

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:	76 (1978)
Heft:	10: 50 Jahre Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie (SGP) = 50e anniversaire de la Société suisse de photogrammétrie (SSP)
Artikel:	Untersuchungen über den Einfluss signalisierter und künstlicher Verknüpfungspunkte auf die Genauigkeit einer Blocktriangulation
Autor:	Parši, Z.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-229234

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: 22.01.2026

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

Untersuchungen über den Einfluss signalisierter und künstlicher Verknüpfungspunkte auf die Genauigkeit einer Blocktriangulation

Z. Paršić

1. Einleitung

Das Ziel der empirischen Untersuchung des Blocks Zürich ist, eine Antwort auf die Frage zu finden, wie sich die Genauigkeit einer Aerotriangulation verhält, wenn die Verknüpfungspunkte mit einem Punktübertragungsgerät markiert werden im Vergleich zu signalisierten Verknüpfungspunkten.

In ihren Resolutionen haben die Kommission III (während des Lausanner Kongresses 1968 [1]) und die International Society of Photogrammetry 1974 in Stuttgart [2] dieses Problem zur Untersuchung vorgeschlagen. Laut Bericht des Präsidenten der Kommission III von 1972 bis 1976 [3] beschäftigen sich nur wenige Studien mit dem Problem der Punktübertragung.

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.

Signalisierte Verknüpfungspunkte müssen in den Übertragungsgebieten zwischen benachbarten Streifen liegen, was höhere Anforderungen an die Flugnavigation stellt. Durch Signalisierung von Verknüpfungspunkten wird zwar höchste Genauigkeit erzielt, aber der Arbeitsaufwand und die Kosten sind dementsprechend hoch.

Wer bei Versuchen mit signalisierten Verknüpfungspunkten arbeitet, muss beachten, dass die Grösse der Signale zum jeweiligen Bildmassstab passt. Wird ein Gebiet in verschiedenen Bildmassstäben beflogen, so müssen folglich auch die Signale jeweils verschieden gross sein, sonst kann man am Ende kaum sagen, wo ein eventueller Genauigkeitsunterschied herriehrt. Topographische Verknüpfungspunkte sollen in den Aufnahmen deutlich identifizierbar, sehr klein, aber erkennbar sein. Die topographischen Punkte müssen mit Hilfe von Skizzen, Beschreibungen und Markierungen auf den Aufnahmen bezeichnet werden. Der Arbeitsaufwand durch Skizzen und Beschreibungen darf bei grossen Blöcken nicht unterschätzt werden.

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 den topographischen Punkten.

Um die Markierung und Übertragung von künstlichen

Punkten zu erleichtern, hat die Industrie verschiedene Geräte unterschiedlicher Konstruktion entwickelt. Die sogenannten Punktübertragungsgeräte sind:

- Punktübertragungsgerät der Firma Carl Zeiss, Oberkochen; mechanische Markierung durch Stahlkugel;
- Punktübertragungsgerät Transmark der Firma Carl Zeiss, Jena; Markierung durch Laserstrahl;
- Stereo-Point Marking-Instrument Variscale der Firma Bausch and Lomb, Rochester, USA; Markierung durch Wärmestempel;
- Punktübertragungsgerät PUG IV, Firma Wild AG, Heerbrugg; mechanische Markierung durch sich drehende Stichel.

Die Markierung von künstlichen Punkten soll scharf und gleichmässig sein. Emulsionsrückstände am Rande des Punktes deformieren oftmals nachträglich die ursprüngliche Form des künstlichen Punktes. Durch die Verschmutzung der Punktränder wird die Punktform unregelmässig verkleinert, und bei den Messungen wird das Zentrum des Punktes nicht genau erfasst, wodurch Störungen beim stereoskopischen Effekt eintreten.

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

Markierte Punkte sind besonders wichtig für die absolute Orientierung von Modellen bei der photogrammetrischen Kartierung sowie für die Entzerrung als Einpasspunkte.

Für die stereoskopischen Messungen eines Streifens im Analoggerät oder Stereokomparator genügen Markierungen von künstlichen Punkten lediglich in den Hauptvertikalen der Bilder quer zur Flugrichtung.

Bei der Verknüpfung von Streifen zu einem Block werden die künstlichen Punkte in die Nachbarstreifen stereoskopisch übertragen oder gleichzeitig nach Wegstellung von Vertikalparallaxen markiert.

3. Der OEEPE-Versuch Oberschwaben*

Die Kommission A/B Aerotriangulation der OEEPE (Organisation Européenne d'Etudes Photogrammétriques Expérimentales) hat zur Überprüfung der Genauigkeitshypothesen der Aerotriangulation ein Testfeld eingerichtet.

* Die Verwendung des Materials erfolgte im Einverständnis mit Prof. P. Wiser:

«Le Matériel photographique et les données topographiques d'appui et de contrôle utilisés dans cette étude ont été fournis par l'OEEPE, sur avis favorable de la Commission d'Aerotriangulation. Conformément aux règlements de l'OEEPE, ce travail indépendant est à classer dans la catégorie «Recherches spéciales» et n'engage pas la responsabilité de l'organisation.»

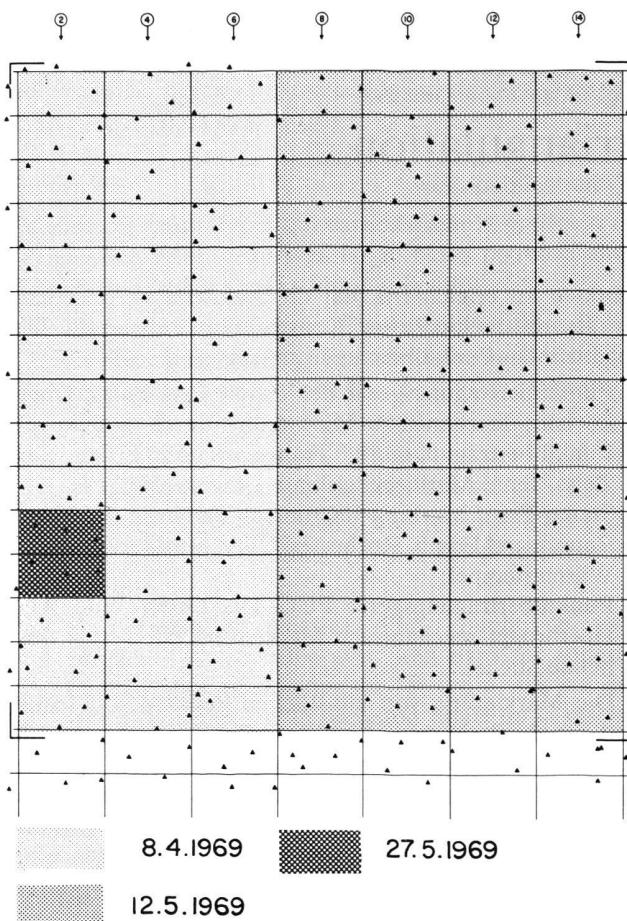


Abb. 1 Block Zürich. Flugdatum der Streifen

tet. Es liegt in Süddeutschland zwischen Donau und Bodensee und hat eine Ausdehnung von 40×62.5 km. Über den Aerotriangulationsversuch wurde bereits ausführlich in [7] berichtet.

Das 2700 km² grosse «Testfeld Oberschwaben» wurde im Frühjahr 1969 mit einer Weitwinkelkammer 15/23 und einer Überweitwinkelkammer 8.5/23 (beide Zeiss RMK) mit 60 % Längs- und Querüberdeckung aufgenommen. Dazu wurden mit den beiden Kammern 15 Streifen mit je 26 Aufnahmen parallel zu den Nord-Süd-Gitterlinien des Gaus-Krüger-Koordinatensystems geflogen. Die Aufnahmen über dem Testfeld wurden gezielt geflogen und erfolgten an insgesamt 5 Flugtagen.

Vor und nach den Bildflügen in Oberschwaben wurde zur Kontrolle des Funktions- und Kalibrationszustandes der Kammer das Testfeld Rheidt des Institutes für Photogrammetrie der Universität Bonn mehrfach aufgenommen.

Die Pass- und Kontrollpunkte, deren Koordinaten (Lage und Höhe) bekannt sind, wurden mit Signalscheiben der Grösse 80×80 cm² vermarktet. Es wurden über 500 trigonometrische Punkte signalisiert. Verknüpfungspunkte zwischen benachbarten Modellen wurden im Gelände mit Signalscheiben von 60×60 cm² signalisiert. Aus Sicherheitsgründen wurde jeder dieser Punkte mit 2 Scheiben im Abstand von rund 30 m (entspricht ca. 1 mm im Bildmassstab) luftsichtbar gemacht.

Mit dem Programm PAT-M 43 sind verschiedene Blockausgleichungen durchgeführt worden. Die Ergebnisse wurden in [4] publiziert.

4. Untersuchungsmaterial

Der untersuchte Block Zürich umfasst einen annähernd quadratischen Abschnitt des Nordteils des Blockes Oberschwaben 35×35 km², 7 Streifen mit geraden Streifennummern (2 bis 14) (Abb. 1).

Die Kommission A/B der OEEPE stellte durch das Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt, und das Laboratoire de Photogrammétrie de l'Université de Liège das Aufnahmematerial freundlicherweise zur Verfügung.

Die Aufnahmedaten sind folgende:

Weitwinkelkammer	RMK A Zeiss
Objektiv	Pleogon A2, Nr. 111 680
Kammerkonstante	c = 153.20 mm
Format	23 × 23 cm ²
Flugdisposition	7 Streifen mit je 16 Aufnahmen (105 Modelle)
Überdeckungsverhältnisse	60 % Längs- und 20 % Querüberdeckung
Bildmassstab	1:28 000
Emulsionsträger	Film Agfa-Gevaert Aviophot Pan 30 PE oder Kodak Plus-X Typ 2401 (Estar) Diapositivplatten
Auswertematerial	

5. Voraussetzungen für den Vergleich zwischen künstlichen und signalisierten Verknüpfungspunkten

Um alle störenden Einflüsse auszuschalten, die einen Vergleich zwischen künstlichen und signalisierten Verknüpfungspunkten erschweren würden, müssen folgende Forderungen erfüllt werden:

- gleiches Aufnahmematerial
- geschulter Operateur des Punktübertragungsgerätes, der zugleich auch die Koordinatenmessung ausführen sollte
- Anordnung der künstlichen Punkte in der Nähe von signalisierten Punkten
- gleiche Umweltsbedingungen bei den Messungen von künstlichen und signalisierten Pass- und Kontrollpunkten
- gleiche Anordnung der Pass- und Kontrollpunkte bei den einzelnen Versuchen
- gleiche Voraussetzungen bei der Durchführung der Blockausgleichung (Verfahren, Programm und Konstanten).

6. Vorbereitung und Markierung mit Punktübertragungsgerät PUG 4 Wild

Alle 105 Modelle wurden vom Verfasser am PUG 4 der Firma Wild in Heerbrugg vorbereitet. An dieser Stelle möchte ich der Firma Wild Heerbrugg AG für die Bereitstellung des Punktübertragungsgerätes danken.

Wie erwähnt, standen Glasdiapositive zur Verfügung. Der wichtigste Teil der Vorbereitung für die Aerotriangulation besteht in der Auswahl und Identifizierung der Lage von künstlichen Punkten im Bild.

Da der Einfluss der Lage der Punkte im Bild sich der Situation der signalisierten Punkte anpassen sollte, wurde darauf verzichtet, die künstlichen Punkte an den idealen Stellen im Bild zu markieren. Dadurch wurde ein grosser Vorteil der künstlichen Punkte gegenüber signalisierten nicht ausgenutzt.

Die Anordnung und Anzahl der stereoskopisch markierten künstlichen Punkten ist aus Abb. 2 ersichtlich.

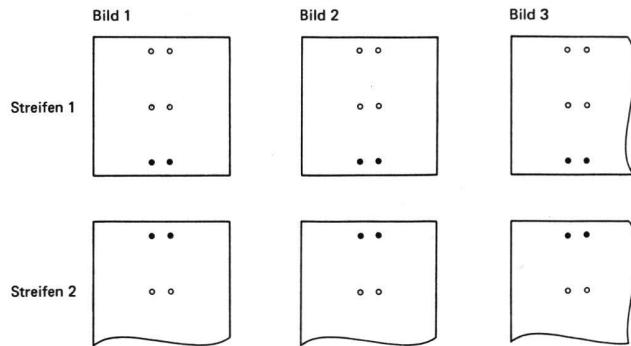


Abb. 2

- Lage der in einem Bild markierten künstlichen Punkte
- Lage der in Nachbarstreifen gleichzeitig markierten künstlichen Punkte

Der Abstand zwischen signalisierten und künstlichen Punkten betrug rund 1–2 mm im Bildmassstab.

Die Einstelldaten vor der Markierung am PUG 4 sind folgende:

- Betrachtungsvergrösserung 15 ×
- Grösse der Messmarke 30 μm
- Stichel 60 μm

Das Verhältnis zwischen Messmarke des PUG 4 und künstlichem Punkt liegt bei 1:2. Die Grösse der künstlichen Punkte von 60 μm wurde gewählt, weil die Messmarke am Analoggerät A 10 (40 μm) und der künstliche Punkt im Verhältnis 1:1.5 stehen.

Der künstliche Punkt soll nicht kleiner sein als die Messmarke des Auswertegerätes, aber auch nicht grösser als der doppelte Durchmesser der Messmarke des Auswertegerätes. Die Grösse der künstlichen Punkte lässt sich der Messmarkengrösse des Auswertegerätes anpassen.

Die gesamte Vorbereitung für die Auswahl und Markierung von künstlichen Punkten betrug rund 27 Std. Dabei wurden 680 Punkte markiert. Die Aufnahmen enthalten meistens 3 × 2 in der Hauptvertikalen (quer zur Flugrichtung) und die Modelle 6 × 2 künstliche Verknüpfungspunkte.

Die durchschnittliche Zeit für die Auswahl und Markierung mit dem Punktübertragungsgerät betrug 15 Minuten pro Modell.

7. Messung der unabhängigen Modelle

Die Messung der unabhängigen Modelle wurde an der Schweizerischen Schule für Photogrammetrie-Operateure, St. Gallen, durch Frau dipl. Ing. A. Katulić am Analoggerät Wild A 10 ausgeführt.

Der Auswertevorgang beschränkt sich auf die Bestimmung der Orte der Projektionszentren, der Einstellung, der relativen Orientierungselemente α' , α'' , Φ' , Φ'' und ω sowie der Modellkoordinatenmessung und Registrierung für alle Pass- und Verknüpfungspunkte.

Einstelldaten vor der Messung und Registrierung der unabhängigen Modelle am Autographen A 10 sind folgende:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| - Modellbasis | $bx = 180.00 \text{ mm}$ |
| - Basiskomponente | $by = 100.00 \text{ (Nullstellung)}$ |
| | $bz = 100.00 \text{ (Nullstellung)}$ |
| - Kammerkonstante | $c = 153.20 \text{ mm}$ |
| - Berücksichtigung der Erdkrümmung für Modellmaßstab 1:14 000 | |
| - Vergrösserung | 8 × |
| - Grösse der Messmarke im Bild | 40 μm |

Vor Beginn der Messung und Registrierung der Modellkoordinaten im Modell wurden die Koordinaten der Projektionszentren am Koordinaten-Registriergerät Wild EK8 jeweils auf ihren Sollwert eingestellt.

Für die Praxis spielen neben den Genauigkeitsfragen und der Frage nach der sinnvollen Anwendung der verschiedenen Arten der Verknüpfungspunkte die Wirtschaftlichkeit eine grosse Rolle.

Hier sollen nur Angaben über den Zeitaufwand (Tabelle 1) und die Beurteilung des Operateurs über die Qualität von Pass- und Verknüpfungspunkten gegeben werden (Tabelle 2).

Für das Einlegen der Bildpaare in das Analoggerät, die relative Orientierung und die Modellkoordinatenmessung sowie die Registrierung (rund 27 Punkte pro Modell) benötigt der Operateur folgende Zeit (Tabelle 1):

Art der gemessenen Punkte	Anzahl gemessene Punkte im	
	Modell	Block
Passpunkte	4 - 6	513
signalisierte Verknüpfungspunkte	12	1264
künstliche Verknüpfungspunkte	12	1257
Zeit	1 Std. 17 Min.	140 Std.

Tabelle 1 Angaben über den Zeitaufwand

Dabei wurden 105 Modelle und 4 Gittermodelle relativ orientiert und ausgemessen.

Die durchschnittliche Zeit für die relative Orientierung und Modellkoordinatenmessung sowie Registrierung betrug 1 Stunde 17 Minuten pro Modell.

Die Modellkoordinaten für alle Pass- und Verknüpfungspunkte wurden in X, Y, Z auf $1/100 \text{ mm}$ im Modellmaßstab einmal gemessen und registriert.

Beurteilung des Operateurs	Passpunkte Anzahl in %		signalisierte Verknüpfungspunkte Anzahl in %		künstliche Verknüpfungspunkte Anzahl in %	
	Anzahl	in %	Anzahl	in %	Anzahl	in %
Unsicher	23	4	42	3	2	0.2
unsicher, nicht gemessen	5	1	14	1	3	0.2
Nicht sichtbar	3	0.5	10	0.7		
Am Rand des Modells	17	3	2	0.2		
Dicht am Rand des Modells, nicht gemessen	23	4				

Tabelle 2 Bemerkungen des Operateurs zur Qualität der gemessenen Punkte und prozentuale Qualitätsanteile in bezug auf die verschiedenen Arten der gemessenen Punkte

Im Mittel wurden 4 % der 513 Beobachtungen (Passpunkte) und 3 % der 1263 Beobachtungen (signalisierte Verknüpfungspunkte) im Block Zürich als unsicher beurteilt.

Die Tabelle 2 zeigt deutlich, dass die künstlichen Verknüpfungspunkte gut identifizierbar und messbar sind.

Die grösste Unsicherheit beim Messen von Pass- und Verknüpfungspunkten ergab sich im Streifen 2. Das Bild 211 (Abb. 1) wurde 53 Tage später aufgenommen. Die Punkte sind schlecht einstellbar, überstrahlt, und die Umgebung der gemessenen Punkte gibt einen geringen stereoskopischen Effekt.

8. Blockausgleichung nach der Methode der unabhängigen Modelle

Durch die Möglichkeit einer direkten Registrierung der am Analoggerät gemessenen Modellkoordinaten auf einem geeigneten Datenträger und durch die Programmierung hat die Aerotriangulation mit «unabhängigen Modellen» [5] zunehmende Bedeutung erlangt. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass unabhängig orientierte und ausgemessene Einzelmodelle durch eine räumliche Ähnlichkeitstransformation zu Streifen oder Blöcken verknüpft und gleichzeitig auf ein gegebenes Passpunktssystem transformiert werden.

8.1 Ausgleichung Block Zürich

Der Block Zürich wurde mit dem Programm PAT-M 43 [6] in Stuttgart ausgeglichen. Dieses Programm zerlegt die räumliche Blockausgleichung in eine Lage- und eine Höhenausgleichung. Die Aufspaltung der 7 Transformationsparameter pro Modell in 2 Gruppen von je 4 bzw. 3 Parametern verringert den numerischen Aufwand.

Vor der Blockausgleichung wurden die Gewichte für die photogrammetrischen Modellkoordinaten, die Projektionszentren und die Pass- und Kontrollpunkte wie folgt eingeführt:

- Modellkoordinaten x, y, z Gewicht: 1
- Koordinaten x, y Gewicht: 0,1
- der Projektionszentren z Gewicht: Null
- Kontrollpasspunkte x, y, z Gewicht: Null
- Passpunkte x, y, z Gewicht: Unendlich

Weil die Verbesserungen an den Koordinaten der Projektionszentren wesentlich grösser sind als die Verbesserungen an den Modellpunkten, wurde den Beobachtungen x und y der Projektionszentren nur ein kleines Gewicht (0,1) und die entsprechende z-Koordinate das Gewicht Null zugeordnet.

Die letztere Entscheidung fußt auf der Tatsache, dass diese Beobachtungen fast nichts zur Ausgleichung beitragen und bei grösseren Fehlern das Ergebnis sogar verschlechtern könnten.

Die Theorie [8] besagt, dass die Lagegenauigkeit im Block mit dessen Grösse (Streifenanzahl) etwa linear abnimmt. Die Maximalwerte der Restabweichungen liegen jeweils am Blockrand. Ein Unterschied in der Genauigkeit zwischen x- und y-Koordinaten ist nicht zu erwarten.

Die Höhengenauigkeit ist nach der Theorie weniger gut als die Lagegenauigkeit und auch von der Streifenanzahl und damit der Blockgrösse abhängig.

8.2 Durchgeführte Blockausgleichungen

Es wurden 7 verschiedene Versuche (Tabelle 3) für die Genauigkeitsuntersuchungen von Lage und Höhe nach der Methode der unabhängigen Modelle durchgerechnet.

Versuch	Pass. Abstand b = 2,5 km		Anzahl Passpunkte		Anzahl Kontrollpunkte		Art der Verknüpfungspunkte
	Lage	Höhe	Lage	Höhe	Lage	Höhe	
0			266	237	266	237	signalisierte und künstliche
1	b=2 b=2 8 Ketten		28	61	238	176	signalisierte und künstliche
1.0	b=2 b=2 8 Ketten		28	61	238	176	signalisierte
1.1	b=2 b=2 8 Ketten		28	61	238	176	künstliche
2	b=4 b=4 5 Ketten		16	40	250	197	signalisierte und künstliche
2.0	b=4 b=4 5 Ketten ¹⁾		16	48	250	189	signalisierte
2.1	b=4 b=4 5 Ketten ¹⁾		16	48	250	189	künstliche

Tabelle 3

¹⁾ Mit zusätzlichen Einzelpunkten an den Blockrändern siehe Abb. 3

Bei Versuch 2 sind keine zusätzlichen Einzelpunkte an den Blockrändern gemäss Vorschlag [9] zur Verbesserung der ausgeglichenen Z-Koordinaten eingeführt worden.

Um grobe Datenfehler zu entdecken, wurde zunächst der Versuch 0 (Tabelle 3) mit allen Kontrollpunkten durchgerechnet.

Von 272 Lage- und 238 Höhenkontrollpasspunkten wurden 6 Lage- und 1 Höhenkontrollpasspunkt als grobe Datenfehler erkannt und gestrichen, das entspricht 2,2 % für Lage- und 0,4 % für die Höhenkontrollpasspunkte.

9. Vergleich zwischen signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten

Für die Genauigkeitsuntersuchungen zwischen künstlichen und signalisierten Verknüpfungspunkten wurden die Versuche mit den Basislängen 2 und 4 durchgerechnet (Abb. 3 und 4).

Wie die Tabelle 3 zeigt, standen 266 Lage- und 237 Höhenkontrollpunkte zur Verfügung, die über das Blockgebiet regelmässig verteilt sind.

Die Passpunktanordnungen (Abb. 3 und 4) wurden nach Lage und Höhe gleich den Verteilungen in [10] gewählt.

Die photogrammetrischen Auswertungen für beide Arten von Verknüpfungspunkten wurden wie bereits gesagt bei gleichen äusseren Bedingungen durchgeführt.

9.1 Ergebnisse der Blockausgleichung

Die absolute Genauigkeit lässt sich anhand von Kontrollpunkten ermitteln, die über das Blockgebiet regelmässig verteilt sind.

In Tabelle 4 sind zur Beurteilung der erreichten Genauigkeit für die signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkte die wichtigsten statistischen Ergebnisse dargestellt. Dabei wurden die bereits in [10] publizierten Resultate für signalisierte Verknüpfungspunkte verwendet.

Um die tabellarischen Zusammenstellungen anschaulicher zu gestalten, werden folgende Größen ausgewiesen:

- σ_{oL} = mittlerer Gewichtseinheitsfehler; er ist ein Mass für die Lagegenauigkeit der Beobachtungen bezogen auf das Gelände und den Bildmassstab; in cm und μm .

σ_{oH} = mittlerer Gewichtseinheitsfehler; er ist ein Mass für die Höhengenauigkeit der Beobachtungen bezogen auf das Gelände und den Bildmassstab; in cm und μm .

μ_x, μ_y, μ_z = quadratische Mittelwerte für Lage und Höhe aus den Differenzen zwischen den berechneten x-, y-, z-Koordinaten und den entsprechenden geodätischen Informationen; in cm und μm .

μ_{xy} = $\sqrt{(\mu_x^2 + \mu_y^2)/2}$ = quadratische Mittelwerte der Verbesserungen für die Lagedifferenzen, ein Mass für die Absolutgenauigkeit eines Blocks; in cm und μm .

$\mu_{xy}/\sigma_{oL}, \mu_z/\sigma_{oH}$ = Absolutgenauigkeit für Lage und Höhe zum Vergleich mit theoretischen Erwartungen,

wobei σ_{oL} und σ_{oH} , die mittleren Gewichtseinheitsfehler, sich auf das Gelände beziehen. Die in Micron angegebenen Werte sind die entsprechenden in die Bildebene umgerechneten Größen. μ_x , μ_y , μ_z bezeichnen quadratische Mittelwerte.

9.2 Lagegenauigkeit

Bei der Benützung aller gegebenen 266 Lagepasspunkten «Versuch 0» und der Verwendung von allen

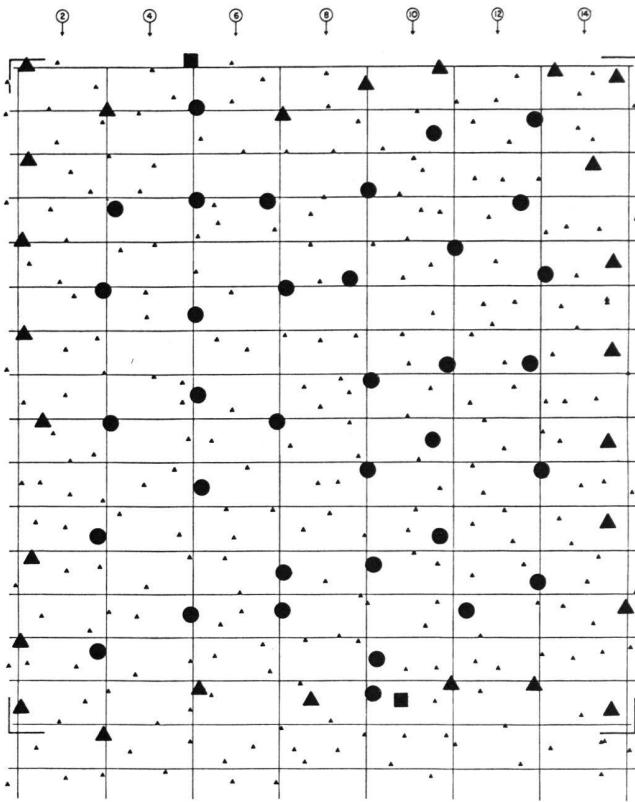


Abb. 3 Anordnung der Passpunkte (Versuch 1.1, Passpunkt Abstand 2b = 5 km)

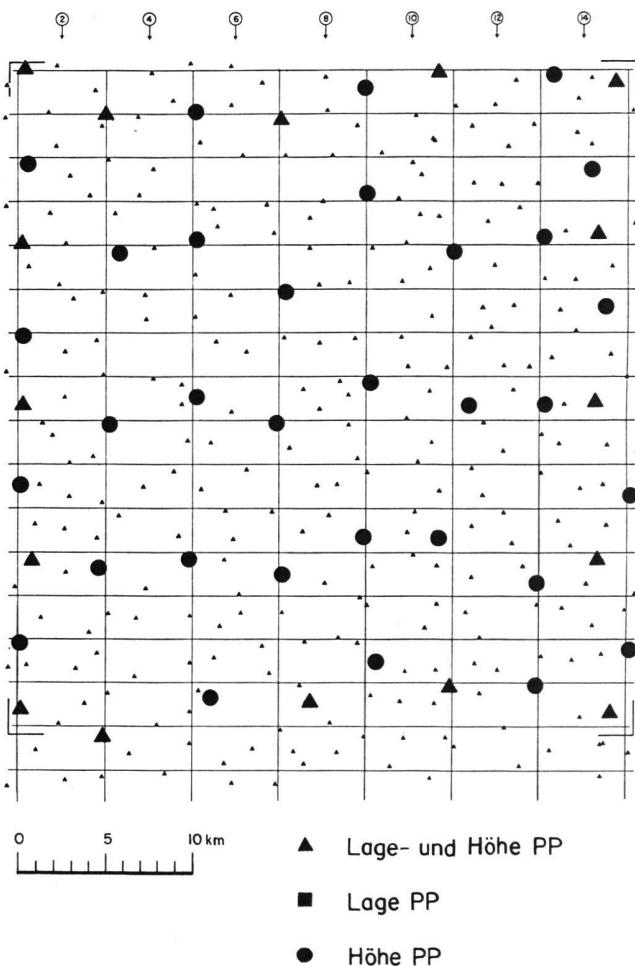


Abb. 4 Anordnung der Passpunkte (Versuch 2.1, Passpunkt Abstand 4b = 10 km)

signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten ergab sich nach der Blockausgleichung

$$\sigma_{oL} = 8.6 \mu\text{m} = 24.1 \text{ cm}$$

und

$$\mu_{xy} = 8.3 \mu\text{m} = 23.2 \text{ cm}$$

(mittlerer Koordinatenfehler aus gegebenen Passpunkten)

Vergleicht man die prozentualen Fehleranteile in bezug auf verschiedene Arten der Verknüpfungspunkte, wie in Tabelle 5 zusammengestellt, so sieht man, dass bei den Versuchen (1.0, 1.1 und 1) der mittlere Gewichtseinheitsfehler σ_{oL} in der Bildebene praktisch gleich gross ist.

Der quadratische mittlere Fehler, Versuch 1.1, Tabelle 5, ergibt jedoch bei der Verwendung künstlicher Verknüpfungspunkte eine Lagegenauigkeitssteigerung um 17 % verglichen mit dem Versuch 1.0, Tabelle 5, mit signalisierten Verknüpfungspunkten.

Bei den Versuchen 2.0 und 2.1, Tabelle 5, zeigen die entsprechenden Werte eine noch grössere Lagegenauigkeitssteigerung, nämlich 27 % zugunsten der künstlichen Verknüpfungspunkte.

Die künstlichen Verknüpfungspunkte bringen eine signifikante Genauigkeitssteigerung gegenüber der Verwendung von signalisierten Punkten.

Verwendet man signalisierte und künstliche Punkte zusammen (Punktgruppen von je zwei signalisierten und

Versuch	Passpunkt Abstand		σ_{oL} cm μm	σ_{oH} cm μm	μ_x		μ_y		μ_{xy}		μ_z		$\frac{\mu_{xy}}{\sigma_{oL}}$		$\frac{\mu_z}{\sigma_{oH}}$			
	b = 2,5 km				μ_x	μ_y	μ_{xy}	μ_z	μ_{xy}	μ_z	μ_{xy}	μ_z	μ_{xy}	μ_z	μ_{xy}	μ_z		
	Lage	Höhe			μm	μm	μm											
0	alle PP	alle PP	24.1	26.3	(22.8)	(23.4)	(23.2)	(20.6)	1.0	0.8	8.6	9.4	(266)	(237)	1.0	0.8		
			8.6	9.4	(8.1)	(8.4)	(8.3)	(7.4)										
1	b = 2	b = 2	22.6	24.5	34.6	54.5	45.7	47.0	2.0	1.9	8.1	8.8	34.6	54.5	45.7	47.0		
		8 Ketten	8.1	8.8	12.4	19.5	16.3	16.8										
1.0	b = 2	b = 2	23.2	26.8	30.8	15.1	42.2	46.7	1.8	1.7	8.3	9.6	30.8	15.1	42.2	46.7		
		8 Ketten	8.3	9.6	11.0	18.3	15.1	16.7										
1.1	b = 2	b = 2	23.6	27.1	28.3	41.2	35.3	49.9	1.5	1.8	8.4	9.7	23.6	27.1	28.3	41.2		
		8 Ketten	8.4	9.7	10.1	14.7	12.6	17.8										
2	b = 4	b = 4	21.6	24.5	51.9	61.4	56.9	46.6	2.6	1.9	7.7	8.8	51.9	61.4	56.9	46.6		
		5 Ketten	7.7	8.8	18.3	23.4	21.0	16.7										
2.0	b = 4	b = 4	21.3	27.0	51.2	65.6	58.8	46.8	2.8	1.7	7.6	9.6	21.3	27.0	51.2	65.6		
		5 Ketten ¹⁾	7.6	9.6	18.3	23.4	21.0	16.7										
2.1	b = 4	b = 4	22.8	27.2	39.5	46.6	43.2	46.4	1.9	1.7	8.1	9.7	22.8	27.2	39.5	46.6		
		5 Ketten ¹⁾	8.1	9.7	14.1	16.8	15.4	16.6										

Tabelle 4 Lage- und Höhengenauigkeit nach Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen; abhängig von verschiedener Art der Verknüpfungspunkte

¹⁾ Mit zusätzlichen Punkten an den Blockrändern
0, 1, 2 Signalisierte und künstliche Verknüpfungspunkte
1.0, 2.0 Signalisierte Verknüpfungspunkte
1.1, 2.1 Künstliche Verknüpfungspunkte

künstlichen Punkten), so ist gegenüber der Verwendung von nur signalisierten Verknüpfungspunkten (Punktgruppen von je zwei Punkten) eine Lagegenauigkeitsverminderung von 8 % zwischen den Versuchen 1.0 und 1 und eine Lagegenauigkeitssteigerung von nur 3 % zwischen den Versuchen 2.0 und 2 festzustellen.

Die Verwendung von signalisierten und künstlichen Punkten zusammen bedeutet gegenüber der Verwendung von signalisierten Punkten allein einen höheren Arbeitsaufwand, bringt aber keine signifikante Genauigkeitssteigerung, weist im Gegenteil eher auf systematische Unterschiede der Einzelresultate hin.

Versuch	Art der Verknüpfungspunkte	σ_{0L}	Δ	μ_{xy}	Δ	μ_z	Δ
		μm	%	μm	%	μm	%
1.0	signalisierte	8.3	100	15.1	100	16.7	100
1.1	künstliche	8.4	101	12.6	83	17.8	106
1	signalisierte und künstliche	8.1	98	16.3	108	16.8	101
2.0	signalisierte	7.6	100	21.0	100	16.7	100
2.1	künstliche	8.1	107	15.4	73	16.6	99
2	signalisierte und künstliche	7.7	101	20.3	97	16.6	99

Tabelle 5 Lage- und Höhengenauigkeit nach Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen und prozentuale Fehleranteile in bezug auf die verschiedene Art der Verknüpfungspunkte

Δ in % = Differenzen zwischen signalisierten und künstlichen Verknüpfungspunkten

9.3 Höhengenauigkeit

Wie Tabelle 5 zeigt, sind die mittleren Gewichtseinheitsfehler σ_{0H} in allen Versuchen kleiner als 10 μm im Bildmaßstab.

Die Höhengenauigkeit μ_z unterscheidet sich zwischen den Versuchen 1.0, 1.1 und 1 um max. 6 %.

Die erreichte Höhengenauigkeit bei den Versuchen 2.0, 2.1 und 2 unterscheidet sich dagegen um 1 % zugunsten der künstlichen Verknüpfungspunkte. Dabei ist zu beachten, dass beim Versuch 2 die Anzahl der Höhenpasspunkte um 17 % kleiner ist gegenüber den Versuchen 2.0 und 2.1, da beim Versuch 2 die Blockränder nicht nach [9] mit zusätzlichen Punkten versehen wurden.

Generell kann man sagen, dass die absolute Höhengenauigkeit μ_z bei Verwendung von verschiedenen Arten der Verknüpfungspunkte keine signifikanten Genauigkeitsunterschiede aufweisen.

9.4 Beurteilung von Restfehlern

In der analytischen Photogrammetrie werden im allgemeinen statistische Angaben aus Differenzen zwischen geodätisch und photogrammetrisch bestimmten Punkten getrennt für die Δx , Δy und Δz des räumlichen Koordinatensystems bestimmt.

Abb. 5 und 6 zeigen die Verteilung der Restfehler der photogrammetrischen Koordinaten im Block Zürich für die Versuche 1.1 und 2.1 in Form von Histogrammen getrennt in X, Y und Z. Die Klassengröße beträgt 15 cm.

Versuch 1.1. Die Verteilung der Restfehler der Koordinaten in X weist ein Maximum zwischen -23 und +22 cm, d. h. über drei Klassen aus. Die Verteilung in Y hat ein sich über zwei Klassen erstreckendes Maximum zwischen -7 und +23. Die Restfehler in Z haben ein Maximum zwischen -7 und +23 cm, d. h. auch wieder über zwei Klassen.

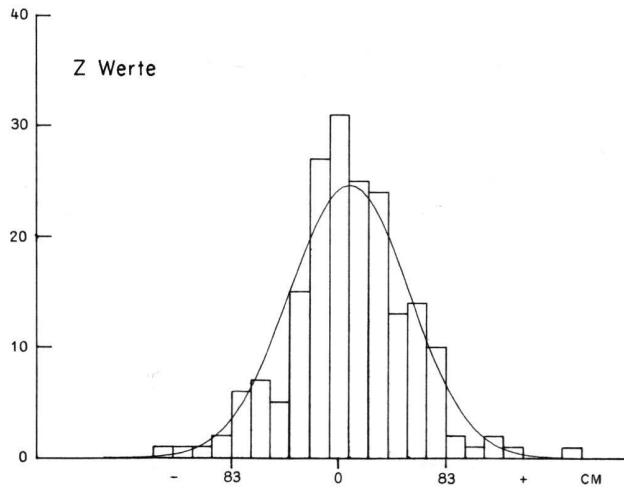
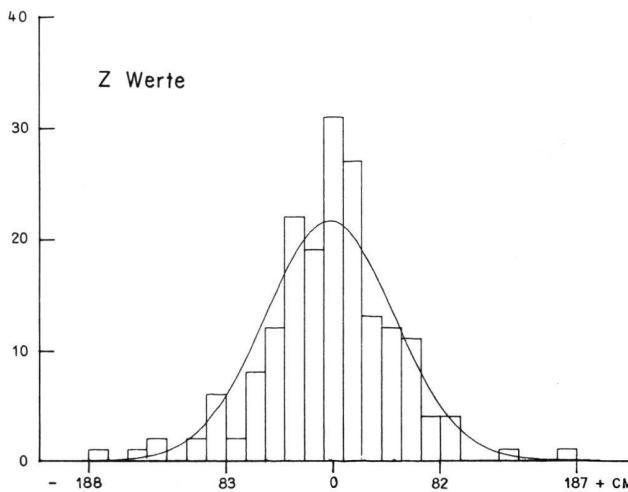
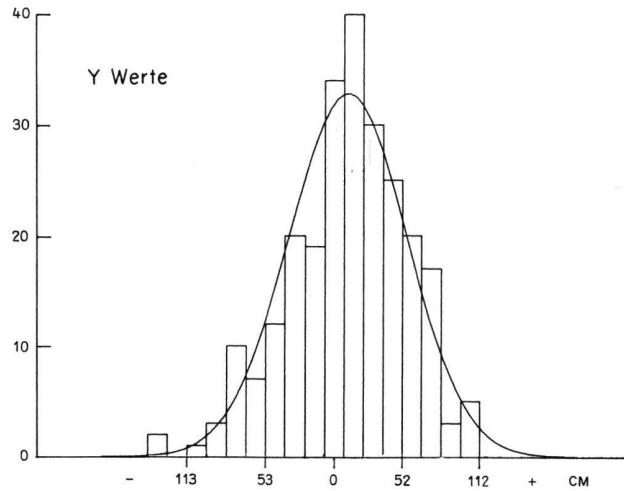
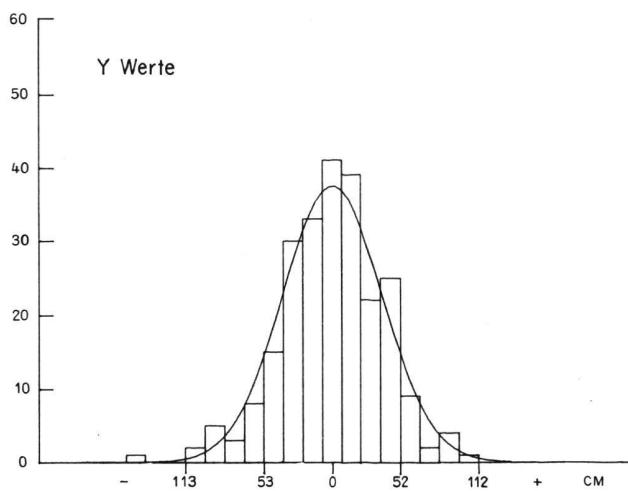
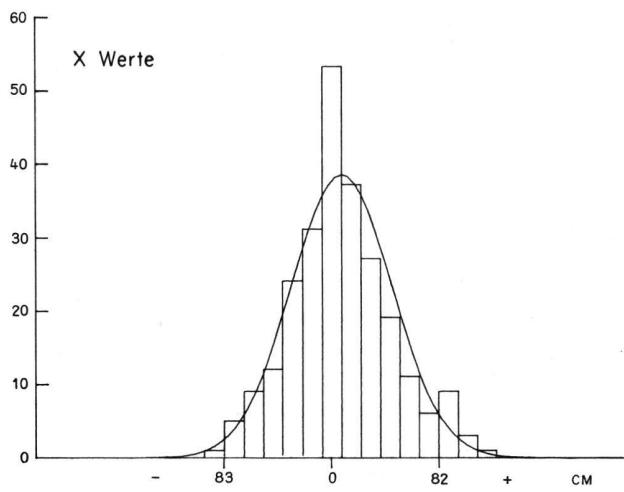
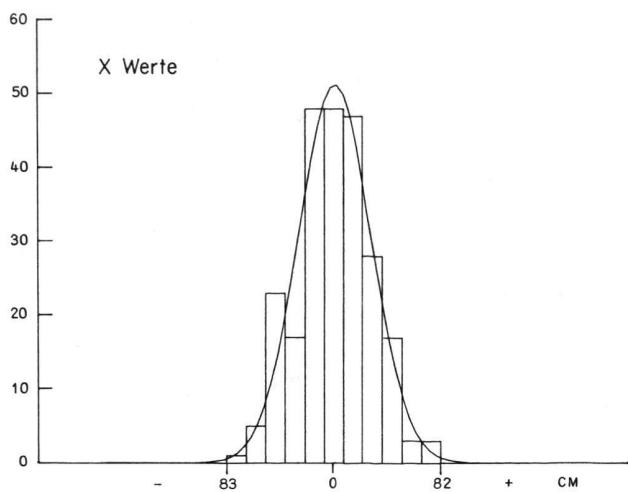


Abb. 5 Histogramm der Lage- und Höhenfehler an den Kontrollpunkten (Versuch 1.1)

Die Verteilung der Restfehler im Versuch 2.1 (Abb. 6) zeigt in X einen betonten Gipfel zwischen -8 und $+7$ cm. Die Restfehler in Y und Z zeigen ähnliche Tendenzen wie beim Versuch 1.1.

Die bestehende Asymmetrie der Fehlerverteilung weist eindeutig auf den Einfluss systematischer Fehler hin.

Ein weniger abstraktes Mittel zur Veranschaulichung systematischer Fehler als die Histogramme sind die be-

Abb. 6 Histogramm der Lage- und Höhenfehler an den Kontrollpunkten (Versuch 2.1)

kannten Fehlervektorpläne. Hier zeigen sich systematische Fehler sehr anschaulich als Vektoren gleicher Grösse und Richtung. Die Abb. 7 und 8 zeigen bei Versuch 1.1 (Abb. 7) und 2.1 (Abb. 8) eine starke Systematik. In Abb. 7 ist die Randzone mit Lagepasspunkten gut besetzt (Basisabstand $2b = 5$ km). In beiden Versuchen (1.1 und 2.1) treten die Maximalfehler deutlich am Blockrand auf.

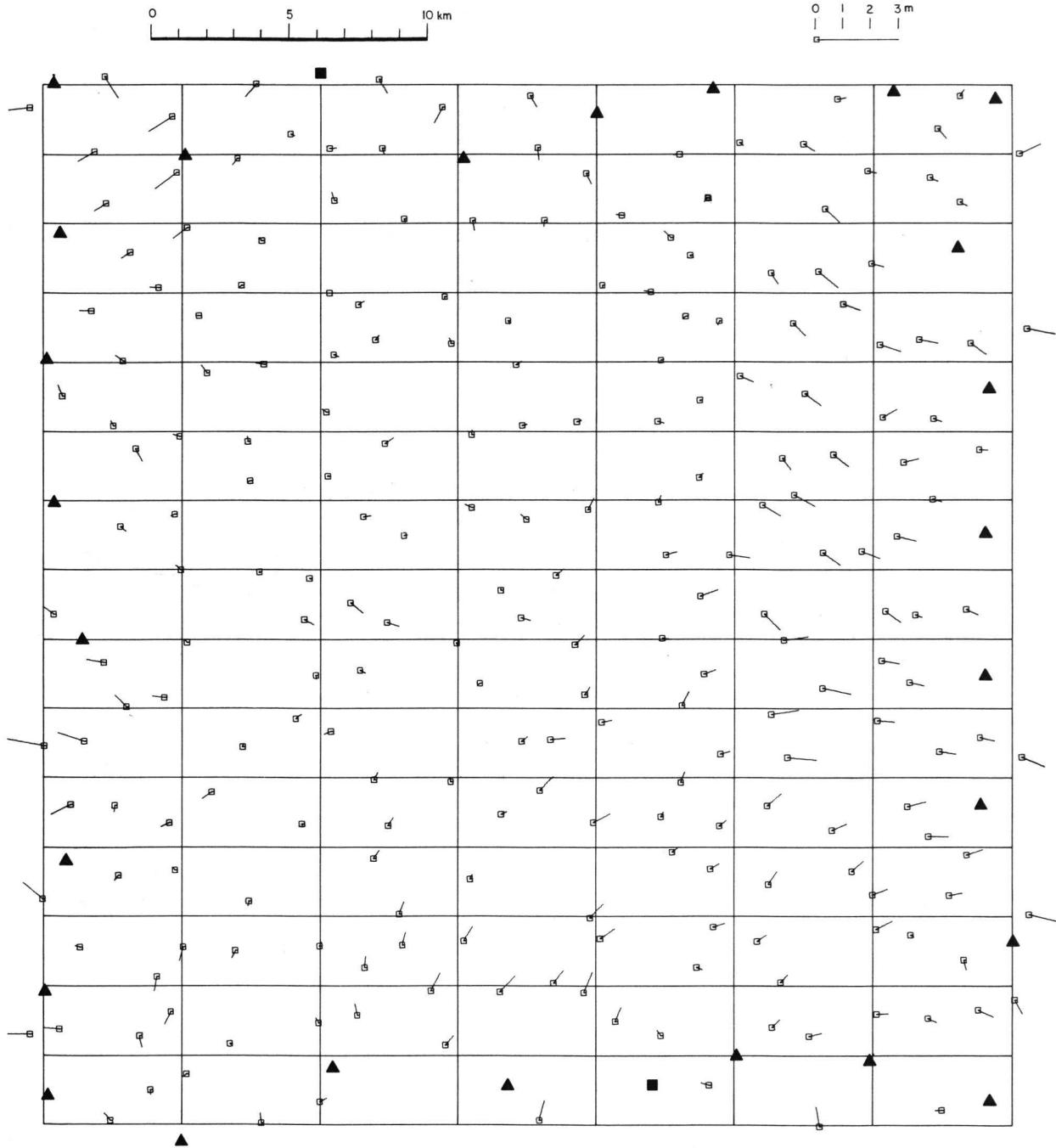


Abb. 7 Restfehler an den Lagekontrollpunkten (Versuch 1.1)

Schlussfolgerung

Mit der Verwendung von künstlichen Punkten und dem Punktübertragungsgerät Wild PUG 4 wurde bei der Blocktriangulation mit unabhängigen Modellen ein mittlerer Gewichtseinheitsfehler σ_{oL} von $8.2 \mu\text{m}$ und σ_{oH} von $9.7 \mu\text{m}$ erhalten.

Nach [11] unterscheidet sich dieses Ergebnis günstig von der in der Praxis heute allgemein erwarteten Genauigkeit von $\sigma_{oL} \approx 15$ bis $25 \mu\text{m}$ und $\sigma_{oH} \approx 15$ bis $20 \mu\text{m}$. Vorausgesetzt ist natürlich Funktionstüchtigkeit des Punktübertragungsgerätes und einwandfreie Markierung.

Es hat sich gezeigt, dass ausser der Erleichterung für die praktische Durchführung einer analytischen Aero-

triangulation die Verwendung von künstlichen Verknüpfungspunkten darüber hinaus zu einer Lagegenauigkeitssteigerung von 17 bis 27 % führt, verglichen mit der Verwendung von signalisierten Verknüpfungspunkten.

Literatur

- [1] Technische Resolution des Kongresses in Lausanne 1968, BuL 37, 1969.
- [2] Ackermann, F.: International Society of Photogrammetry. Conclusion of Commission III, Deutsche Geodätische Kommission. Reihe B, Heft Nr. 214, 1974, S. 273.
- [3] Ackermann, F.: Entwicklung auf dem Gebiet der Kommission III von 1972 bis 1976, BuL 4, 1976, S. 122–128.

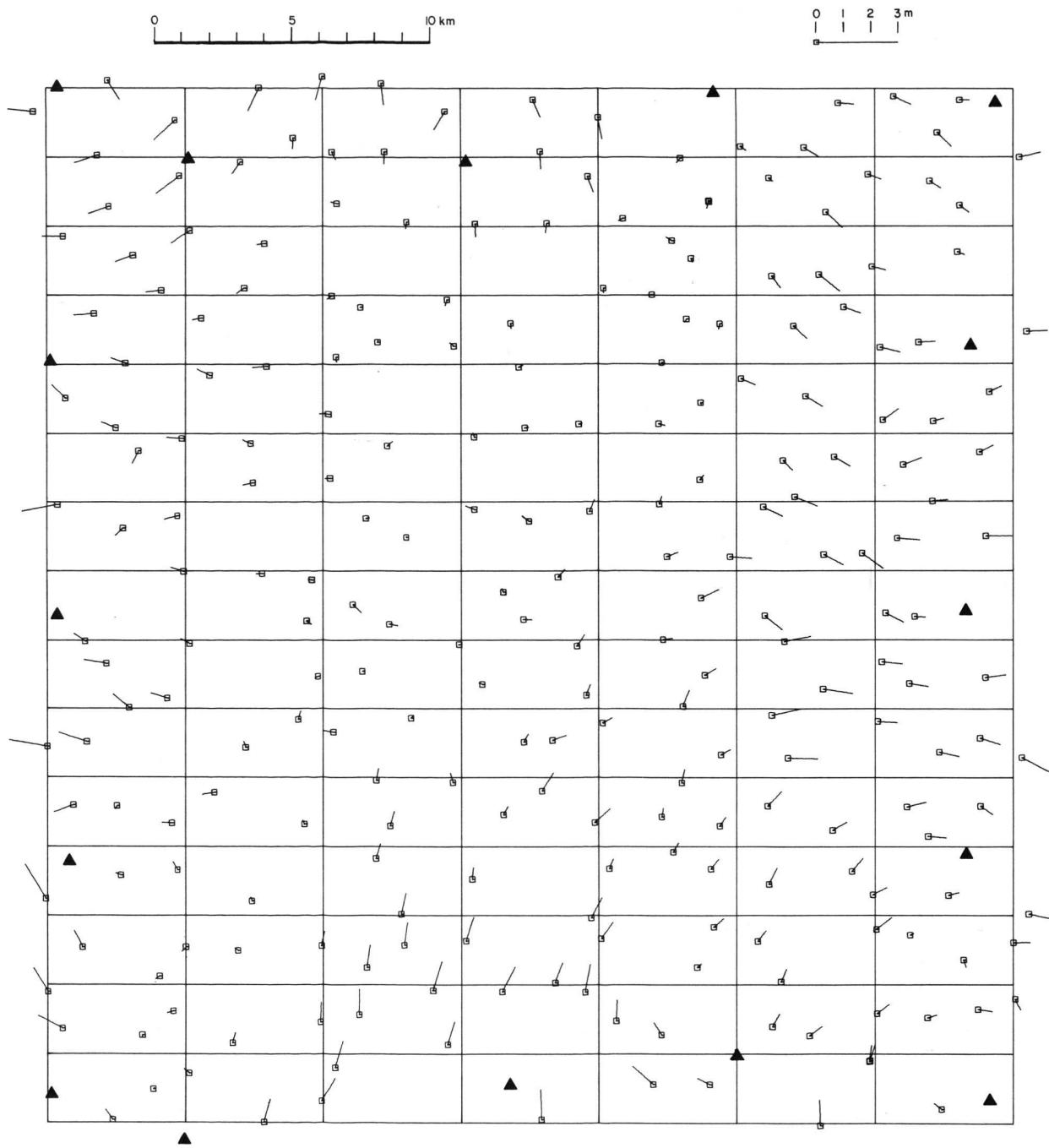


Abb. 8 Restfehler an den Lagekontrollpunkten (Versuch 2.1)

- [4] Ackermann, F.: Results of Block-Adjustment by Independent Models. OEEPE-Commission A/B Official Publication No. 8, 1973, S. 87–103.
- [5] Ackermann, F.: Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen, BuL 38, 1970, S. 198–205.
- [6] Ackermann, F., Ebner, H., Klein, H.: Ein Programm-Paket für die Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen, BuL 38, 1970, S. 218–224.
- [7] Belzner, H.: The Planning Establishing und Flying of the Test Oberschwaben. OEEPE Official Publication No. 8, 1973, S. 35–47.
- [8] Ebner, H.: Theoretical Accuracy Models of Block Triangulation, Invited Paper for Commission III, ISP Ottawa 1972.
- [9] Jerie, H. G.: Height Precision after Block Adjustment Photogrammetria 19 (1962–1964) 7, S. 500–504.
- [10] Paršić, Z.: Ergebnisse einer Aerotriangulation am Auto-
- graph WILD A 10 nach unabhängigen Modellen. Presented Paper of Commission III, ISP Helsinki 1976.
- [11] Schwidetsky, K., Ackermann, F.: Photogrammetrie, 7. Auflage 1976, S. 342.

Adresse des Verfassers:

Z. Paršić, Dipl.-Ing., Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich