

W. Schneider

BEISPIEL FÜR DIE FEHLERSUCHE IN DER AEROTRIANGULATION

Ein Beispiel aus der Aerotriangulation soll die Fehlersuche bei photogrammetrischen Blockausgleichungen demonstrieren. Es handelt sich um die Ausgleichung eines Lageblocks mit dem am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart entwickelten Programm PAT-M 4. Das Ausgleichungsverfahren und das Programm sind inzwischen weitgehend bekannt, sodaß hier nur kurz das Prinzip erläutert zu werden braucht.

Bei der sogenannten Lageblockausgleichung werden für die Messung der Modellpunkte hinreichend genau horizontierte photogrammetrische Modelle vorausgesetzt. Jedes Modell hat ein individuelles Koordinatensystem X, Y . Für jeden Modellpunkt werden die Modellkoordinaten x, y gemessen.

Über gemeinsame Punkte (Verknüpfungspunkte) und Paßpunkte werden die Modellkoordinatensysteme in der Ausgleichung durch eine ebene Ähnlichkeitstransformation sowohl ineinander als auch in ein übergeordnetes gleichsinniges Geländekoordinatensystem überführt.

Durch Minimierung der Summe $v^T P v$ aller im Block gemessenen Beobachtungen werden für jedes Modell 4 Transformationsparameter bestimmt:

- Maßstab
- Drehung (K)
- X-Verschiebung
- Y-Verschiebung

Als zu verbessernde Beobachtungen gehen dabei

- die ins Geländesystem transformierten photogrammetrischen Modellkoordinaten der Modellpunkte und
- die gegebenen Geländekoordinaten der Paßpunkte

in die Ausgleichung ein.

Für die Fehlersuche hat es sich als zweckmäßig erwiesen, alle Beobachtungen gleichgewichtig ($P=E$) zu behandeln. Der gewählte Ansatz, nicht die ursprünglichen, sondern die ins Geländesystem transformierten Modellkoordinaten als Beobachtung einzuführen, hat den Vorteil, daß alle Verbesserungen im gleichen Koordinatensystem (Geländekoordinatensystem) definiert sind und sich dadurch hinsichtlich ihrer Größe und Richtung unmittelbar vergleichen lassen.

Abb. 1 soll die aus der Ausgleichung erhaltenen Verbesserungen der Beobachtungen veranschaulichen. Die Figur zeigt die Situation nach der Ausgleichung. Punkt i sei in den photogrammetrischen Modellen 18 und 19 gemessen und zudem gegebener Paßpunkt. Bei gleichgewichtigem Ansatz erhält man die ausgeglichenen Koordinaten

des Punktes (iA) als arithmetisches Mittel aus den transformierten Modellkoordinaten ($i18, i19$) und den gegebenen Paßpunktkoordinaten (iG).

Die Verbesserungen ($vx18, vy18, vx19, vy19, vxiG, vyiG$) für die Beobachtungen ergeben sich als Differenz zwischen den ausgeglichenen Koordinaten (xiA, yiA) und den transformierten Modellkoordinaten ($xi18, yi18, xi19, yi19$) bzw. den gegebenen Paßpunktkoordinaten (xig, yig). Die Summe der vx bzw. der vy ist bei gleichgewichtigem Ansatz für einen Punkt i immer = 0.

Die herkömmliche Fehlersuche stützt sich nun in erster Linie auf die Beurteilung und den Vergleich der Größe dieser Verbesserungen.

Abb. 2 zeigt den als Beispiel gewählten Lageblock mit 18 Modellen, die mit jeweils 4-8 gemeinsamen Punkten gegenseitig verknüpft sind. Gegeben sind 9 Paßpunkte, die, wie allgemein üblich, in den Blockecken und Blockrändern angeordnet sind. Die Querüberdeckung der Modelle und die Verteilung der Verknüpfungspunkte weisen einige Unregelmäßigkeiten auf, was sich bei praktischen Blöcken oft nicht vermeiden läßt.

Bei den vorliegenden Daten handelt es sich um den Teil einer größeren durchgeführten Aerotriangulation.

Abb. 3 zeigt den Ausdruck der transformierten Modellkoordinaten und ihre Verbesserungen nach der Ausgleichung mit dem Programm PAT-M 4.

Die Punkte werden modellweise ausgedruckt. Für jeden Modellpunkt erscheint

Punktnummer, x, y , Code, vx, vy , CHV ,

dabei sind

- x, y - die transformierten Modellkoordinaten
- Code - eine Kennzeichnung der Punktart
(SP = Einzelpunkt,
TP = Verknüpfungspunkt,
HO = Paßpunkt)
und die Zahl der Modelle, in denen der jeweilige Punkt gemessen ist
- vx, vy - die Verbesserungen der transformierten Modellkoordinaten
- CHV - zwei Vergleichssymbole für vx und vy mit den Vergleichswerten für die Verbesserungen (siehe später).

Für die Beurteilung der Genauigkeit erhält man quadratische Mittelwerte (RMS) der Verbesserungen für x und y , nach verschiedenen Beobachtungsgruppen getrennt, und den Schätzwert $\hat{\sigma}_0$ des mittleren Fehlers einer Beobachtung mit dem Gewicht 1 vor der Ausgleichung (SIGMA NAUGHT) (vgl. Abb. 4).

An erster Stelle werden die quadratischen Mittelwerte der Verbesserungen von allen transformierten Modellpunkten (MODEL POINTS) ausgedruckt.

Diese ergeben sich aus

$$\begin{aligned} \text{RMS MP X} &= \sqrt{\frac{[v_x v_x]}{\text{NRES X}}} \\ \text{RMS MP Y} &= \sqrt{\frac{[v_y v_y]}{\text{NRES Y}}} \end{aligned} \quad (1)$$

wobei NRES X bzw. NRES Y die Anzahl der v_x bzw. v_y ist, die zur Berechnung herangezogen werden.

Es folgen die quadratischen Mittelwerte für die Verbesserungen der photogrammetrischen Messungen der Paßpunkte in den Modellen (CONTROL POINTS IN THE MODEL). Die Verbesserungen dieser Messungen sind zwar auch schon in den vorhergehenden Mittelwerten der transformierten Modellpunkte (MODEL POINTS) enthalten, sie werden aber hier nochmals getrennt gemittelt. Der Vergleich dieser Mittelwerte mit den vorhergehenden kann Genauigkeitsunterschiede zwischen photogrammetrischen Verknüpfungspunkten (z.B. künstlich markierte Punkte) und Paßpunkten (z.B. signalisiert) aufzeigen oder auf systematische Fehler zwischen Modell- und Paßpunkt-koordinatensystem hinweisen.

Zum Schluß werden noch die quadratischen Mittelwerte für die Verbesserungen der Koordinaten der gegebenen Paßpunkte ausgedruckt (CONTROL POINTS WITH WMN.1(...10)). Das Programm erlaubt hier eine Untergruppierung bis zu 10 Gruppen; diesen Untergruppen von Paßpunkten kann jeweils eine unterschiedliche Gewichtsmatrix (WMN) zugeordnet werden. Wie oben schon erwähnt, ist es aber für die Datenbereinigung zweckmäßig, alle Punkte gleichgewichtig zu behandeln, deshalb wird hier nur eine Gruppe (WMN.1) verwendet.

Im Gegensatz zu den quadratischen Mittelwerten der Verbesserungen ist der im Programmausdruck folgende mittlere Gewichtseinheitsfehler σ_o (SIGMA NAUGHT) eine wohldefinierte Größe aus der Ausgleichsrechnung und ergibt sich aus

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{[vvp]}{n-u}} = \sqrt{\frac{[vvp]}{r}} \quad (2)$$

wobei

- v = Verbesserungen aller in der Ausgleichung beteiligten Beobachtungen
- p = Gewichte der Beobachtungen
- n = Anzahl der Beobachtungen
- u = Anzahl der Unbekannten
- r = Redundanz

Da σ_o definiert ist als mittlerer Fehler einer Beobachtung mit Gewicht 1 und damit die Meßgenauigkeit der in die Ausgleichung eingebrachten Beobachtungen repräsentiert, sollte seine Größe unabhängig von der Blockkonfiguration (Überbestimmung, Geometrie) sein.

Vergleicht man nun die Formeln (1) und (2), so erkennt man, daß bei gleichgewichtigem Ansatz ($p_i = 1$) der Beobachtungen sich die Berechnung der quadratischen Mittelwerte und σ_o im wesentlichen nur durch die unterschiedlichen Nenner der Brüche unterscheidet.

Schritt 17, Vortrag (Ackermann) erläutert, schlagen sich die Fehler der Beobachtungen in Abhängigkeit von den jeweiligen Redundanzanteilen nur zum Teil in den Verbesserungen nieder. Durch den Nenner $n-u = r$ wird dieser Effekt bei der Berechnung von σ_0 wieder rückgängig gemacht, und man erhält deshalb einen Schätzwert für die ursprünglichen Beobachtungsfehler.

Bei der Berechnung der quadratischen Mittelwerte der Verbesserungen wird $[vv]$ immer durch die Anzahl (NRES) dividiert, diese Werte sind also nur von der Größe der Verbesserungen abhängig.

Bei großer Überbestimmung, also relativ wenigen Unbekannten in der Ausgleichung, nähern sich die quadratischen Mittelwerte σ_0 an; bei schwächerer Überbestimmung werden die quadratischen Mittelwerte zunehmend kleiner, weil dann auch die Verbesserungen wegen der kleineren Redundanzanteile der Beobachtungen kleiner werden.

Die quadratischen Mittelwerte der Verbesserungen eignen sich deshalb bei der Fehlersuche als Vergleichskriterium für die Verbesserungen bei geometrisch homogenen Blöcken. Bei ihrer Berechnung wird gewissermaßen ein für den Gesamtblock durchschnittlicher Redundanzanteil der Beobachtungen in der jeweiligen Gruppe berücksichtigt.

Im Blockausgleichungsprogramm PAT-M 4 wird als Vergleichswert für die Verbesserungen (CHECK VALUES FOR THE RESIDUALS) der dreifache Betrag der quadratischen Mittelwerte (RMS MP X, RMS MP Y) angenommen (Abb. 4).

Das Programm vergleicht nun jede Verbesserung v_x bzw. v_y der Modellpunkte mit dem entsprechenden Vergleichswert. Bleibt der Absolutbetrag der Verbesserung unter dem des Vergleichswerts, so wird in der Spalte CHV ein Punkt ausgedruckt (Abb. 7). Wird der Betrag des Vergleichswerts erreicht oder überschritten, so werden anstelle des Punkts die Ziffern 1-9, je nach Größenordnung des Überschreitens, ausgedruckt. Der Bearbeiter findet somit im Ausdruck relativ bequem diejenigen Verbesserungen, welche die Vergleichswerte erreichen oder übersteigen.

Es ist dann noch jeweils individuell zu prüfen, ob an solchen Stellen grobe Fehler zu vermuten sind oder nicht. Gelegentlich, z.B. in geometrisch schwächer bestimmten Blockteilen, können diese Vergleichswerte zu groß sein, dann müssen in den betroffenen Modellen alle Verbesserungen einzeln überprüft und beurteilt werden. Dies gilt auch für die Verbesserungen der gegebenen Paßpunkte, deren Beurteilung noch dadurch erschwert wird, daß sich eventuell vorhandene systematische Fehler besonders stark in ihnen niederschlagen und die Redundanzanteile im allgemeinen kleiner und vor allem unterschiedlicher sind als bei photogrammetrischen Verknüpfungspunkten.

Im folgenden sollen nun die einzelnen Schritte der Datenbereinigung des 18-Modelle-Blocks erläutert werden:

Abb. 5 zeigt das Ergebnis nach der ersten Ausgleichung. Da die Genauigkeit der photogrammetrischen Messungen dieses Blocks umgerechnet in den Geländemaßstab bei ca. 0,1 m liegt, zeigt schon der aus der Ausgleichung berechnete mittlere Gewichtseinheitsfehler σ_0 von 2,7 m, daß das Ergebnis durch grobe Fehler verfälscht sein muß.

Bei der Prüfung der Verbesserungen auf Überschreitung der Vergleichswerte findet man zuerst die x-Verbesserung des Punkts 3142 in Modell 21 (Ausdruck Ziffer 1 in Spalte CHV). Bei diesem Punkt handelt es sich um einen Lagepaßpunkt, der in einem Modell gemessen ist (Code H0 1).

Eine nähere Betrachtung der Verbesserungen der benachbarten photogrammetrischen Punkte sowie der Liste der gegebenen Paßpunkte (Abb. 6) mit ihren Verbesserungen läßt eindeutig Punkt 3142 als fehlerhaft erscheinen. Die x-Verbesserung dieses Punktes ist ca. 3mal größer als die der benachbarten Punkte und hat das entgegengesetzte Vorzeichen.

In den Modellen 35 und 36 findet man weitere Verbesserungen, diesmal in y, die den Vergleichswert überschreiten (Abb. 6). Auch hier ist es relativ einfach, durch nähere Betrachtung von Größe und Vorzeichen der Verbesserungen der Punkte in diesem Bereich den Punkt 221 als fehlerhaft zu erkennen. Der Punkt ist photogrammetrischer Verknüpfungspunkt, der in zwei Modellen (35 und 36) gemessen ist (Code TP 2). Entsprechend der oben erwähnten Bedingung, daß die Summe der Verbesserungen für einen Punkt gleich null ist, hat der Punkt in beiden Modellen Verbesserungen mit gleichen Beträgen, aber umgekehrten Vorzeichen.

Die zweite Überschreitung des Vergleichswerts durch die Verbesserung des Punkts 189 im Modell 35 dürfte mit ziemlicher Sicherheit eine Folge des Fehlers in Punkt 221 sein.

Es wurden also in diesem Stadium 2 grobe Fehler festgestellt. Da die Fehler relativ groß sind, beeinflussen sie die Verbesserungen der umliegenden Punkte stark, sodaß es, in der Nachbarschaft dieser Punkte, erst nach Elimination der fehlerhaften Beobachtungen und einer Wiederholung der Ausgleichung möglich sein wird, etwaige weitere Fehler aufzudecken.

Das Programm PAT-M 4 erlaubt es, fehlerhafte Messungen in den Beobachtungen zu belassen, ohne daß sie an der Ausgleichung teilnehmen und diese beeinflussen. Bei Paßpunkten wird dies dadurch erreicht, daß man diesen Beobachtungen das Gewicht null zuordnet. In diesem Beispiel wurde eine Untergruppe Nr. 2 (WMN.2) bei den Paßpunkten eingeführt, denen eine 0-Matrix als Gewicht zugeordnet ist. Die gegebenen Paßpunkte dieser Untergruppe werden zwar im Programm formal als Paßpunkte mitgeführt, haben aber wegen ihres Gewichts = 0 keinerlei Einfluß auf die Ausgleichung. Die für diese Punkte ausgedruckten Verbesserungen sind lediglich die Differenz zwischen den gegebenen Paßpunktkoordinaten und dem Mittel der transformierten photogrammetrischen Modellkoordinaten der entsprechenden Punkte.

Bei fehlerhaften photogrammetrischen Verknüpfungspunkten wird die Punktnummer so geändert, daß das Programm, das Verknüpfungen zwischen Modellpunkten an identischen Punktnummern erkennt, diese Punkte als unabhängige Einzelpunkte in den Modellen behandelt. Einzelpunkte werden in den Modellen zwar ins Geländesystem mittransformiert, haben aber keinen Einfluß auf die Ausgleichung und erhalten auch keine Verbesserungen. Durch Vergleich der transformierten Koordinaten solcher unnumerierter Punkte läßt sich aber später leicht kontrollieren, ob das Lösen der Verknüpfung gerechtfertigt war bzw. lassen sich Punktnummernverwechslungen o.ä. aufdecken.

Beim vorliegenden Beispiel wurde Paßpunkt 3142 mit Gewicht = 0 versehen (WMN.2). Punkt 221 wurde in Modell 35 in 2000221 und in Modell 36 in 1000221 umnumeriert.

Die Ergebnisse der nach diesen Maßnahmen wiederholten Ausgleichung sind in Abb. 7 und 8 dargestellt.

σ_0 ist nun zwar gegenüber dem ersten Lauf deutlich kleiner geworden, ist aber mit 0,514 m immer noch um den Faktor 5 größer als zu erwarten, sodaß mit großer Wahrscheinlichkeit weitere grobe Fehler in den Daten sind. Überschreitungen der Vergleichswerte finden wir in den Modellen 11, 21 und 31. Die Maximalverbesserung tritt an Punkt 206 im Modell 21 in x auf. Da diese Verbesserung ungefähr um den Faktor 2 größer als alle anderen ist, wird der Fehler in diesem Punkt vermutet. Punkt 206 ist ein Paßpunkt (H0 1), deshalb muß zusätzlich die Liste der Paßpunkte mit ihren Verbesserungen untersucht werden. Hier zeigt es sich noch deutlicher, daß Punkt 206 fehlerhaft sein muß, denn die x-Verbesserungen aller anderen Paßpunkte haben ein positives Vorzeichen und sind wesentlich kleiner. Die sehr große Verbesserung von - 14.288 m des Punktes 3142 ist in diesem Zusammenhang völlig bedeutungslos, weil diesem Punkt Gewicht = 0 zugeordnet ist (WMN.2) (siehe oben).

Die Frage, ob neben dem Fehler in Punkt 206 noch weitere grobe Fehler in den Daten sind, läßt sich anhand der vorliegenden Ausgleichung für den Bereich der Modelle 11, 12, 21, 22, 31, 32 nicht beantworten, weil diese Zone durch den groben Fehler verfälscht ist. Dasselbe gilt für die gegebenen Paßpunkte. Für den Rest des Blocks kann aber schon jetzt mit einiger Sicherheit angenommen werden, daß bei den Verknüpfungspunkten keine weiteren groben Fehler vorliegen, weil die Verbesserungen schon nach dieser Ausgleichung etwa die zu erwartende Größe haben. Eine zuverlässige Aussage läßt sich aber erst nach der nächsten Ausgleichung machen, in der Punkt 206 ebenfalls als Paßpunkt der Gewichtsgruppe 2 (WMN.2) keinen Einfluß mehr auf die Ausgleichung hat.

Wie sehr grobe Fehler größerer Ordnung solche kleinerer Ordnung an benachbarten Punkten überdecken und unauffindbar machen können, erkennt man, wenn man nochmals in Abb. 5 die Verbesserungen nach der ersten Ausgleichung in Modell 21 betrachtet. Der in der zweiten Ausgleichung mit einer Verbesserung von ca. 1,9 m als fehlerhaft erkannte Punkt 206 tritt hier mit einer Verbesserung von 0,17 m überhaupt nicht in Erscheinung.

Abb. 9 und 10 zeigen das Ergebnis der nächsten Ausgleichung.

σ_0 hat nun mit 0,114 m die erwartete Größe angenommen. Alle Verbesserungen der Modellpunkte liegen unterhalb der Vergleichswerte. Die Maximalverbesserungen der in der Ausgleichung verbliebenen Paßpunkte sind 3,7 cm in x und 3,2 cm in y. Die entsprechenden dreifachen quadratischen Mittelwerte sind 7,5 cm und 6,6 cm, es sind also keine weiteren groben Fehler mehr zu vermuten.

Für eine endgültige Ausgleichung würde man nun die als fehlerhaft erkannten Paßpunkte 206 und 3142 überprüfen und gegebenenfalls korrigieren. Auf eine Nachmessung der Modelle 35 und 36 zur Korrektur des fehlerhaften Verknüpfungspunktes 221 würde man wohl verzichten, weil der Ausfall dieser Verknüpfung die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit des Ausgleichungsergebnisses nicht wesentlich beeinflusst.

In Abb. 10 findet man nun in den Modellen 35 und 36 die wegen der Ummumerierung des Verknüpfungspunkts 221 als Einzelpunkte (SP1) transformierten Punkte 1000221 und 2000221. Nimmt man an, daß einer dieser beiden Punkte falsch ist, dann repräsentiert die Koordinatendifferenz (dy) zwischen den transformierten Koordinaten beider Punkte in erster Näherung den "wahren" groben Fehler dieses Punktes (ca. 36 m in y). Der manuell eingetragene Wert v_y zeigt nochmals die Größe der Verbesserung aus der Ausgleichung, in der der Punkt als fehlerhafter Verknüpfungspunkt erkannt worden ist. Der grobe Fehler schlug sich in diesem Fall also mit etwa 35 % in der Verbesserung nieder.

In der Liste der Paßpunkte (Abb. 10) repräsentieren die ausgedruckten x -Verbesserungen der Punkte 206 und 3142 in erster Näherung die groben Fehler in diesen beiden Punkten (WMN.2). Die manuell eingetragenen Werte v_x zeigen ebenfalls nochmals die Größe der Verbesserungen in den Ausgleichungen, in denen diese Punkte als fehlerhaft erkannt wurden. Hier schlugen sich die groben Fehler bei Punkt 206 mit ca. 20 % und bei Punkt 3142 mit ca. 27 % in den Verbesserungen nieder.

Schlußbetrachtung

An diesem Beispiel der Datenbereinigung eines photogrammetrischen Lageblocks sollte das Prinzip der bisher üblichen Methode für die Suche grober Meßfehler veranschaulicht werden.

Hinsichtlich der Größe und der Häufigkeit der in den Daten aufgetretenen groben Fehler repräsentiert dieses Beispiel durchaus einen Routinefall für photogrammetrische Organisationen, die mit der numerischen Aerotriangulation vertraut sind.

Unter den hier gegebenen Voraussetzungen, daß nicht zu viele Fehler lokal gehäuft auftreten und daß die Fehler deutlich größer sind als die Streuung der Messungen sowie einer ausreichenden und homogenen Blockgeometrie, wird die manuelle Fehlersuche wohl in den meisten Fällen zu einem ähnlichen Ergebnis führen wie eine automatische Fehlersuche mit Hilfe statistischer Algorithmen. Soche statistischen Methoden wie z.B. das "data snooping" werden aber gegenüber dem bisherigen, weitgehend von der Qualifikation und Erfahrung eines Bearbeiters abhängigen Beurteilen der Restverbesserungen beim Auffinden kleiner grober Fehler zu objektiveren und zuverlässigeren Ergebnissen führen. Vor allem in geometrisch schwächer bestimmten Blockteilen bleiben bei der herkömmlichen Fehlersuche kleine grobe Fehler unentdeckt, dies umso mehr, je größer und unübersichtlicher die zu bearbeitende Datenmenge ist.

Ungeklärt ist noch, inwieweit automatisierte Fehlersuchalgorithmen bei bestimmten Konfigurationen grober Fehler wie z.B. lokaler Anhäufung von Fehlern derselben Größenordnung, Datenformat- und Registrierfehlern usw., zu irrtümlicher Eli-

mination von tatsächlich fehlerfreien Beobachtungen führen können, was hohe Rechenkosten mit unbrauchbaren Ergebnissen zur Folge haben würde. Die Gefahr von Fehleliminationen wird immer dann bestehen, wenn die zu untersuchenden Größen (Verbesserungen, normierte Verbesserungen) in ihren statistischen Eigenschaften zu sehr von den für die jeweilige Methode vorausgesetzten Eigenschaften abweichen. Ebenfalls offen ist noch die Frage, ob sich die Anzahl der Wiederholungsausgleichungen gegenüber der manuellen Datenbereinigung merklich reduzieren läßt. Vermutlich können auch mit qualifizierten Suchalgorithmen kleinere Fehler, die im Einflußbereich großer Fehler liegen, nur stufenweise aufgedeckt werden.

Ganz entscheidend müßte aber der Bearbeitungsaufwand, vor allem das oft mühsame Analysieren der Restverbesserungen, durch die Integrierung der Fehlersuche in die Ausgleichungsprogramme reduziert werden können.

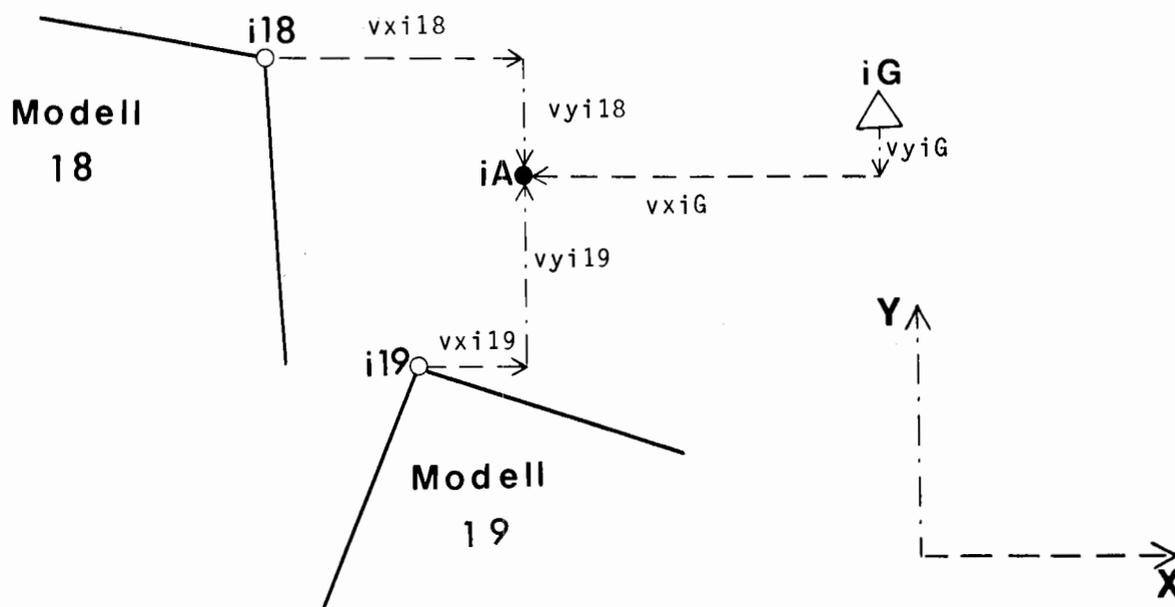


Abb. 1 Darstellung der Verbesserungen

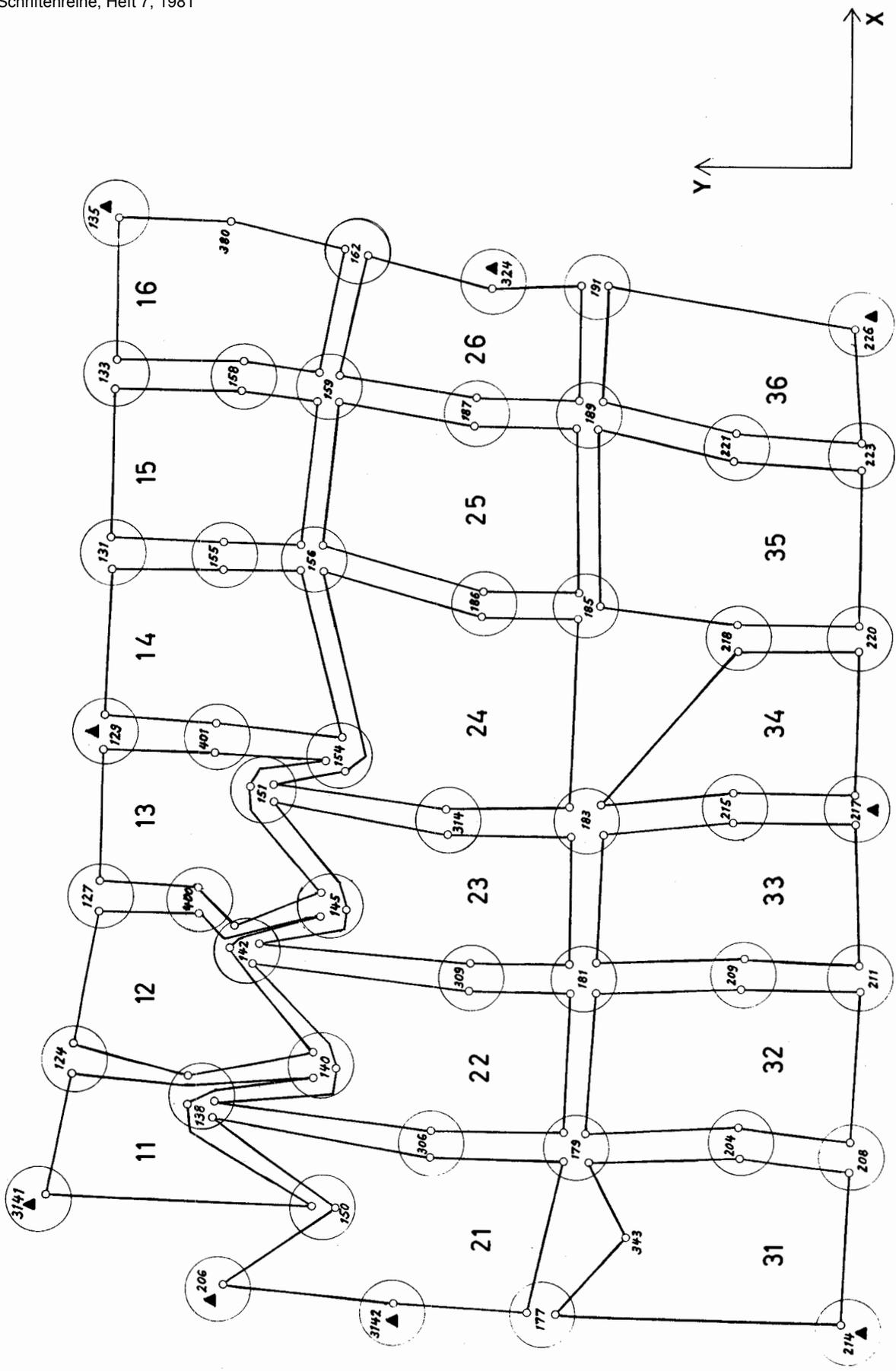


Abb. 2 Blockübersicht

TRANSFORMED PHOTOGRAMMETRIC MODEL COORDINATES				RESIDUALS IN M		
AFTER THE LAST ITERATION STEP IN M						
CHECK VALUES FOR THE RESIDUALS				.195	.174	
POINT NUMBER	X	Y	CODE	VX	VY	CRV
MODEL NUMBER	11					
124	771587.222	2051946.166	TP 2	-.001	-.036	..
138	771489.236	2051357.823	TP 4	-.053	-.013	..
140	771615.236	2050886.298	TP 3	.064	-.024	..
150	770987.246	2050865.045	TP 2	.009	.046	..
3141	770869.268	2051967.695	HO 1	-.019	.027	..
MODEL NUMBER	21					
138	771489.124	2051357.892	TP 4	.058	-.082	..
150	770987.263	2050865.136	TP 2	-.009	-.046	..
177	770751.734	2050092.277	TP 2	-.131	-.042	..
179	771343.461	2050052.001	TP 4	.106	.106	..
206	770745.458	2051307.069	HO 1	-.024	.015	..
306	771384.774	2050650.241	TP 2	-.009	.070	..
3142	770846.323	2050685.813	HO 1	.009	-.022	..
MODEL NUMBER	31					
177	770751.472	2050092.193	TP 2	.131	.042	..
179	771343.717	2050052.094	TP 4	-.149	.013	..
204	771348.477	2049425.851	TP 2	.003	.011	..
208	771351.285	2048932.006	TP 2	.028	-.043	..
214	770789.227	2048866.036	HO 1	-.013	-.023	..
343	771043.075	2050019.334	SP 1			..
MODEL NUMBER	12					
124	771587.221	2051946.094	TP 2	.001	.036	..
127	772040.725	2051798.208	TP 2	-.002	-.040	..
138	771489.234	2051357.832	TP 4	-.051	-.023	..
140	771615.200	2050886.227	TP 3	.100	.047	..
142	771973.622	2051177.498	TP 4	-.102	.093	..
145	772210.175	2050854.670	TP 3	.034	-.071	..
400	772142.520	2051366.054	TP 2	.020	-.042	..
MODEL NUMBER	22					
138	771489.136	2051357.691	TP 4	.046	.119	..
140	771615.464	2050886.297	TP 3	-.165	-.023	..
142	771973.388	2051177.635	TP 4	.132	-.044	..
179	771343.436	2050052.207	TP 4	.132	-.100	..
181	771921.375	2050049.724	TP 4	-.109	.112	..
306	771384.755	2050650.382	TP 2	.009	-.070	..
309	772000.781	2050670.883	TP 2	-.047	.006	..
MODEL NUMBER	32					
179	771343.656	2050052.126	TP 4	-.089	-.019	..
181	771921.189	2050049.872	TP 4	.078	-.035	..
204	771348.484	2049425.873	TP 2	-.003	-.011	..

Abb. 3 Ausdruck der transformierten Modellkoordinaten mit ihren Verbesserungen

STATISTICS

1-FOLD POINTS = 9
 2-FOLD POINTS = 28
 3-FOLD POINTS = 5
 4-FOLD POINTS = 8
 NUMBER OF BLOCK POINTS = 50

OBSERVATIONS FOR HORIZONTAL BLOCK = 238
 UNKNOWN FOR HORIZONTAL BLOCK = 168
 REDUNDANCY FOR HORIZONTAL BLOCK = 70

ROOT MEAN SQUARE VALUES OF THE RESIDUALS IN M

MODEL POINTS

RMS MP X = .065 NRES X = 110
 RMS MP Y = .058 NRES Y = 110

CONTROL POINTS IN THE MODEL

RMS CH X = .020 NRES X = 11
 RMS CH Y = .030 NRES Y = 11

CONTROL POINTS WITH W.M. 1

RMS CP X = .024 NRES X = 9
 RMS CP Y = .021 NRES Y = 9

CONTROL POINTS WITH W.M. 2

RMS CP X = 0.000 NRES X = 0
 RMS CP Y = 0.000 NRES Y = 0

SIGMA NAUGHT IN M

SIGMA NAUGHT FOR HORIZONTAL BLOCK = .110

TRANSFORMED PHOTOGRAMMETRIC MODEL COORDINATES

RESIDUALS IN M

AFTER THE LAST ITERATION STEP IN M

CHECK VALUES FOR THE RESIDUALS				.195	.174	
POINT NUMBER	X	Y	CODE	VX	VY	CHV
MODEL NUMBER	11					
124	771587.222	2051946.166	TP 2	-.001	-.036	..
138	771489.236	2051357.823	TP 4	-.053	-.013	..

Abb. 4 Quadratische Mittelwerte der Verbesserungen, Sigma null

SIGMA NAUGHT IN M

SIGMA NAUGHT FOR HORIZONTAL BLOCK = 2.741

TRANSFORMED PHOTGRAMMETRIC MODEL COORDINATES				RESIDUALS IN M		
AFTER THE LAST ITERATION STEP IN M						
CHECK VALUES FOR THE RESIDUALS				1.955	6.033	
POINT NUMBER	X	Y	CODE	VX	VY	CHV
MODEL NUMBER		11				
124	771590.746	2051945.864	TP 2	.306	-.917	..
138	771494.012	2051357.057	TP 4	.599	-.852	..
140	771621.101	2050885.610	TP 3	-.513	-.102	..
150	770992.892	2050862.966	TP 2	1.213	.908	..
3141	770872.441	2051965.824	HO 1	-1.605	.963	..
MODEL NUMBER		21				
138	771495.849	2051355.361	TP 4	-1.239	.844	..
150	770995.319	2050864.782	TP 2	-1.213	-.908	..
177	770759.938	2050094.851	TP 2	-1.314	.251	..
179	771349.547	2050054.194	TP 4	-.395	-.764	..
206	770754.756	2051305.373	HO 1	-.173	.863	..
306	771391.242	2050650.292	TP 2	-.477	-.064	..
3142	770854.717	2050686.215	HO 1	4.811	-.222	1.
MODEL NUMBER		31				
177	770757.309	2050095.352	TP 2	1.314	-.251	..
179	771349.761	2050053.099	TP 4	-.610	.330	..
204	771352.273	2049426.467	TP 2	-.175	.429	..
208	771353.306	2048932.319	TP 2	.209	.662	..
214	770790.677	2048868.331	HO 1	-.739	-1.170	..
343	771048.824	2050021.401	SP 1			..
MODEL NUMBER		12				
124	771591.358	2051944.031	TP 2	-.306	.917	..
127	772044.456	2051796.630	TP 2	-.326	-.257	..
138	771493.894	2051356.361	TP 4	.716	-.156	..
140	771620.050	2050885.373	TP 3	.539	.135	..
142	771977.865	2051176.569	TP 4	-.178	-.155	..
145	772214.379	2050854.270	TP 3	-.204	-.285	..
400	772146.441	2051365.032	TP 2	-.240	-.198	..
MODEL NUMBER		22				
138	771494.686	2051356.040	TP 4	-.075	.164	..
140	771620.615	2050885.541	TP 3	-.026	-.033	..
142	771977.921	2051176.108	TP 4	-.234	.226	..
179	771348.862	2050053.188	TP 4	.290	.241	..
181	771925.656	2050050.528	TP 4	-.215	-.551	..
306	771390.289	2050650.165	TP 2	.477	.064	..
309	772005.100	2050670.432	TP 2	-.215	-.111	..
MODEL NUMBER		32				

Abb. 5 Ergebnisse nach der 1. Ausgleichung

MODEL NUMBER		15				
131	773295.928	2051763.767	TP 2	-.010	.267	..
133	773867.142	2051895.293	TP 2	-.167	-.230	..
155	773358.495	2051427.010	TP 2	.024	.151	..
156	773251.460	2051051.416	TP 4	.092	-.102	..
158	774005.734	2051240.724	TP 2	-.070	.022	..
159	773894.824	2050940.058	TP 4	.131	-.109	..
MODEL NUMBER		25				
156	773251.152	2051050.090	TP 4	.400	.416	..
159	773895.422	2050939.081	TP 4	-.468	.068	..
185	773191.294	2050005.441	TP 3	.272	-.467	..
186	773244.838	2050528.254	TP 2	.178	.123	..
187	773762.999	2050522.810	TP 2	-.194	-.092	..
189	773800.572	2049875.824	TP 4	-.188	-.048	..
MODEL NUMBER		35				
185	773192.238	2050004.158	TP 3	-.671	.816	..
189	773800.322	2049869.585	TP 4	.062	6.191	.1
218	773162.462	2049507.466	TP 2	-.142	-.105	..
220	773177.022	2048978.557	TP 2	.567	.134	..
221	773810.103	2049434.166	TP 2	-.099	-12.278	.1
223	773787.423	2048817.811	TP 2	.282	5.243	..
MODEL NUMBER		16				
133	773866.809	2051894.833	TP 2	.167	.230	..
135	774430.847	2051747.686	HO 1	-.214	.007	..
158	774005.595	2051240.769	TP 2	.070	-.022	..
159	773894.810	2050940.226	TP 4	.145	-.277	..
162	774479.371	2050796.742	TP 2	-.167	.063	..
380	774553.068	2051329.995	SP 1			..
MODEL NUMBER		26				
159	773894.762	2050939.631	TP 4	.193	.318	..
162	774479.036	2050796.868	TP 2	.167	-.063	..
187	773762.612	2050522.625	TP 2	.194	.092	..
189	773800.757	2049876.215	TP 4	-.373	-.438	..
191	774385.925	2050066.235	TP 2	.078	.781	..
324	774456.577	2050502.290	HO 1	-1.059	-.690	..
MODEL NUMBER		36				
189	773799.886	2049881.481	TP 4	.499	-5.705	..
191	774387.680	2050067.796	TP 2	-.078	-.781	..
221	773817.906	2049409.610	TP 2	.099	12.278	.1
223	773787.988	2048828.298	TP 2	-.282	-5.243	..
226	774410.674	2048818.759	HO 1	.563	-.549	..
CONTROL POINT COORDINATES IN M				MM.		
129	772674.770	2051772.130	HO 2	1.349	-.776	1
135	774430.420	2051747.700	HO 1	.214	-.007	1
206	770754.410	2051307.100	HO 1	.173	-.063	1
214	770789.200	2048865.990	HO 1	.739	1.170	1
217	772547.450	2048947.130	HO 2	.236	-.023	1
226	774411.800	2048817.660	HO 1	-.563	.549	1
324	774454.460	2050500.910	HO 1	1.059	.690	1
3141	770869.230	2051967.750	HO 1	1.605	-.963	1
3142	770864.340	2050685.770	HO 1	-4.811	.222	1

Abb. 6 Ergebnisse nach der 1. Ausgleichung

SIGMA NAUGHT IN M

SIGMA NAUGHT FOR HORIZONTAL BLOCK = .514

TRANSFORMED PHOTOGAMMETRIC MODEL COORDINATES

RESIDUALS IN M

AFTER THE LAST ITERATION STEP IN M

CHECK VALUES FOR THE RESIDUALS

.845

.554

POINT NUMBER X Y CODE VX VY CW

MODEL NUMBER 11

124	771588.892	2051945.956	TP 2	.139	-.467	..
138	771491.447	2051357.600	TP 4	.426	-.527	..
140	771617.854	2050886.250	TP 3	-.223	-.043	..
150	770989.964	2050864.434	TP 2	.548	.581	.1
3141	770871.810	2051966.837	HO 1	-.890	.457	1.

MODEL NUMBER 21

138	771492.869	2051356.277	TP 4	-.996	.796	1.1
150	770991.061	2050865.597	TP 2	-.548	-.581	.1
177	770754.446	2050094.861	TP 2	-.657	-.289	..
179	771344.835	2050053.456	TP 4	.455	-.132	..
206	770750.676	2051307.088	HO 1	1.867	.006	1.
306	771387.288	2050650.342	TP 2	-.121	.200	..
3142	770850.052	2050686.944	HO 1	0.000	0.000	..

MODEL NUMBER 31

177	770753.131	2050094.284	TP 2	.657	.289	..
179	771345.793	2050053.384	TP 4	-.503	-.060	..
204	771349.745	2049426.638	TP 2	-.127	.102	..
208	771351.914	2048932.398	TP 2	.035	.226	..
214	770789.324	2048867.105	HO 1	-.062	-.558	.1
343	771044.871	2050020.988	SP 1			..

MODEL NUMBER 12

124	771589.170	2051945.022	TP 2	-.139	.467	..
127	772042.297	2051797.397	TP 2	-.145	-.079	..
138	771491.434	2051357.274	TP 4	.439	-.201	..
140	771617.414	2050886.137	TP 3	.217	.070	..
142	771975.427	2051177.239	TP 4	-.168	-.024	..
145	772211.851	2050854.772	TP 3	-.110	-.154	..
400	772144.118	2051365.668	TP 2	-.094	-.079	..

MODEL NUMBER 22

138	771491.742	2051357.140	TP 4	.131	-.067	..
140	771617.626	2050886.232	TP 3	.006	-.026	..
142	771975.303	2051176.999	TP 4	-.044	.216	..
179	771345.404	2050053.309	TP 4	-.114	.015	..
181	771922.650	2050050.470	TP 4	-.026	-.020	..
306	771387.046	2050650.742	TP 2	.121	-.200	..
309	772002.347	2050670.836	TP 2	-.073	.083	..

MODEL NUMBER 32

Abb. 7 Ergebnisse nach der 2. Ausgleichung

MODEL NUMBER		15				
131	773294.593	2051764.499	TP 2	-.030	.042	..
133	773866.198	2051895.702	TP 2	-.025	-.093	..
155	773356.961	2051427.530	TP 2	-.012	.039	..
156	773249.612	2051051.804	TP 4	-.010	.029	..
158	774004.414	2051240.693	TP 2	-.018	.008	..
159	773893.238	2050939.945	TP 4	.095	-.024	..
MODEL NUMBER		25				
156	773249.467	2051051.801	TP 4	.136	.031	..
159	773893.478	2050939.790	TP 4	-.146	.131	..
185	773187.979	2050006.575	TP 3	.084	-.003	..
186	773242.334	2050529.236	TP 2	.050	.021	..
187	773760.419	2050522.981	TP 2	-.094	-.038	..
189	773796.974	2049876.021	TP 4	-.030	-.141	..
MODEL NUMBER		35				
185	773188.096	2050006.608	TP 3	-.033	-.036	..
189	773796.903	2049875.775	TP 4	.041	.105	..
218	773161.362	2049509.816	TP 2	.131	-.009	..
220	773179.153	2048981.085	TP 2	-.027	-.100	..
223	773790.436	2048824.097	TP 2	-.111	.041	..
2000221	773817.342	2049440.537	SP 1			..
MODEL NUMBER		16				
133	773866.149	2051895.516	TP 2	.025	.093	..
135	774430.549	2051747.644	HO 1	-.064	.028	..
158	774004.378	2051240.709	TP 2	.018	-.008	..
159	773893.176	2050940.808	TP 4	.157	-.087	..
162	774478.121	2050795.780	TP 2	-.135	-.026	..
380	774552.444	2051329.443	SP 1			..
MODEL NUMBER		26				
159	773893.439	2050939.939	TP 4	-.106	-.019	..
162	774477.851	2050795.729	TP 2	.135	.026	..
187	773760.232	2050522.904	TP 2	.094	.038	..
189	773796.931	2049875.894	TP 4	.013	-.014	..
191	774382.997	2050064.728	TP 2	-.015	-.002	..
324	774454.702	2050500.968	HO 1	-.121	-.029	..
MODEL NUMBER		36				
189	773796.967	2049875.830	TP 4	-.023	.050	..
191	774382.968	2050064.724	TP 2	.015	.002	..
223	773790.213	2048824.178	TP 2	.111	-.041	..
226	774412.006	2048817.683	HO 1	-.103	-.012	..
1000221	773817.256	2049404.758	SP 1			..
CONTROL POINT COORDINATES IN M						MM.
129	772674.770	2051772.130	HO 2	.406	-.313	1
135	774430.420	2051747.700	HO 1	.064	-.028	1
206	770754.410	2051307.100	HO 1	-1.867	-.006	1
214	770789.200	2048865.990	HO 1	.062	.558	1
217	772547.450	2048947.130	HO 2	.220	.205	1
226	774411.800	2048817.660	HO 1	.103	.012	1
324	774454.460	2050500.910	HO 1	.121	.029	1
3141	770869.230	2051967.750	HO 1	.890	-.457	1
3142	770864.340	2050685.770	HO 1	-14.288	1.174	2

Abb. 8 Ergebnisse nach der 2. Ausgleichung

SIGMA NAUGHT IN M

SIGMA NAUGHT FOR HORIZONTAL BLOCK = .114

TRANSFORMED PHOTGRAMMETRIC MODEL COORDINATES

RESIDUALS IN M

AFTER THE LAST ITERATION STEP IN M

CHECK VALUES FOR THE RESIDUALS				.196	.174	
POINT NUMBER	X	Y	CODE	VX	VY	CHV
MODEL NUMBER		11				
124	771587.240	2051946.164	TP 2	.001	-.040	..
138	771489.259	2051357.822	TP 4	-.048	-.020	..
140	771615.263	2050886.300	TP 3	.061	-.025	..
150	770987.275	2050865.041	TP 2	.015	.053	..
3141	770869.288	2051967.686	HO 1	-.029	.032	..
MODEL NUMBER		21				
138	771489.163	2051357.872	TP 4	.048	-.070	..
150	770987.304	2050865.147	TP 2	-.015	-.053	..
177	770751.762	2050092.321	TP 2	-.138	-.048	..
179	771343.468	2050052.028	TP 4	.114	.100	..
206	770745.521	2051307.072	HO 1	0.000	0.000	..
306	771384.796	2050650.248	TP 2	-.009	.071	..
3142	770846.364	2050685.834	HO 1	0.000	0.000	..
MODEL NUMBER		31				
177	770751.485	2050092.225	TP 2	.138	.048	..
179	771343.737	2050052.117	TP 4	-.155	.011	..
204	771348.489	2049425.865	TP 2	.001	.011	..
208	771351.289	2048932.014	TP 2	.027	-.040	..
214	770789.223	2048866.051	HO 1	-.011	-.030	..
343	771043.091	2050019.361	SP 1			..
MODEL NUMBER		12				
124	771587.242	2051946.083	TP 2	-.001	.040	..
127	772040.741	2051798.200	TP 2	-.003	-.040	..
138	771489.257	2051357.827	TP 4	-.046	-.026	..
140	771615.223	2050886.227	TP 3	.101	.048	..
142	771973.641	2051177.496	TP 4	-.102	.092	..
145	772210.192	2050854.672	TP 3	.033	-.073	..
400	772142.536	2051366.050	TP 2	.018	-.042	..
MODEL NUMBER		22				
138	771489.165	2051357.686	TP 4	.046	.115	..
140	771615.486	2050886.299	TP 3	-.163	-.024	..
142	771973.408	2051177.629	TP 4	.131	-.041	..
179	771343.454	2050052.224	TP 4	.128	-.096	..
181	771921.384	2050049.736	TP 4	-.106	.110	..
306	771384.779	2050650.389	TP 2	.009	-.071	..
309	772000.795	2050670.884	TP 2	-.046	.006	..
MODEL NUMBER		32				

Abb. 9 Ergebnisse nach der 3. Ausgleichung

131	773294.175	2051764.760	TP 2	-.012	.021	..
133	773865.943	2051895.919	TP 2	.009	-.099	..
155	773356.514	2051427.698	TP 2	-.016	-.005	..
156	773249.087	2051051.892	TP 4	-.004	.022	..
158	774004.103	2051240.726	TP 2	-.001	.025	..
159	773892.859	2050939.917	TP 4	.104	.036	..
MODEL NUMBER		25				
156	773248.086	2051051.879	TP 4	.117	.035	..
159	773893.065	2050939.866	TP 4	-.102	.007	..
185	773187.426	2050006.386	TP 3	.075	-.031	..
186	773241.774	2050529.182	TP 2	.006	.017	..
187	773759.990	2050522.946	TP 2	-.065	-.032	..
189	773796.581	2049875.824	TP 4	-.030	-.076	..
MODEL NUMBER		35				
185	773187.593	2050006.455	TP 3	-.093	-.099	..
189	773796.447	2049875.705	TP 4	.104	.043	..
218	773160.931	2049509.635	TP 2	.057	.064	..
220	773178.801	2048980.882	TP 2	-.018	-.026	..
223	773790.135	2048823.977	TP 2	-.049	.018	..
2000221	773816.952	2049440.450	SP 1		<i>dy=35.84</i>	<i>vy=-12.278</i>
MODEL NUMBER		16				
133	773865.961	2051895.721	TP 2	-.009	.099	..
135	774430.434	2051747.725	HO 1	-.007	-.013	..
158	774004.101	2051240.775	TP 2	.001	-.025	..
159	773892.828	2050940.041	TP 4	.135	-.088	..
162	774477.851	2050795.687	TP 2	-.119	.026	..
380	774552.278	2051329.431	SP 1			..
MODEL NUMBER		26				
159	773893.100	2050939.989	TP 4	-.137	-.035	..
162	774477.612	2050795.739	TP 2	.119	-.026	..
187	773759.859	2050522.882	TP 2	.065	.032	..
189	773796.550	2049875.756	TP 4	.001	-.008	..
191	774382.725	2050064.611	TP 2	-.053	.045	..
324	774454.452	2050500.926	HO 1	.004	-.008	..
MODEL NUMBER		36				
189	773796.625	2049875.707	TP 4	-.074	.041	..
191	774382.619	2050064.701	TP 2	.053	-.045	..
223	773790.036	2048824.012	TP 2	.049	-.018	..
226	774411.855	2048817.615	HO 1	-.027	.022	..
1000221	773816.989	2049404.620	SP 1			..
CONTROL POINT COORDINATES IN M					MM.	
129	772674.770	2051772.130	HO 2	-.034	.022	1
135	774430.420	2051747.700	HO 1	.007	.013	1
206	770754.410	2051307.100	HO 1	-8.889	-.028	2 <i>VX = -1.867</i>
214	770789.200	2048865.990	HO 1	.011	.030	1
217	772547.450	2048947.130	HO 2	-.037	-.019	1
226	774411.800	2048817.660	HO 1	.027	-.022	1
324	774454.460	2050500.910	HO 1	-.004	.008	1
3141	770869.230	2051967.750	HO 1	.029	-.032	1
3142	770864.340	2050685.770	HO 1	-17.976	.064	2 <i>VX = -4.811</i>

Abb. 10 Ergebnisse nach der 3. Ausgleichung