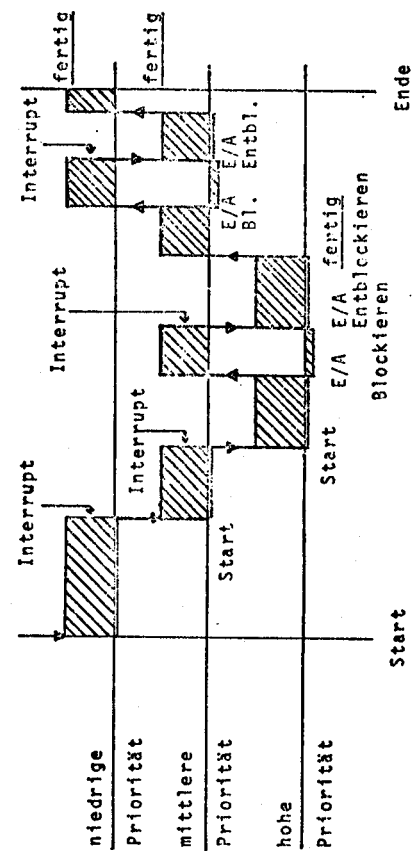
| EINLESEN DES SCHALTPULTKNOPFES                                                                 |                                                                                                |                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14 AN<br>15 AUS                                                                                | TEST DES SCHALTPULTKNOPFES                                                                     |                                                                                                |
|                                                                                                | 14 AUS<br>15 AUS                                                                               | 14 AUS<br>15 AN                                                                                |
| Z X Y<br>Handräder<br>in<br>z-x Ebene<br>$XM = XM + DYM$<br>$YM = YM + DZM$<br>$ZM = ZM + DXM$ | X Y Z<br>Handräder<br>in<br>x-y Ebene<br>$XM = XM + DXM$<br>$YM = YM + DYM$<br>$ZM = ZM + DZM$ | Y Z X<br>Handräder<br>in<br>y-z Ebene<br>$XM = XM + DZM$<br>$YM = YM + DXM$<br>$ZM = ZM + DYM$ |
| RÖCKKEHR ZUM HAUPTPROGRAMM                                                                     |                                                                                                |                                                                                                |

17



19

# VERWENDUNG DES MULTILEVEL-INTERRUPT



## GEGENWÄRTIGE LEISTUNG ANALYTISCHER AUSWERTEGERÄTE

1. GENAUIGKEIT  $\pm 3 \mu\text{m}$  mit "Selbstkalibrierung" auf Gitter
2. VERBESSERUNG SYSTEMATISCHER FEHLER

|                                 |   |                  |
|---------------------------------|---|------------------|
| a) Filmverzug                   | } | Filmkorrektur    |
| b) Radialverzeichnung           |   | Echtzeitprogramm |
| c) Asymmetr. Radialverzeichnung |   |                  |
| d) Erdkrümmungseffekt auf z     |   |                  |
| e) Refraktionseffekt auf z      |   | Modellkorrektur  |
3. BEREICHSERWEITERUNG FÜR DIE AUSWERTUNG

|                                       |                                             |
|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| a) Bildweite                          | Echtzeitprogramm                            |
| b) Vergrößerung Modell : Zeichentisch |                                             |
| c) Schrägaufnahmen                    | trig. Funktionen, Dove-Prisma<br>Zoom Optik |
4. SONDERAUSWERTUNGEN

|                              |   |                                    |
|------------------------------|---|------------------------------------|
| a) Aufklärungsaufnahmen      | } | mit besonderem<br>Echtzeitprogramm |
| b) Panoramaaufnahmen         |   |                                    |
| c) Abtaster- und Radarbilder |   |                                    |
5. HALBAUTOMATISCHE ORIENTIERUNG

|                                               |   |                        |
|-----------------------------------------------|---|------------------------|
| a) Innere Orientierung (Rahmenmarken, Réseau) | } | Orientierungsprogramme |
| b) Gegenseitige Orientierung                  |   |                        |
| c) Absolute Orientierung                      |   |                        |
6. HALBAUTOMATISCHE PUNKTEINSTELLUNG

|                                      |   |               |
|--------------------------------------|---|---------------|
| a) Landeskoordinaten                 | } | Hilfsprogramm |
| b) Modellkoordinaten                 |   |               |
| c) Bildkoordinaten (links o. rechts) |   |               |
7. AUTOMATISCHE ZEICHNUNG

|                                    |   |                 |
|------------------------------------|---|-----------------|
| a) Punkte                          | } | Zeichensoftware |
| b) Linien (Gitter, Gerade, Kurven) |   |                 |
8. DIGITALE DATENERFASSUNG

|                                                                                                                        |   |               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---------------|
| a) Digit. Höhenmodell in Punkt o. Profilmodus<br>od. in Schichtlinien (nach $\Delta s, \Delta t, \Delta x, \Delta y$ ) | } | Hilfsprogramm |
| b) Kodierte Punkte                                                                                                     |   |               |
| c) Kodierte Linien                                                                                                     |   |               |

## GEGENWÄRTIGE LEISTUNG DES ANALYTISCHEN PLOTTERS

- a) GENAUIGKEIT:  $\Delta x' \Delta y' \approx 2 \mu\text{m}$   
 $\sigma_{x',y'} \pm 3 \mu\text{m}$  (Gitter)

- b) KORREKTUR SYSTEMATISCHER BILDFEHLER:

### 1. RADIALE VERZEICHNUNG

$$dc = a_1 r' + a_2 r'^2 + a_3 r'^3 + a_4 r'^4$$

$$r' = \sqrt{x'^2 + y'^2}$$

### 2. FILMSCHRUMPF

$$dx' = \frac{x'}{r'} \cdot dc ; \quad dy' = \frac{y'}{r'} \cdot dc + y' \cdot c_F$$

### 3. VERSCHIEBUNG DES RAHMENMARKENSCHNITTPUNKTES

$$\Delta x', \Delta y'$$

### 4. ERDKRÜMMUNG

$$dz_1 = \frac{x^2 + y^2}{2R}$$

### 5. ATM. REFRAKTION (f. beide Bilder)

$$dz_2 = (A + B \cdot z + C \cdot z^2)(1 + \tan^2 \theta)$$

A, B, C Konstante als f(z<sub>0</sub>)

θ = Blickwinkel

- c) AUSWERTEBEREICHE

- d) SONDERAUSWERTUNGEN

$$x' = f(x, y, (z))$$

$$y' = f(x, y, (z))$$

**20**

## GEGENWÄRTIGE LEISTUNG DES ANALYTISCHEN PLOTTERS

### e1. HALBAUTOMATISCHE INNERE ORIENTIERUNG

$$x_{H'} = \frac{x_1 + x_3}{2} + x_5 ; \quad y_{H'} = \frac{y_2 + y_4}{2} + y_5$$

### e2. HALBAUTOMATISCHE GEGENSEITIGE ORIENTIERUNG

$$x' = -c \frac{a_{11}(x-x_0) + a_{12}(y-y_0) + a_{13}(z-z_0)}{a_{31}(x-x_0) + a_{32}(y-y_0) + a_{33}(z-z_0)}$$

$$y' = -c \frac{a_{21}(x-x_0) + a_{22}(y-y_0) + a_{23}(z-z_0)}{a_{31}(x-x_0) + a_{32}(y-y_0) + a_{33}(z-z_0)}$$

$$a_{11} \dots a_{33} = f(\phi, \omega, \kappa)$$

$$py = \frac{\partial y'}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial y'}{\partial \phi} d\phi + \frac{\partial y'}{\partial \kappa} d\kappa + \frac{\partial y'}{\partial y_0} dy_0 + \frac{\partial y'}{\partial z_0} dz_0$$

$$\left( \boxed{px} = \frac{\partial x'}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial x'}{\partial \phi} d\phi + \frac{\partial x'}{\partial \kappa} d\kappa + \boxed{\frac{\partial x'}{\partial x_0} dx_0} + \frac{\partial x'}{\partial z_0} dz_0 \right)$$

$$y' - y'd\omega = \partial y' \text{ für } d\omega$$

$$\partial \omega = 0.1^\circ$$

$$x' - x'dx_0$$

$$\partial x_0 = 1 \text{ mm}$$

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L$$

### e3. HALBAUTOMATISCHE ABSOLUTE ORIENTIERUNG

#### f. AUTOMAT. ANFAHREN VON PUNKTEN NACH KOORDINATEN

$$x \ y \ z \quad (x' \ y' \ x'' \ y'' \ x_z \ y_z \ X \ Y \ Z)$$

#### g. AUTOMATISCHER ZEICHENTISCH

#### h. SPEICHER- UND REGISTRIERMEDIEN

21

# ABSOLUTE ORIENTIERUNG

$$(1) \begin{pmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ \sin \phi \sin \Omega & \cos \Omega & -\cos \phi \sin \Omega \\ -\sin \phi \cos \Omega & \sin \Omega & \cos \phi \cos \Omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C/D & 0 & -A/D \\ -AB/D & D & -BC/D \\ A & B & C \end{pmatrix} = R$$

$$D = \sqrt{1 - B^2}$$

mit  $\phi, \Omega$ , und  $X_G, Y_G, Z_G$

$$(2) \begin{pmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{pmatrix} = R \begin{pmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{pmatrix}$$

$$(3) \lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=2}^n \sqrt{\frac{(X_{Gi} - X_{G1})^2 + (Y_{Gi} - Y_{G1})^2}{(x_{Ti} - y_{T1})^2 + (y_{Ti} - y_{T1})^2}}$$

Heration: mit Punkten mit bekanntem Z

$$(4) A \sum_{i=1}^n (x_i - y_1)^2 + B \sum_{i=1}^n (x_i - x_1)(y_i - y_1) - C \sum_{i=1}^n (x_i - y_1)(z_i - z_1)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - x_1)(Z_{Gi} - Z_{G1})}{\lambda}$$

$$(5) A \sum_{i=1}^n (x_i - x_1)(y_i - y_1) + B \sum_{i=1}^n (y_i - y_1)^2 - C \sum_{i=1}^n (y_i - y_1)(z_i - z_1)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - y_1)(Z_{Gi} - Z_{G1})}{\lambda}$$

$$(6) A^2 + B^2 + C^2 = 1$$

Heration bis (3) stimmt; dann:

$$(7) X_G = x_T A + y_T B + X_T$$

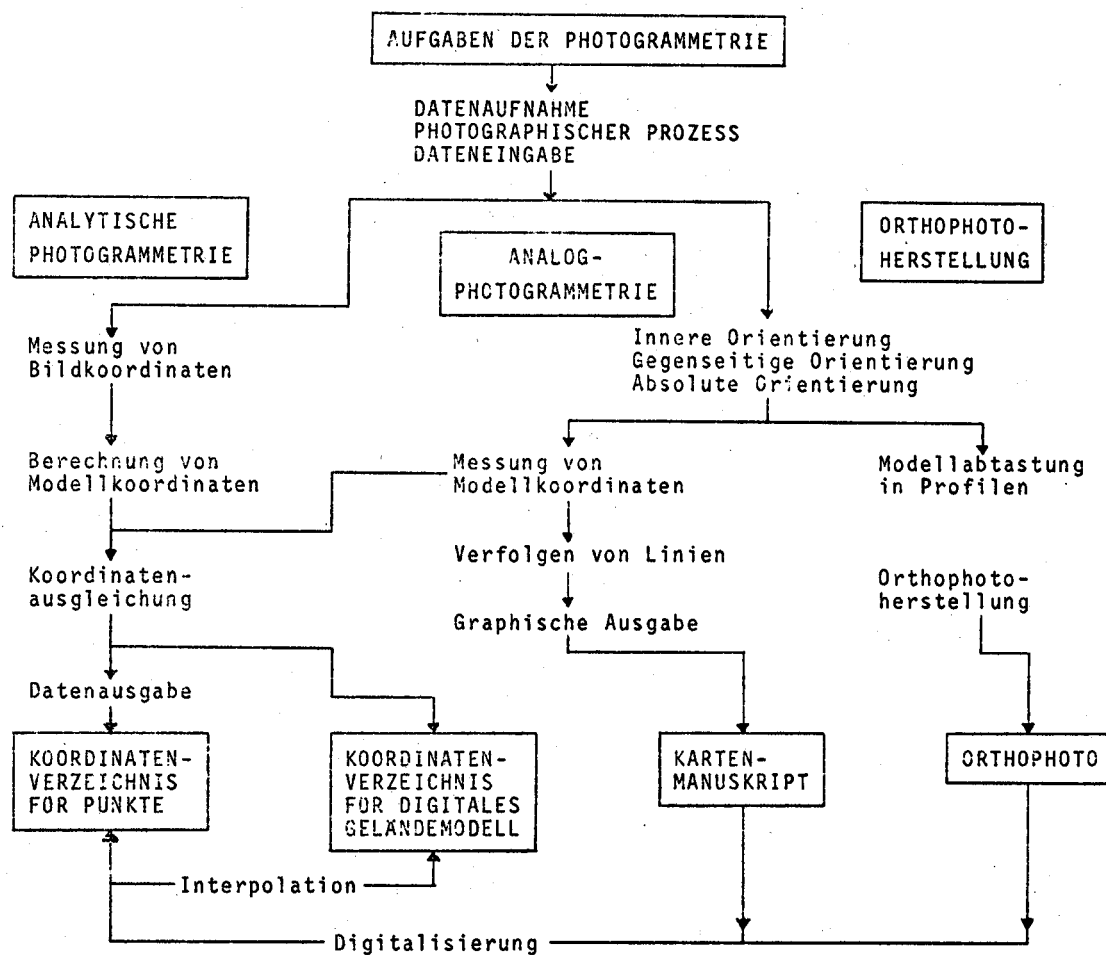
$$Y_G = -x_T B + y_T A + Y_T$$

$$Z_G = z_T \lambda + Z_T$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{Ti} - y_{T1})(X_{Gi} - X_{G1}) - \sum_{i=1}^n (y_{Ti} - y_{T1})(Y_{Gi} - Y_{G1})}{\sum_{i=1}^n (x_{Ti} - y_{T1})^2 + \sum_{i=1}^n (y_{Ti} - y_{T1})^2}$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{Ti} - y_{T1})(X_{Gi} - X_{G1}) - \sum_{i=1}^n (x_{Ti} - x_{T1})(Y_{Gi} - Y_{G1})}{\sum_{i=1}^n (x_{Ti} - y_{T1})^2 + \sum_{i=1}^n (y_{Ti} - y_{T1})^2}$$





23

### BENUTZUNG DES ANALYTISCHEN AUSWERTEGERÄTES FÜR PHOTOGRAMMETRISCHE AUFGABEN

#### 1. ALS AEROTRIANGULATOR

- AUFSUCHEN VON BEREITS REGISTRIERTEN PUNKTEN
- HALBAUTOMATISCHE PUNKTOBERTRAGUNG
- BESCHLEUNIGUNG DER MESSUNG

#### 2. ALS DIGITALES REGISTRIERGERÄT

- PUNKTE (KODIERT)
- GITTER
- PROFILE

#### 3. ALS TERRESTRISCHES AUSWERTEGERÄT

- UNTER EINSCHLUSS VON:
- GERICHTETEN STRECKEN
- RAUMWINKELN
- FESTEN STRECKEN
- PARALLELEN STRECKEN

24

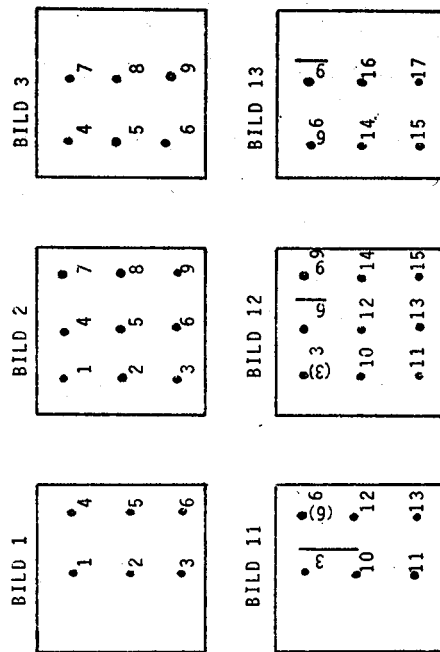
# HALBAUTOMATISCHE PUNKTÜBERTRAGUNG IN DER AEROTRIANGULATION MIT DEM AP/C

## EINSATZ DES ANALYTISCHEN PLOTTERS INNERHALB DER AUFGABEN DER PHOTOGRAMMETRIE

### 1. A.P. ALS AEROTRIANGULATOR

#### AEROTRIANGULATIONSAUFWAND PRO MODELL

| GERÄT                                          | STEREO-KOMPARATOR                      | KONVENTIONELLES AUSWERTGERÄT           | ANALYTISCHER PLOTTER OHNE HALBAUTOMATISCHE PUNKTÜBERTRAGUNG | ANALYTISCHER PLOTTER MIT HALBAUTOMATISCHE PUNKTÜBERTRAGUNG |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| BEOBACHTUNG                                    | $x'y'x''y''$                           | $x y z$                                | $x'y'x''y''$ oder $x y z$                                   | $x'y'x''y''$ oder $x y z$                                  |
| EINLEGEN DER DIAPOSITIV                        | 2 min                                  | 4 min                                  | 2 min                                                       | 2 min                                                      |
| MESSUNG DER RAHMENMARKEN                       | 8 min                                  | -                                      | 4 min                                                       | 4 min                                                      |
| GEGENSEITIGE ORIENTIERUNG                      | -                                      | 25 min                                 | 10 min                                                      | 10 min                                                     |
| KODIERUNG, AUFSUCHEN, EINSTELLEN, REGISTRIEREN | 5 min/pkt                              | 4 min/pkt                              | 3 min/pkt                                                   | 1 min/pkt                                                  |
| ZEIT FÜR 6 PKTE. 12 PKTE. 20 PKTE. 40 PKTE.    | 40 min<br>70 min<br>110 min<br>210 min | 53 min<br>77 min<br>109 min<br>189 min | 34 min<br>52 min<br>76 min<br>136 min                       | 22 min<br>28 min<br>36 min<br>56 min                       |
|                                                | Parallaxenwegstellung an jedem Punkt   |                                        |                                                             | autom. Suche und Übertragung nach erster Auswahl           |



### 1. PUNKTAUSWAHL VON PUNKTEN 1 - 6 IN MODELL 1/2

#### REGISTRIERUNG VON

$x_1'y_1'x_1''y_1''$  Pkt.Nr. 1  
:  
 $x_6'y_6'x_6''y_6''$  Pkt.Nr. 6

### 2. GGS. ORIENTIERUNG VON MODELL 2/3, EINSTELLEN ALLER PUNKTE AUS BILD 2, BISHER REGISTRIERT;

#### PARALLAXENBESEITIGUNG MIT $Bx''$ UND $By''$

REGISTRIERUNG VON  $x_4''y_4''$  mit Pkt.Nr.  
:  
 $x_6''y_6''$  mit Pkt.Nr.

#### AUSWAHL NEUER PUNKTE

$x_7''y_7''$   $x_7''y_7''$  Pkt.Nr. 7  
:  
 $x_9''y_9''$   $x_9''y_9''$  Pkt.Nr. 9 etc.

### 3. MODELLORIENTIERUNG 1/11 etc.

DUANE BROWN

Bildkoordinaten

$$V_1 = A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 - L_1$$

Orientierungsparameter      Punktkoordinaten      Innere Orientierungsparameter      Beobachtung

$$\phi, \omega, \kappa, x_0, y_0, z_0 \quad x, y, z \quad x'_H, y'_H, c \quad x', y'$$

Paßpunkte oder Strecken

$$V_2 = A_2 X_2 - W_2$$

$$\text{gen. Koord. } x, y, z \text{ od. Strecke } s \quad x, y, z, s$$

Fingierte Beobachtungen

$$V_3 = A_3 X_3 - W_3$$

gen. bekannte Werte von  $x'_H, y'_H, c$        $x'_H, y'_H, c$

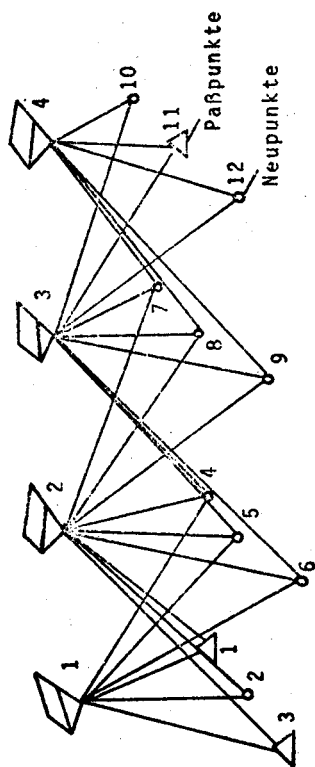
Bekannte Orientierungsparameter oder deren Differenzen

$$V_4 = A_4 X_1 - W_4$$

$\phi, \Delta\phi, \Delta z_0, \dots$        $\phi, \Delta\phi, \Delta z_0, \dots$

28

BONDEBLOCKAUSGLEICHUNG NACH SCHMID



$$\begin{aligned} i &= 3j - (s - 1) \\ k &= j \times \frac{3}{2} n - 6s \\ \text{für } n &= 6 \\ k &= j \times 9 - 6s \end{aligned}$$

= alle Punkte

$$V_1 = A_1 X_1 + A_2 X_2 - L_1$$

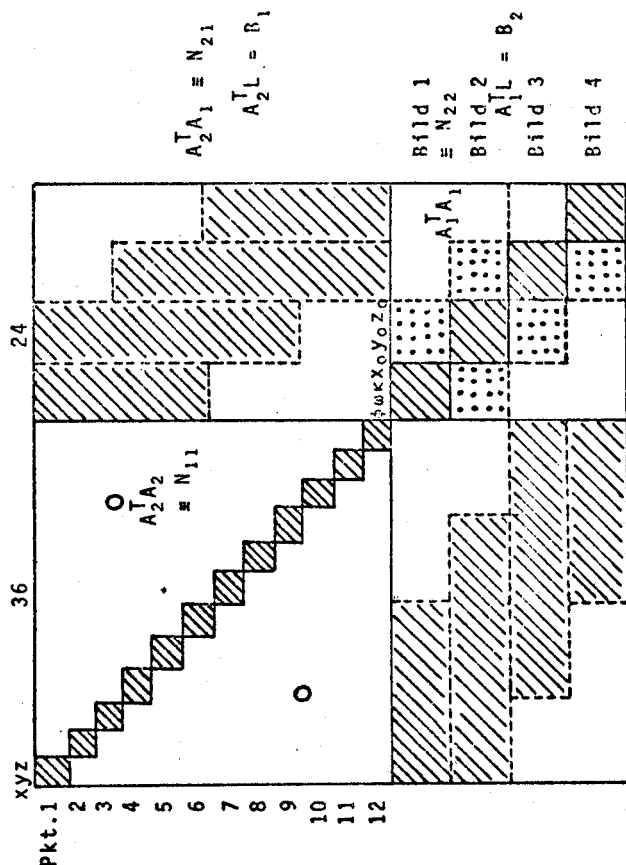
2k (2k, 6j) 6j (2k, 3i) 3i 2k  
60 (60, 24) 24 (60, 36) 36 60

= Paßpunkte  
 $P_2$  z.B.  $\rightarrow \infty$

$$V_2 = A_2 X_2 - W_2$$

27

# BUNDLEBLOCKAUSGLEICHUNG NORMALGLEICHUNGEN



$$A_1^T A_2 = N_{12}$$

$$X_2 = N_{11}^{-1} (B_1 - N_{12} X_1) \quad 12 \text{ mal } 3 \times 3$$

$$X_1 = (N_{22} - N_{21} N_{11}^{-1} N_{12})^{-1} (B_2 - N_{21} N_{11}^{-1} B_1)$$

1 mal 24 x 24  
oder rekursiv in 12 x 12

29

# EINSATZ DES ANALYTISCHEN PLOTTERS INNERHALB DER AUFGABEN DER PHOTOGRAMMETRIE

## 2. A.P. ALS DIGITALES DATENERFASSUNGSGERÄT

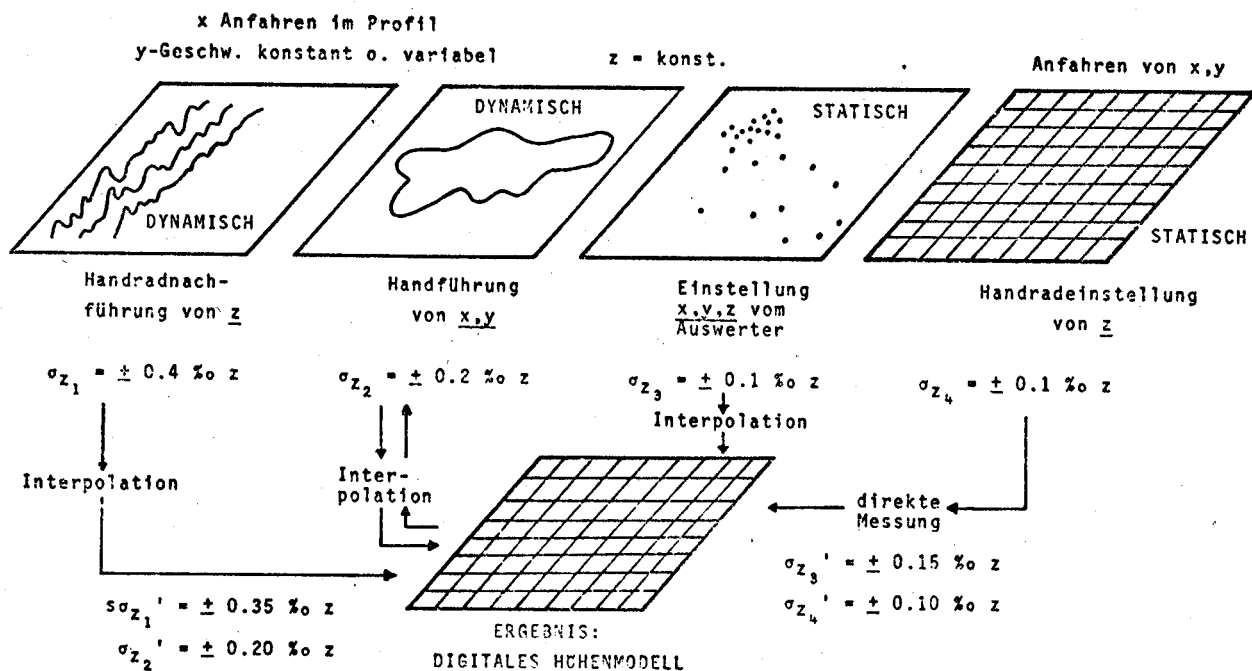
1. REGISTRIERUNG VON  $x, y, z$  auf MAGNETPLATTE ( $x', y', z'$  auf  $X, Y, Z$ ) (Code)
2. ANFAHREN EINES REGELMÄSSIGEN PUNKTRASTERS IM MODELL (nur  $z$ -Einstellung)
3. PROFILABTASTUNG nach Weg und Zeit bzw. Koordinateninkrementen
4. REGISTRIERUNG VON BRUCHKANTEN
5. ANFAHREN VON GELÄNDEKOORDINATEN
6. SCHICHTLINIENREGISTRIERUNG in Weg, Zeit oder Koordinatenschritten
7. REGISTRIERUNG CODierter LINIEN

## 3. A.P. ALS TERRESTRISCHES AUSWERTEGERÄT

- BILDKOORD.  
BEOBACHTUNG  $p = 1 \quad V_B = A_1 X_1 + A_2 X_2 - L_B$   
orientierungsunb. Pktkoord.
- PASSPUNKT  $p \rightarrow \infty \quad V_p = X_2 - L_p$
- FESTER WINKEL  $p \rightarrow \infty \quad V_\alpha = A_3 X_2 - L_\alpha$
- RAUMRICHTUNG  $p \rightarrow \infty \quad V_\phi = A_4 X_1 + A_5 X_2 - L_\phi$
- FORM  $p \rightarrow \infty \quad V_F = A_6 X_2 - A_7 X_3 - L_F$   
Formparameter

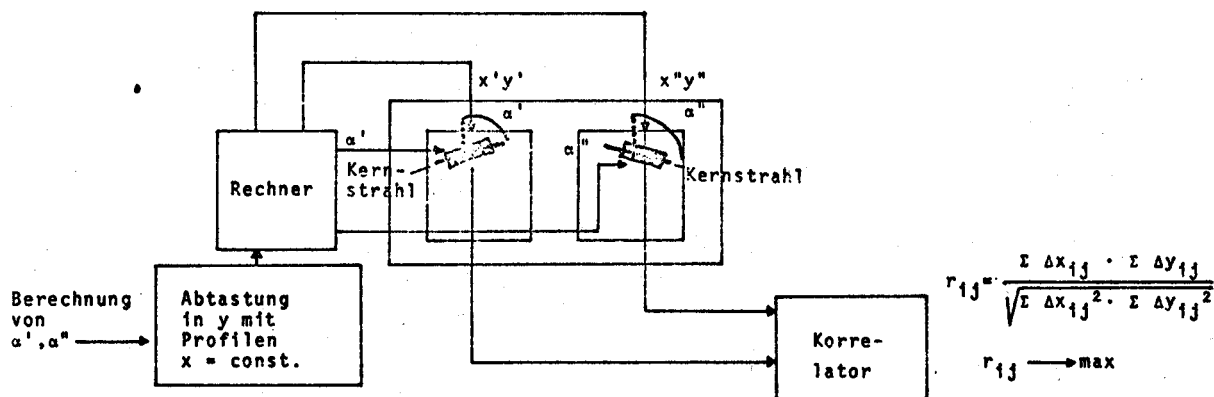
30

# GENAUIGKEIT DER HÖHENBESTIMMUNG



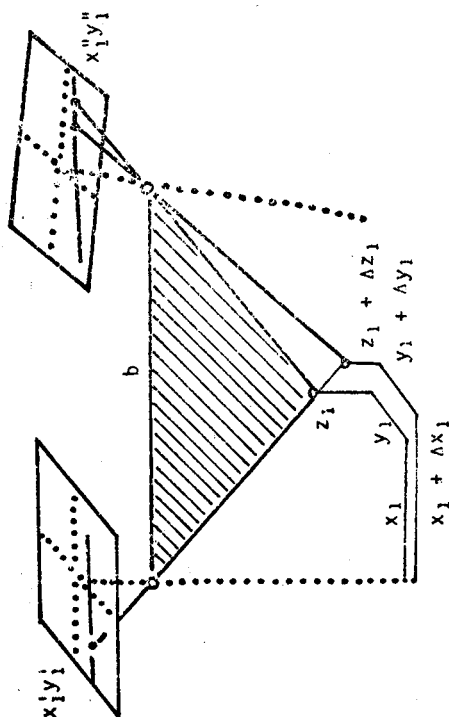
31

# ANALYTISCHER PLOTTER MIT BILDKORRELATOR



32

# BILDKORRELATION NACH KERNSTRAHLEN



1. GEGENSEITIGE ORIENTIERUNG  
sich überdeckender Bilder ( $b_y = 0$ )

## 2. BERECHNUNG

$$\begin{aligned}x_1' &= f_1(x_1, y_1 \text{ const.}, z_1 \text{ const.}) \\y_1' &= f_2(x_1, y_1 \text{ const.}, z_1 \text{ const.}) \\x_1'' &= f_3(x_1, y_1 \text{ const.}, z_1 \text{ const.}) \\y_1'' &= f_4(x_1, y_1 \text{ const.}, z_1 \text{ const.})\end{aligned}$$

## 3. ABGRIFF DER SCHWÄRZUNGSWERTE

entlang des Kernstrahls

$$d_1'(x_1', y_1'), d_1''(x_1'', y_1'')$$

## 4. LINEARE KORRELATION

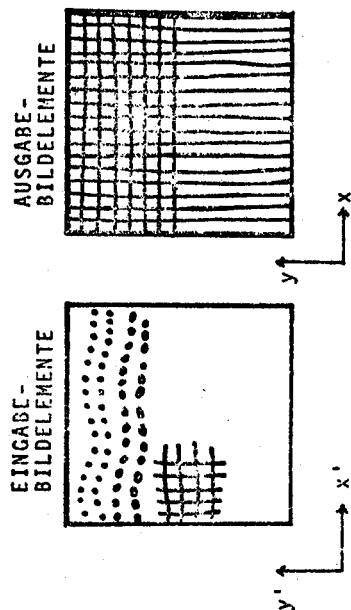
$$r_{\max} \rightarrow p_1'; \bar{x}_1'' = p_1' x_1''$$

$$\bar{y}_1'' = p_1' y_1'' + y_1''$$

## 5. RAUML. VORWÄRTSSCHNITT MIT $x_1' y_1' x_1'' y_1''$

## 6. INTERPOLATION IM GITTER

# DIGITALE ENTZERRUNG Indirekte Methode



$$\begin{aligned}x' &= -c \frac{a_{11}(x-x_0) + a_{12}(y-y_0) + a_{13}(z-z_0)}{a_{31}(x-x_0) + a_{32}(y-y_0) + a_{33}(z-z_0)} \\y' &= -c \frac{a_{21}(x-x_0) + a_{22}(y-y_0) + a_{23}(z-z_0)}{a_{31}(x-x_0) + a_{32}(y-y_0) + a_{33}(z-z_0)}\end{aligned}$$

$x, y$  wird variiert,  $z$  wird aus dem D.G.N. übertragen  
Aufsuchen von  $(x', y')$ , dort Aufsuchen von  $d'(x', y')$   
Ausgabe von  $d(x, y)$  mit  $d'$