

von H. Ebner, Stuttgart

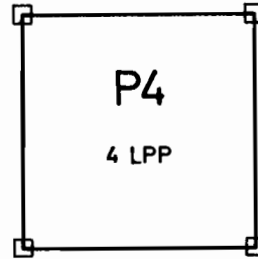
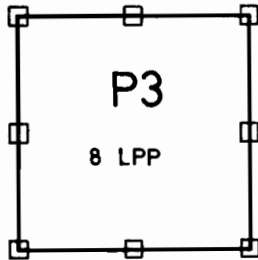
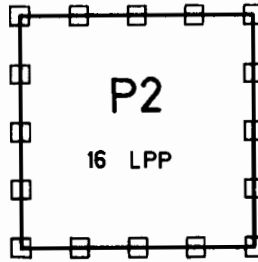
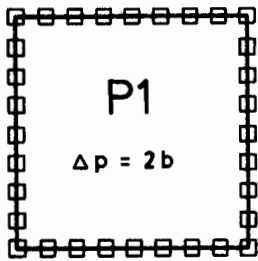
### 1. Warum Großblöcke?

1.1 Für die ausgeglichenen Lagekoordinaten räumlicher Blöcke mit unabhängigen Modellen und mit Bündeln gelten sehr günstige Genauigkeitseigenschaften. Einerseits kann auf Paßpunkte im Blockinneren grundsätzlich verzichtet werden und andererseits nimmt die Genauigkeit mit wachsender Blockgröße nur relativ gering ab.

Daraus ergeben sich für Großblöcke drei Vorteile, von denen mindestens einer immer gegeben ist:

- Einsparung von Lagepaßpunkten
- Erhöhung der Lagegenauigkeit
- Reduzierung des Bildmaßstabes

Drei theoretische Planungsbeispiele sollen diese Vorteile demonstrieren. Dabei nehmen wir an, daß die räumliche Blockausgleichung nach der Methode der unabhängigen Modelle durchgeführt wird und gehen von den in [1] vorgestellten Genauigkeitsmodellen auf der Basis zufälliger Fehler aus.



Genauigkeitsmodelle für 20 % Querüberdeckung

$$P1 : \sigma_{x \text{ mittel}} / \sigma_{x m} = \sigma_{y \text{ mittel}} / \sigma_{y m} = 0.70 + 0.29 \log n_s$$

$$P2 : \sigma_{x \text{ mittel}} / \sigma_{x m} = \sigma_{y \text{ mittel}} / \sigma_{y m} = 0.83 + 0.02 n_s$$

$$P3 : \sigma_{x \text{ mittel}} / \sigma_{x m} = \sigma_{y \text{ mittel}} / \sigma_{y m} = 0.83 + 0.05 n_s$$

$$P4 : \sigma_{x \text{ mittel}} / \sigma_{x m} = \sigma_{y \text{ mittel}} / \sigma_{y m} = 0.47 + 0.25 n_s$$

$\sigma_{x \text{ mittel}}, \sigma_{y \text{ mittel}}$  = Quadratische Mittelwerte der Streuungen der ausgeglichenen Blockkoordinaten x, y

$\sigma_{xm} = \sigma_{ym}$  = Streuungen der Modellkoordinaten xm, ym

### Planungsbeispiel 1: Minimierung der Paßpunktanzahl

Ein großräumiges Gebiet soll bei freier Wahl der Blockgröße und der Paßpunktverteilung trianguliert werden. Wir fragen nach der minimalen Paßpunktanzahl pro Flächeneinheit um eine bestimmte Genauigkeit im Gelände zu erreichen.

Genauigkeit im Einzelmodell  $\sigma_{xm} = \sigma_{ym} = 20 \mu\text{m}$

Geforderte Genauigkeit im Gelände  $\sigma_{x \text{ mittel}} = \sigma_{y \text{ mittel}} = 1.0 \text{ m}$

Bildmaßstab 1:42 000

P4: 3 Streifen	18 Modelle	18.6PP / 10 000 km <sup>2</sup>
P3: 7 Streifen	98 Modelle	10.3PP / 10 000 km <sup>2</sup>
P2: 18 Streifen	<u>648 Modelle</u>	<u>3.6PP / 10 000 km<sup>2</sup></u>
P1: 49 Streifen	4 802 Modelle	6.8PP / 10 000 km <sup>2</sup>

Bildmaßstab 1:30 000

P4: 5 Streifen	50 Modelle	13.1PP / 10 000 km <sup>2</sup>
P3: 17 Streifen	578 Modelle	3.4PP / 10 000 km <sup>2</sup>
P2: 42 Streifen	<u>3 528 Modelle</u>	<u>1.3PP / 10 000 km<sup>2</sup></u>

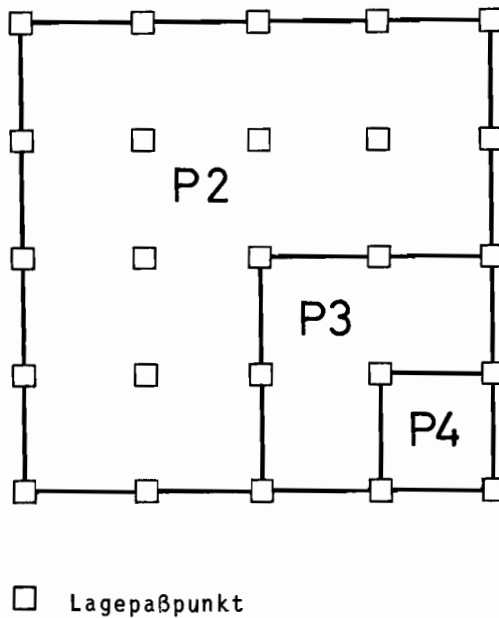
Die erforderliche Paßpunktanzahl pro 10 000 km<sup>2</sup> wird mit zunehmender Blockgröße geringer, wenn man von der Variante P1 absieht, deren Paßpunktastand mit zwei Basislängen offenbar zu dicht ist.

Ein größerer Bildmaßstab erlaubt eine weitere Reduzierung der Lagepaßpunkte. Allerdings nimmt die Modellanzahl gleichzeitig zu. Hier muß ein Gesamtkosten-Optimum gefunden werden.

### Planungsbeispiel 2: Optimierung der Genauigkeit

Wir unterstellen Lagepaßpunkte in einem quadratischen Raster, die beispielsweise durch Aerodist bestimmt wurden und fragen nach der optimalen Genauigkeit bei vorgegebenem Bildmaßstab, aber frei wählbarer Blockgröße und Paßpunktverteilung.

Blockgrößen für die Lagepaßpunktanordnungen P2, P3, P4



Paßpunktraster 100 km·100 km

Genauigkeit im Einzelmodell  $\sigma_{xm} = \sigma_{ym} = 30 \mu\text{m}$

Bildmaßstab 1:60 000

P4: 9 Streifen 162 Modelle  $\sigma_{x \text{ mittel}} = \sigma_{y \text{ mittel}} = 4.9 \text{ m}$

P3: 18 Streifen 648 Modelle  $\sigma_{x \text{ mittel}} = \sigma_{y \text{ mittel}} = 3.1 \text{ m}$

P2: 36 Streifen 2592 Modelle  $\sigma_{x \text{ mittel}} = \sigma_{y \text{ mittel}} = 2.8 \text{ m}$

In den Ergebnissen für die Fälle P3 und P2 ist die zusätzliche Stützung durch die vorhandenen Innenpaßpunkte noch gar nicht berücksichtigt. Trotzdem zeigt sich eine Genauigkeitssteigerung mit zunehmender Blockgröße.

### Planungsbeispiel 3: Minimierung des Bildmaßstabs

Bei der gleichen Lagepaßpunkt-Konfiguration wie zuvor und den gleichen Blockgrößen im Gelände fragen wir nun nach dem kleinstmöglichen Bildmaßstab um eine bestimmte Genauigkeit in der Natur zu erreichen.

Paßpunktraster 100 km·100 km

Genauigkeit im Einzelmodell  $\sigma_{xm} = \sigma_{ym} = 30 \mu\text{m}$

Geforderte Genauigkeit im Gelände  $\sigma_{x \text{ mittel}} = \sigma_{y \text{ mittel}} = 5.0 \text{ m}$

P4: 9 Streifen 162 Modelle Bildmaßstab 1: 60 000

P3: 9 Streifen 162 Modelle Bildmaßstab 1: 121 000

P2: 15 Streifen 450 Modelle Bildmaßstab 1: 145 000

Auch hier zeigt sich, daß der größte Block zum gesuchten Optimum führt.

Die behandelten Planungsbeispiele haben selbstverständlich theoretischen Charakter. Praktischen Planungen wird man aus Sicherheitsgründen etwas ungünstigere Genauigkeitsmodelle zugrundelegen. Die wesentliche Aussage der Beispiele, daß sich Paßpunktanzahl, Genauigkeit und Bildmaßstab durch Steigerung der Blockgröße optimieren lassen, wird davon aber nicht betroffen.

1.2 Die demonstrierten Vorteile von Großblöcken gelten leider nicht für die ausgeglichenen Blockhöhen, da ihre Genauigkeit sowohl bei 20% als auch bei 60% Querüberdeckung praktisch unabhängig von der Blockgröße ist (siehe [1]).

1.3 Demgegenüber ist die höhere Homogenität der Genauigkeit ein Vorteil von Großblöcken, der sowohl für die Lage als auch für die Höhe gilt.

## 2. Voraussetzungen für die Realisierung von Großblöcken

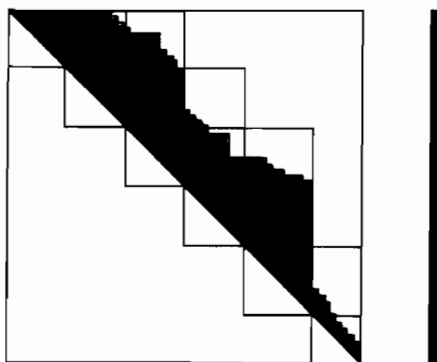
In Bezug auf Messung und Vorbereitung werfen Großblöcke keine grundsätzlich neuen Probleme auf. Allerdings stellt die größere Datenmenge pro Block größere Anforderungen an die Organisation der Aerotriangulation. Demgegenüber erhöht der Übergang auf Großblöcke die Anforderungen, die an ein Rechenprogramm gestellt werden, ganz wesentlich.

2.1 Gerade in Großblöcken werden die Parameter wie Paßpunkt-Dichte und -Genauigkeit, Überdeckung, Bildmaßstab usw. stark variieren, sowohl innerhalb eines Blocks, als auch von Projekt zu Projekt. Daraus ergibt sich die Forderung nach einem allgemeinen Rechenprogramm, das allen praktischen Gegebenheiten bei Großblöcken gerecht wird.

2.2 Das Blockausgleichungsverfahren muß auch in extremen Fällen eine optimale Genauigkeit bei vertretbaren Rechenzeiten und Rechenkosten gewährleisten. Diese generelle Forderung wird von den verschiedenen iterativen Verfahren der Blockausgleichung trotz ihrer Vorteile in Einzelfällen nicht erfüllt.

Demgegenüber läßt sich diese Forderung erfüllen, wenn man innerhalb eines jeden Iterationsschritts der nicht-linearen räumlichen Blockausgleichung Normalgleichungen aufstellt und mit einem direkten Verfahren löst. Das dabei auftretende Normalgleichungssystem ist im Allgemeinen aber für eine direkte Lösung im Zentralspeicher zu groß.

Eine sehr universelle Lösung dieses Problems beruht auf der Einführung einer Hyperstruktur wie sie im folgenden Bild dargestellt ist. Die Normalgleichungsmatrix und der Absolutvektor werden in Submatrizen und Subvektoren zerlegt und extern gespeichert. Die Gleichungslösung erfolgt mit einem verallgemeinerten direkten Verfahren, das auf die einzelnen Submatrizen und Subvektoren angewendet wird, die zu diesem Zweck jeweils in den Zentralspeicher geholt werden. Die Programmierung ist aufgrund dieses Verkehrs zwischen Zentral- und Externspeicher schwierig und aufwendig.



Das entsprechende, von uns entwickelte System HYCHOL ist eine Verallgemeinerung des Choleskyverfahrens (Hypercholesky) und ist das Kernprogramm des Programmpakets PAT [2].

2.3 Die Ausgleichung von Großblöcken verlangt aber auch ein leistungsfähiges Datenorganisationsprogramm. Eine direkte Speicherung der Meßdaten im Zentralspeicher ist aufgrund ihres Umfangs zumeist nicht möglich. Sie müssen daher extern, in einzelnen Records gespeichert werden.

Das Organisationsprogramm hat die Aufgabe, unabhängig von der Reihenfolge der Eingabedaten zu ermitteln, welche Modelle bzw. Bilder miteinander und mit den Paßpunkten verknüpfen. Dazu werden die entsprechenden, extern gespeicherten Records jeweils in den Zentralspeicher geholt. Dieser Verkehr ist auch hier wieder für den hohen Programmieraufwand verantwortlich.

Im Programmpaket PAT übernimmt das Organisationsprogramm noch eine weitere wesentliche Funktion, indem es die eingelesenen Modelle bzw. Bilder in eine Reihenfolge umsortiert, die zu einer optimalen Bandstruktur der Normalgleichungsmatrix führt. Damit ergeben sich bei der Lösung der Normalgleichungen besonders günstige Rechenzeiten.

### 3. Anwendungsbeispiele für Großblöcke

#### 3.1 Projekt PHICHIT Thailand

In Thailand läuft ein Projekt zur Herstellung einer Katasterkarte 1:4 000 auf der Basis von Entzerrungen und Orthophotos. Der Bildmaßstab ist 1:13 000. Die für die einzelnen Modelleinpassungen erforderlichen Lagepaßpunkte werden mit Hilfe der räumlichen Blocktriangulation mit unabhängigen Modellen bestimmt.



Der Block PHICHIT umfaßt 686 Modelle und 8518 photographische Punkte. Die Blockausgleichung, für die Vollpaßpunkte am Blockrand im Abstand von zwei Basislängen terrestrisch bestimmt wurden, erfolgt mit dem Rechenprogramm PAT-M43 in Stuttgart, ist aber noch nicht abgeschlossen. Über die Genauigkeitsergebnisse kann daher noch nicht berichtet werden, wohl aber über die erforderlichen Rechenzeiten und Rechenkosten pro Lauf an der Control Data Anlage CDC 6600.

Rechenzeit für 1 Lauf 852 CPsec = 1.2 CPsec/Modell

Rechenkosten für 1 Lauf ca DM 3.00/Modell

Diese Angaben beziehen sich auf zwei Lage- und zwei Höheniterationen bei der Blockausgleichung.

### 3.2 Projekt MOZAMBIQUE

Diese Blocktriangulation wurde von der Aircraft Operating Co. in Johannesburg ausgeführt und dient der Paßpunktbestimmung für die anschließende Einzelmodellkartierung im Maßstab 1:50 000. Die folgenden Angaben sind einer Veröffentlichung von Dr. Boniface entnommen [3].

Für die Messung wurde ein Wild A 8 als Stereokomparator verwendet. Die Blockausgleichung erfolgte mit einem Rechenprogramm für unabhängige Modelle, das in Bezug auf Allgemeinheit und Datenorganisation zwar nicht den Stand des Programmpakets PAT-M erreicht, für die Normalgleichungslösung aber ebenfalls ein direktes Verfahren verwendet. Die Einzelelemente der Blockausgleichung waren Sektionen, die aus jeweils 2 Modellen gebildet wurden.

## Projektdaten

Weitwinkel

Bildmaßstab 1:40 000

Paßpunkte für die Blockausgleichung

Lage: Randbesetzung und Trigonometrie im Blockinneren

Höhe: Nivellementlinien alle 5 bis 6 Modelle

Anzahl der Streifen 36

Anzahl der Sektionen 1019

Anzahl der Modelle 2025

Anzahl der Punkte ca. 8000

Mittlere Gewichtseinheitsfehler

Lage: 1.32 m

Höhe: 0.86 m

Rechenanlage Univac 1108

Rechenzeit ca. 5200 CPsec = 5.1 CPsec/Sektion  
= 2.6 CPsec/Modell

Rechenkosten ca \$ 3.00 /Sektion  
=ca \$ 1.50 /Modell

Die Angaben beziehen sich auf nur eine Lage- und eine Höheniteration bei der Blockausgleichung.

### 3.3 Testblock COED, Kanada

Die photogrammetrische Erstellung der Karte 1:250 000 von Kanada ist abgeschlossen. Die Karte 1:50 000 ist etwa zu 50% fertig, wobei fast der gesamte Norden des Landes noch fehlt. Für die Kartierung dieser arktischen Gebiete wird in der Hauptsache der Bildflug der Karte 1:250 000 verwendet. Die Paßpunktbestimmung für die Einzelmodellauswertungen erfolgt mit Hilfe der räumlichen Blocktriangulation. In der Vergangenheit wurde das Polynomprogramm von Schut angewendet. Seit 1971 ist das Programmpaket PAT-M in Verwendung. Der Block COED

wurde vom Topographical Survey in Ottawa als Testblock angelegt um zu untersuchen ob die Blockausgleichung mit dem System PAT-M auch bei einem Minimum vorhandener Lagepaßpunkte die für die Karte 1:50 000 notwendige Lagegenauigkeit ergibt. Über den Test wird von Gauthier, O'Donnell und Low in [4] berichtet. Die folgenden Angaben sind dieser Veröffentlichung entnommen.

#### Projektdaten

Weitwinkel

Bildmaßstab 1:60 000

Blockgröße ca 360 km · 270 km

Anzahl der Modelle 2 193

Anzahl der Modellpunkte 25 580

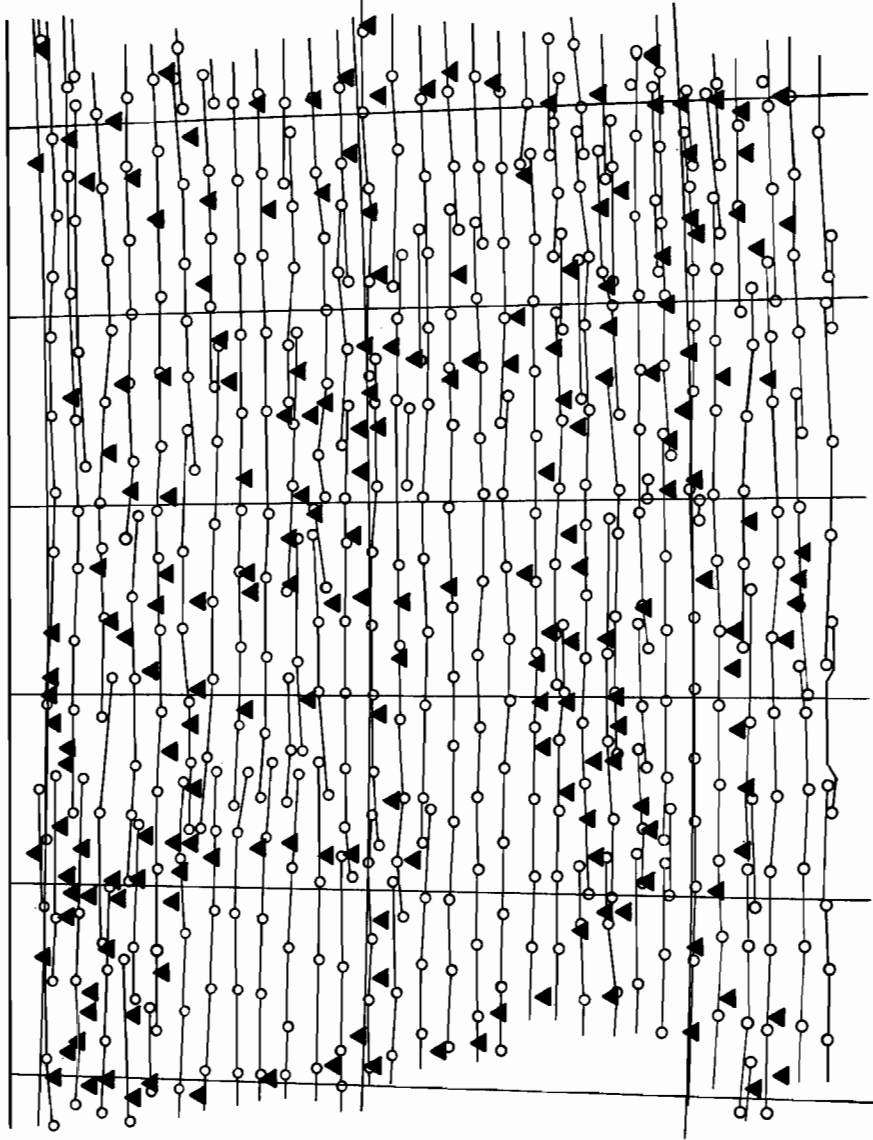
Lageblockausgleichung mit der Programm-Version PAT-M4 nach Modellhorizontierung mit dem Streifentriangulationsprogramm Strim [5]

Paßpunktvarianten für die Lageblockausgleichung

1. Fall 197 Paßpunkte
2. Fall 29 Paßpunkte am Blockrand
3. Fall 12 Paßpunkte (Aerodist-Simulation)

Die im 2. und 3. Fall nicht verwendeten Paßpunkte dienten der Ermittlung der Absolutgenauigkeit nach der Blockausgleichung.

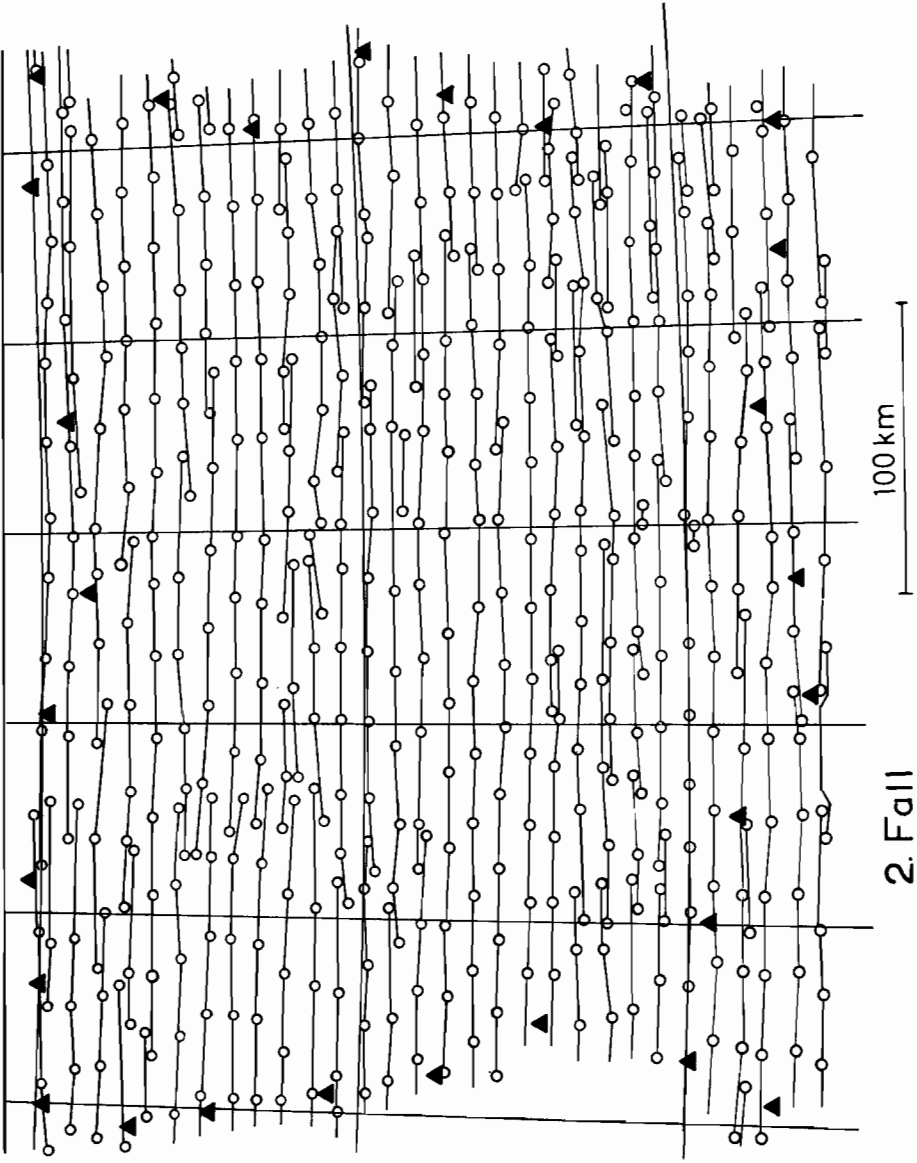
# Projekt Coed



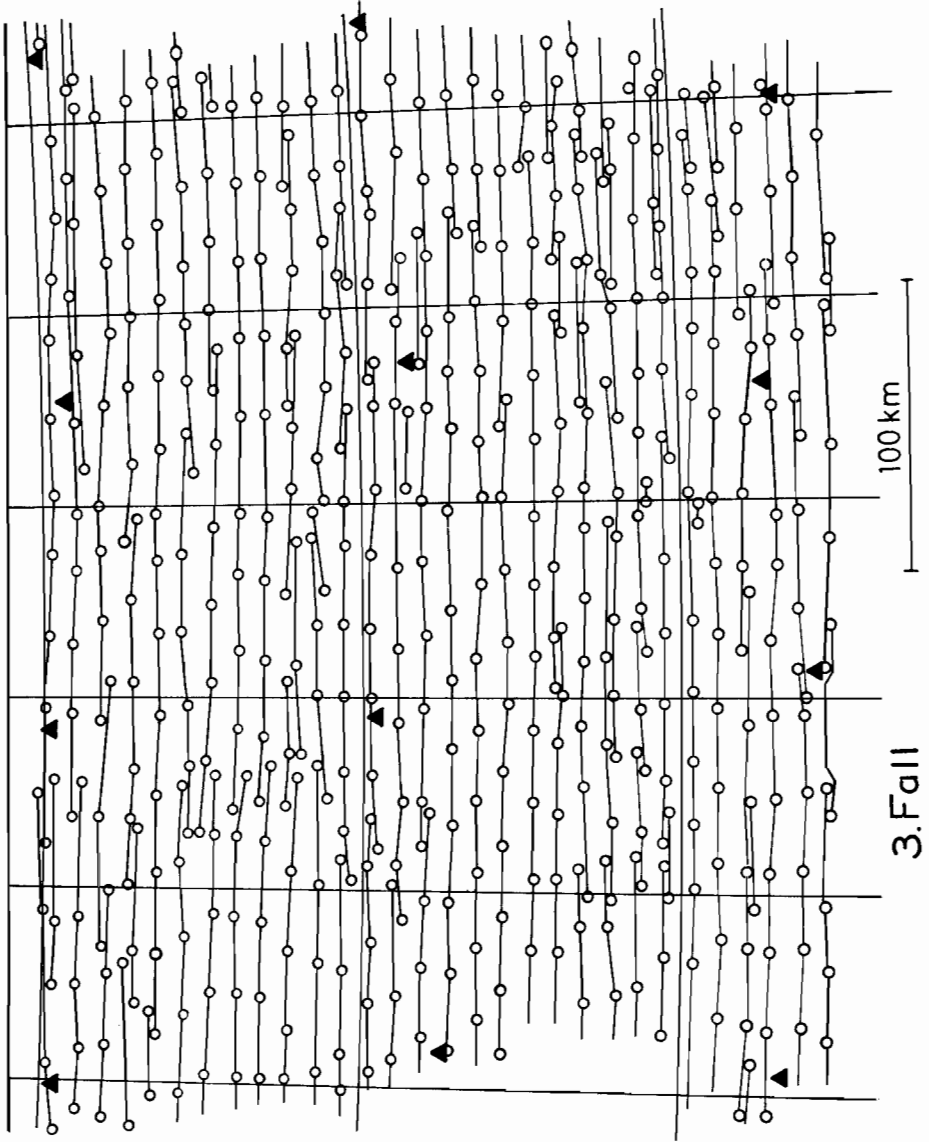
100 km

1. Fall

# Projekt Coed



# Projekt Coed



## Absolutgenauigkeit

Lagepaßpunkt- Anordnung	Zahl der Kontroll- punkte	Koordinatenfehler an Kontrollpunkten			
		Mittelwerte		Maxima	
		x	y	x	y
29 LPP am Blockrand	168	10.45 m	11.22 m	25.68 m	34.43 m
12 LPP Aerodist-Simulation	185	10.51 m	11.62 m	26.40 m	36.26 m

In Zusammenhang mit der Absolutgenauigkeit ist zu berücksichtigen, daß die mittlere Koordinatengenauigkeit der Kontrollpunkte selbst nach kanadischer Schätzung etwa 7 m beträgt.

### Rechenzeiten und Rechenkosten

CDC 6400 PAT-M4

Rechenzeit für 1 Lauf 6958 CPsec = 3.3 CPsec/Modell

Rechenkosten für 1 Lauf ca \$ 1.40/Modell

CDC 6600 PAT-M4

Rechenzeit für 1 Lauf 2937 CPsec = 1.3 CPsec/Modell

Rechenkosten für 1 Lauf ca DM 2.50/Modell

Abschätzung für CDC 6600 PAT-M43 bei zwei Lage- und zwei Höheniterationen

Rechenzeit für 1 Lauf 4300 CPsec = 2.0 CPsec/Modell

Rechenkosten für 1 Lauf ca DM 4.00/Modell

Für den Topographical Survey haben sich aufgrund der Erfahrungen mit dem Testblock COED die folgenden Schlußfolgerungen ergeben:

Die erhaltenen Rechenkosten erlauben eine wirtschaftliche Anwendung des Programmpakets PAT-M.

Die erhaltene Lagegenauigkeit reicht für die Anforderungen der Karte 1:50 000 aus, selbst wenn für die Blockausgleichung nur Aerodist-Paßpunkte im Abstand von mehr als 100 km verfügbar sind.

Das bedeutet für die Lage, daß die für die kanadische Karte 1:250 000 geschaffenen geodätischen Grundlagen aufgrund der leistungsfähigen Blockausgleichung im Wesentlichen auch für die Karte 1:50 000 genügen.

#### 4. Zusammenfassung

Großblöcke haben in Bezug auf die Lage überzeugende Vorteile, indem sie Paßpunkte einsparen, die Genauigkeit verbessern oder kleinere Bildmaßstäbe erlauben.

Die Realisierung von Großblöcken stellt hohe Anforderungen an das Blockausgleichungsprogramm, das gleichermaßen universell und wirtschaftlich sein soll.

Einerseits ist ein leistungsfähiges Datenorganisationsprogramm erforderlich und zum anderen ein optimiertes Verfahren zur direkten Lösung der großen Normalgleichungssysteme.

Großblöcke sind heute schon praktisch anwendbar. Die verfügbaren Computer und Rechenprogramme ergeben selbst bei Blöcken mit 1000 und mehr Modellen realisierbare Rechenzeiten und vertretbare Rechenkosten.



- [1] Ebner, H.: Die theoretische Genauigkeitsleistung der räumlichen Blockausgleichung. Sammlung Wichmann, Heft 20, S.81-107
- [2] Ackermann, F., Ebner, H. und Klein, H.: Ein Programm-Paket für die Aero-triangulation mit unabhängigen Modellen. BuL 38, Seite 218-224, 1970.
- [3] Boniface, P.R.J.: The Computation of Large Blocks with Anblock and its Application to Geodetic Surveys. Presented Paper to Commission III. XII. Congress of the International Society of Photogrammetry.
- [4] Gauthier, J.R.R., O'Donnell, J.H. and Low B.A.: The Planimetric Adjustment of Very Large Blocks of Models: Its Application to Topographical Mapping in Canada. Presented Paper to Commission III. XII. Congress of the International Society of Photogrammetry.
- [5] Ackermann, F., Ebner, H. und Klein, H.: Ein Rechenprogramm für die Streifen-triangulation mit unabhängigen Modellen. BuL 38, Seite 206-217, 1970.

