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: 86 (1988)

Heft: 7: Prof. Rudolf Conzett in memoriam

Artikel: Genauigkeitsuntersuchungen zur Bündelblocktriangulation mit Selbstkalibrierung ohne Passpunkte

Autor: Grün, A. / Runge, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-233768

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: 09.12.2025

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

Genauigkeitsuntersuchungen zur Bündelblocktriangulation mit Selbstkalibrierung ohne Passpunkte

A. Grün, A. Runge

Die Punktbestimmung mit photogrammetrischen Methoden hat eine hohe Leistungsfähigkeit erreicht. Voraussetzung hierfür ist die Verwendung des funktionalen Modells der Bündelmethode mit Selbstkalibrierung zur wirksamen Erfassung von systematischen Bildfehlern sowie eine ausreichend grosse Anzahl von Passpunkten. Entwicklungen im Bereich der Satellitengeodäsie werden in Zukunft die Bestimmung der Aufnahmeposition mit genügender Genauigkeit während der Befliegung möglich machen. Durch die Einführung dieser Messungen kann die Anzahl notwendiger Passpunkte wesentlich verringert werden.
In Pilotprojekten wurden im dynamischen Modus bereits GPS-Genauigkeiten erreicht, die für photogrammetrische Blöcke mittlerer und kleiner Bildmassstäbe von Interesse sind.
Aus den vorliegenden Untersuchungen ergeben sich in Blöcken ohne jegliche Passpunkte Genauigkeiten im Dezimeterbereich, wenn die Lage der Projektionszentren mit gleicher Genauigkeit ermittelt wird. Für geringere Genauigkeitsanforderungen dürfen die GPS-Messungen schlechter sein als die erwarteten Objektpunktgenauigkeiten.
Diese Betrachtungsweise setzt allerdings nur zufällige photogrammetrische Messfehler voraus. Aber auch in passpunktlosen GPS-gestützten Blöcken sind systematische Fehler mit dem Verfahren der Selbstkalibrierung sehr wirtschaftlich und zuverlässig zu kompensieren.

La détermination de points par les méthodes photogrammétriques a atteint une haute productivité. Celle-ci a pour condition l'utilisation de la méthode des faisceaux avec autocalibration permettant une saisie efficace des erreurs systématiques ainsi qu'un assez grand nombre de points de contrôle. Le développement de la géodésie par satellites offrira bientôt la possibilité de déterminer la position de la caméra au cour du vol avec une haute précision. En utilisant ces résultats, le nombre de points de contrôle peut être considérablement réduit.
Dans certains projets pilote utilisant le GPS en mode dynamique, on a déjà atteint des précisions intéressantes pour des blocs de moyenne et de petite échelle d'image.
Les investigations démontrent que des précisions de l'ordre du décimètre peuvent être atteintes sans points de contrôle, si les positions des centres de projection sont déterminées avec cette même précision. Pour des exigences moindres la précision des mesures de GPS peut être moins bonne que celle requise pour les points objet. Ces considérations présupposent qu'il n'y a que des erreurs aléatoires. En utilisant les observations de GPS il est même possible de compenser les erreurs systématiques d'une manière efficace et fiable avec la méthode de l'autocalibration dans des blocs sans points de contrôle.

1. Einleitung

Die photogrammetrische Punktbestimmung hat einen hohen Standard erreicht. Voraussetzung dafür ist die Verwendung des mathematischen Modells der Zentralprojektion in Verbindung mit zusätzlichen Parametern zur Erfassung von systematischen Bildfehlern. Optimale Genauigkeiten für die ausgeglichenen Objektkoordinaten bei gleichzeitig noch vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand ergeben sich bei 60% Längs- und Querüberdeckung für Passpunktverteilungen mit einer Überbrückungsdistanz von zwei bis vier Basiseinheiten längs der Blockbegrenzung und einem Höhenpasspunktgitter im Blockinnern.

Schon bei kleinen Blöcken kann die geodätische Passpunktbestimmung und photogrammetrische Signalisierung leicht einen Grossteil des gesamten Projekts ausmachen. Bei grösseren Blöcken kommt oft hinzu, dass die Koordinaten aus unterschiedlichen Netzausgleichungen stammen und somit nicht immer konsistent sind. Ausserdem hat man meist keine näheren Angaben über die durchgeführten Berechnungen, die (wenn überhaupt) angesetzte Grenze bei der Suche nach groben Fehlern und über die Genauigkeit der Passpunktkoordinaten. Dies sind Probleme, die die Möglichkeiten der photogrammetrischen Punktbestimmung heute noch einschränken, obgleich in vielen theoretischen Untersuchungen und praktischen Projekten [Grün 1986; Grün, Runge 1987] ihre Effizienz bei richtiger Anwendung nachgewiesen worden ist.

Entwicklungen im Bereich der Punktbestimmung mit Satellitenmethoden weisen in letzter Zeit darauf hin, dass diese Verfahren auch in der Photogrammetrie zur Bestimmung der Aufnahmeposition während der Aufnahme eingesetzt werden können. Die Messungen bestehen aus Signalen im Megahertzbereich, die von Satelliten des NAVSTAR/Global Positioning System (GPS) ausgesandt werden. Nach ersten Ergebnissen [Mader, Carter, Douglas 1986] mit einem Empfänger im Flugzeug und einem zweiten am Boden können Genauigkeiten von besser als einem Dezimeter für die Aufnahmeposition erwartet werden.

Schon in früheren Arbeiten [Ebner, Krack, Schubert 1977] wurden der Einfluss der Parameter Blockgrösse, Überdeckung, Passpunktanordnung auf die Genauigkeit der Objektpunktkoordinaten untersucht

		SYBLOCK	HEINZENBERG
Punktanordnung		regelmässig	unregelmässig
Höhenunterschiede	im Modell	ebenes Gelände	bis 1000 m
	im Block	ebenes Gelände	bis 1500 m
Kammerkonstante		150 mm	153,18 mm
Blockgrösse		48 km × 48 km	5,5 km × 5,5 km
Anzahl Objektpunkte	im Modell	6	13 bis 18
	im Block	99 (81)	131 (105)
Bildmassstabszahl		60 000	15 000
Längs-, Querüberdeckung		60% / 60%	60% / 60%
Anzahl Bilder		81	25

Tab. 1: Blockparameter

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich, Separata Nr. 125.

und Genauigkeitsmodelle daraus abgeleitet.
In der vorliegenden Arbeit wird das Genauigkeitsverhalten der Bündelblocktriangulation bei Benutzung von (gemessenen) Daten der äusseren Orientierung in Abhängigkeit von verschiedenen Projektparametern untersucht. Als Genauigkeitsmasse werden die quadratischen Mittelwerte σ_x, σ_y, σ_z der theoretischen Standardabweichungen, die sich aus der Inversen der Normalgleichungsmatrix ergeben, verwendet. Weiterhin wird überprüft, ob bei einer Reduzierung der Anzahl der Passpunkte die Methode der Selbstkalibrierung eingesetzt werden kann.
Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass schon bei Genauigkeiten der Koordinaten der Projektionszentren im Dezimeterbereich für Auswertungen kleiner und mittlerer Massstäbe nur noch wenige Passpunkte für die photogrammetrische Auswertung notwendig sind. Diese wenigen Passpunkte werden vor allem für die Transformation ins Landeskoordinatensystem, bzw. für die genaue Rekonstruktion der inneren Orientierung der Aufnahmekammer benötigt. Die Untersuchungen des Genauigkeitsverhaltens der zusätzlichen Parameter weisen darauf hin, dass die Methode der Selbstkalibrierung auch in GPS-gestützten, passpunktlosen Blökken eingesetzt werden kann, um systematische Bildfehler wirksam zu erfassen.

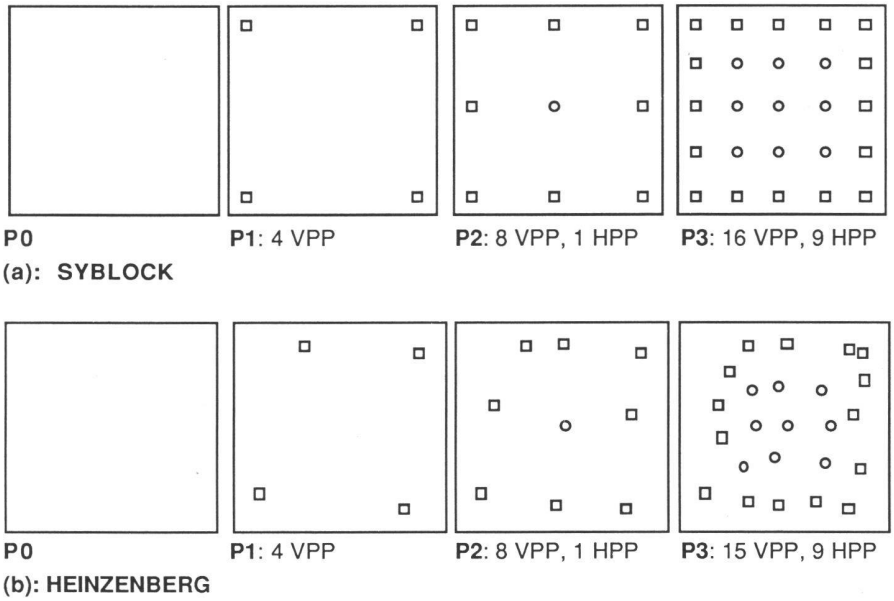


Abb. 1: Passpunktanordnungen
P0, ..., P3 = Passpunktversionen
VPP = Vollpasspunkt
HPP = Höhenpasspunkt

Version	SYBLOCK $\sigma_{Position}$	SYBLOCK $\sigma_{Orientierung}$	HEINZENBERG $\sigma_{Position}$	HEINZENBERG $\sigma_{Orientierung}$
A1	0	0	0	0
A2	0,1	7,1	0,045	12,7
A3	0,5	35,4	0,1	28,3
A4	1,0	71,0	0,25	71,0
A5	10,0	710,0	0,5	142,0
A6	∞	∞	1,0	283,0
A7			∞	∞

Tab. 2: Genauigkeit der Elemente der äusseren Orientierung in [m], [cc]

2. Datenmaterial und durchgeführte Untersuchungen

Als Grundlage der Untersuchungen dienten die Messungen des Blocks HEINZENBERG [vgl. Grün, Runge 1987] und die Bildkoordinaten eines synthetischen Blocks («SYBLOCK»). Tab. 1 gibt die entsprechenden Blockparameter wieder.

In Abb. 1 sind die verwendeten Passpunktversionen dargestellt. Die Passpunktanordnungen der Version P3 beziehen sich auf eine Überbrückungsdistanz von 2 Basiseinheiten.

Die Elemente der äusseren Orientierung werden als fingierte Messungen eingeführt. Aus den angenommenen mittleren Fehlern der Position wird die Genauigkeit der Orientierungswinkel abgeleitet.

$$\sigma_{Orientierung} = \frac{\sigma_{Position}}{h_g} = \frac{\sigma_{Position}}{c\, m_b}; \quad m_b = \text{Bildmassstabszahl}, \quad h_g = \text{Flughöhe über Grund}$$

Die Bildkoordinaten werden als unkorreliert betrachtet und erhalten für die Berechnungen das a priori-Gewicht 1 und die Standardabweichung 3μm, woraus sich über die angenommenen mittleren Fehler der Passpunktkoordinaten und der Elemente der äusseren Orientierung deren Rechengewichte ergeben.
Zur Untersuchung der zusätzlichen Parameter wird der Ansatz von Ebner [1976] mit 12 orthogonalen Parametern gewählt:

$$\Delta x = b_1 x + b_2 y - 2 b_3 k + b_4 xy + b_5 l + b_7 lx + b_9 ky + b_{11} kl$$

$$\Delta y = -b_1 y + b_2 x + b_3 xy - 2 b_4 l + b_6 k + b_8 ky + b_{10} lx + b_{12} kl$$

mit

$$k = x^2 - \frac{2}{3} b^2 \quad , \quad l = y^2 - \frac{2}{3} b^2$$

Die zusätzlichen Parameter werden als freie Unbekannte eingeführt.
Für die durchgeführten Berechnungen wird das Normalgleichungssystem jeweils

aufgestellt und komplett invertiert. Als Genauigkeitsmasse werden anschliessend die quadratischen Mittelwerte σ_{xy} aus σ_x und σ_y, sowie σ_z aus allen Punkten innerhalb des Blockperimeters abgeleitet und mit der entsprechenden Bildmassstabszahl und einem Sigma a-posteriori von 3μm in den Bildraum umgerechnet. Verknüpfungspunkte am Rand des Blocks (ausserhalb des Perimeters) gehen dabei nicht mit in die Rechnung ein, so dass beim Block HEINZENBERG 105 und bei SYBLOCK 81 Punkte für die Mittelwertberechnung verbleiben.

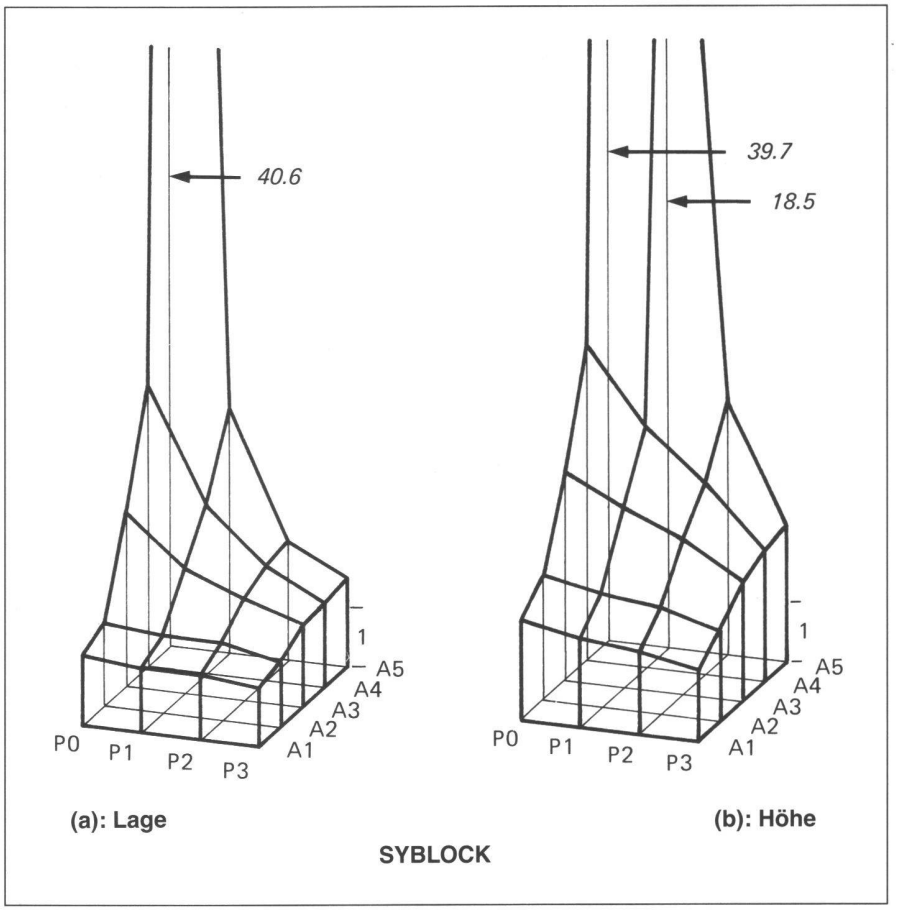
3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen werden nach zwei Kriterien unterteilt wiedergegeben. Erstens wird die Genauigkeit der Objektpunktkoordinaten und zweitens die Genauigkeit der zusätzlichen Parameter in Abhängigkeit von der Genauigkeit der Elemente der äusseren Orientierung und der Passpunktverteilung, jeweils für den Block HEINZENBERG und SYBLOCK, erläutert.

Wegen der Fülle der Ergebnisse wird eine dreidimensionale dimetrische Darstellung mit den unterschiedlichen Genauigkeiten der Elemente der äusseren Orientierung (A1, ..., A7) auf der einen Achse und den Passpunktverteilungen (P3, ..., P0) bzw. den zusätzlichen Parametern (1, ..., 12) auf der anderen Achse gewählt. Die durchschnittlichen mittleren Fehler sind als «Höhen» aufgetragen.

Abb. 2 gibt die theoretischen Genauigkeitsmasse σ_{xy} und σ_z im Bildraum bezogen auf ein Sigma a-posteriori von 3 μm für den Block HEINZENBERG und SYBLOCK wieder. Deutlich ist zu erkennen, wie die Fehler bei keinen, bzw. sehr wenigen Passpunkten (Versionen P0, P1) und ungenauer äusserer Orientierung (Versionen A5, A6) sehr stark anwachsen. Zufriedenstellende Ergebnisse ergeben sich für dichtere Passpunktverteilungen mit einer Überbrückungsdistanz von 2 bis 4 Basiseinheiten (Versionen P2, P3) auch ohne Zusatzdaten. Dies entspricht den bisher in der Praxis empfohlenen und anerkannten Auswerteformen. Reduziert man die Passpunktanzahl (Version P0, P1), so muss die Genauigkeit der äusseren Orientierung erhöht werden, um keinen Genauigkeitsverlust zu erleiden.

Ein Beispiel soll dies erläutern: Eine Auswertung nur mit 8 Vollpasspunkten und 1 Höhenpasspunkt (Version P2) bei SYBLOCK ergibt einen zu erwartenden mittleren Lagefehler von 2μm (Abb. 2 [a]). Dasselbe Ergebnis kann ohne Passpunkte (Version P0) und mit gemessenen Elementen der äusseren Orientierung mit den mittleren Fehlern der Versionen A2 bis A3 erreicht werden.



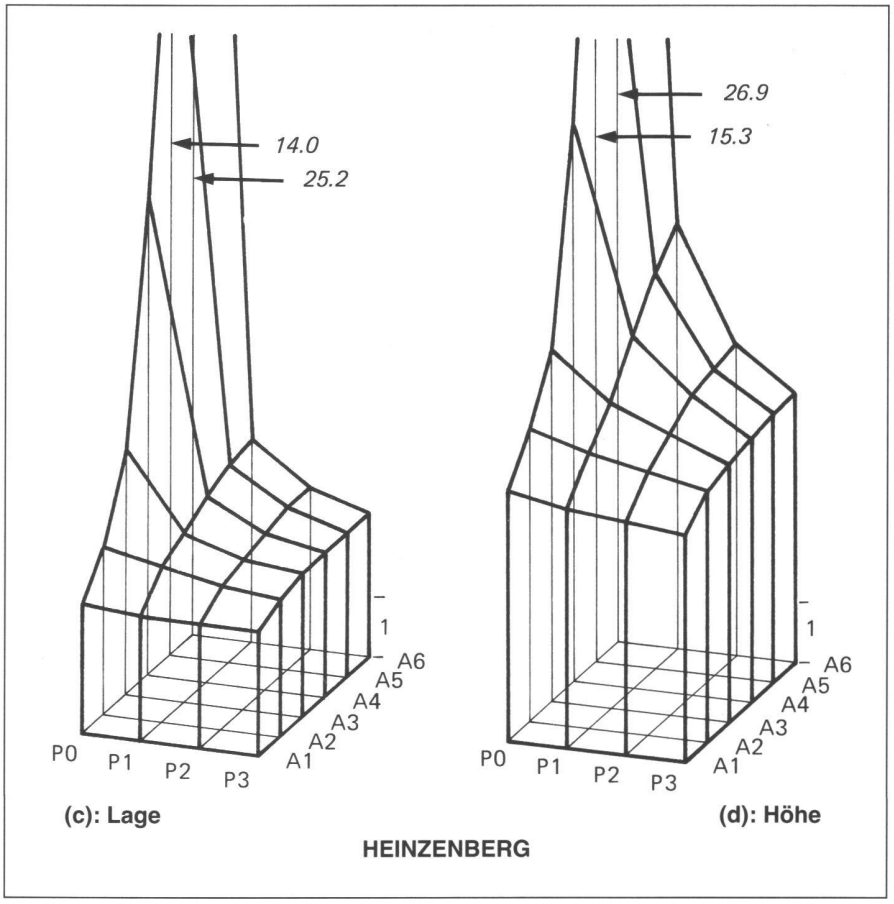


Abb. 2: Durchschnittliche mittlere Fehler im Bildraum in Mikrometer, dargestellt in Abhängigkeit von Passpunktdichte (P0, ..., P3) und Genauigkeit der Daten der äusseren Orientierung (A1, ..., A6).

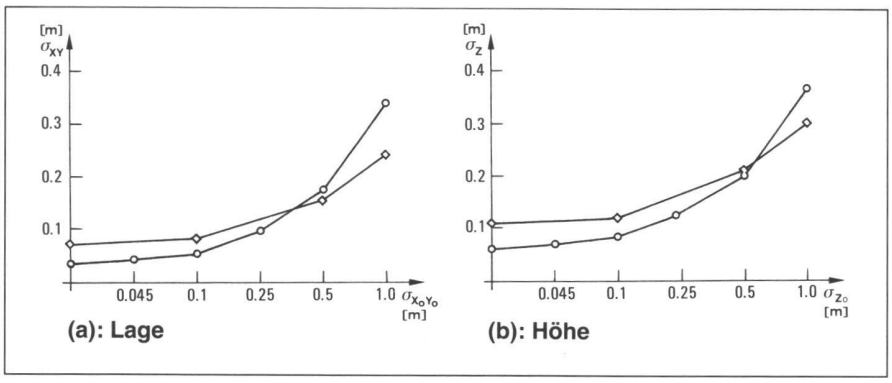


Abb. 3: Durchschnittliche mittlere Fehler im Objektraum (Version P0)
○ HEINZENBERG
◇ SYBLOCK

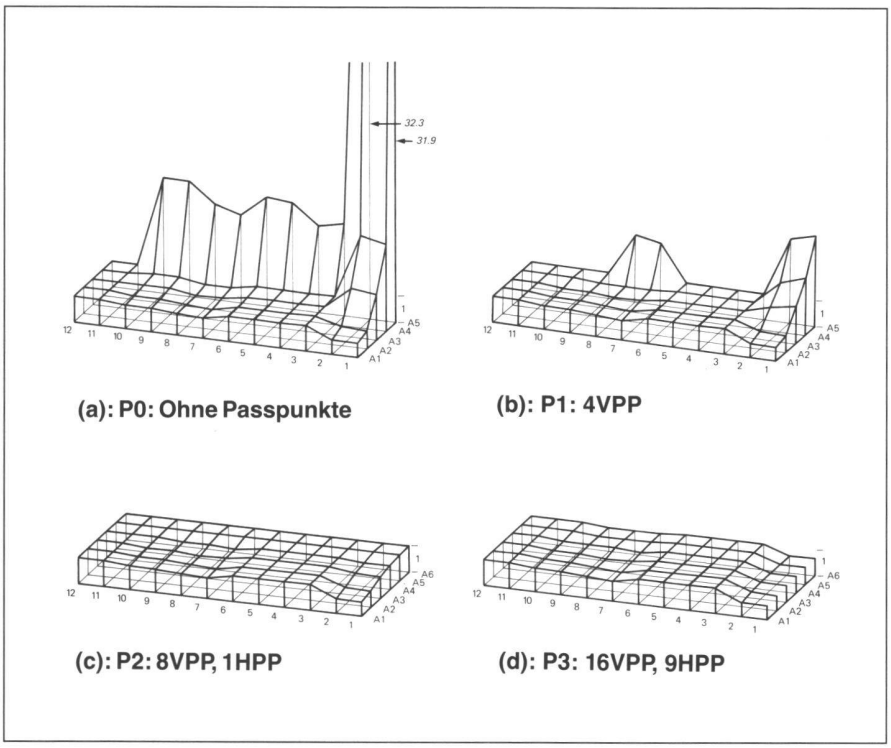


Abb. 4: SYBLOCK. Relative mittlere Fehler der zusätzlichen Parameter.

Die Erfüllung dieser Genauigkeitsanforderungen von ±0,1 m bis ±0,5 m für die Position wurde, wie schon zu Beginn erwähnt, in Pilotprojekten bereits erreicht, so dass man in dieser Richtung optimistisch sein kann. Die erforderliche Genauigkeit der Orientierungswinkelbestimmung bereitet allerdings noch grosse Schwierigkeiten und ist mit hohen Kosten verbunden, so dass die Winkel auch weiterhin als Unbekannte betrachtet werden müssen. Berechnungen zeigen aber, bei Verzicht auf die Beobachtung der Orientierungswinkel, dass sich die Ergebnisse nur um weniger als den Faktor 1.5 verschlechtern und somit in vertretbarem Rahmen bleiben.

Für die Ergebnisse aus dem Datenmaterial des Projekts HEINZENBERG (Abb. 2: [c], [d]) können generell die gleichen Aussagen wie bei SYBLOCK gemacht werden. Unter geringen Genauigkeitseinbussen kann auf Passpunkte verzichtet werden, wenn die Aufnahmeposition genügend genau bekannt ist.

In Abb. 3 sind σ_{XY} und σ_Z der Objektpunkte berechnet aus einem Sigma a-posteriori von 3μm bei vollständigem Verzicht auf Passpunkte in Abhängigkeit von der Genauigkeit der äusseren Orientierung ($\sigma_{X_oY_o}$ und σ_{Z_o}) aufgetragen.

Bisher sind photogrammetrisch mit dichter Passpunktverteilung bei SYBLOCK etwa ±0,10 m Lage- und ±0,14 m Höhengenauigkeit zu erwarten. Diese Ergebnisse sind ohne Passpunkte (noch) nicht erreichbar, aber ±0,10 m Genauigkeit der Elemente der äusseren Orientierung ergeben bereits Dezimetergenauigkeit im Objektraum.

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die Genauigkeit der zusätzlichen Parameter des orthogonalen 12-Parameter Ansatzes in Abhängigkeit von verschiedenen Rechenversionen. Dargestellt sind die relativen mittleren Fehler der einzelnen Parameter (1, ..., 12) zu einer Referenzversion bei unterschiedlicher Genauigkeit der äusseren Orientierung (A1, ..., A6, A7) und bei unterschiedlichen Passpunktverteilungen (P0, ..., P3). Die Referenzversion entspricht einer Passpunktverteilung mit einer Überbrückungsdistanz von etwa 4 Basiseinheiten (Version P2) ohne gemessene äussere Orientierung. Auf diese Referenzversion werden alle mittleren Fehler der zusätzlichen Parameter bezogen.

Die Ergebnisse für den Block HEINZENBERG und SYBLOCK unterscheiden sich nur geringfügig, daher wird im folgenden nicht weiter zwischen beiden unterschieden. Betrachtet man die Ergebnisse für die dichtere Passpunktverteilung (Abb. 4, 5: [d]), so ergeben sich für die mittleren Fehler aller zusätzlichen Parameter keine wesentlichen Verbesserungen gegenüber der Referenzversion. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Wahl der Referenzversion für eine Auswertung der beiden Blöcke angemessen ist. Für die Versionen mit dünnerer Passpunktverteilung (Abb. 4, 5: [a], [b]) ergeben sich nur dann deutliche Änderungen der mittleren Fehler der zusätzlichen Parameter, wenn die äussere Orientierung schwach bestimmt ist und keine Passpunkte eingeführt werden (Abb. 4, 5: [a] A4 bis A7). Setzt man eine Toleranzgrenze von 3 für die Verschlechterung der mittleren Fehler der zusätzlichen Parameter an, so muss bei einer Auswertung ohne Passpunkte die äussere Orientierung mit einem mittleren Fehler entsprechend der Version A2 und A3 gemessen worden sein. Dies Ergebnis besagt, dass auch bei passpunktlosen Blöcken die zusätzlichen Parameter weiter bestimmbar bleiben und dass somit die Methode der Bündellösung mit Selbstkalibrierung weiterhin zur Erfassung systematischer Bildfehler angewandt werden kann.

Literatur:

Ebner, H. 1976: Self calibrating block adjustment. Int. Arch. Phot., Vol. XXI, Part 3, Invited Paper, Komm. III, ISP Kongress, Helsinki.

Ebner, H., Krack, K., Schubert, E. 1977: Genauigkeitsmodelle für die Bündelblocktriangulation. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 5, S. 141–148.

Grün, A. 1986: Projekt «Uster» – ein Beispiel photogrammetrischer Punktbestimmung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Heft 4, S. 136–142.

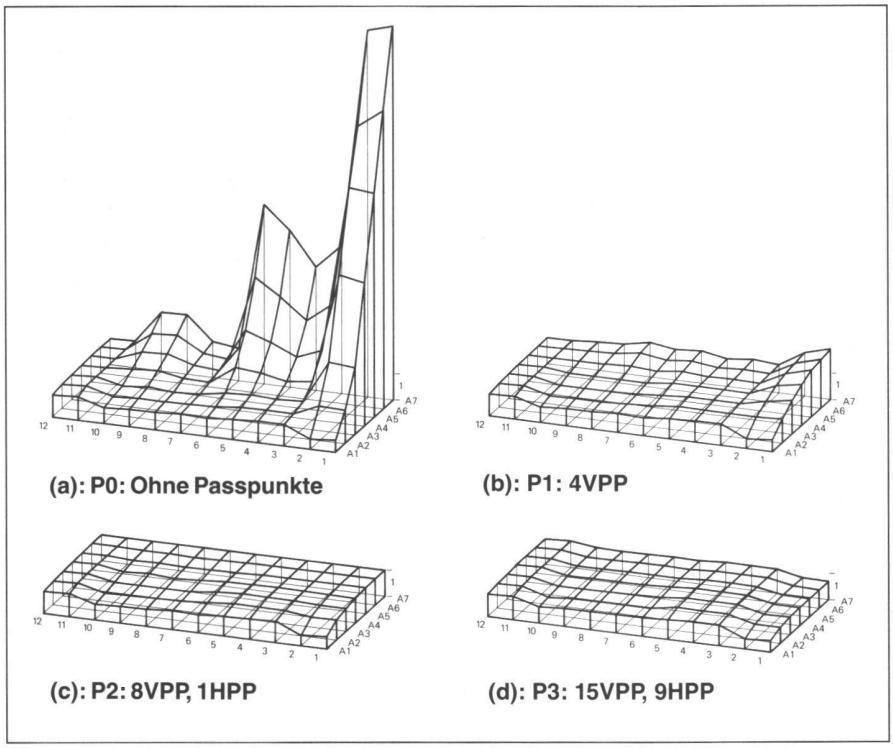


Abb. 5: HEINZENBERG. Relative mittlere Fehler der zusätzlichen Parameter.

Grün, A., Runge, A. 1987: Projekt «Heinzenberg» – Präzisionsphotogrammetrie im Gebirge. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Heft 7, S. 271–276.

Mader, G. L., Carter, W. E., Douglas, B. C. 1986: Decimeter Precision Aircraft Positioning Using GPS Carrier Phase Measurements. Geodetic Research and Development Laboratory, Rockville U.S.A.

Friess, P. 1986: A Simulation Study on the Improvement of Aerial Triangulation by Navigation Data, Proceedings of the Symposium FROM ANALYTICAL TO DIGITAL, Rovaniemi, ISPRS Comm. III, Volume 26, Part 3/1, S. 269–283.

Friess, P. 1987: The Navstar Global Positioning System for Aerial Triangulation. Proceedings of the 41st Photogrammetric Week at Stuttgart University, Heft 12, S. 33–45.

Adresse der Verfasser:
Prof. Dr. A. Grün
A. Runge, Dipl.-Ing.
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich

Konfidenzintervalle der Bayes-Statistik für die Varianzen von Streckenmessungen auf Eichlinien

K.R. Koch

Konfidenzintervalle der Bayes-Statistik werden für die Varianzen von Messungen elektro-optischer Entfernungsmessgeräte auf Eichlinien berechnet. Die Varianz einer Messung wird durch eine Varianzkomponente für den konstanten Anteil der Varianz und eine Varianzkomponente für den entfernungsabhängigen Anteil dargestellt. Mit Hilfe der posteriori Verteilung der Varianzkomponenten, die aus dem Bayes Theorem folgt, erhält man die Randverteilung der Varianz einer Messung als Funktion der Varianzkomponenten. Mit der Randverteilung werden dann durch numerische Integration für die Varianzen der Messungen auf Eichlinien Konfidenzintervalle der Bayes-Statistik berechnet, die als HPD-Intervalle, also als Intervalle höchster posteriori Dichte definiert sind.

Les intervalles de confiance du test de Bayes s'appliquant aux variances des mesures de distancemètres électro-optiques sont estimées sur des lignes d'étalonnage. La variance d'une mesure donnée est représentée par une composante de valeur constante et par une autre dépendant de l'éloignement. En s'aidant de la distribution à postériori des variances, tirée du théorème de Bayes, on obtient la fonction de distribution marginale de la variance d'une mesure, partant des deux composantes sus-nommées. Cette distribution marginale permet alors le calcul, par intégration numérique, d'intervalles de confiance du test de Bayes pour les variances des mesures effectuées sur les lignes d'étalonnage, intervalles dont la propriété est d'avoir une densité à postériori maximale.

1. Aufgabenstellung

Bei der Kalibrierung eines Streckenmessgerätes auf Eichlinien soll nicht nur festgestellt werden, ob das zu eichende Gerät eine Additionskonstante aufweist, ob es eine entfernungsabhängige Additionskorrektion oder einen zyklischen Phasenfehler besitzt, man möchte auch die Genauigkeit des Streckenmessgerätes ermitteln. Folgt man bei der Auswertung von Strekkenmessungen auf Eichlinien dem Vorschlag bei [Koch, 1987a], dann werden die Entfernungsmessungen auf den Eichlinien eines Gerätes, das den Massstab liefert, zusammen mit den Messungen auf den Eichlinien eines zu eichenden Gerätes ausgewertet. Eine Varianzkomponentenschätzung liefert die Varianz der Strekkenmessungen des zu eichenden Gerätes sowie die des Gerätes zur Massstabsbestimmung und damit die Genauigkeit der Geräte. Die Varianz lässt sich in einen konstanten und einen entfernungsabhängigen Anteil mit dem Ansatz zerlegen

$$\sigma_s^2 = \sigma_c^2 + \sigma_l^2 s^e \qquad (1.1)$$

worin σ^2_s die Varianz der gemessenen Strecke der Länge s bedeutet, σ^2_c die Varianzkomponente für den konstanten Anteil, σ^2_l die Varianzkomponente für den län-