

14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie
Hamburg 1980
Kommission IV

Presented paper

P. Waldhäusl
Institut für Photogrammetrie
der Technischen Universität Wien
Gußhausstraße 27-29
A-1040 W i e n

ERGEBNISSE DES VERSUCHES WIEN DER OEEPE/C

KURZFASSUNG

Beim Versuch Wien der OEEPE/C wurden 7 Normalwinkelbildflüge in verschiedenen Größtmaßstäben und bei verschiedener Beleuchtung über einem städtischen Testfeld durch 14 Zentren international wiederholt ausgewertet. Die Ergebnisse wurden mit ebenfalls wiederholt gemessenen geodätischen Messungen verglichen. Für die Flüge bei diffusem Licht ergaben sich bis zu 50% größere Höhenfehler. Die Genauigkeit der Naturpunkte fällt je nach Punktgruppe gegenüber der für signalisierte Punkte deutlich ab: Es treten bis zu 3-fache mittlere Höhenfehler und bis zu 6-fache mittlere Lagefehler auf. Die Größtmaßstäbe zeigen deutlich den Einfluß der Interpretationsunsicherheiten.

Es wird auch über unerwartete Mängel berichtet, die vor allem auf fehlende Kontrolldisziplin in einzelnen photogrammetrischen Zentren schließen lassen.

1. ENTSTEHUNG UND ZIELE DES VERSUCHES WIEN

Eine Studie (van Gent, 1969) hatte ergeben, daß die veröffentlichten Ergebnisse über photogrammetrische Stadtvermessungen aus Bildmaßstäben größer als 1:6 000 stark differierten und sich nur auf wenig Datenmaterial stützten, technisch miteinander nicht vergleichbar waren und die Signifikanz der Ergebnisse nur gering war (R.Förstner, 1972). Grundlagenuntersuchungen über die Meßbarkeit verschiedenartiger städtischer Detailobjekte fehlten überhaupt. Bei den großen Bildmaßstäben spielen die Interpretierbarkeit und die Meßpunktdefinition eine große Rolle, wodurch die theoretisch gerechtfertigte Annahme, die Genauigkeitsleistung der Photogrammetrie steige proportional mit dem Bildmaßstab, in Frage gestellt ist. 1970 beschloß daher die Kommission C, ihre früheren Untersuchungen systematisch in den Großmaßstab fortzusetzen. Extrem großmaßstäbige Luftbildauswertungen betreffen fast immer Stadtgebiete. Daher müßte ein neues Versuchsgebiet auch Stadtgebiet betreffen und daher müßten auch Normalwinkelkamern eingesetzt werden, die den relativ besten Einblick in Straßenschluchten ermöglichen.

Man verteilte die Aufgaben auf die zwei Großversuche Dordrecht (J.Timmerman, 1976) und Wien (P.Waldhäusl, 1978). Nun liegen die Ergebnisse des Versuches Wien vor, dem folgende Aufgaben zugeteilt waren:

1. Es sollte die Genauigkeit photogrammetrisch ausgewerteter Punkte als Funktion des Bildmaßstabes weiter geprüft werden, wofür die Maßstabsreihe des Versuches Reichenbach (R.Förstner, 1969) (1:12 000 und 1:8 000) bis zum Extrem für Flächenflugzeuge fortgesetzt werden sollte (1:4 000, 1:2 500 und 1:1 500).
2. Die Schweizer Gruppe der Kommission C wünschte einen Vergleich der Auswertergebnisse aus vergleichbaren Flügen (1:4 000) mit einem alten und einem neuen Normalwinkelobjektiv.
3. Es sollte ein Vergleich terrestrisch gemessener und photogrammetrisch ausgewerteter signalisierter Punkte vorgenommen werden, wofür ein Testfeld mit übergeordnet genau bestimmten und signalisierten Punkten zu errichten war.
4. Da bei photogrammetrischen Stadtvermessungen die Schlagschatten besonders stören, ist es vielgeübte Praxis, Stadtgebiete bei diffusem Licht zu befliegen. Flüge bei Sonne und unter einer geschlossenen Wolkendecke sollten daher einen Genauigkeitsvergleich ermöglichen.
5. Hauptziel blieb jedoch, einen Vergleich zwischen der terrestrischen und photogrammetrischen Vermessung verschieden genau definierter Detailpunktgruppen (Tab. 2.1) durchzuführen.

2. DIE ANLAGE DES VERSUCHSFELDES WIEN

Beim Versuch Reichenbach sollten in jedem Modell 80 Punkte liegen, um eine statistisch repräsentative Datenmenge zu erhalten. Für eine gleiche Punktdichte im Bild wäre für den Bildmaßstab 1:1 500 alle 20 m ein Punkt erforderlich gewesen. Kompromisse waren hier wegen der Bebauung von vornherein unvermeidlich. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien, hat schließlich 249 Punkte, 12x12 cm weiß signalisiert, mit einem durchschnittlichen mittl. Punktlagefehler v. \pm 1 cm eingemessen (P.Hörmannsdorfer, 1973). Ferner wurden die in Tab. 2.1 näher beschriebenen 2 818 städtischen Detailpunkte durch zwei Meßtruppen voneinander unabhängig, also zweifach aufgenommen. Die zweite Meßtruppe hatte lediglich die Feldskizzen der ersten zur Verfügung. Beide gingen von den 249 signalisierten Punkten aus. Die erste Meßtruppe verwendete T1A und DI3 mit Stockreflektor, die zweite T1A, RDS und

Stahlmaßband für die Polaraufnahmen. Aus den Kontrollstrecken wurde ein mittlerer Koordinatenfehler von ± 2 cm geschätzt. Die Höhen wurden meistens nivelliert.

Gruppe Nr.	Art der "typisch städtischen Detailpunkte".	Anzahl der Punkte
1	Ecken von Gebäuden und Mauern	303
2	Hausstöße, abstoßende Grenzen	170
3	Hauseingänge, Fenster (Achsen)	316
4	Randsteinpunkte (Gerade und Bögen) [†])	628
5	Schienenpunkte (Gerade und Bögen) [†])	600
6	Zaunecken	275
7	Maste, Laternen, Verkehrszeichen	139
8	Kanaldeckel, Wasser- oder Gasschieber, etc.	250
9	Hydranten, Poller, Bäume	137
[†]) Gerade (bestehend aus 2-3 Punkten): 223 Bögen (bestehend aus 3-5 Punkten): 93		Summe 2818

Tab. 2.1 Zusammenstellung der Detailpunktgruppen für den Stadtvermessungsversuch Wien

3. DIE BILDFLÜGE UND DIE DURCH SIE GEGEBENEN VERGLEICHSMÖGLICHKEITEN.

Die Bildflüge wurden am 28.4. und 3.5.1973 vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen ausgeführt. Die Tageszeit der bei Sonne geflogenen Streifen schwankte nur geringfügig (13 - 15 Uhr). Als Aufnahmekameras dienten eine WILD RC10 mit dem Objektiv 30 At II Nr.4 003, kalibriert am 12.4.1973, und eine WILD RC 5a mit dem zuletzt 1969 kalibrierten Objektiv 21 At Nr.7. Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht über die Bildflüge und die mit ihnen verbundenen Versuchsaufgaben.

Flughorizont (Kennziffer)	Kammerkonstante c (Bildformat)	Bildmaßstab 1:	Modellanzahlen bei sonniger (8) diffuser (9) Beleuchtung	
			III	III
1.	30 cm (23x23 cm)	 1500	6	6
2.		 2500	4	4
3.		 4000	2	ausgefallen
4.	21 cm (18x18 cm)	 4000	2	2
Vergleich				
I	Fortsetzung des Versuches Reichenbach (nur sign. Punkte)			
II	Fortschritt durch neue Objektive (alle Punkte)			
III	Einfluß der Beleuchtung (alle Punkte)			
IV	Genauigkeitsuntersuchung an städtischem Detail (nur Detailp.)			

Tab. 3.1 Die Bildflüge und die durch sie gebotenen Vergleichsmöglichkeiten. Die Flug-Nr. setzt sich aus der Flughorizont- und der Beleuchtungskennziffer zusammen.

4. DIE PHOTOGRAMMETRISCHEN MESSUNGEN

Die Auswertegeräte waren vor und nach den Auswertungen nach den Empfehlungen der Arbeitsgruppe "Standardtest" der IGPh überprüft worden. Die Messungen dafür beanspruchten weniger Zeit, als man vorher befürchtet hatte. Das Ergebnis dieser Tests war in erster Linie ein gesteigertes Vertrauen in den guten Justierungszustand der Auswertegeräte. Kein einziges Auswertezentrum verwendete oder berücksichtigte das Ergebnis der Standardtests in irgendeiner Art weiter. Größere Fehljustierungen wurden nicht bekanntgegeben.

Jedes der 26 Modelle wurde entsprechend der Vorgangsweise beim Versuch Reichenbach dreimal mit Analoggeräten und dreimal mit Stereokomparatoren ausgewertet, jede der Wiederholungen von einer anderen Auswertestelle, wobei ein Streifen meist auf zwei Zentren aufgeteilt worden war. Die absolute Orientierung erfolgte im nachhinein mit Hilfe von 9 bis 11 Paßpunkten rechnerisch. Die Paßpunktauswahl entschieden die Erstauswertestellen der Modelle, EPF Lausanne und BAEV Wien. Durch sie wurden auch Listen aller jener Punkte angefertigt, die bei den Wiederholungsmessungen auszuwerten waren. Die signalisierten Punkte wurden in zwei Durchgängen gemessen, die zu mitteln waren. Die Detailpunkte wurden wie bei aktuellen Projekten in der Praxis nur einmal pro Modell gemessen. Es gab absichtlich keine näheren Vorschriften etwa zur Modellorientierung, Punktmessung oder Verzeichnungskompensation. Die Ergebnisse sollten der jeweils geübten Praxis voll entsprechen.

Die Auswertezentren (Tab. 4.1) lieferten bis Herbst 1977 insgesamt 180 000 Punktmessungen an das Centre pilot, das Institut für Photogrammetrie der TU Wien. Die terrestrischen Koordinaten der Punkte waren den Auswertezentren bis dahin unbekannt.

	Auswertestelle			Anzahl der Modelle (Halbstreifen)		
	Art	Staat	Stelle	Stadt	Komparator	Analog
Öffentl. Dienststellen	NL		MDK	Apeldoorn	13(7)	
	D		IFAG	Frankfurt	2(2)	
	D		LVA	Hannover		11(5)
	SF		MMH	Helsinki	gem. mit TH	
	DK		LLO	Kopenhagen	gem. mit TH	
	D		HLWF	Mainz		4(4)
	N		NGO	Oslo	10(4)	
	A		BAEV	Wien		4(4)
	A		MA41	Wien		11(5)
Universitäten und Schulen	NL		TH	Delft		11(5)
	A		TU	Graz		11(5)
	SF		TH	Helsinki	11(5)	
	DK		TH	Kopenhagen	5(5)	
	CH		EPF	Lausanne		17(7)
	I		PT	Milano	13(7)	4(4)
	D		TU	München	13(7)	
	CH		SSPO	St.Gallen		5(3)
	CH		ETH	Zürich	11(5)	
			Summen	78(42)	78(42)	

Tab. 4.1 Die Auswertezentren des Versuches Wien.

5. DAS RECHENPROGRAMM

5.1 Zum Punktvergleich

Für alle Punkte wurde formal wie beim Versuch Reichenbach vorgegangen (R. Förstner, 1969). Die exakte Analyse der Messungen an den signalisierten Punkten wird durch das Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt, durchgeführt, wofür alle Messungen herangezogen werden. In Wien, dem Centre pilot für den Stadtvermessungsversuch, wurden die Modelle zuerst zu einem Streifen zusammengefaßt und dabei die Mehrfachmessungen aus den Modellüberlappungszonen ausgeschieden. Hauptsächlich wurden dann absolute Fehler, d.h. die Abweichungen der photogrammetrischen Messungen von den Werten der ersten terrestrischen Messung, relative Fehler, d.h. die Abweichungen der photogrammetrischen Mes-

sungen vom Mittelwert aus den drei Wiederholungen, und systematische Fehler, d.h. die Abweichungen der genannten Mittelwerte von den Werten der ersten terrestrischen Messung, berechnet und entsprechend der Aufgabenstellungen zusammengefaßt.

5.2 Zum Geradenvergleich

Schienen und Gehsteigkanten wurden als "Gerade" durch drei etwa gleichabständige Punkte erfaßt und als solche als Folge unendlich vieler Punkte mit der Laufkoordinate l und den Querabweichungen $D(l)$ gesehen, so daß sich als quadratischer Durchschnitt aller Querabweichungen zwischen l_1 und l_2 unabhängig von der Geradenlänge $L=l_2-l_1$ ergab:

$$m_D^2 = \frac{1}{L} \int_{l_1}^{l_2} (D(l))^2 dl = \frac{D_1^2 + D_1 D_2 + D_2^2}{3}$$

Zur vollständigen Beurteilung von Geraden wurden jeweils auch die Winkelfehler ermittelt, die wegen ihrer Abhängigkeit von der Geradenlänge L für eine Normlänge L_0 vereinheitlicht werden mußten:

$$m_W = \frac{L}{L_0} \frac{D_1 - D_2}{L} \doteq \frac{D_1 - D_2}{L_0}$$

Lage und Höhe wurden gleichartig behandelt. Es wurden wieder absolute, relative und systematische Fehler gerechnet und je nach den Aufgabenstellungen zusammengefaßt. (Abb. 5.1).

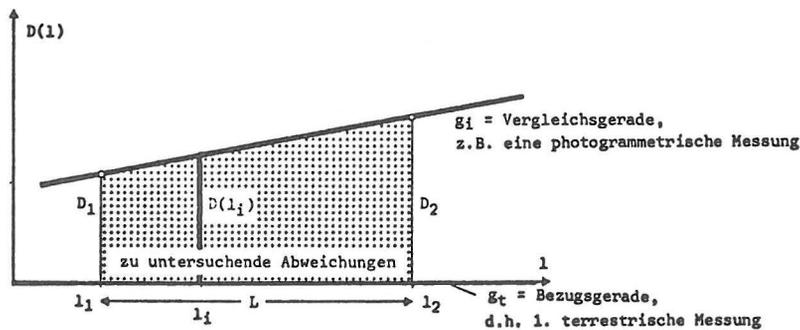


Abb. 5.1 Zum Geradenvergleich

5.3 Zum Bogenvergleich

Von Schienen und Gehsteigkanten wurden auch Bogenstücke einbezogen, die in 3,4 oder 5 Punkten (je etwa 35 Bögen) gemessen wurden. Die Bögen wurden zuerst durch einen Trendkreis approximiert; die Abweichungen von diesem Trendkreis wurden dann durch eine Splinefunktion 3. Grades erfaßt (Abb. 5.2)

$$D(l) = a + bl + \sum_{j=1}^n c_j (l-l_j)_+^3$$

$n = 3, 4$ oder $5 =$ Stützstellenanzahl

$(l - l_j)_+$ ist nur positiv definiert, also für $l \geq l_j$ gleich \emptyset .

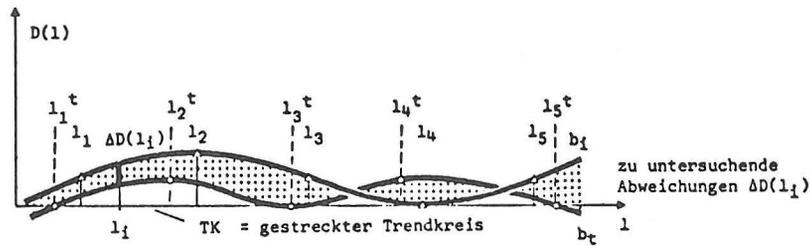


Abb. 5.2 Zum Bogenvergleich

- b_i = Vergleichskurve, z.B. eine photogrammetrische Messung
- b_t = Bezugspolynom, d.h. 1. terrestrische Messung
- l_i^t = feste Knotenstellen der Spline-Funktion

Nun konnten wieder die absoluten, relativen und systematischen Querabweichungen zwischen den Splinefunktionen bzw. die entsprechenden Winkelfehler zwischen ihren ersten Ableitungen in gleicher Art und Weise wie bei den Geraden errechnet werden.

$$m_D^2 = \frac{1}{L} \int_{l_1}^{l_2} (D(l))^2 dl \qquad m_W^2 = \frac{1}{L_0} \int_{l_1}^{l_2} (D'(l))^2 dl$$

Höhenmäßig wurde durch die 3, 4 oder 5 Punkte des Bogens eine Gerade definiert. Ihre Behandlung erfolgte nach 5.2.

5.4 Zum Gehsteighöhenvergleich

Entlang der Gehsteigkanten wurden Punkte oben und unten gemessen. Die Gehsteighöhen $\Delta H = H_u - H_o$ waren vergleichbar, falls die Meßstellen bei den Wiederholungsmessungen innerhalb einer Lageschranke übereinstimmten. Der Gehsteighöhenvergleich sollte vor allem die Ergebnisse für den Beleuchtungsvergleich (sonnig - diffus) unterstützen.

6. ZUM ARBEITSABLAUF DER TESTBERECHNUNGEN

Die Rechenarbeiten umfaßten die Formatvereinheitlichung, die Datenprüfung, die Verbesserung der erkennbaren groben Fehler und die Vorsortierung für die eigentlichen Testprogramme. Die Originaldaten und alle Zwischenergebnisse liegen beim Institut für Photogrammetrie der TU Wien in Form von Listen und Magnetbändern.

Für die Ausscheidung grober Fehler wurde iterativ vorgegangen, wobei mindestens zwei Iterationen pro Versuch zu rechnen waren. Begonnen wurde mit a priori Fehlerschranken, die nur ganz grobe Fehler ausschieden. Aus allen übrigen Fehlern wurden mittlere Fehler gerechnet und neue Schranken als deren Dreifaches bestimmt und mit den früheren Schranken verglichen. Unterschieden sie sich um weniger, als ihrem Vertrauensintervall entsprach, wurde die letzte Iteration verworfen und die vorletzte als Ergebnis verwertet.

7. DIE PHOTOGRAMMETRISCHE GENAUIGKEIT IN ABHÄNGIGKEIT VOM BILDMASSTAB.

Bekanntlich ist die Genauigkeitsleistung der Photogrammetrie, gemessen in μm im Bild, unter der Annahme gleicher sonstiger Bedingungen unabhängig vom Bildmaßstab. Tab. 7.1 und Abb. 7.1 zeigen demgegenüber andere Ergebnisse, weil der Versuch jene Bildmaßstäbe umfaßt, die wegen der Bildwanderung zufolge Fluggeschwindigkeit und der Flugzeugschütterungen in den turbulenteren, bodennäheren Luftschichten die Grenzen des Zulässigen und des Möglichen für die Flächenflugzeugphotogrammetrie darstellen.

Bildmaßstab	Analogauswertung			Digitalauswertung		
	AQX	AQY	AQZ	AQX	AQY	AQZ
1:1 500	11	14	26	9	11	25
1:2 500	8	9	23	6	6	23
1:4 000	8	7	17	6	6	16

Tab. 7.1 Zusammenstellung der mittleren absoluten Fehler der signalisierten Punkte AQK in μm im Bild für den Versuch Wien; Bildflüge mit $c = 30\text{ cm}$ (23×23) bei sonniger Beleuchtung.

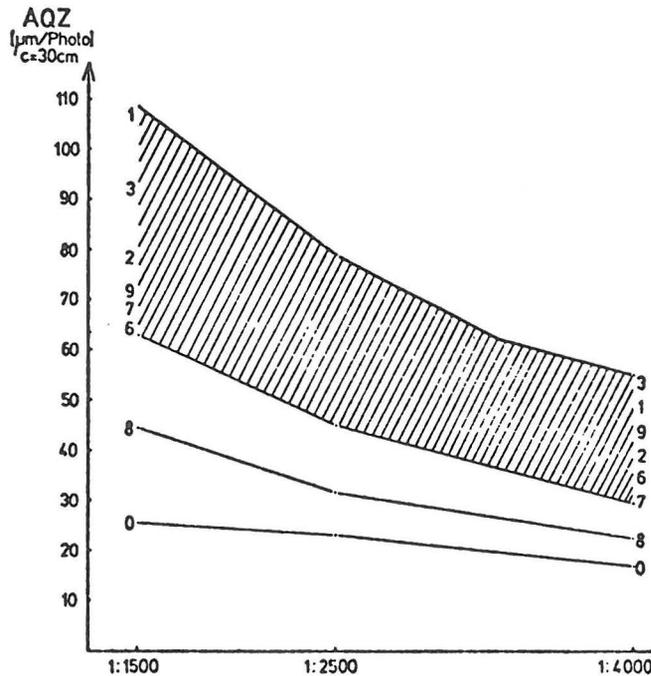


Abb. 7.1 Mittlere absolute Fehler AQK in μm im Bild aller Auswertungen gleichen Maßstabes mit $c=30\text{ cm}$ für die in (x,y) punktförmig definierten Details. Die Ziffern neben den Linien geben die Detailpunktgruppen a .

Die Genauigkeitsleistung nimmt daher deutlich mit zunehmendem Bildmaßstab ab (50-100%). Dies zeigt sich auch bei den schlechter punktförmig definierten Punktgruppen (bis 200%). Andererseits erkennt man aus den Fehlern in mm/Natur, daß die Vergrößerung des Bildmaßstabes bis zuletzt (1:1 500) noch eine absolute Genauigkeitssteigerung gebracht hat.

Beim Vergleich der Ergebnisse des Versuches Reichenbach für 1:8 000 mit jenen des Versuches Wien für 1:4 000 erkennt man zunächst einen Genauigkeitssprung zugunsten des neueren Versuches, der mit einer besseren Kamera und mit besseren Analogauswertegeräten ausgeführt worden ist. (Tab.7.2).

Bildmaßstab	Analogauswertung			Digitalauswertung		
	AQX	AQY	AQZ	AQX	AQY	AQZ
1:8 000	14	15	27	8	8	19
1:12 000	11	13	24	7	8	21

Tab. 7.2 Zusammenstellung der mittleren absoluten Fehler AQK in μm im Bild für den Versuch Reichenbach der OEEPE/C (aus Förstner, 1969, Tab.16 und 17). Bildflüge mit $c = 21\text{ cm}$ ($18 \times 18\text{ cm}$) bei sonniger Beleuchtung, nur signalisierte Punkte.

8. DIE PHOTOGRAMMETRISCHE GENAUIGKEIT IN ABHÄNGIGKEIT VOM AUSWERTEMODUS.

Das Verhältnis der mittleren absoluten Fehler nach Analogauswertungen zu denen nach Komparator-(=Digital-)Auswertungen zeigt, daß die Analogauswertungen seit dem Versuch Reichenbach relativ besser geworden sind (Tab. 8.1). Die signalisierten Punkte wurden analog lagemäßig nur noch um 27% schlechter ausgewertet als digital, höhenmäßig gibt es überhaupt keinen Unterschied. Für die weniger gut definierten städtischen Detailpunkte lieferten die Analogauswertegeräte 5 - 20% bessere Lageergebnisse und 2 - 31% bessere Höhenergebnisse.

Punktgruppe	$K_x^{a,d}$	$K_y^{a,d}$	$K_z^{a,d}$	$[N_a]$	$[N_d]$
0=signalisierte Punkte	+1,18	+1,36	+1,02	3919	3775
1=Hausecken	-1,11	-1,05	-1,04	2291	2196
2=HausstöÙe	-1,18	-1,05	-1,01	859	756
3=Hauseingänge	-1,06	-1,13	-1,18	1482	1227
6=Zäune	-1,08	-1,12	-1,02	3314	3092
7=Maste	-1,23	-1,07	-1,31	2285	2181
8=Einbauten	-1,08	+1,04	-1,12	3825	3570
9=Bäume	-1,13	-1,06	-1,24	1793	1546

Tab. 8.1 Fehlerrelationen $K_k^{a,d}$ für die mittleren absoluten Fehler AQK

9. DIE PHOTOGRAMMETRISCHE GENAUIGKEIT IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN BELEUCHTUNGS- VERHÄLTNISSEN.

Für die Beurteilung des Beleuchtungseinflusses (sonnig - diffus) haben wir die Ergebnisse in μm im Bild aller Analog- und Digitalauswertungen aller 4 Flughorizonte zusammengefaßt, die Varianzquotienten gebildet und die Fehlerrelationen

$$K_k^{d,s} = \sqrt{(s_k^d)^2 / (s_k^s)^2}, \quad (k=x,y,z)$$

gerechnet. Die positiven $K_k^{d,s}$ geben also das Vielfache an, um das die mittleren Fehler bei diffuser Beleuchtung größer erhalten worden sind als bei sonniger Beleuchtung, die negativen sind Reziprokwerte! (Tab. 9.1).

Punktgruppe	$K_x^{d,s}$	$K_y^{d,s}$	$K_z^{d,s}$	$[N_d]$	$[N_s]$
0=signalisierte Punkte	1,11	1,13	1,35	3300	4397
1=Hausecken	1,16	1,08	-1,08	2213	2274
2=HausstöÙe	1,23	1,30	1,03	834	781
3=Hauseingänge	1,17	1,29	1,13	1533	1176
4=Gehsteigkanten: } Gerade		1,06	1,40	2578	3188
5=Schinen } Bögen		-1,05	1,43	742	324
6=Zäune	1,21	1,25	1,42	2972	3434
7=Maste	1,19	1,51	1,24	1917	2549
8=Einbauten	1,25	1,32	1,37	3298	4097
9=Bäume	1,03	1,34	1,33	1708	1631

Tab. 9.1 Fehlerrelationen $K_k^{d,s} = (AQK_{diffus} : AQK_{sonnig})$ für die mittleren absoluten Fehler AQK in μm im Bild aus allen Auswertungen aller Flüge.

Die signalisierten Punkte zeigen signifikant auf, daß bei diffusem Licht in allen drei Koordinaten um bis zu einem Drittel schlechtere Ergebnisse erzielt wurden als bei sonniger Beleuchtung. Will man den Vorteil der diffusen Beleuchtung ausnützen, der ja darin besteht, daß die bei sonniger Beleuchtung in Schlagschatten gelegenen Punkte sichtbar werden, so wird man um etwa 25% tiefer fliegen müssen, um den Genauigkeitsverlust gegenüber sonniger Beleuchtung sicher auszugleichen. Aus den entsprechenden Ergebnissen für die relativen Fehler war ersichtlich, daß die z-Messungen bei diffuser Beleuchtung

deutlich schlechter waren, wofür die schwächeren Kontraste und die geringere Bildtextur verantwortlich sein müssen.

10. DIE ERGEBNISSE DES OBJEKTIVVERGLEICHES.

Aus Tab. 10.1 folgt, daß durch die Verbesserung der Normalwinkeloptik vom Aviotar 21 zum Aviotar 30 die Relativgenauigkeit der Photogrammetrie (im Sinne des Versuches Wien für die Wiederholbarkeit photogrammetrischer Ergebnisse) und die Absolutgenauigkeit der Photogrammetrie in z um etwa 30% verbessert worden sind. Für die Lagekoordinaten ergibt der Versuch Wien kein eindeutiges Ergebnis; die Unterschiede in x oder y sind nicht signifikant, jedoch einheitlich im Vorzeichen zugunsten der neuen Optik.

Punktgruppe	$K_{x}^{30,21}$	$K_{y}^{30,21}$	$K_{z}^{30,21}$	$[N_{30}]$	$[N_{21}]$
0=signalisierte Punkte	+1,19	-1,32	-1,21	1180	931
1=Hausecken	-1,03	-1,09	-1,09	500	489
2=Hausstöße	-1,12	-1,30	-1,39	186	107
3=Hauseingänge	+1,07	+1,17	+1,45	88	341
6=Zäune	-1,20	-1,15	-1,13	886	834
7=Maste	-1,12	-1,04	-1,20	646	530
8=Einbauten	+1,03	-1,06	-1,13	958	834
9=Bäume	-1,01	-1,17	+1,08	464	360
0+8	+1,03	-1,12	-1,17	2138	1765

Tab. 10.1: Zusammenstellung der Fehlerrelationen $K_k^{30,21}$ der mittleren absoluten Fehler AQK für die Flüge 1:4 000 bei sonniger Beleuchtung für alle Auswertungen

11. DIE ERGEBNISSE DES PUNKTARTENVERGLEICHES.

Wenn man alle Ergebnisse für die 9 Detailpunktgruppen getrennt zusammenfaßt und auf die entsprechenden Ergebnisse für die signalisierten Punkte (Erste Zeile in 11.1) bezieht, wird uns ein völlig neues Gefühl dafür vermittelt, wie wir in Zukunft von Genauigkeitsschätzungen signalisierter Punkte auf die Genauigkeit anderer Punktgruppen zu schließen haben (Tab.11.1, Abb.11.1).

Punktgruppe i	AQX ⁰	AQY ⁰	AQZ ⁰	$[N_r]^i$
	$K_x^{i,0}$	$K_y^{i,0}$	$K_z^{i,0}$	
0=signalisierte Punkte	8	9	25	7694
1=Hausecken	5,7	4,4	3,3	4487
2=Hausstöße	5,1	4,7	2,7	1615
3=Hauseingänge	5,6	4,8	3,2	2709
6=Zäune	6,1	4,9	1,9	6406
7=Maste	4,8	3,8	1,9	4466
8=Einbauten	3,0	2,6	1,4	7395
9=Bäume	6,5	5,2	2,0	3339
4=Gehsteigerrae		3,4	1,5	2104
4=Gehsteigbögen		2,8	1,3	1440
5=Schienengerade		2,0	1,3	5072
5=Schienenbögen		1,5	1,1	321

Tab. 11.1 Zusammenfassung der mittleren absoluten Fehler AQK in μm im Bild und der entsprechenden Fehlerrelationen $K_k^{i,0}$. Verwendet wurden alle Bildflüge und alle Auswertungen. Für die Gehsteigkanten und die Schienen wurden die entsprechenden Querabweichungen (AQ.D.) mit dem Mittel aus beiden Koordinatenfehlern AQX⁰ und AQY⁰ der signalisierten Punkte verglichen.

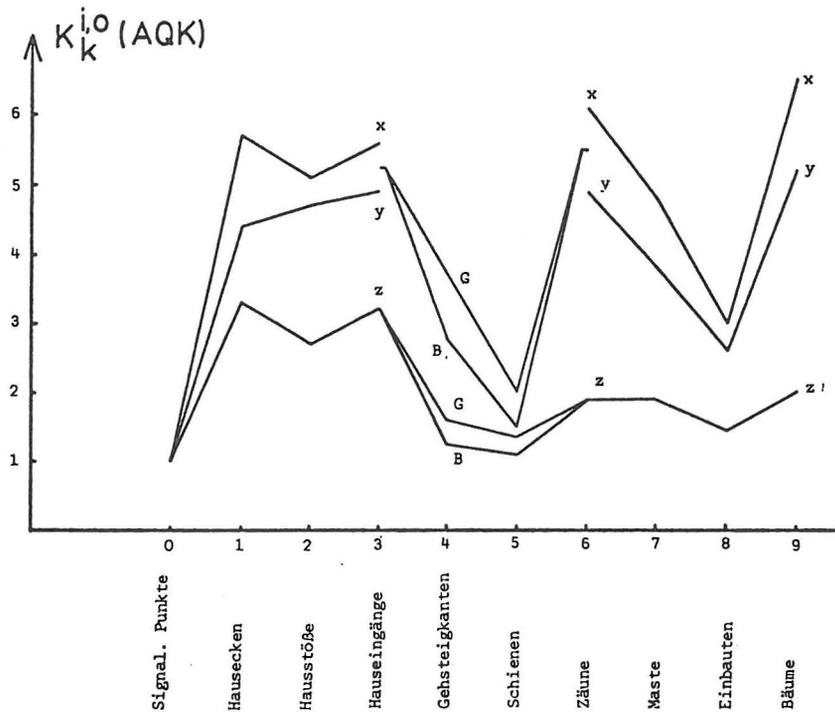


Abb. 11.1 Die mittleren absoluten Fehler der einzelnen Punktgruppen in Einheiten der mittleren absoluten Fehler der signalisierten Punkte (siehe Tab. 11.1) (G = Gerade, B = Bögen)

Die Punktdefinitionsfehler hatten also einen sehr großen Einfluß auf die Meßgenauigkeit. Die Höhengenaugigkeit der nicht signalisierten Punkte betrug grob nur die Hälfte bis ein Drittel der für signalisierte Punkte, die Lagegenauigkeit nur die Hälfte bis ein Sechstel. Die Punktgruppe 8 der kontrastschwachen und nicht gleichartig quadratisch geformten Kanaldeckel und Wasserschieber etc. nahm eine Zwischenstellung ein zwischen den optimal signalisierten Testpunkten und den übrigen Punktgruppen. Schienen waren genauer photogrammetrisch meßbar als Gehsteigkanten, einerseits, weil sie wohl genauer definiert waren, andererseits, weil die begleitende Kopfsteinpflasterung die Höhe besser erkennen ließ als der Asphalt neben den Gehsteigkanten.

12. DER VERGLEICH DER BEIDEN TERRESTRISCHEN MESSUNGEN.

Bei der zweiten terrestrischen Messung wurden nur die Detailpunkte, nicht aber die signalisierten Punkte ein zweites Mal bestimmt. Da die mittleren Fehler aus Kontrollstrecken bei beiden Aufnahmen gleich groß waren, konnten beide Messungen als gleich genau betrachtet werden. Zwischen den beiden terrestrischen Aufnahmen ergaben sich für fast alle Punktgruppen die gleichen mittleren Lageabweichungen von ± 3 bis ± 4 cm. Nur bei den Einbauten (Punktgruppe 8) war die Übereinstimmung besser (± 2 cm), bei den Bäumen schlechter (± 6 cm). Bei den Höhendifferenzen verhielt es sich ähnlich.

Die photogrammetrischen Analogmessungen aus den Bildmaßstäben 1:1 500 waren im Vergleich zu terrestrischen Messungen lagemäßig um den Faktor 2-3 schlechter, höhenmäßig um einen Faktor 3-4 schlechter. Dieses für die Photogrammetrie ungünstige Ergebnis kann seine Ursache darin haben, daß bei den beiden terrestrischen Messungen vom gleichen Testpunktnetz ausgegangen worden war, die Betrachtungsrichtungen also weitgehend übereingestimmt hatten, ganz im Gegensatz zu den deutlich verschiedenen Perspektiven der Photogrammetrie. Gerade, Bögen und Gehsteighöhen waren nur sehr schwer vergleichbar, da die Abweichungen

zwischen den beiden terrestrischen Meßstellen größer gewesen sind als zwischen den photogrammetrischen und dadurch sehr viele Messungen ausgefallen sind. Die vergleichbaren Messungen erbrachten aber auch keine neuen Aspekte.

13. ZUR AUSSAGEKRAFT PHOTOGRAMMETRISCHER GROSSVERSUCHE.

Im Rahmen der OEEPE-Großversuche wird äußerst umfangreiches Datenmaterial verarbeitet, um praktische Eichgrößen für theoretische Untersuchungen zu gewinnen und den Unterschied zwischen den Wunderergebnissen einzelner Veröffentlichungen und dem tatsächlich Wiederholbaren zu schätzen. Die Zukunft wird zeigen, ob der durch den Versuch Wien aufgezeigte Trend tatsächlich stimmt.

Dieser Bericht darf aber auch nicht über die Mängel solcher äußerst teuren Großversuche hinweggehen. Im Versuch Wien stecken sicher 15 000 Arbeitsstunden und trotzdem oder gerade deswegen sicher auch viele Fehler. Wenn sich jedoch etwa die mittleren absoluten Querfehler der dreimalig mit Analoggeräten gemessenen Gehsteiggeraden wie 3:4:4 und die der dreimalig mit Stereokomparatoren gemessenen wie 3:8:17 (alles cm-Werte!, an jedem Wert waren zwei Zentren beteiligt) verhielten, dann fehlte doch sicher bei mindestens 3 Zentren die für internationale Zusammenarbeit zu erwartende Sorgfalt oder das Können. Und wenn von einigen der am Versuch beteiligten Zentren 25% oder 50% der versprochenen Messungen überhaupt nicht geliefert wurden und die Kommissionsmitglieder darüber nur Erstaunen zeigten, dann stimmte etwas bei der Produktionskontrolle nicht.

Die Photogrammetrie ist eine relativ leichte Meßmethode, jedoch für Massenarbeiten verantwortlich, die, wie überall in der Industrie, Ausschuß enthalten. Der Versuch Wien erinnert uns daran, daß methodisch strenge Kontrollen vorzusehen sind und daß Standardtests, Doppelmessungen, Blockdoppeldeckungen, Kontrollen der Modellorientierungen keine Maßnahmen sind, die man belächeln soll. Das geodätische Prinzip, keine Messung ohne Kontrolle, darf auch in der Photogrammetrie niemals in Vergessenheit geraten. Professor Schermerhorn hat einen photogrammetrischen Betrieb stets nach der Organisation der Vorbereitungsabteilung beurteilt. Ich bin überzeugt, er würde die photogrammetrischen Koordinatenfabriken von heute auch nach ihrer Kontrollorganisation beurteilen.

SCHRIFTTUM

- R. FÖRSTNER: Über die Genauigkeit der photogrammetrischen Koordinatenvermessung in bergigem Gelände. Bericht über die Ergebnisse des Versuches Reichenbach der Kommission C der OEEPE. NKV, OEEPE-Sonderveröffentlichung Nr.5, Teile I und II. IFAG Frankfurt 1969
- R. FÖRSTNER: Stadtgrundkarten für bebaute Gebiete. Invited paper. Kommission IV, ISP-Kongreß Ottawa, 1972
- H.L.van GENT: Literaturzusammenstellung zur großmaßstäbigen Photogrammetrie unter besonderer Berücksichtigung der Stadtvermessung, 1950 bis 1969. Meetkundige Dienst van het Kadaster, Den Haag-Apeldoorn, 1970
- P. HÖRMANNSDORFER: Der reduzierende Distomat WILD DI3. Neue Wege der Detailvermessung. ÖZV 1973, S.83-89
- J. TIMMERMAN: Über die Genauigkeit der photogrammetrischen Gebäudevermessung. Presented Paper, (Kommission IV) ISP-Kongreß Helsinki, 1976
- P. WALDHÄUSL: Die Ergebnisse des Versuches Wien. Ausführlicher Bericht mit Tabellenteil für die Kommission C der OEEPE. Wien, im Februar 1980