

Zeitschrift:	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber:	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
Band:	78 (1980)
Heft:	11
Artikel:	Ergebnisse einer Bündelblockausgleichung ohne zusätzlichen Parameter mit signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten
Autor:	Parsic, Z.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-230191

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

sungsnetzes als unveränderlich, gleichsam fehlerfrei zu betrachten! Eine billige Lösung auch, ersparte sie doch die Neuausgleichung des Netzes. War sie falsch? Wäre die andere, ebenso extreme Lösung, die Vergrösserungsseiten³ festzuhalten und das Netz auf sie hinzubiegen, besser gewesen? W. Fischer hat in [1] die auf Seiten 1. Ordnung der schweizerischen Landesvermessung gemessenen Geodimeter-Distanzen mit den aus Koordinaten erhaltenen Werten verglichen und fand dabei tatsächlich im Gebiet der Weinfelder Basis die «Koordinatendistanzen» gegenüber den elektronischen Distanzmessungen (EDM) zu gross, im Gebiet der Aarberger Basis zu klein. In diesen Teilen der Schweiz beruht die heutige Landesvermessung auf den Koordinaten des Gradmessungsnetzes; der durchgeführte Vergleich ist also im Grunde ein Vergleich Basismessung/EDM. Im Tessin, wo die Landestriangulation gegenüber EDM ebenfalls zu klein ist, ist der Vergleich nur beschränkt schlüssig, weil hier die heutigen Landeskoordinaten auf einer neueren Triangulation beruhen. – «Man» hätte also vor hundert Jahren den Basismessungen und ihren Vergrösserungsnetzen wohl doch etwas mehr Vertrauen entgegenbringen dürfen!

³ das Festhalten der Basislängen (nicht der aus ihnen abgeleiteten Vergrösserungsseiten) mit Einfügen der Vergrösserungsnetze in die Netzausgleichung hätte die Rechenmöglichkeiten jener Zeit wohl überstiegen.

Ausblick

Die Schweizerische Geodätische Kommission untersucht heute diese nun hundertjährigen Messungen aufs neue, indem sie Neuausgleichungen der Basisnetze, zusammen mit neuen Distanz- und Höhenwinkelbeobachtungen, durchführt. Über die dabei erhaltenen Ergebnisse kann vielleicht an dieser Stelle einmal berichtet werden. Es werden sicher nie mehr Basen mit Messstangen gemessen werden, ja es wurden in der Schweiz auch keine mehr gemessen seit 1880/81, denn die Messung der «Basis» durch den Simplontunnel im März 1906 (mehr als 20 km!) und diejenige der 2256 m langen Basis bei Ostermundigen im Dezember 1913 (zur Kontrolle der Strecke Sternwarte–Gurten) erfolgten bereits mit Invardrähten und natürlich ebenso die noch so spät wie 1959 bei Heerbrugg gemessene «internationale» Basis (vgl. [3]). Heute stehen «schnellere» und – mit Vorbehalten – genauere Messmittel zur Verfügung.

Wenn aber aus «alten» Messungen heute doch irgend ein praktischer Nutzen oder eine Information gezogen werden sollen – man denkt natürlich im Zeitalter der als elastisch und plastisch betrachteten Erde am ehesten an, wenn auch noch so grobe, Bestimmungen von Erdkrustenbewegungen –, so gilt es, sie und die aus ihnen abgeleiteten Werte genau unter die Lupe zu nehmen. Es sind dabei glücklicherweise durchaus nicht immer nur Enttäuschungen zu erwarten und zu erleben.

Literatur

- [1] Fischer, W.: The scale of the Swiss first order triangulation net. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETH Zürich, Bericht Nr. 30, 1979
- [2] Jordan, W.: Handbuch der Vermessungskunde. Dritter Band, 4. Auflage, Stuttgart 1896
- [3] Kobold, F.: Die Messung der Basis und des Basisvergrösserungsnetzes von Heerbrugg im Jahre 1959. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie 1+2/1960
- [4] Schweizerische Geodätische Kommission: Procès-verbaux des séances 1862–1891. Neuchâtel.
- [5] Schweizerische Geodätische Kommission: Das schweizerische Dreiecksnetz. Erster Band (1881): Die Winkelmessungen und Stationsausgleichungen. Zürich. Zweiter Band (1884): Die Netzausgleichung und die Anschlussnetze der Sternwarten und astronomischen Punkte. Zürich. Troisième Vol. (1888): La mensuration des bases. Lausanne. Vierter Band (1889): Die Anschlussnetze der Grundlinien. Zürich. Fünfter Band (1890): Astronomische Beobachtungen im Tessiner Basisnetz, auf Gábris und Simplon; definitive Seitenlängen; geographische Coordinaten. Zürich.
- [6] Wolf, R.: Geschichte der Vermessungen in der Schweiz. Schweizerische Geodätische Kommission, Zürich 1879
- [7] Zöllly, H.: Geschichte der geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz. Eidgenössische Landestopographie, Wabern 1948

Adresse des Verfassers:
N. Wunderlin, Dipl. Ing., Institut für
Geodäsie und Photogrammetrie,
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Ergebnisse einer Bündelblockausgleichung ohne zusätzlichen Parameter mit signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten*

Z. Parsic

* Presented Paper, Kommission III, 14. Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie, Hamburg 1980.

Mit den vorliegenden Ergebnissen sind Erfahrungen gewonnen worden über den Einsatz von künstlichen Punkten und des Punktübertragungsgerätes WILD PUG 4 für unterschiedliche Messverfahren bei der Blocktriangulation mit der Bündelmethode.

Die erzielte Absolutgenauigkeit μ_{xy} für Mono- und Stereomessungen mit künstlichen Verknüpfungspunkten beträgt $6,7 \mu\text{m}$ und $8,4 \mu\text{m}$ im Bildmassstab. Die Höhengenauigkeit für beide Messverfahren beträgt $0,09\%$ der Flughöhe über Grund. Vorausgesetzt sind natürlich ein erfahrener Operator und Funktionstüchtigkeit des Punktübertragungsgerätes sowie einwandfreie Markierung.

In der Praxis sollten insbesondere die Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit und der erzielten Genauigkeit mit signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten genau gegeneinander abgewogen werden.

Les résultats présentés ont permis de réunir des observations sur l'utilisation de points artificiels et sur l'emploi de l'appareil pour le transfert de points WILD PUG 4 pour différents procédés de mesure, lors de la triangulation par bloc selon la méthode des faisceaux.

La précision absolue μ_{xy} obtenue avec les mesures monoscopiques et stéréoscopiques à l'aide de points de rattachement artificiels correspond à $6,7 \mu\text{m}$ et $8,4 \mu\text{m}$ dans le plan des clichés. Pour les deux procédés, la précision de l'altitude correspond à $0,09\%$ de la hauteur de vol au-dessus du sol. On suppose naturellement une grande expérience de la part de l'opérateur, un fonctionnement impeccable de l'appareil pour le transfert de points ainsi qu'un marquage irréprochable.

En pratique, on devra en particulier mettre en balance les points de vue économiques avec la précision obtenue à l'aide des points de rattachement signalisés et artificiels.

1. Einleitung

Das Ziel der empirischen Untersuchungen des Teilblocks Zürich ist, festzustellen, wie sich die Genauigkeit einer Bündelblockausgleichung ohne zusätzlichen Parameter verhält, wenn man die Passpunktkoordinaten als zu verbessende Beobachtungen mit unterschiedlichen Gewichten berücksichtigt. Es wird die bei der Bündelblockausgleichung erhaltene Genauigkeit für Stereo- und Monomessungen mit signalisierten und künstlichen¹ Verknüpfungspunkten diskutiert.

In einer vorausgegangenen Veröffentlichung [2] wurde vom Verfasser die erzielte Genauigkeitssteigerung bei der Verwendung von künstlichen Verknüpfungspunkten vorgestellt, verglichen mit der Verwendung von signalisierten Verknüpfungspunkten.

Die folgenden Untersuchungen befassen sich neben weiteren Genauigkeitsbetrachtungen für Stereo- und Monomessungen mit signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten auch mit der Frage des für die Messungen erforderlichen Zeitaufwandes.

2. Allgemeine Problemstellung

Um die Schwierigkeiten bei der Verwendung von natürlichen topographischen und signalisierten Verknüpfungspunkten zu beheben, werden in die Emulsion von Negativen oder Glasdiapositiven Markierungen angebracht in Form von gestochenen, geschlagenen, gebohrten oder gebrannten Punkten. Bei signalisierten und topographischen Punkten wird die Auswahl von Punkten aus verschiedenen Gründen oft erschwert, wie z.B. mangelhafte Abbildungsqualität oder Abweichungen von der vorgesehenen Lage im Bild auf Grund von Navigationseinflüssen. Künstliche Verknüpfungspunkte sind eindeutig, einwandfrei einstellbar und unverwechselbar; sie haben immer die gleiche Form und Größe im Gegensatz zu topographischen Punkten.

Die Übertragungsgenauigkeit und die entsprechende Messung hängt einerseits vom stereoskopischen Sehvermögen und der Erfahrung des Operateurs, andererseits von der Bildqualität und dem benutzten Punktübertragungsgerät ab.

3. Das Untersuchungsmaterial

Für eine praktische Untersuchung wurde ein Teil des Blockes Zürich-Teilblock Oberschwaben der OEEPE ausgewählt. Der untersuchte Block umfasst einen annähernd quadratischen Abschnitt und besteht aus 4 Streifen mit 10

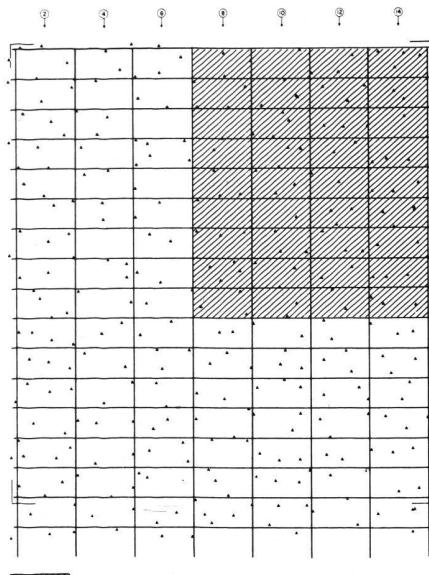


Abb. 1

Bildern. Die Größe dieses Teilblockes beträgt $20 \times 22 \text{ km}^2$ (siehe Abb. 1).

Die Aufnahmedaten sind folgende: Weitwinkelkammer RMK A Zeiss, Kammerkonstante $c = 153 \text{ mm}$, Bildmaßstab 1:28000, Überdeckungsverhältnisse 60% Längs- und 20% Querüberdeckung, Auswertematerial Diapositivplatten.

Die Pass- und Kontrollpunkte sowie sämtliche Verknüpfungspunkte wurden signalisiert. Die erstgenannten können als Passpunkte oder Kontrollpasspunkte für die Berechnung der Absolutge-

nauigkeit verwendet werden. Aus Sicherheitsgründen wurde jeder Verknüpfungspunkt mit 2 Scheiben im Abstand von rund 30 m (entspricht ca. 1 mm im Bildmaßstab) luftsichtbar gemacht.

4. Vorbereitung und Markierung mit Punktübertragungsgerät PUG 4 Wild

Alle 36 Modelle für die Stereomessungen und nachträglich 40 Bilder für die Monomessungen wurden am PUG 4 der Firma Wild vom Verfasser in Heerbrugg vorbereitet. Die Bildkoordinaten wurden als Stereo- und Monomessungen am Stereokomparator Wild STK 1 ausgeführt. Der wichtigste Teil der Vorbereitung für die Aerotriangulation besteht in der Auswahl und Identifizierung der Lage von künstlichen Punkten im Bild.

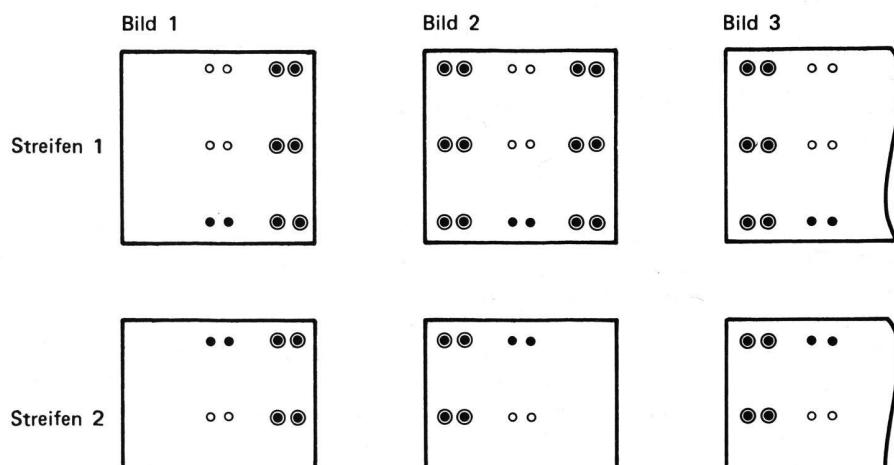
Die Anordnung und Anzahl der stereoskopisch markierten künstlichen Punkte für die Stereo- und Monomessungen ist aus Abb. 2 ersichtlich.

Der Abstand zwischen künstlich markierten Punkten betrug rund 1–2 mm im Bildmaßstab.

Die Einstelldaten vor der Markierung am PUG 4 sind folgende:

- Betrachtungsvergrößerung 15x
- Größe der Messmarke 30 µm
- Stichel 60 µm

Das Verhältnis zwischen Messmarke des Stereokomparators und künstlichem Punkt liegt bei 1:3. Dieses Verhältnis ist ungünstig für die Stereo- und Monomessungen. Die Größe der künstlichen Punkte von 60 µm wurde gewählt, weil das Untersuchungsmaterial für die Auswertung am Analoggerät [2] A 10 Wild vorbereitet wurde, wo die



- Lage der in einem Bild markierten künstlichen Punkte
- Lage der in Nachbarstreifen gleichzeitig markierten künstlichen Punkte
- ◎ Lage der in Nachbarbildern und Nachbarstreifen übertragenen markierten künstlichen Punkte

Abb. 2

¹Künstliche Verknüpfungspunkte sind mit einem Punktübertragungsgerät in der Emulsion markierte Punkte an Negativen oder Glasdiapositiven.

Messart	Anzahl Modelle	Anzahl Punkte Mod./Bild	Anzahl Punkte Total	Total Zeit Std.	Zeit pro Mod./Bild Min.
Stereo	36	~ 28 ¹⁾	1070	32	53
Mono	40	~ 43 ¹⁾	1628	48	72

¹⁾ ohne Rahmenmarken

Tab.1 Angaben über den Zeitaufwand

Grösse der Messmarken 40 µm beträgt. Für die Messungen soll der künstliche Punkt nicht kleiner, aber auch nicht grösser als der doppelte Durchmesser der Messmarke des Auswertegerätes sein.

Der durchschnittliche Zeitaufwand für die Vorbereitung und Markierung von künstlichen Punkten für die Stereoauswertung betrug 15 Minuten pro Modell. Die Aufnahmen erhalten meistens 3 x 2 künstliche Verknüpfungspunkte in der Hauptvertikalen quer zur Flugrichtung (siehe Abb. 2) und 6 x 2 entsprechende Punkte für die Modelle.

Um die Monomessungen durchführen zu können, müssen die schon markierten künstlichen Punkte für Stereoauswertung zwischen den Bildern und Streifen übertragen werden. Der Zeitaufwand betrug pro Modell durchschnittlich 18 Min., was wirtschaftlich sehr günstig ist im Vergleich mit der Zeit, die in [1] angegeben wurde. Die Bilder erhalten im Vergleich zum Modell 6 x 3 (siehe Abb. 2) künstliche Verknüpfungspunkte.

5. Koordinatenmessungen am Komparator STK 1

Die 50 Glasdiapositive der Luftbilder wurden am WILD Stereokomparator STK 1 stereo und mono (mit binokularer Betrachtung) am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich gemessen.

Für das Einlegen der Bildpaare für Stereomessungen und Bilder für die Monomessungen in den Komparator und das Messen aller Bildpunkte und der Rahmenmarken benötigte der Operator folgende Zeiten (Tab.1):

Alle Messungen für trigonometrische Punkte, signalisierte und künstliche Übertragungspunkte und die 4 Rahmenmarken pro Modell und Bild erfolgten doppelt, und zwar nicht unmittelbar nacheinander, sondern in einem zweiten Durchgang. Die durchschnittliche Zeit pro Modell für Stereomessungen betrug 53 Min. und für die Monomesungen 72 Min. pro Bild. Die angegebene Zeit für Stereo- und Monomesungen (siehe Tab.1) erscheint günstig.

6. Transformation von Komparatorkoordinaten

Die mit dem Komparator gemessenen Bildpunkte wurden (mit einer Ähnlichkeitstransformation) in das Bildkoordinatensystem umgerechnet. Bei der Reduktion der Bildkoordinaten auf den Bildhauptpunkt wurde die Verzeichnung des Objektives und Refraktion im Rahmenmarkensystem korrigiert. In Tabelle 2 sind die mittleren Punktfehler in µm aus Doppelmessungen über alle Modelle in einem Streifen und im gesamten Block für jede Messart und jede Punktart getrennt angegeben. Die Berechnung der mittleren Punktfehler über alle Modelle des Blockes ergibt sich darum aus:

$$M_p = \pm \sqrt{m_{pxy}^2/n} \text{ µm}$$

mit n = Anzahl der Streifen und m_{pxy} = mittlerer Punktfehler in den Streifen.

Aus den Daten von Tabelle 2 lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

a) Signalisierte Punkte

Der mittlere Punktfehler zwischen Stereo- und Monomessungen unterscheidet sich sehr wenig. Eine Aussage über

eventuell systematisch unterschiedliche Verhalten der Messarten lässt sich aus der Tabelle nicht ablesen.

b) Künstliche Punkte

Die grössten mittleren Punktfehler liegen bei den Stereomessungen, weil die künstlichen Punkte nur in einem Bild markiert sind. Bei der Messung muss man die Parallaxe erst in unmittelbarer Nähe des markierten Punktes wegstellen. Nach Wegstellen der Parallaxe wird die Messmarke zum markierten künstlichen Punkt geführt und registriert.

7. Blockausgleichung

Die Berechnungen der Aerotriangulation wurden mit dem modifizierten Programm [3] nach der Bündelmethode an der CDC Rechenanlage des Rechenzentrums der ETH Zürich im Institut für Geodäsie und Photogrammetrie durchgeführt.

7.1 Durchgeführte Berechnungen

Es wurden verschiedene Blockausgleichungen für die Genauigkeitsuntersuchungen (siehe Tab. 3) mit signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten von Stereo- und Monomessungen berechnet.

Alle Bildkoordinaten wurden wegen der Objektivverzeichnung und Refraktion korrigiert.

Die Pass- und Kontrollpunktkoordinaten, die in Gauss-Krüger-Projektion (bzw. UTM-Projektion) gegeben sind, wurden in ein rechtwinklig ebenes Blockkoordinatensystem umgerechnet. Die Bildkoordinaten wurden als gleich genau und unkorreliert angenommen und haben das Gewicht 1. Die Passpunktkoordinaten wurden als zu verbesserrnde Beobachtungen nach Schmid [4] mit unterschiedlichen Gewichten berücksichtigt (siehe Tab. 3).

Streifen Nr.	Stereomessungen		Monomessungen	
	Signalisierte Punkte	Künstliche Punkte	Signalisierte Punkte	Künstliche Punkte
	in µm			
8	2.5	3.7	2.5	2.5
10	2.4	3.7	2.5	1.9
12	2.4	3.6	2.2	2.1
14	2.5	3.5	2.0	1.9
M _p	2.4	3.6	2.3	2.1

Tab.2 Mittlere Punktfehler in µm aus Doppelmessungen über alle Modelle

Versuch	Anzahl Pass-punkte	Genauigkeit der Passpunkte in Meter		Gewichte			
		Lage	Höhe	Bild. Koord.	Pass. Pt.	Kontroll Pt.	
1	103	88	0.01	1	6.25 E-08	Null	
2	2	3					
3 ¹⁾	16	26			6.25 E-10		
4 ¹⁾	5 Ketten	0.10					

¹⁾ Version 3 u. 4: Lage i = 2b, Höhe i = 2b

Tab. 3 Durchgeführte Berechnungen für Stereo- und Monomessungen mit signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten

geführt, wodurch auf den Block ein Höchstmaß an Zwang ausgeübt wird. Der grosse Unterschied zwischen dem mittleren Gewichtseinheitsfehler $\sigma_o = 4,6 \mu\text{m}$ und $4,2 \mu\text{m}$ und dem mittleren Punktfehler aus Doppelmessungen $M_p = \pm 2,4 \mu\text{m}$ (siehe Tab. 2) wird verursacht durch den Zwang von terrestrischen Passpunkten und dem systematischen Fehler im Bildmaterial. Bei Passpunktmindestbesetzung Versuch 2 (Tab. 4) wird kein Zwang durch die Passpunktkoordinaten ausgeübt, so dass sich die Ausgleichung nur auf die aus dem photogrammetrischen System resultierende Überbestimmung er-

Alle Passpunkte mit Gewicht Null nehmen an der Ausgleichung nicht teil. Sie werden als Kontroll-Vergleichspunkte behandelt und erhalten Verbesserungen.

Bei Genauigkeitsuntersuchungen ist der quadratische Mittelwert μ_{xy} bei geeigneter Kontrollpunktverteilung innerhalb des Blockes ein signifikantes Maß für die erzielte Genauigkeit im Block (siehe Tab. 5).

Die Gewichte für die Passpunkte entsprechen einer Lage- und Höhengenauigkeit für die Versuche 1, 2 und 3.

$\pm 0,01 \text{ m}$ (6,25 E-08) und für den Versuch 4 $\pm 0,10 \text{ m}$ (6,25 E-10).

Einer einzelnen Beobachtung "I" wird das Gewicht aus dem mittleren Fehler dieser Beobachtung m_I zugeordnet:

$$P_I = \frac{K}{m_I^2}$$

K = Quadrat des mittleren Punktfehlers aus Doppelmessungen

m_I = mittlere Lage- und Höhengenauigkeit der Passpunkte

Das Quadrat des mittleren Punktfehlers aus Doppelmessung wurde für beide Messarten und beide Arten von Verknüpfungspunkten mit $(2,5)^2 \mu\text{m}^2$ angenommen.

7.2 Ergebnisse der Blockausgleichung

Zur Beurteilung der erreichten Genauigkeit im Bildraum für die signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkte wurden in Tab. 4 die wichtigsten statistischen Ergebnisse dargestellt.

7.2.1 Fehlerrechnung im Bildraum

a) Signalisierte Punkte

Bei der Benützung aller 103 Lage PP und 88 Höhe PP (Versuch 1), die über das Gebiet etwa gleichmäßig verteilt sind (siehe Abb. 1), ergab sich nach der Blockausgleichung $\sigma_o = 4,6 \mu\text{m}$ für die Stereo- und $4,2 \mu\text{m}$ (Tab. 4) für die Monomessungen mit signalisierten Verknüpfungspunkten. Hier werden alle terrestrischen Punkte als Fixpunkte ein-

Versuch	Gewicht an der Pass-punkte	Stereomessungen		Monomessungen	
		Signalisierte Punkte	Künstliche Punkte	Signalisierte Punkte	Künstliche Punkte
		σ_o in μm			
1		4.6	6.0	4.2	7.0
2	6.25 E-08	2.6	4.4	2.8	6.4
3		3.5	5.4	3.3	6.8
4	6.25 E-10	2.9	4.7	3.0	6.5

Tab. 4 Mittlere Gewichtseinheitsfehler σ_o im Bildraum

Versuch	Art von Messungen	Art der Verknüpfungs-punkte	Gewicht	σ_o μm	μ_x μm	μ_y μm	μ_{xy} μm	μ_z μm	H in % hg	
3	Stereo	signalisierte	(6,25 E - 08)	3.5	16.3 5.8	19.7 7.0	13.0 6.4	39.0 13.9	0.09	
	Mono			3.3	13.1 4.7	14.3 5.1	13.7 4.9	32.9 11.8	0.08	
	Stereo	künstliche		5.4	18.2 6.5	28.0 10.0	23.6 8.4	40.8 14.3	0.09	
	Mono			6.8	15.9 5.7	21.2 7.6	18.8 6.7	40.0 14.3	0.09	
4	Stereo	signalisierte	(6,25 E - 10)	2.9	17.5 6.3	23.0 8.2	20.5 7.3	35.6 12.7	0.08	
	Mono			3.0	12.6 4.5	15.8 5.6	14.2 5.1	31.7 11.3	0.07	
	Stereo	künstliche		4.7	22.0 7.9	32.6 11.6	27.8 9.9	35.3 12.6	0.08	
	Mono			6.5	18.1 6.5	22.2 7.9	20.3 7.2	39.3 14.0	0.09	

σ_o = mittlerer Gewichtseinheitsfehler

μ_x, μ_y, μ_z = quadratische Mittelwerte der Restfehler an den Vergleichspunkten.

$$\mu_{xy} = \sqrt{(\mu_x^2 + \mu_y^2)/2}$$

Tab. 5 Lage- und Höhengenauigkeit nach Blockausgleichung mit Bündelmethode, Basis Abstand 2b = 5 km (16 Lage- und 26 Höhenpasspunkte)

streckt ($\sigma_o = 2,6 \mu\text{m}$). Aus der Tabelle 4 (Versuch 3 und 4) bei 16 Lagepasspunkten mit 2 Basislängen Abstand am Blockrand, liefert die strenge Bündelausgleichung ein $\sigma_o = 3,5 \mu\text{m}$ und $2,9 \mu\text{m}$ für die Stereomessungen mit signalisierten Punkten und veranschaulicht, dass σ_o deutlich zurückgeht. Die Werte für σ_o weisen eine deutliche Abhängigkeit von Anzahl Passpunkten, Passpunktverteilung und unterschiedlichen Gewichten für die Passpunkte (siehe Versuch 3 u. 4: Tab. 4) auf. Laut der Theorie sollte der Wert für σ_o unabhängig von terrestrischen Punkten sowie unabhängig von der Passpunktverteilung sein. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf systematische Fehler im Block.

b) Künstliche Punkte

Nach der Ausgleichung stand der grosse Wert Sigmanull von $6,0 \mu\text{m}$ und $7,0 \mu\text{m}$ (Versuch 1, Tab. 4) entgegen dem mittleren Messfehler M_p von $3,6 \mu\text{m}$ und $2,1 \mu\text{m}$ für Stereo- und Monomessungen. Die Ursache der Erhöhung von σ_o liegt in erster Linie in den Übertragungsfehlern von künstlichen Punkten für Monomessungen und der Art der Stereomessungen (siehe Kap. 6).

7.3 Absolutgenauigkeit für Lage und Höhe

Schliesslich soll noch auf die Ergebnisse der Blockausgleichung für die Versuche 3 und 4 für die beiden Arten von Messungen und Verknüpfungspunkten eingegangen werden. Die wichtigsten statistischen Daten sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Aus Tabelle 5 ist sofort ersichtlich, dass die quadratischen Mittelwerte μ_{xy} nicht mit den erreichten mittleren Gewichtseinheitsfehlern σ_o übereinstimmen. Diese Erscheinung resultiert vor allem aus verbleibenden systematischen Abweichungen des physikalischen Aufnahmevergangs vom Ausgleichungsmodell.

7.3.1 Signalisierte Verknüpfungspunkte
Vergleicht man die prozentualen Fehleranteile in bezug auf verschiedene Arten der Messverfahren, die in Tabelle 6 zusammengestellt sind, so sieht man, dass sich bei Versuch 3 der mittlere quadratische Fehler für die Lagepasspunkte um 23% und für die Höhenpasspunkte um 15% unterscheidet und eine eindeutige Genauigkeitssteigerung zu Gunsten der Monomessungen bringt.

7.3.2 Künstliche Verknüpfungspunkte
Die künstlichen Verknüpfungspunkte bringen eine Lagegenauigkeitssteigerung um 20% (Tabelle 6) für die Monomessungen, aber für die Höhengenauigkeit sind keine signifikanten Genauigkeitsunterschiede zwischen Stereo- und Monomessungen festzustellen.

Art von Messungen	Art der Verknüpfungs- punkte	Versuch 3						Versuch 4					
		Mittlerer Fehler an den Passpunkten											
		$m_X = 0.01 \text{ m}$						$m_X = 0.10 \text{ m}$					
		σ_o	Δ	μ_{xy}	Δ	H in	Δ	σ_o	Δ	μ_{xy}	Δ	H in	Δ
Stereo	Signalisierte	3.5	100	6.4	100	0.09	100	2.9	100	6.3	100	0.08	100
		3.3	94	4.9	77	0.08	89	3.0	103	5.1	81	0.07	88
Stereo	Künstliche	5.4	100	8.4	100	0.09	100	4.7	100	9.9	100	0.08	100
		6.8	126	6.7	80	0.09	100	6.5	138	7.2	73	0.09	113
Stereo	Signalisierte	3.5	100	6.4	100	0.09	100	2.9	100	6.3	100	0.08	100
		5.4	154	8.4	131	0.09	100	4.7	162	9.9	157	0.08	100
Mono	Signalisierte	3.3	100	4.9	100	0.08	100	3.0	100	5.1	100	0.07	100
		6.8	206	6.7	137	0.09	113	6.5	217	7.2	141	0.09	130

Δ in % = Differenzen zwischen Stereo- und Monomessungen für die signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkte

Tab. 6 Lage- und Höhengenauigkeit nach Blockausgleichung mit Bündelmethode und prozentuale Fehleranteile in bezug auf die verschiedene Art der Verknüpfungspunkte und der Messungen

8. Beurteilung der Ergebnisse

In bezug auf die Absolutgenauigkeit bei den Monomessungen für die beiden Arten von Verknüpfungspunkten zeigt sich eine signifikante Genauigkeitssteigerung gegenüber den Stereomessungen. Dies hängt wahrscheinlich von dem unterschiedlichen Messverfahren ab. Bei den Stereomessungen mussten die Bildkoordinaten für das gesamte Bild in beiden Bildhälften jeweils aufeinander transformiert werden, während bei den Monomessungen (mit binokularer Betrachtung) die Bildkoordinaten für das gesamte Bild in einem Zug gemessen wurden. Es ist möglich, dass dadurch gewisse systematische Effekte entstehen, die das Ergebnis verfälschen.

Die unterschiedliche Absolutgenauigkeit zwischen signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten (Versuch 3, Tab. 6) bei den Stereo- und Monomesungen könnte durch Übertragungsfehler der künstlichen Verknüpfungspunkte für die Durchführung der Monomesungen begründet werden, ebenso der relativ grosse mittlere Punktfehler (siehe Tab. 2) bei den Stereomessungen, wo die künstlichen Punkte nur in einem Bild markiert wurden.

Bemerkenswert ist ein Vergleich zwischen den Ergebnissen der Methode der unabhängigen Modelle und denen der Bündelmethode. Bei den Versuchen Oberschwaben OEEPE haben sich die Ergebnisse der Bündelmethode schlechter ergeben als die Ergebnisse mit unabhängigen Modellen [5], s. 265,

Tabelle 265.1. Diese Aussage gilt nun nicht mehr. Die Ergebnisse der Bündelmethode (Tab. 5), verglichen mit Ergebnissen in [5], S. 265, Tabelle 265.2 mit signalisierten Verknüpfungspunkten sind für die Lagegenauigkeit im Durchschnitt um etwa 30% und mit künstlichen Verknüpfungspunkten um 10% genauer.

Literatur

- [1] Albertz, J., Kreiling, W., Wiesel, J.: Weitere Untersuchungen zur Blocktriangulation ohne Punktübertragung. Presented Paper Comm. III, ISP, Helsinki 1976
- [2] Parsic, Z.: Untersuchungen über den Einfluss signalisierter und künstlicher Verknüpfungspunkte auf die Genauigkeit einer Blocktriangulation. VPK 10/78
- [3] Schenk, T.: Fortran-Programme zur analytischen Blockausgleichung nach der Bündelmethode. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETHZ, Computerprogramme Nr. 2, Dezember 1972
- [4] Schmid, H.H.: Eine allgemeine analytische Lösung für die Aufgabe der Photogrammetrie. BUL, 1958
- [5] Schwidetsky, K., Ackermann, F.: Photogrammetrie, 7. Auflage 1976

Adresse des Verfassers:
Z. Parsic, Dipl. Ing.,
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie,
ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich

Bitte Manuskripte im
Doppel einsenden