

PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN MIT
DEM PROGRAMMSYSTEM BÜNDELAUSGLEICHUNG

von Herbert Seiler

Abstrakt: Beschrieben wird das Programmsystem Bündelausgleichung beim Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Abteilung Landesvermessung. Es wird ein Überblick gegeben über den Produktionsumfang der letzten Jahre, über die erreichten Genauigkeiten unter Produktionsbedingungen sowie über die Möglichkeiten der Fehlersuche mit dem Programmsystem.

1. Einleitung

Seit 1970 wird im Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Abteilung Landesvermessung - Dezernat Photogrammetrie die Bündelausgleichung zur Bestimmung von Landeskoordinaten und Höhen für photogrammetrische Paßpunkte eingesetzt.

In den Anfängen wurden hauptsächlich Modellpaßpunkte für die Herstellung der DGK 5 - Grundriß - berechnet [1], seit 1973 auch Höhenpaßpunkte zur Auswertung von Höhenlinien[2,3].

Die Kapazität des ursprünglichen Programms Bündelausgleichung wurde 1976 erheblich erweitert (Tabelle 2) und der Datenfluß verbessert, so daß seit 1977 ein "Programmsystem Bündelausgleichung" besteht (Tabelle 1).

2. Programmsystem Bündelausgleichung

Mit dem Programmsystem werden die

Lage- und Höhenpaßpunkte für die Herstellung und Fortführung topographischer Karten und Aufnahme-, Grenz- und topographische Punkte für die Herstellung und Fortführung von Flurkarten berechnet.

Die dabei benutzten Ausgangsdaten sind die

Komparatorkoordinaten vom PSK 2/Ecomat oder rechnergestützt gewonnenen Bildkoordinaten vom Planicom C 100 oder vom PK 1.

2.1 Datenaufbereitung (GE 3000, LMS)

Die am PSK 2 auf 5-Kanal-Lochstreifen registrierten Komparatorkoordinaten werden an einer Siemens-Rechenanlage 7.738 in den EBCDI-Code umgesetzt. Formal beanstandete Datensätze werden vom Programm eliminiert, vom Auswerter als fehlerhaft erkannte und gekennzeichnete Daten gelöscht, sämtliche Datensätze mit Schrittweite 10 durchnummeriert und in der Datei SYSLIB gespeichert. Alle Daten, die bis zu diesem Verarbeitungsstand als fehlerhaft erkannt wurden - Fehlerhinweise vom Programm, vom Beobachter oder vom Bearbeiter nach Durchsicht der Verarbeitungsprotokolle - können zeilenweise korrigiert werden. Dabei können die Daten gelöscht, verändert oder neue Zeilen eingefügt werden. Erfahrungsgemäß werden ca. 1 % der am PSK registrierten Zeilen beanstandet und durch Neueingabe der Werte vom

Tabelle 1:

Programmsystem Bündelausgleichung
- Systemübersicht -

rechnergestützte Auswertung der Meßbilder mit HP 1000		konventionelle Auswertung der Meßbilder
PLANICOMP C 100 Bildkoordinaten (Bildpaar)	PK1 Bildkoordinaten (Einzelbild)	PSK2 / ECOMAT Komparatorkoordinaten (Bildpaar)
RJE/1000-RSPOOL2-LSPPOOL2-LMS auftragsweises Übertragen und Speichern der Meßdaten in der Platten-Datei SYSLIB		GE3000 auftragsweises Umsetzen der Meßdaten vom Lochstreifen und Speichern in der Plattendatei SYSLIB
LMS	Einheitliche Verwaltung der nach Aufträgen geord- neten Meßdaten in der Datei SYSLIB Korrigieren, Auflisten, Sichern, Löschen, Bereit- stellen von Aufträgen	
GE3015	Aufbereiten der Meßdaten und bildweises Speichern in der Bilddatei Verwalten der Bilddatei	
GE3016	Punktweise Sortierung der Beobachtungen für die Bündelausgleichung	
GE3251	Bündelausgleichung mit zusätzlichen Parametern für Lage- und Höhen-Paßpunkte (DGK 5)	
GE3252	für Katasterauswertungen	
GE3131	Bereitstellen der Ausgleichungsergebnisse aus GE3252 für	
die Übergabe der Lan- deskoordinaten an das Programmsystem "Geo- dätische Berechnungen"	die Übergabe von Lan- deskoordinaten an das PLANICOMP-System LSPPOOL-RSPOOL2-RJE/ 1000	die Ausgabe eines sortierten Koor- dinatenverzeich- nisses

Tabelle 2:

Programmsystem Bündelausgleichung

Merkmale	GE3251 DGK-5 Version	GE3252 Katasterversion
1. <u>Installation</u> Arbeitsspeicher Rechenzeit für einen Block mit 66 Bildern bzw. 681 Ausgl.-Pkten	IBM 370/158 (OS/VS1) ca. 300 KB 4,2 CPU sec/ Bild	SIEMENS 7.738 (BS 1000) 153 KB 17,5 CPU sec/Bild
2. <u>Programmkapazität</u> Anzahl Bilder Anzahl Ausgl.Pkte Ordnungsnummern- differenz D Anzahl Beobachtungen eines Punktes	999 6500 49 15	320 2500 28 15
3. <u>Ausgabedaten</u> (Magnetband)	- Landeskoor- dinaten (- Orientie- rungsdaten)	- Punktverschlüsse- lungsdaten - Landeskoordinaten - Orientierungsdaten
4. <u>Einsatzgebiete</u> . Topographie (DGK5) . Kataster	- Höhenpaßpunkte - Lagepaßpunkte	- Höhenpaßpunkte - Lagepaßpunkte - Aufnahmepunkte - Grenzpunkte - topogr.Punkte (Datenverbund mit Geod.Berechn.)

Bearbeiter berichtigt.

Die am Planicomp C 100 oder PK 1 gemessenen und formal kontrollierten Bildkoordinaten werden mit Hilfe des HP 1000-Rechners auf das Format der PSK 2 - Lochstreifen-datei umformatiert und durch das HP-Datenübertragungsprogramm RJE/1000 zur Siemens-Rechenanlage übertragen. Durch Steuerinformationen werden die Daten in der Plattendatei SYSLIB gespeichert und können hier wie die PSK 2-Datensätze behandelt werden.

2.2 Vorprogramm (GE 3015)

Der nächste Schritt in den vorbereitenden Arbeiten für die Bündelausgleichung ist das Einlesen der Meßdaten von der Datei SYSLIB und das Speichern der aufbereiteten Bildkoordinaten in der Bilddatei. Je nach Gerätekennung (PSK 2, Planicomp C 100 oder PK 1) werden die Daten mit unterschiedlichen Verarbeitungsfunktionen behandelt. So werden die Datensätze des PSK 2 einer Plausibilitätskontrolle unterworfen, ferner erfolgt bei Bedarf eine Mittelung von Mehrfachmessungen, eine Transformation der Maschinenkoordinaten in das Bildkoordinatensystem sowie radialsymmetrische Verzeichnungskorrektur. Für Planicomp C 100- und PK 1 - Bildkoordinaten erfolgt nur die Plausibilitätskontrolle, die anderen Programmschritte werden bereits bei der Messung der Datensätze im HP-Rechner durchgeführt.

Folgende Programmwähler führen zu neun Verzweigungen des Vorprogramms GE 3015:

- Eingabe von Modellmessungen
- Auflisten von Bildnummern
- Auflisten von Bildern mit allen Beobachtungen
- Löschen von Bildern
- Löschen von Beobachtungen
- Ummumerieren von Beobachtungen
- Reorganisation der Bilddatei
- Ändern von Punktverschlüsselungen
- Einrichten des Bildspeichers

Jede der Programmfunktionen prüft eine Vielzahl von Fehlermöglichkeiten automatisch und insgesamt 40 Fehlermeldungen kommentieren eventuell aufgedeckte Mängel, die durch Wiederholung der Rechnung behoben werden können. Als Ergebnis bleibt eine Bilddatei mit Bildkoordinaten, die formal fehlerfrei aber noch nicht durchgreifend kontrolliert sind.

2.3. Blockdefinition (GE 3016)

Mit einem weiteren Programm (GE 3016) wird der auszugleichende Block definiert. Hierbei werden anhand einer Bildnummernliste den im Block zu benutzenden Bildern fortlaufende Ordnungsnummern zugeteilt. Dabei ist zu beachten, daß die Differenz der Ordnungsnummern der an einem Punkt beteiligten Bilder möglichst klein gehalten werden muß. Um dies zu erreichen, werden in der Regel die Bilder des Blockes quer zur Flugrichtung (in der Richtung der geringsten Ausdehnung des Blockes) durchnumeriert. Die Ordnungsnummerndifferenz hat je nach der zu verwenden-

den Version der Bündelausgleichung eine feste Größe. Sie beträgt in der Katasterversion (GE 3252) 28 und in der Version für Lage- und Höhenpaßpunkte 49. Wird die Ordnungsnummern-differenz überschritten, so kann es u.a. daran liegen, daß zu viele Flugstreifen in einem Block verwendet wurden. In diesem Fall sollte man Teilblöcke berechnen. Eine andere Ursache, die häufigere, liegt darin, daß gleiche Punktnummern in weit voneinander entfernt liegenden Modellen vergeben wurden. Hier sollte man die fehlerhaft vergabene Punktnummer zuordnen. Aus der Bilddatei werden die ausgewählten Bilder gelesen, die zugehörigen Beobachtungen punktweise nach aufsteigenden Ordnungsnummern sortiert und auf das Eingabe-Magnetband für das Ausgleichungsprogramm geschrieben.

2.4. Bündelausgleichung (GE 3251, GE 3252)

Die Bündelausgleichungsprogramme (GE 3251, GE 3252) berechnen in einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate die Orientierungsparameter der Bilder eines Bildverbandes und die Koordinaten der Verknüpfungspunkte in einem übergeordneten orthogonalen Blockkoordinatensystem, in dem einige Paßpunkte gegeben sein müssen. Mit dem Programm können Einzelmodelle, Streifen und Blöcke verarbeitet werden. Sämtliche für die Ausgleichung erforderlichen Daten des Blockes, u.a. Anzahl der zu berechnenden Bilder, Gewichte für die Paßpunkte, Steuerung für die Berechnung der zusätzlichen Parameter, Fehlergrenzen für die Prüfung der Bildkoordinaten, Kammerdaten, Näherungswerte für die Orientierung, müssen über Lochkarten eingegeben werden. Bei der Katasterversion (GE 3252), die auf einer Siemens-Rechenanlage berechnet wird, ist auch die Eingabe vom HP 1000-Rechner über Datenfernübertragung möglich.

Bei der ersten Ausgleichung wird eine auf 8 - 10 Basislängen, reduzierte Paßpunktverteilung eingesetzt, die restlichen terrestrisch bekannten Punkte frei ausgeglichen. Durch Vergleich der photogrammetrisch ermittelten Werte mit den Soll-Werten kann man ersehen, ob die im Bild gemessenen Punkte mit den terrestrischen identisch sind und ob nicht eventuell Berechnungs-, Identifizierungs- oder Messungsfehler vorliegen. Ferner werden anhand einer Blockübersicht, in der die zu bestimmenden Punkte eingetragen sind, diejenigen Punkte vom Bearbeiter gekennzeichnet, welche die größten Restfehler haben. Dabei ist es möglich, die Punkte zu lokalisieren, die die Fehler verursachen und diejenigen mit Folgefehlern.

Bei Unklarheit über die Primär- und die Folgefehler kann man die Punkte in den einzelnen Streifen mit besonderen Punktnummern versehen und sie nach beendeter Ausgleichung mit den ausgeglichenen Orientierungswerten nachträglich bestimmen. Man erhält für diese Punkte in jedem Flugstreifen, in dem sie gemessen worden waren, Koordinaten, die verglichen werden können. Oftmals zeigen sich geringere Differenzen von wenigen cm zwischen zwei Flugstreifen, während im dritten der Punkt fehlerhaft identifiziert oder gemessen wurde. Es bleibt der Beurteilung des erfahrenen Bearbeiters überlassen, die fehlerhaften Messungen zu eliminieren und den Punkt mit weniger Bestimmungselementen zu berechnen oder durch Nachmessung des

Punktes alle verfügbaren Werte zu benutzen. Im Mittel aus 80 Verfahren sind 3,7 Rechenläufe erforderlich, um zu einem fehlerfreien Ergebnis zu gelangen.

2.5 Punktausfälle

Die Verknüpfung der Modelle erfolgt über markante topographische Punkte. Je besser die Bildqualität und je strukturierter das Gelände, umso leichter lassen sich eindeutige topographische Punkte finden. Die meisten Punktausfälle sind auf Identifizierungsschwierigkeiten der Punkte zwischen den einzelnen Flugstreifen zurückzuführen. Besonders hohen Anforderungen an die Qualität der Verknüpfungspunkte werden am Monokomparator PK 1 gestellt. Colorfilme erleichtern die Auswahl und erhöhen die Sicherheit der Interpretation. Künstliche Verknüpfungspunkte (z.B. Transmark) sind sehr gut meßbar, erfordern aber für die Markierung hoch qualifizierte Auswerter.

Als Beispiel für die Häufigkeit zu löschender Messungsdaten sind Verfahren in Tabelle 3 aufgeführt, die am PSK 2 oder PK 1 gemessen wurden; die Verknüpfung erfolgte über topographische Punkte.

Tabelle 3

Name	Gerät	Anzahl Punkte im Block	Anzahl Punktmessungen	Punkte gelöscht in allen Bildern	Messungen gelöscht in Einzelbildern
Bildflug					
Großenkneten W	PSK 2	922	5206	3	26
Großenkneten O	PSK 2	1006	5675	3	57
Edewecht O	PSK 2	580	3589	1	37
Heemsen	PSK 2	684	3539	-	40
Oldenburg W	PSK 2	747	5040	6	75
Bockhop N	PK 1	995	6450	6	43
Bockhop S	PK 1	991	6230	15	48
Edewecht W	PK 1	851	5587	9	45
Hüttenbusch	PK 1	688	4446	1	11

3. Erreichte Genauigkeit bei Höhenblöcken

3.1 Anordnung der Vergleichspunkte

Die Höhenblöcke werden durch signalisierte und nivellierte Vergleichspunkte kontrolliert. Bereits bei der Signalisierung und dem Nivellement der Höhenpaßpunkte wird möglichst auf halbem Weg zwischen 2 Paßpunkten ein Vergleichspunkt im gleichen Arbeitsgang signalisiert und höhenmäßig bestimmt. Als Höhen- und Lagepaßpunkte werden die luftsichtbaren TP

Tabelle 4:

Bildflug				Block			Paßpunkte					Vergleichspunkte			Rechenzeit IBM158 CPU [MIN]
Name	Aufnahme Datum	m _b	qkm	Str.	Mod.	∅ _o [mm]	Höhe	Lage	H+L	mittlere Höhenrestf. Höhenpaßp. [cm]	ε max. HöhenPP [cm]	Anz.Vergl. Punkte	mittlere Höhendiff. Vergl.Pkt. [cm]	ε max. Vergl.P. [cm]	
1977:															
Sittensen	19.04.76	6000	60	13	294	7,0	34	1	17	2,5	+ 7	23	4,3	- 9	49
Etzel 1	13.04.76	6000	84	12	262	6,3	23	-	18	1,7	+ 5	16	3,8	+ 8	41
Etzel 2	13.04.76	6000		11	208	6,3	20	-	14	1,7	- 6	15	4,6	-10	31
Vechta 1	10.04.76	6000	96	10	269	5,7	27	-	12	1,4	- 3	30	3,9	+ 9	32
Vechta 2	10.04.76	6000		9	243	6,5	18	1	13	2,8	+ 7	15	4,6	+ 8	23
Luttum 2	11.04.77	6000	24	9	126	5,4	12	7	-	2,5	+ 6	53	4,8	-10	11
Tarmstedt 1	09.03.77	6000	76	9	175	8,5	16	-	10	1,8	+ 5	18	5,7	-11	14
Tarmstedt 2	09.03.77	6000		17	208	7,7	25	-	8	2,1	+ 4	15	3,9	- 8	19
Tettens	06.03.77	6000	52	13	230	7,8	18	-	13	2,1	+ 5	29	5,2	-11	25
Uchte	07.03.77	6000	36	13	188	6,0	10	-	10	1,2	- 3	30	3,8	- 8	32
Dersum-N	31.03.77	6000	60	13	281	6,7	13	-	23	2,3	+ 6	31	5,5	-11	49
Westerloh-N	30.06.77	6000	48	12	216	5,7	8	-	24	1,9	- 5	28	5,7	+10	34
Hagenah	31.03.77	6000	40	9	191	9,6	19	-	11	1,9	+ 5	11	6,0	- 9	19
Dersum-S	31.03.77	6000	68	13	319	6,2	17	2	28	2,2	+ 6	31	4,8	+10	51
1978:															
Ahlerstedt-N	31.03.77	8000	116	11	185	7,2	25	2	14	3,0	-10	18	3,7	-12	21
Ahlerstedt-S	31.03.77	8000		8	183	6,8	29	-	18	3,4	+ 8	15	6,9	-12	18
Westerloh-S	10.05.77	6000	40	11	156	6,2	13	-	17	1,3	+ 4	12	4,5	-11	20
Wardenburg-W	28.04.77	6000	156	12	254	5,7	22	-	13	3,2	- 8	21	5,6	+ 9	37
Wardenburg-M	28.04.77	6000		10	276	5,2	21	-	18	2,0	+ 6	21	4,4	+ 9	40
Wardenburg-O	28.04.77	6000		10	265	5,7	27	1	13	2,3	+ 6	25	6,9	+12	31
Lindau	20.04.77	12500	184	13	172	9,4	13	2	42	5,6	-18	19	10,1	-17	25
Bakum-N	26.05.77	6000	128	8	257	5,8	20	-	17	1,2	+ 7	9	4,8	+10	21
Bakum-S	30.03.77	6000		11	348	5,6	24	1	21	1,7	+ 5	14	4,4	- 8	47
Dangast-N	28.04.77	6000	96	10	226	6,4	21	-	9	1,1	+ 2	11	5,5	-12	23
Dangast-S	28.04.77	6000		9	230	6,2	17	-	9	2,0	+ 5	8	5,9	-12	25
Wetschen	09.04.78	6000	40	13	197	6,9	17	6	15	2,9	- 9	17	5,4	+11	21
Schwarmstedt	06.04.78	6000	40	9	192	6,6	11	3	25	2,3	- 6	11	3,7	- 6	17
Lavesloh	06.04.78	6000	56	9	290	6,8	26	2	22	2,7	+ 9	24	7,4	-15	32
Lembruch-S	18.04.78	6000	32	9	147	7,3	10	1	15	2,4	- 6	13	7,1	-13	14
Lembruch-N	18.04.78	8000	12	5	70	6,5	7	2	5	1,0	+ 2	10	6,5	+10	4
Lüneburg	07.04.78	8000	80	13	210	6,8	28	3	18	2,2	+ 7	17	5,0	+10	31
Hüttenbusch	30.03.77	6000	84	13	372	6,8	33	-	18	2,1	+ 6	21	7,2	+14	55
1979:															
Eschède	6.u.7.4.78	8000	80	13	213	8,0	33	-	12	3,5	- 8	15	7,2	+13	28
Sülze	04.07.78	8000	28	9	92	7,2	10	-	14	3,7	- 9	8	6,9	-13	8
Oberndorf-N	19.04.78	6000	76	10	194	6,0	19	-	9	1,7	+ 6	13	4,0	+ 8	23
Oberndorf-S		6000		9	244	6,1	22	1	13	1,6	+ 4	12	4,4	- 9	28
Uenzen-N	05.04.78	6000	104	13	200	7,7	15	-	15	1,5	+ 5	16	5,8	+14	35
Uenzen-S	29.03.78	6000		13	303	7,5	12	-	21	1,0	+ 3	25	6,0	-12	53
* Hüttenbusch	06.04.78	6000	44	9	222	6,3	22	-	14	2,0	+ 6	12	5,7	+11	27
Rosebruch	06.04.78	8000	84	16	249	7,4	28	1	23	3,4	- 8	21	5,0	+10	41
Großenvörde 1	07.04.78	6000	48	14	260	8,1	25	-	10	2,0	+ 4	19	6,0	-11	53
Großenvörde 2	28.06.78	6000	32	13	184	5,4	12	2	17	2,0	- 6	16	5,0	-10	27
Edewecht-O	26.04.78	6000	104	8	201	5,9	18	-	14	2,0	- 8	14	6,0	-10	16
* Edewecht-W	26.04.78	6000		11	318	6,9	21	-	18	2,0	+ 5	21	6,0	-13	37
Großenknet.-W	19.04.78	8000	116	10	175	6,2	20	-	19	3,0	- 8	22	6,0	+12	22
Großenknet.-O	19.04.78	8000		11	182	7,5	28	-	16	4,0	- 9	19	6,0	-13	25
Hedendorf	14.05.79	6000	40	13	201	8,2	18	-	14	3,3	+10	15	6,2	+15	33
* Bockhop-N	13.04.79	6000	152	10	371	6,6	27	-	23	3,0	+11	22	5,0	+10	32
* Bockhop-S	15.04.79	6000		13	364	6,6	29	-	19	2,2	+ 8	25	5,3	+10	30
Oldenburg-W	30.05.79	6000	64	9	289	6,4	31	-	23	2,0	+ 5	31	4,0	+ 8	28

Alle Bildflüge sind mit Weitwinkel Objektiven (f = 15 cm), sowie 60 % Längs- u. Querüberdeckung befliegen.

* Diese Bildflüge sind am PK1 gemessen. Alle übrigen am PSK2.

im Bildfluggebiet benutzt, sofern ihre Höhen nivellistisch bestimmt sind. Falls dies nicht ausreicht, werden zusätzliche signalisierte (temporäre) Punkte bestimmt, so daß eine flächenhafte Paßpunktverteilung von 3 - 4 Basislängen im Block erreicht wird. Am Blockrand werden alle höhenmäßig bekannten Punkte als Paßpunkte eingesetzt, während im Blockinneren etwa jeder zweite signalisierte Punkt als Vergleichspunkt benutzt wird. Paßpunktausfälle, wie sie häufig vorkommen, können leicht überbrückt werden, indem benachbarte Vergleichspunkte die Funktion der Paßpunkte übernehmen.

Das Ergebnis der Gegenüberstellung der photogrammetrisch bestimmten mit den nivellierten Höhen der Vergleichspunkte ist in Tabelle 4 aufgeführt.

4. Zusammenfassung

Bei Anwendung des Bündelprogramms mit zusätzlichen Parametern wird bei Bildflügen mit 60 % Längs- und Querüberdeckung sowie flächenhafter Höhenpaßpunktverteilung von 3 - 4 Basislängen Abstand eine Höhengenaugigkeit von unter 1 % des Bildmaßstabes unter Produktionsbedingungen erreicht. Die Verknüpfung der Blöcke erfolgt über topographische Punkte, die Messung am PSK 2 oder PK 1. Das beschriebene Verfahren hat sich bewährt. 1978 wurden 75 % und bereits 1980 werden 100 % der benötigten Höhenpaßpunkte zur Herstellung oder Fortführung der DGK 5 in Niedersachsen mit Hilfe der Bündelausgleichung bestimmt.

Literaturverzeichnis

- 1 Brindöpke, W.: Analytische Photogrammetrie in der Vermessungsverwaltung, Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 1, 1972, S.23-30.
- 2 Bauer, H.
Müller, J.: Höhengenaugigkeit bei der Blockausgleichung und Bündelausgleichung mit zusätzlichen Parametern. In: Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof.Dr.Ing.habil G.Lehmann, Hannover 1972, S. 7-44.
- 3 Bauer, H.: Dezimetergenaue Höhen durch Aerotriangulation. BuL 41 (1973), S. 104-107.

Herbert Seiler
Niedersächsisches Landesverwaltungsamt
- Landesvermessung -
Warmbüchenkamp 2
D-3000 Hannover 1
Bundesrepublik Deutschland