

Studienrichtung Vermessungswesen  
Technische Universität Wien

# GEOWISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN

Heft 13

Prof. Dr.h.c. Karl Neumaier

zum  
80. Geburtstag

Veröffentlichung des Institutes für Photogrammetrie

Geowiss. Mitt.  
13, 1978

Wien, 12. Januar 1978

Herausgeber und Verleger: o. Prof. Dr.-Ing, K. Kraus  
Vorstand des Institutes für Photogrammetrie der  
Technischen Universität Wien  
A 1040 Wien, Gußhausstraße 27-29

Die Kosten für den Druck wurden

- vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung  
aus Förderungsmitteln,
- vom Institut für Photogrammetrie aus der ordentlichen  
Dotation und aus eigenen Einnahmen sowie
- vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme)  
in der Form des kostenlosen Druckes von fünf Blättern

getragen.

Einband: Fa. F. Manhardt, Wien

Druck des Portraits (Prof. Neumaier im Nov. 1977) und der  
Seiten 163, 213, 215, 231, 233, 237 und 241: Fa. Lischkar & Co., Wien  
Druck der Seiten 51, 59, 63, 67 und 69: Bundesamt für Eich- und  
Vermessungswesen, Wien

Druck der übrigen Seiten: ÖHTUW-Vervielfältigung, Wien

Redaktion: Mitarbeiter des Institutes für Photogrammetrie der TU Wien  
Reinschrift: M. Menschhorn, H. Reitzi

Auflage: 500 Stück (+ Sonderdrucke)

V O R W O R T

Am 12. Jänner 1978 feiert

Herr Hon.Prof. Ing. Dr.techn.h.c. Karl NEUMAIER

seinen 80. Geburtstag. Aus diesem Anlaß widmet das Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien dem Jubilar ein Sonderheft der Geowissenschaftlichen Mitteilungen.

Einige Autoren dieses Heftes sind seine ehemaligen Mitarbeiter an der Technischen Hochschule Wien; andere Autoren sind einige seiner Schüler, die heute an exponierter Stelle im Ausland tätig sind. Mit ihren Beiträgen wollen die Autoren sowohl ihrem Vorgesetzten für die wissenschaftliche und persönliche Anleitung als auch ihrem akademischen Lehrer für das erworbene photogrammetrische Rüstzeug danken. Die Vielseitigkeit der Beiträge - herausgegriffen aus dem gegenwärtigen Arbeitsgebiet der Autoren - kann als ein Ergebnis des weiträumigen Wirkens Prof. Neumaiers angesehen werden.

In einem eigenen Aufsatz hat Präs.i.R. Dipl.-Ing. F. Eidherr den beruflichen Werdegang und Wirkungsbereich Prof. Neumaiers zusammengefaßt. Die persönliche Freundschaft und die vielen Jahre gemeinsamer beruflicher Tätigkeit am Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen haben Präs. Eidherr für diese Aufgabe prädestiniert.

Stellvertretend für jene Berufskollegen, die Prof. Neumaier's Generation angehören, wurde der ehemalige Eidgenössische Vermessungsdirektor, Dipl.-Ing. Dr.h.c. Hans Härry, um eine Grußadresse gebeten. Bereits in seinem Antwortschreiben vom 28. Juni v.J. kommt die Wertschätzung zum Ausdruck, die Prof. Neumaier im In- und Ausland seit vielen Jahrzehnten genießt: "Ich werde mir gerne die Ehre und Freude machen, eine Grußadresse für das Sonderheft der Geowissenschaftlichen Mitteilungen zum Anlaß des 80. Geburtstages meines - ich darf wohl sagen - Freundes Prof. Neumaier zu liefern."

Das Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien will mit der Herausgabe dieses Sonderheftes und einer am 11. Jänner 1978 stattfindenden gesellschaftlichen Veranstaltung Herrn Prof. Neumaier für seine Verdienste um das Institut danken. Er hat das Institut für Photogrammetrie von der Gründung (1964) bis zu meiner Berufung (1.4.1974) umsichtig geleitet und somit die Basis für unser heutiges Wirken in der Lehre und Forschung geschaffen.

Karl Kraus

INHALTSVERZEICHNIS:

HÄRRY, H.:	Grußadresse	9
EIDHERR, F.:	Prof. Dr.h.c. K. Neumaier - beruflicher Werdegang und Wirkungsbereich	13
JERIE, H.G.:	Kosten- und Leistungsmodelle für Planungs- und Entscheidungsaufgaben	27
BERNHARD, J.:	Über die Entwicklung der Photogrammetrie im Bundesamt für Eich- und Vermessungs- wesen seit dem Jahre 1945	47
EBNER, H.:	A posteriori Gewichtsschätzung bei der verallgemeinerten kleinsten Quadrate Ausgleichung	73
SCHNEIDER, H.:	Verfahrensweisen und Anwendungsgebiete eines analytischen Auswertesystems, gezeigt am ZEISS Planicom	85
WALDHÄUSL, P.:	Der Versuch Wien der OEEPE/C	101
OŠEPKA, G. DUSCHANEK, E.	Empirische Genauigkeitsuntersuchung von Orthophotos	125
KÖLBL, O.:	Waldkartierungen in der Schweiz	151
FISCHER, J.:	Erstellung einer Karte 1 : 25 000 im Süden Venezuelas	169
LEBERL, F.:	Zur Herstellung von Karten mittels Satellitenphotographie und Fernerkundungsverfahren	189
BAKKER, D.J. KUBIK, K.:	Underwater mapping by Side Looking Sonar	225

GRUSSADRESSE EINES PERSÖNLICHEN FREUNDES

von

Dr.h.c, Hans Harry, Bern

Große Erfolge in Wissenschaft und Praxis sind letzten Endes abhängig von der guten Zusammenarbeit der Beteiligten, der Zusammenarbeit im eigenen Lande, aber auch über die Landesgrenzen hinweg. Die Guten, die so für den Fortschritt und das Gemeinwohl wirken, verdienen den Dank der Fachwelt und der Allgemeinheit. Es ist kennzeichnend für Prof.Dr.techn.h.c. Karl Neumaier, der nun sein 80. Lebensjahr vollendet, daß er während seiner ganzen beruflichen Laufbahn den Geist, die Bereitschaft und den Einsatz zur Zusammenarbeit gezeigt hat. Der Gruß und die Glückwünsche an ihn aus Anlaß dieses besonderen Geburtstages kann somit nicht anders sein als der Ausdruck des Dankes der Öffentlichkeit. Vielleicht geben mir viele Begegnungen mit Prof. Neumaier, der Gedankenaustausch in ungezählten internationalen fachlichen Körperschaften, gegenseitige Besuche in Arbeitszentren, aber auch Stunden des freundschaftlichen Zusammenseins die Berechtigung, einiges an Dank abzustatten.

Unter den vielen zu lösenden vermessungstechnischen Schwierigkeiten, die uns in Diskussionen verbanden, stand die Luftphotogrammetrie, darin die luftphotogrammetrische Katastervermessung im Vordergrund. Diese Rangordnung war mit den Aufgaben gegeben, die den österreichischen und schweizerischen Vermessungsfachleuten in der Aufbauperiode nach dem zweiten Weltkrieg bei aller Verschiedenheit der Voraussetzungen gestellt waren. In Österreich war die herkömmliche Meßtisch-Katastermappe durch eine neue, rationell durchzuführende Katastervermessung zu ersetzen; in der Schweiz gab der zähflüssige Fortgang der Grundbuchvermessung, insbesondere in den Berggebieten Anlass, rationellere Vermessungsmethoden zu studieren und zu erproben.

In Diskussionen während des FIG-Kongresses in Lausanne 1949 hat sich die Auffassung herausgebildet, das Stereoluftbildpaar über einem Gelände, in dem die Grenzpunkte vor der Befliegung luftbildsichtbar gemacht wurden, sei ein geeignetes Hilfsmittel für die raumgeometrische Registrierung

des Gelände-(Grenzpunkt-)Punktfeldes. Die graphische Auswertung dieser geometrischen Information an Stereoautographen zu Katasterplänen begleitet mit Höhenablesungen an den Analog-Auswertegeräten war damals schon 20 Jahre praktikabel. Die Wende lag darin, daß man die Vision besprach, die Meßelemente mit einer Zahlen-(Koordinaten-)Registriereinrichtung festzuhalten und diese Meßdaten für die Verarbeitung an den aufkommenden elektronischen Rechengерäten auf Lochkarten oder Bändern zu übergeben. Die ersten Versuche unter Prof. Neumaier waren ermutigend.

Da es dabei um die luftphotogrammetrische Ortung von Punktfeldern ging, wurde auch die luftphotogrammetrische Vermessung von Festpunktnetzen in die Überlegungen und Versuche einbezogen. Die Triangulation wurde um die Aerotriangulation erweitert, die über größere Flächen möglich gewordene Punktbestimmung mittels photogrammetrischer Digitalauswertung in Verbindung mit Datenregistrierung, Datenspeicherung und elektronischer Koordinatenrechnung. Prof. Neumaier hat in den vergangenen 30 Jahren, ausgehend von der Auffassung der photogrammetrischen Registrierung des Raumpunkthaufens und von der Vision einer möglichst automatisierten Auswertung dieser Information, die Entwicklung zur heutigen Digitalauswertung und programmgesteuerten Berechnung der Schlußdaten mitgestaltet.

Mit der Hervorhebung der photogrammetrischen Katastervermessung will nur gezeigt werden, mit welcher Hingabe Prof. Neumaier seinen Grundbestand an Theorie und Praxis genutzt, seine Aufgaben gelöst und die Entwicklung befruchtet hat. Ob es sich um Beratung und Lehre im Dienste der chinesischen Nationalregierung, um wissenschaftliche Mitarbeit am Reichswasserstraßenamt in Delft, um die Leitung des photogrammetrischen Institutes der Südosteuropa-Gesellschaft in Wien, um den Dienst als Hofrat und zuletzt als Präsident des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, um die Lehre an der Technischen Hochschule in Wien, um die räumliche und instrumentelle Ausrüstung des Institutes für Photogrammetrie dieser Hochschule, um die Mitarbeit in internationalen Fachkommissionen (ISP, OEEPE) oder weitere, hier nicht aufgezählte Aufgaben handelte: Immer wirkte er als positiv eingestellter Urteiler, als ideen- und erfolgreicher Vollbringer und Reformator. Eine anregende Art und ausgesprochene Kontaktfreudigkeit haben ihm auch viele Freunde im Ausland eingetragen.

Einer seiner vielen Freunde in der Schweiz darf hier vielleicht feststellen, daß in einer gewissen Entwicklungsperiode seine Besuche besonders häufig und gerne gesehen wurden, wahrscheinlich weil er in der Ostschweiz, vornehmlich in der Umgebung der Instrumentenfirma Wild, gleichgestimmte, ihm zusagende Gesprächspartner fand. Einmal kam er ohne seinen in Wien zurückgelassenen Paß an die österreichisch-schweizerische Grenze, Kennzeichnend für die Häufigkeit der Grenzübertritte des leutseligen Wieners war, daß der maßgebende Grenzbeamte bestimmte: "Den kennen wir. Das ist ja der Professor Neumaier aus Wien, den lassen wir durchgehen".

Dem verehrten Achtziger werden für den vor ihm liegenden Lebensabschnitt als Grüße von nah und fern Anerkennungen und Wünsche auf viele lange und beglückende Jahre voller Genugtuung und Gesundheit zukommen. Mit diesen Glückwünschen will gedankt werden für die freundschaftliche Zusammenarbeit über Jahrzehnte und für den uneigennützigem, erheiternden Wissens- und Erfahrungsaustausch, mit dem uns Prof. Neumaier immer wieder bereichert hat.



Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 13 - 26

PROF. DR.H.C. K. NEUMAIER -  
BERUFLICHER WERDEGANG UND WIRKUNGSBEREICH

von  
F. Eidherr

Adresse des Autors:

Präs.i.R. Dipl.-Ing. F. Eidherr, Landsteinerergasse 5, 1160 Wien

Neue empirische Studien stellen fest; Manager sind nicht die systematischen, überlegten Planer; sie sind aktionsorientiert. Seit der französische Industrielle Henry F A Y O L 1916 die Worte Planen, Organisieren, Koordinieren und Kontrollieren einführte, beherrschen sie das Managementvokabular.

Mit diesen vier vorgenannten Begriffen wäre eigentlich die Lebensarbeit des Jubilars, Honorarprofessor Ing. Dr.techn.e,h. Karl Neumaier, ausreichend beschrieben und bedarf nur mehr Ergänzungen einzelner Lebensabschnitte.

Er war jener Mythos eines Managers, der unständig arbeitete; seine Aktionen zeichneten sich durch Kürze, Vielfältigkeit und Diskontinuität aus, und er hatte stets eine Abneigung gegen reflektierende Tätigkeiten empfunden.

Das Arbeitstempo war für ihn und seine Mitarbeiter unerbittlich, er kannte keine Zeiteinteilung und sprang von Problem zu Problem. Neumaier wußte, daß Repräsentationspflichten ein wesentlicher Bestandteil erfolgreicher Führungsarbeit sind und bevorzugte in besonderem Maße die verbale Kommunikation - vor allem Telefonate und Konferenzen.

Aber auch weiche Informationen wie Gerede und Spekulationen waren für ihn wertvoll. Der Grund lag in ihrer Aktualität und der Erfahrung; "Klatsch von heute kann Tatsache von morgen sein." Diese Vorliebe bewirkte, daß er die strategische Datenbank nicht im Speicher eines Computers sondern im Kopfe hatte. Daraus ergaben sich für seine Mitarbeiter oft Schwierigkeiten, man konnte nicht wie gewohnt einfach Akte schreiben und weitergeben, man mußte stets mitdenken und die Aufgaben gleich erledigen, sonst drohte das Informationssystem in einem Delegationsdilemma unterzugehen. Neumaier sorgte dafür, daß dieser Fall nie eintrat. Er sagte oft zu seinen Mitarbeitern; "Die Technik hilft nicht von selbst. Die Fähigkeit, ihre Möglichkeiten voll auszunützen, fällt niemandem von selbst zu; jeder Einzelne ist immer vor eine persönliche Entscheidung gestellt."

Er vertrat die Ansicht, daß traditionelle Werte unseres Berufes wohl unberührt bleiben sollen, aber unsere Zeit viel verlangt, was eben

früheren Generationen unbekannt war. Fast täglich werden relativ junge Erkenntnisse durch neue überholt, kaum erst erworbene Errungenschaften durch bessere verdrängt und moderne Arbeitsmethoden durch überlegene Neuerungen in den Schatten gestellt. Er verlangte daher von seinen Mitarbeitern, daß sie, seiner scheinbaren Unruhe folgend, die ständigen Neuerungen verstehen und anwenden lernten und jederzeit zu neuen Tätigkeiten bereit waren.

Karl Neumaier, geboren am 12. Jänner 1898 in Wien, legte nach dem Besuch der Volks- und Staatsrealschule im 1. Bezirk am 13.10.1916 die Reifeprüfung ab. Er absolvierte in den Jahren 1918 - 1920 den Kurs zur Heranbildung von Vermessungsgeometern an der Technischen Hochschule in Wien und unterzog sich daselbst am 21.3.1925 der Staatsprüfung für Geometer.

Schon ab 1922 war Neumaier bei der Agrarbehörde und verschiedenen Zivilingenieuren tätig und wurde ab September 1926 als Assistent an der Lehrkanzel für Katasterwesen an der Technischen Hochschule Wien eingestellt. Im Mai 1929 trat er in den Dienst des Wasserbauamtes der Provinz Chekiang in Hangchow (China) ein und wurde mit der Einführung der Methoden der Luftbildvermessung für die kartographischen und topographischen Vermessungen beauftragt.

Im Mai 1931 wurde er als Berater der nationalen chinesischen Regierung mit dem gleichen Aufgabenkreis in den Militärtopographischen Dienst des Generalstabes in Nanking berufen. Gleichzeitig mit dieser Tätigkeit erfolgte der Auftrag, im Jahre 1934 an der deutschsprachigen, staatlichen, chinesischen Tung-Chi-Universität in Woosung, Shanghai, eine Abteilung für Vermessungswesen einzurichten, verbunden mit einer Berufung als Professor an dieser Universität. In gleicher Eigenschaft wurde er ab September 1935 mit der Abhaltung von Vorlesungen über Luftbildvermessung an der englischsprachigen Chiao-Tung-Universität in Shanghai beauftragt.

Im Jahre 1936 beendete er seine Tätigkeit beim militärtopographischen Dienst des Generalstabes in Nanking und wurde zur Direktion der Steuerverwaltung der Provinz Chekiang in Hangchow als Berater für die Erstellung eines Grundsteuerkatasters mittels Luftbildvermessung berufen. Infolge des Ausbruches des chinesisch-japanischen Krieges im Jahre 1937 mußte er seine Tätigkeit in China beenden und kehrte im März 1938 nach Europa zurück.

Von 1938 bis 1940 war Neumaier am photogrammetrischen Institut der Technischen Hochschule in Delft (Holland) als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Gemeinsam mit dem "Meetkundige Dienst von de Rijkswaterstaat" beschäftigte sich dieses Institut auch mit praktischen Luftbildauswertungen für Zwecke der Erdölforschung in den holländischen Kolonien (Neu-Guinea) und in südamerikanischen Staaten. Aus dieser Zeit blieb eine große Freundschaft mit dem späteren holländischen Ministerpräsidenten und Gründer des "International Training Center (ITC)", des heutigen "International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences" in Enschede, Professor Dr.Dr,h.c.mult. Willem Schermerhorn; mit ihm schrieb Neumaier die viel zitierte Publikation; "Systematische Fehler bei der Aerotriangulation".

1941 trat Neumaier in den Dienst der Südosteuropagesellschaft in Wien ein, die ihn mit der Gründung und Leitung eines photogrammetrischen Institutes beauftragte.

Nach dem Ende des 2. Weltkrieges wurde K. Neumaier, der nun schon mehrere Male mit dem Aufbau photogrammetrischer Institute betraut war, am 1.8.1945 als Leiter der Gruppe "Landesaufnahme" und als Leiter der Abteilung L1, "Photogrammetrie", im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien eingestellt. Mit EntschlieÙung des Bundespräsidenten vom 18.2.1947 wurde Neumaier als Obervermessungsrat mit dem Titel "Hofrat" in das öffentlich-rechtliche Dienstverhältnis übernommen und mit EntschlieÙung vom 4.2.1948 zum wirklichen Hofrat befördert.

Neben seiner Funktion als Gruppen- und Abteilungsleiter war er bald Stellvertreter des Behördenvorstandes, Vorsitzender der Prüfungskommission für den höheren technischen Dienst im Vermessungswesen, Mitglied der Österreichischen Kommission für die internationale Erdmessung und schließlich Honorarprofessor für Photogrammetrie und Mitglied der II. Staatsprüfungskommission für Vermessungswesen an der Technischen Hochschule Wien.

Österreich hatte bis zum Jahre 1938 eine führende Stellung auf dem Gebiete der Photogrammetrie und erfreute sich deshalb internationalen Ansehens und allgemeiner Wertschätzung. Seine Vormachtstellung erstreckte sich

nicht nur auf den photogrammetrischen Bereich des Vermessungswesens, sondern auch auf die vielen Anwendungsgebiete der Photogrammetrie, wie z.B. in der Denkmalpflege, Medizin oder Kriminalistik.

Bei Neumaier lagen neben der entsprechenden Allgemeinbildung ganz besonders beachtenswerte Erfahrungen durch seine Betätigungen auf technisch-wissenschaftlichem und technisch-praktischem Gebiet vor, so daß seine Berufung von besonderer Bedeutung war, wenn Österreich seine internationale Stellung wieder erreichen sollte.

1896 wurde mit der 4. Landesaufnahme - auch Präzisionsaufnahme genannt - eine Neuaufnahme eingeleitet, die bis 1914 nur 6% und nach dem Kriege von 1919 bis 1945 weitere 20% unseres Staatsgebietes erfaßte. Unter der Annahme gleichbleibender budgetärer und personeller Verhältnisse konnte man mit Sicherheit das Jahr 2000 für die Fertigstellung des Kartenwerkes errechnen.

Um diesen unhaltbaren Zustand abzuwenden, mußten neue Wege beschritten werden, das heißt, die klassischen Aufnahmemethoden durch neue technische Verfahren ersetzt werden.

Mit der praktischen Einführung der Luftphotogrammetrie im allgemeinen und der Aerotriangulation im besonderen begann im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen eine grundlegende Wandlung und Weiterentwicklung, die einschneidende Maßnahmen auf dem Gebiete der Organisation, der Personalausbildung, der Geräteausstattung bei allen einzelnen Arbeitsphasen erforderlich machte. Gleichzeitig galt es, das schwierige Problem der ständigen Kartennachführung zu lösen, an dem fast alle Kartenwerke praktisch scheiterten. Dieses Problem der Kartennachführung war nicht nur für Österreich, sondern auch gleichermaßen für alle Fachleute der ganzen Welt erstrangig. Es war daher unvermeidbar, daß sich auch die Europäische Organisation für Experimentelle Photogrammetrische Untersuchungen (OEEPE), an deren Gründung 1951 Neumaier wesentlichen Anteil hatte, mit dieser Materie beschäftigte und Österreich mit dem Vorsitzenden Neumaier in der Kommission E mit diesen Fragen betraute. An diesen Versuchen nahmen zehn europäische Zentren teil, die 118 Interpretationen lieferten. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte unter der Leitung Neumaiers im Zentrum Wien, welches als "Centre pilote" tätig war.

Es war jene Zeit, in der nicht nur das Problem der Kartennachführung

gelöst werden sollte, sondern darüber hinaus auch jene Gesichtspunkte berücksichtigt wurden, welche mit der Erneuerung des Katasters, Planungen im Ingenieurbau oder mit solchen der Landes- und Raumplanung im Zusammenhang stehen.

Alle diese grundlegenden Arbeiten waren die Basis für eine Menge späterer, vielversprechender Neuerungen, wie z.B. des Orthophotos und der Orthophotokartographie. Verbunden mit der elektronischen Computertechnik eröffnen sich in Zukunft für die Herstellung der Karten und Unterlagen für Planer ungeahnte Möglichkeiten.

Viele Neukonstruktionen gehen auf Anregungen Neumaiers zurück, der immer gerne um Rat gefragt wurde.

Während der Amtsperiode Neumaiers wandelte sich die Karte auf Grund des technischen Fortschrittes von einer durch e i n e n Topographen individuell von Hand gezeichneten zu einer wissenschaftlich fundierten, genauen, objektiven Darstellung durch v i e l e spezielle Fachleute. Er erkannte frühzeitig, daß dieser Fortschritt abhängig ist von einem klaglosen Einsatz verschiedener Faktoren, wie die Einführung der Photogrammetrie zusammen mit der Entwicklung entsprechender stereoskopischer Auswertegeräte und z.B. der Schichtgravur auf beschichteten Folien •der Glas.

Am 1.1.1960 wurde Neumaier Präsident und damit Leiter des gesamten Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen. Bei den großen wirtschaftlichen Arbeitsaufgaben unseres Landes, gekennzeichnet durch die gesteigerte Bautätigkeit, durch die Intensivierung der Grundstückszusammenlegung, durch den Straßen- und Güterwegebau, durch Regulierungen von Flüssen und Bächen, durch den Ausbau von Kraftwerken, wurden immer größere Anforderungen an das staatliche Vermessungswesen gestellt.

Es war daher von besonderer Bedeutung, daß ein Beamter mit der Leitung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen betraut wurde, der wie Neumaier sowohl ein umfangreiches theoretisches Wissen und eine langjährige praktische Erfahrung auf dem Gebiete des gesamten Vermessungswesens mitbringt, als auch Organisationstalent und die Fähigkeit zur Menschenführung mehrfach bewiesen hat. Nur er war damals in der Lage,

im Bundesamt die entsprechenden Maßnahmen zu treffen, um durch rationellen Einsatz und Verwendung der modernsten Methoden den Anforderungen gerecht zu werden. Insbesondere sollen zwei Verdienste hervorgehoben werden. Erstens, daß das österreichische staatliche Vermessungswesen heute über eigene Vermessungsflugzeuge verfügt; dies ist nur seiner unermüdlichen Vorarbeit und Planung zu verdanken. Zweitens ist es sein Verdienst, die Möglichkeiten des elektronischen Rechenverfahrens auf dem Gebiete des Vermessungswesens erkannt zu haben, und es ist seiner Tatkraft zuzuschreiben, daß die ersten Versuche auf diesem Gebiete zunächst bei der Abteilung L 1 in die Wege geleitet wurden.

Im Jahre 1955 war es Neumaier, der in vorbildlicher Zusammenarbeit mit den mathematischen Instituten der Technischen Hochschule Wien, insbesondere mit Prof. Dr. R. Inzinger, die erste Rechenanlage, IBM604/2, für das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Betrieb nahm. Im neugegründeten "Mathematischen Labor" der Technischen Hochschule Wien wurden die ersten Pionierarbeiten sowohl auf dem Gebiet des geodätischen Rechnens, der numerischen Photogrammetrie für den Kataster, der numerischen Aerotriangulierungsausgleichung als auch auf dem Gebiete der beschleunigten Erstellung und Fortführung der Schriftoperatere des Grundsteuerkatasters geleistet. Durch die Umorganisation und durch die neu eingeführten Rechenmethoden konnten nicht nur die vielfältigen Aufgaben gemeistert, sondern auch schrittweise die großen Rückstände abgebaut werden.

Zu Neumaiers großen Verdiensten zählt ohne Zweifel sein erfolgreicher Einsatz für das neue Vermessungsgesetz. Die Beratungen des Gesetzentwurfes haben sich jahrelang hingezogen, bis Neumaier sich eines Tages direkt an den Bundesminister wandte und mit folgender Grundsatzklärung die stockenden Verhandlungen wieder in Gang brachte: "Österreich war im Vermessungswesen schon immer führend, war doch der Mailänder Kataster vor 300 Jahren ein Werk österreichischer Geometer, in welchem zum ersten Mal gezeigt wurde, wie man eine Katasterkarte technisch schafft. Auch der Grundsteuerkataster zu Beginn des vorigen Jahrhunderts war ein einheitliches Werk, welches Vorbild für ganz Europa wurde.

Neue Zeiten bringen neue Erkenntnisse, die bisher geltenden Gesetze über den Kataster sind ihrer Herkunft nach älter als das Eisenbahnnetz; da die alten Lokomotiven bereits im Museum stehen, wird es auch notwendig, neue gesetz-

liche Grundlagen und damit eine klare Basis für die Tätigkeit aller Fachleute zu schaffen."

Mit Wirksamkeit dieses Bundesgesetzes über die Landesvermessung und den Grenzkataster wurden insgesamt 24 einschlägige Gesetze und Verordnungen, die zum Teil noch aus dem Jahre 1817 stammten, aufgehoben. Diese große Rechtsbereinigung auf dem Gebiete der Landesvermessung legte den Grundstein für ein modernes Katasterwerk. Es wurden nicht nur einwandfreie rechtsstaatliche Grundlagen für die Tätigkeit der Vermessungsbehörden geschaffen, sondern auch die Aufgaben des Grenzkatasters wesentlich erweitert. Er wird als Grenzkataster in Hinkunft zum verbindlichen Nachweis der Grenzen der Grundstücke dienen. Somit ist dieses Gesetz wieder einmalige Neuheit, weil ein Messungswerk zum ersten Male rechtlich sichert.

Zur Zeit des ersten Nachkriegskongresses der FIG in Lausanne 1949 ergab eine Bestandesaufnahme, daß fast alle am zweiten Weltkrieg beteiligten Länder vor der Tatsache eines ungeheuren Nachholbedarfes sowohl der behördlichen wie auch der zivilen Vermessungstätigkeit standen. Es galt einerseits, das Versäumte nachzuholen, die zwangsweise zurückgestellten Aufgaben einer effizienten Lösung zuzuführen, den in weiten Gebieten Europas einsetzenden Wiederaufbau zu beschleunigen, aber andererseits auch einer sich stürmisch ausbreitenden Nachkriegsentwicklung gerecht zu werden. Dies führte dazu, daß sich die gesamte Vermessungstätigkeit vor Aufgaben gestellt sah, welche mit den herkömmlichen Mitteln und Methoden kaum zu bewältigen waren.

Da im besonderen im Rahmen der staatlichen Vermessungstätigkeit die Katastervermessung zu den wichtigsten Aufgaben zu zählen ist, blieb nur zu hoffen, daß in diesem aufwendigen Zweig der Vermessungstätigkeit die seit der Jahrhundertwende in der Herstellung topographischer Kartenwerke mit Erfolg eingeführte Photogrammetrie gleichfalls geeignet sein könnte, einen Wandel im Sinne einer produktiven und wirtschaftlichen Anwendung im Kataster herbeizuführen.

Der FIG-Kongreß in Lausanne gab genügend Anlaß, dem Problem einer numerischen Katasterphotogrammetrie erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen.

Wenn nun Österreich seine Versäumnisse von 1938 bis 1945 auf dem Gebiete der Luftbildmessung aufgeholt hat und heute wieder zu den in dieser Sparte



führenden Nationen zählt, ist dieser Erfolg dem unermüdlichen, initiativen Wirken Neumaiers zu verdanken.

Im Rahmen der FIG war Österreich über drei Kongreßzeiträume hinweg die Führung der Kommission VI (Technisches Wörterbuch) - von 1952 bis 1956 unter Präsident Neumaier mit dem Sekretär Professor Barvir und von 1956 bis 1960 unter Präsident Barvir mit dem Sekretär Professor Schmid - anvertraut. An diesem siebensprachigen Wörterbuch für Geodäsie und Photogrammetrie waren Neumaier und die genannten österreichischen Professoren maßgeblich beteiligt.

Die großen Leistungen blieben natürlich nicht verborgen und führten u.a. zu einem Besuch des Institutes "Landesaufnahme" durch den zuständigen Bundesminister. Der Eindruck muß überzeugend gewesen sein, denn ein persönliches Dankschreiben des Bundesministers an einen seiner führenden Beamten gehört ohne Zweifel zu den höchsten Auszeichnungen. Es soll hier wörtlich wiedergegeben werden:

"Sehr geehrter Herr Hofrat!

Die Besichtigung Ihrer Dienststelle hat mir bewiesen, daß die Arbeiten des Amtes für Landesaufnahme in beispielgebender Art und Weise geführt werden. Die vorzüglichen technischen Einrichtungen und ihre praktische Handhabung gehen zu einem wesentlichen Teil auf Ihre Bemühungen zurück. Besonders beeindruckt hat mich der Umstand, daß Sie selbst nicht nur über die allgemeinen Zusammenhänge, sondern weitgehend über die organisatorischen und technischen Details des unter Ihrer Leitung stehenden Amtes Bescheid wissen. Auch darin ist eine der Voraussetzungen des Erfolges des Amtes für Landesaufnahme zu sehen.

Ich fühle mich daher auf Grund meines gestrigen Besuches veranlaßt, Ihnen für Ihre vorzügliche Arbeit Dank und Anerkennung auszusprechen.

Wien, am 20. Oktober 1956

Der Bundesminister

B o c k e, h. "

Wie international bekannt Neumaier bereits damals war, beweist eine Einladung der Stadtverwaltung D a m a s k u s mit der Bitte, an der Beratung bei der Erstellung ihres Vermessungs- und Kartenwerkes mitzuwirken.

Vom 11. - 18. Oktober 1957 weilte Neumaier im Auftrage der Bundesregierung in Damaskus, um Österreichs Vermessungswesen als Vorbild anzubieten.

Es war selbstverständlich, daß ihm eine große Anzahl von Ehrungen zuteil wurden. Im Jahre 1956 erhielt er das große Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich und im Jahre 1963 wurde ihm anlässlich des Übertrittes in den dauernden Ruhestand das große goldene Ehrenzeichen verliehen. Gleichzeitig wurde ihm im Hinblick auf sein verdienstvolles Wirken auf dem Gebiete des Vermessungswesens am 17.12.1963 der Dank und die Anerkennung der Bundesregierung ausgesprochen.

Sein größter Ehrentag war aber zweifellos der 7. Mai 1960. An diesem Tage wurde Karl Neumaier an der Technischen Universität in Graz in Würdigung seiner Verdienste um den wissenschaftlichen Ausbau und die Modernisierung der österreichischen Landesaufnahme der "Doktor der technischen Wissenschaften ehrenhalber" verliehen.

Zu dieser feierlichen Promotion hatten sich namhafte Vertreter des öffentlichen Lebens, der Hochschulen, der Behörden und Ämter, die führenden Mitarbeiter des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, die Ingenieurkonsulenten und viele Freunde eingefunden. An der großen Anzahl und vielschichtigen Zusammensetzung aller Teilnehmer war sein Lebens- und Freundeskreis erkennbar.

Rektor Gorbach betonte in seiner Ansprache, daß die in der 80-jährigen Geschichte der Technischen Hochschule in Graz geringen Ehrenpromotionen den strengen Maßstab erkennen lassen, an den sich das Professorenkollegium halte, so daß diese Ehrung einer besonderen Würdigung gleichkomme. Ihn persönlich befriedigte es besonders, daß nunmehr auch einem Geodäten diese ehrende Promotion zuteil geworden sei.

In der Vorstellung des Promovenden durch Professor Dipl.-Ing. Arch. Günter Gottwald, die kurz seinen ganzen Lebenslauf umfaßte, wurde besonders der unvorstellbar rasche und zielsichere Aufschwung der Gruppe Landesaufnahme zur heutigen internationalen Bedeutung hervorgehoben und die "Österreichische Karte 1:50 000" als ihr empfehlendes Meisterstück bezeichnet.

In der Katasterphotogrammetrie wurde er als Pionier bezeichnet, der immer die Förderung des gesamten Vermessungswesens im Auge hatte.

Österreich darf einen bedeutenden Anteil am Aufbau der Photogrammetrie für sich in Anspruch nehmen. Es war das erste Land der Welt, in dem am 4. Juli 1910

unter der zielsicheren Führung von Professor Dolezal eine "Gesellschaft für Photogrammetrie" und im Jahre 1908 mit dem "Internationalen Archiv für Photogrammetrie" die erste Fachzeitschrift gegründet wurde. In Wien wurde im September 1913 der erste "Internationale Kongreß für Photogrammetrie" abgehalten, dem seither viele weitere Kongresse in allen Teilen der Welt nachgefolgt sind. Österreichische Wissenschaftler haben die theoretischen und praktischen Möglichkeiten der Bildmessung bahnbrechend gefördert. Neumaier setzte diese Tradition würdig fort und brachte dank seiner internationalen Verflechtungen das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen insbesondere auf photogrammetrischem Gebiete wieder zu seinem traditionell hohen Ansehen in der gesamten Fachwelt,

Nach einer erfolgreichen Laufbahn als Manager, Leiter des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, als Wissenschaftler, als Berater bei vielen technischen Neukonstruktionen und als Lehrer an der Technischen Universität, kennt der Jubilar das Wort "Ruhestand" nicht. Er ist noch immer in seinem Zimmer an der Hochschule anzutreffen, über photogrammetrische und geodätische Probleme grübelnd, und führt in der geodätisch traditionellen Stadt Baden ein höchst aktives Vermessungsbüro.

An der Technischen Hochschule lehrte er noch bis 1973 als Honorarprofessor mit Sitz und Stimme im Kollegium der Fakultät für Naturwissenschaften und, wie könnte es anders sein, organisierte den Aufbau des 1964 neu gegründeten Institutes für Photogrammetrie. 1966 -1967 war er gemeinsam mit drei anderen internationalen Kapazitäten, Professor Laclavere, Paris, Professor Gigas, Frankfurt und Professor Marussi, Triest, als Konsulent des Erdölministeriums des Königreiches Saudi Arabien mit der Aufgabe betraut, bei der richtigen Entscheidung für die Vergabe der Arbeiten der Landestriangulierung und Landesaufnahme zu beraten.

In St. Gallen war Neumaier vom 29. Juli 1966 bis 30. Mai 1975 Präsident des Schulrates der SSSO, der Schweizer Schule für Photogrammetrie Operateure. Heute ist er noch Mitglied der Fördergesellschaft dieser Schule.

Wenn ich die vielen Jahre zurückblicke, die ich Neumaier kenne, so beginnen Jahrzehnte ineinander zu verschwimmen.

Nichts änderte sich in seiner Arbeitsweise, in seiner Lebensauffassung, an seinem Tatendrang, auch äußerlich änderte sich nichts an dem unverwüstlichen Alten.

Der Klub der Achtzigjährigen ist naturgemäß schon ein recht kleiner, exklusiver und wird noch kleiner, wenn man das geistige Niveau der Octogenarii in Betracht zieht. Wie wenige sind noch so klaren, frischen Geistes und in der Lage, mit den Entwicklungen der Zeit mitzuhalten. Manche unter ihnen haben sich selbst überlebt und den Zusammenbruch alles dessen mitansehen müssen, was Sinn und Inhalt ihres Lebens war.

Nur für Lieblinge der Götter gilt das nicht, Neumaier ist einer von ihnen. Sein unschätzbare Erbteil, die Gesundheit, hat ihm bis heute die meisten Abnützerserscheinungen erspart, die oft schon frühzeitig den Menschen befallen, auf dessen Körper das Prinzip der Auswechselbarkeit abgenützter Teile leider nicht anwendbar ist.

Neumaier bleibt der ewig Junge. Weder sein Feuergeist, noch seine jugendliche Seele wurden durch die Jahre gedämpft, Er ist heute noch immer jener zürnende Gottvater, als der er mich und alle seine Mitarbeiter geschreckt hatte, nur daß der Schreck bald verblaßte und eine treue Gefolgschaft seine Stelle einnahm. Er stürmte und tobte im Kampf mit der Tücke einer kleinlichen Welt, um neuen Erkenntnissen und dem Fortschritt die Wege zu ebnen.

Wir wünschen uns alle weiterhin mit Neumaier so guten, engen, fachlichen und persönlichen Kontakt. Und ihm wünschen wir, daß ihm nach den vielen Jahren reichster beruflicher Erfüllung noch viele Jahre bester Gesundheit und ungetrübter Lebensfreude beschieden sein mögen.

Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 27 - 46

KOSTEN- UND LEISTUNGSMODELLE  
FÜR PLANUNGS- UND ENTSCHEIDUNGSAUFGABEN <sup>1)</sup>

von

H.G. Jerie

1)

Überarbeitetes Manuskript eines Vortrages anlässlich der  
Geodätischen Informationstage an der TU Wien am 15.10.1976

Adresse des Autors:

Prof. Dr. H.G. Jerie, International Institute for Aerial Survey and  
Earth Sciences (ITC),  
Enschede, 350 Boulevard 1945 - P.O.Box 6, Holland

## PERSÖNLICHES VORWORT

Die ehrenvolle Aufforderung, einen Beitrag zu diesem Sonderheft zu liefern, setzt eine persönliche Verbundenheit des Autors mit dem zu Ehrenden voraus. Diese ist stärker nicht denkbar. Herr Präs.i.R.Prof.Dr.h.c.Karl Neumaier war zuerst mein strenger akademischer Lehrer, dann der inspirierende Chef in meinen ersten Berufsjahren, und immer ein verehrter väterlicher Freund.

Darüberhinaus sollte das Thema eines solchen Beitrages nicht ohne sinnvolle Relation sein; auch diese ist hier deutlich gegeben: Wie wenig andere hat er durch sein unermüdliches Streben und sein Vorbild auf das Primat wirtschaftlicher Fragen innerhalb der technologischen Gesamtentwicklung in unserer Disziplin hingewiesen.

Wenn das im nachfolgenden Beitrag behandelte Problemgebiet heute in meinem wissenschaftlichen Interesse zentral steht, dann ist der Keim dazu in meinen ersten Lehr- und Berufsjahren durch den hiermit zu Ehrenden gelegt worden.

### 1. EINLEITUNG

Zur Einführung in das zu behandelnde Problemgebiet ist es vielleicht nützlich, dem Leser eine Reihe von rhetorischen Fragen vorzulegen:

- Kann jede staatliche Kartierungsstelle davon überzeugt sein, im Rahmen der bestehenden Möglichkeiten, den tatsächlichen Bedarf der nationalen Wirtschaft an einschlägigen Produkten optimal zu befriedigen ?
- Können staatliche oder private Produktionsorganisationen sicher sein, daß die angewandten Produktionsprozesse ökonomisch optimal sind ?
- Sind die in unserem Fachgebiet täglich zu fällenden Entscheidungen über

anzuwendende Produktionsprozesse

Ankauf neuer Geräte

Übernahme neuer Methoden und Verfahren

Durchführung neuer Entwicklungen (und deren Zielsetzungen)

objektiv richtig ?

- Müssen nicht immer noch in den meisten dieser Entscheidungsaufgaben "Erfahrung" und "Intuition" anstelle exakter Kriterien und Information gesetzt werden ?

Meiner persönlichen Ansicht nach müssen die ersten drei Fragen überwiegend im negativen, und damit die vierte Frage im positiven Sinne beantwortet werden.

Damit stößt man auf die paradoxe Situation, daß sowohl im formellen Unterricht als auch in wissenschaftlichen Aktivitäten einerseits zwar sehr viel Aufwand für die Lösung und Darstellung von theoretischen und technischen Detailproblemen getrieben wird, daß täglich neue Geräte, Verfahren und Rechenprogramme etc. mit größtem wissenschaftlichen Einsatz entwickelt werden; andererseits aber erfährt die vielleicht viel wichtigere und übergeordnete Frage, wie über die optimale Anwendung aller dieser zur Verfügung stehenden Mittel - für verschiedene Aufgaben und unter verschiedenen Umständen - zu entscheiden ist, fast keine systematische und wissenschaftliche Behandlung.

#### PARADOXE SITUATION

VIEL AUFWAND FÜR MITTEL (GERÄTE, VERFAHREN, PROGRAMME)		WENIG AUFWAND FÜR LÖSUNG DER FRAGE: OPTIMALER EINSATZ ALLER DIESER MITTEL
---	--	--

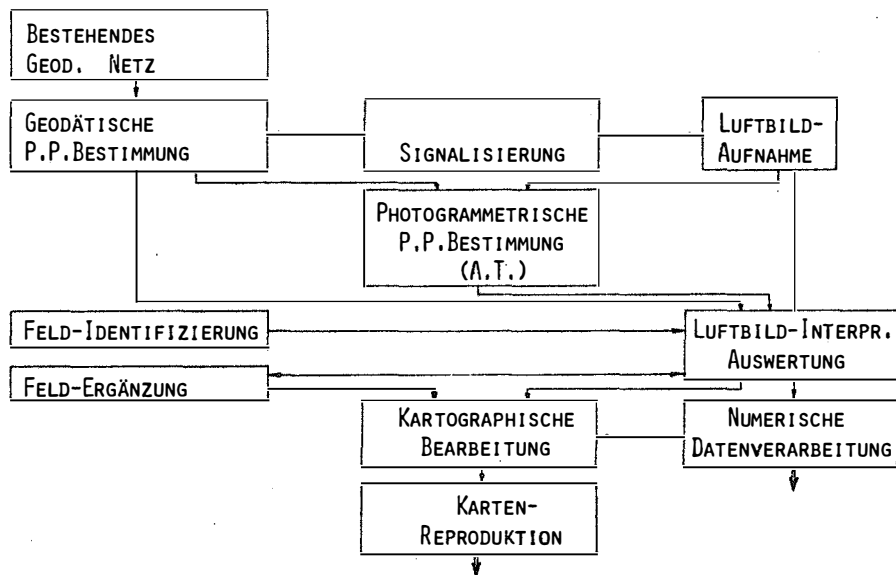
#### IN ENTWICKLUNG UND UNTERRICHT !

Um es anders auszudrücken: Geodäten und Photogrammeter, die so äußerst fortschrittlich sind, wenn es darum geht, ihre Umgebung durch Einsatz modernster Geräte und Verfahren metrisch zu erfassen, zeigen im allgemeinen viel zu wenig Interesse, diejenigen Aspekte dieser Geräte und Verfahren quantitativ zu erfassen, die für alle Entscheidungen über ihren Einsatz notwendig sind.

Dieser Beitrag soll sich nun mit möglichen Wegen und Mitteln beschäftigen, die der Erreichung dieses Zieles dienen können.

## 2. ALLGEMEINE PROBLEMANALYSE

Ein photogrammetrischer Produktionsprozeß kann in verallgemeinerter Form etwa folgendermaßen dargestellt werden:



Die für unsere Problemstellung wesentlichen Aspekte sind dabei:

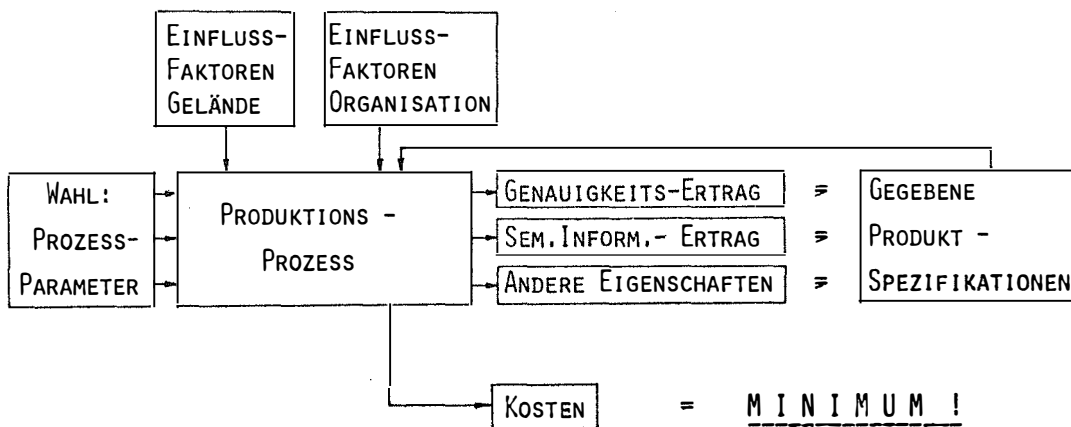
- Der Gesamtprozeß setzt sich aus einer größeren Anzahl von Subprozessen zusammen (nicht alle der dargestellten Subprozesse müssen notwendigerweise im Einzelfall auftreten)
- Für jeden Subprozeß ergibt sich eine große Zahl von alternativen Ausführungsmöglichkeiten (verschiedene Verfahren, Geräte, quantitative Parameter wie Bildmaßstab etc.). Ein individueller Produktionsprozeß ist durch diese "Prozeßparameter" beschrieben.
- Die für Entscheidungsaufgaben wesentlichen Eigenschaften eines Produktionsprozesses sind: Kosten, Genauigkeitsleistung, semantische Informationsleistung.
- Diese eben genannten Eigenschaften hängen von einer großen Anzahl von Einflußfaktoren ab, die in erster Instanz in vier Kategorien eingeteilt werden können:



- Prozeßparameter
- Produktspezifikationen
- Geländefaktoren
- Organisationsfaktoren

- Die Aufgabenstellung für Planung und Entscheidung kann folgendermaßen definiert werden:

Die Prozeßparameter sind so zu wählen, daß unter Berücksichtigung der gegebenen Einflußfaktoren (Gelände- und Organisationsfaktoren) die Produktionsspezifikationen (Genauigkeit, semantische Information) mit den niedrigsten Gesamtproduktionskosten erfüllt werden (eventuell können auch andere Optimierungskriterien - z.B. Zeit - eine Rolle spielen).

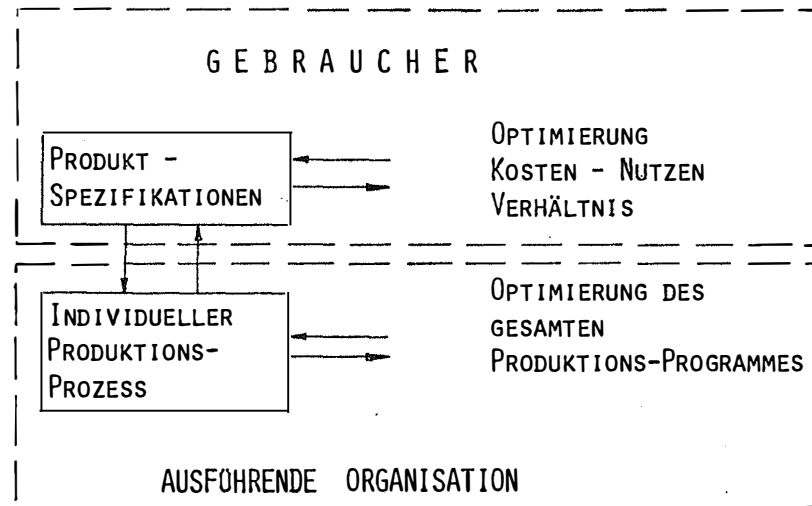


Aus dem bisher Gesagten ergeben sich zwei wichtige Konsequenzen, die in der Praxis häufig nicht beachtet werden:

- Produktionsprozesse können nicht ohne weiteres kopiert werden, da optimale Prozeßparameter sich in Abhängigkeit verschiedener Umstände (d.h. Gelände- und Organisationsfaktoren) verändern.
- Unabhängige Optimierung von Subprozessen (z.B. durch einzelne Abteilungen der Organisation) führen nicht zu einer Optimierung des Gesamtprozesses.

Der Vollständigkeit halber muß aber doch erwähnt werden, daß es sich bei der hier behandelten Optimierung von Einzelprozessen auch noch um eine Sub-Optimierung handelt.

Dies wird deutlich, wenn wir in unsere Betrachtung übergeordnete Systeme einbeziehen und die darin bestehenden Interrelationen beachten:



- Innerhalb des Gebraucher-Systems führen alternative Produkte - definiert durch alternative Produktspezifikationen - einerseits zu verschiedenen Herstellungskosten, andererseits aber auch zu verschiedenem Nutzen für den Gebraucher.

Dieser variable Nutzen erklärt sich aus den möglichen Auswirkungen verschiedenartiger (Karten)-Information auf den Produktionsprozeß des Gebrauchers (Ingenieursarbeiten, Planungsaufgaben, etc.).

Die Notwendigkeit einer daraus abzuleitenden Kosten-Nutzungsoptimierung vom Standpunkt des Gebrauchers aus bedeutet eigentlich, daß auch die Produktionsspezifikationen als Variable in dem Optimierungsprozeß einzubeziehen sind.

Eine kritische Betrachtung praktischer Verhältnisse gibt zu der Überzeugung Anlaß, daß eine solche Optimierung zu viel größeren Einsparungen führen könnte, als Prozeßoptimierung im engeren Sinne. Doch stehen einer konsequenten Realisierung dieses Gedankenganges leider auch große praktische Schwierigkeiten entgegen.

- Vom Standpunkt einer Produktionsorganisation, die verschiedene Projekte (gleichzeitig oder nacheinander) auszuführen hat, muß die Zielsetzung einer Optimierung der Gesamtproduktion Vorrang vor der jedes Einzelprojektes genießen.

Dies ist insbesondere bei Entscheidungsfragen in bezug auf Ankauf neuer Geräte, Übernahme neuer Methoden und Verfahren etc. von Bedeutung.

Die hiermit skizzierte Erweiterung der Problematik macht die Aufgabe komplexer, aber nicht weniger reell. Die Voraussetzungen für eine objektive Lösung bleiben prinzipiell die gleichen, wie für den einfacheren Fall der Einzelprojekt-Optimierung, die hier weiterhin Gegenstand der Betrachtung sein soll.

Diese Voraussetzungen bestehen in der Bestimmung von quantitativen Beziehungen zwischen Produktionskosten, Genauigkeitsleistungen und semantischer Informationsleistung einerseits, und allen jenen Einflußfaktoren, von denen diese Größen abhängig sind, andererseits:

ERSTE VORAUSSETZUNG  
FÜR OPTIMIERUNGS- UND ENTSCHEIDUNGS-AUFGABEN:  
ERSTELLUNG EINES KONSISTENTEN INFORMATION-SYSTEMS

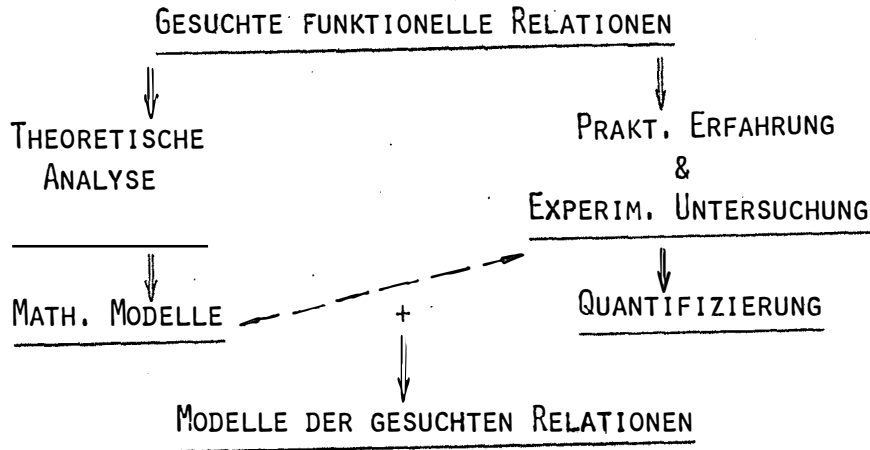


Die Erstellung solcher quantitativer Beziehungen für alle alternativen Prozesse und Subprozesse, die uns zur Verfügung stehen, ist Inhalt von drei getrennten Forschungsprogrammen, über die im nachfolgenden kurz berichtet werden soll.

Zuvor sei jedoch noch auf einige Aspekte hingewiesen, die sich auf alle drei Programme gleichermaßen beziehen:

- Die gesuchten Größen (d.h. Kosten, Genauigkeits- und semantische Informationsleistung) hängen von sehr vielen Einflußfaktoren in oft recht komplizierter Weise ab. Für die praktische Lösung der Aufgabe müssen diese komplexen Funktionen zuerst einmal durch hinreichend vereinfachte Relationen (Modelle) ersetzt werden.

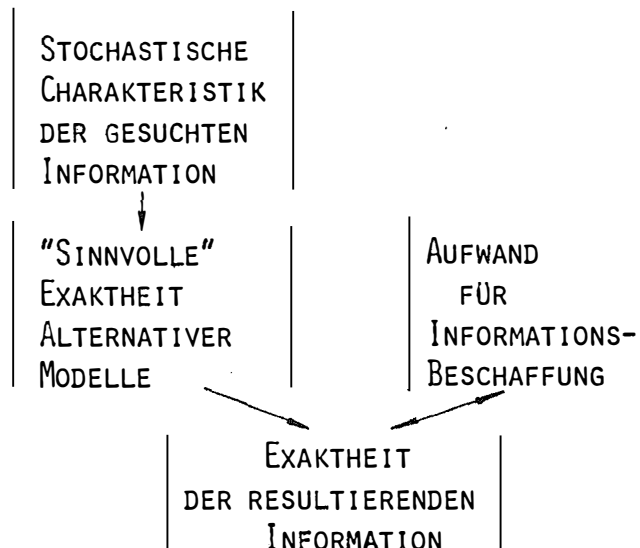
Das Maß der Vereinfachung hängt von der angestrebten Balance zwischen Aufwand einerseits und erwünschter Naturtreue andererseits ab.



- Es muß weiterhin immer im Auge behalten werden, daß es sich bei praktisch allen gesuchten Relationen (Modellen) nicht um deterministische sondern um stochastische Funktionen handelt. Die wichtigste Ursache dafür liegt in der "a priori-Situation" der Planungsaufgabe. Zum Zeitpunkt der notwendigen Entscheidung nämlich sind viele Einflußfaktoren noch reine Zufallsgrößen (auch wenn sie vielleicht während oder nach der Ausführung des Projektes meßbar wären).

Die Art und Größe anderer Einflußfaktoren ist wieder nicht genau erfaßbar und kann nur geschätzt werden.

- Weil darüberhinaus das Maß der Exaktheit der zu erstellenden Modelle auch stark von dem praktisch möglichen und wirtschaftlich vertretbaren Aufwand für ihre Erfassung abhängig ist, werden wir in allen drei Forschungsvorhaben mit Optimierungsfragen konfrontiert, die sich aus der folgenden, schematisch dargestellten Situation ergeben:



- Zuletzt noch ein, nach Ansicht des Autors besonders wichtiger Aspekt: Alle Einflußfaktoren sollten möglichst einheitlich definiert, d.h. klassifiziert und quantifiziert werden. Eine solche Standardisierung ist notwendig um einerseits möglichst viel vorhandenes statistisches Datenmaterial für die Erstellung der Modelle benutzen zu können, andererseits mehr noch um zukünftigen Gebrauchern dieser Modelle die Anwendung zu erleichtern.

Dies gilt insbesondere für solche Einflußfaktoren, die in verschiedenen Kosten- und Leistungsmodellen eine Rolle spielen.

### 3. FORSCHUNGSPROGRAMM I: ERSTELLUNG VON GENAUIGKEITSMODELLEN

Die Aufgabenstellung lautet: Bestimmung der Genauigkeitsleistung verschiedener in Benutzung stehender und hypothetischer Prozesse und Subprozesse in Funktion aller relevanten Einflußfaktoren und insbesondere unter realistischer Berücksichtigung aller zufälligen und systematischen Fehlerquellen.

Genauigkeitsfragen wurden auch bisher in der Photogrammetrie ziemlich viel Beachtung geschenkt. Doch sind die zur Verfügung stehenden Resultate weder vollständig noch untereinander genügend vergleichbar.

Die Ursache hierfür liegt in den angewandten Methoden, die zumeist in eine der beiden folgenden Kategorien fallen:

- A) Integrale experimentelle Untersuchungen, d.h. die vollständige praktische Durchführung der zu untersuchenden Prozesse, wobei die Genauigkeitsleistung durch Vergleich der Resultate mit unabhängig durchgeführten Kontrollmessungen bestimmt wird.

Nachteile dieses Verfahrens sind:

- Ein sehr großer Aufwand für jede Einzeluntersuchung, insbesondere auch für die notwendigen Kontrollmessungen.
- Die Resultate repräsentieren jeweils nur eine oder wenige der vielen Möglichkeiten von Kombinationen von Prozeßparametern und anderen Einflußfaktoren (nur wenige und ganz bestimmte Prozeßparameter können innerhalb eines Experimentes variiert werden).

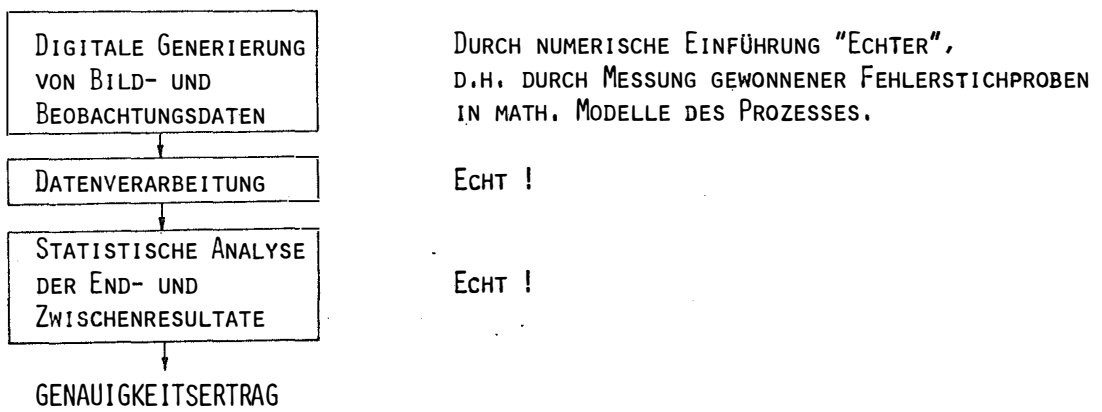
- Selbst für eine solche Kombination stellen die Resultate nur eine Stichprobe der zu erwartenden statistischen Verteilung dar.
- Die Vergleichbarkeit mit Resultaten anderer Experimente ist ungenügend, weil in diesen die stochastisch wirksamen Einflußfaktoren nicht die gleichen sind.

B) Formell-theoretische (sogenannte analytische) Ableitung der resultierenden Genauigkeit, wobei folgende Nachteile zu konstatieren sind:

- Diese Methode ist praktisch nur auf schematisierte Bild- und Punkt-konfigurationen anwendbar.
- Eine Erfassung der direkten und indirekten Einflüsse von Kammerneigungen und Geländehöhenunterschiede ist praktisch nicht möglich.
- Eingangswerte sind verschiedenartige Pseudo-Beobachtungsfehler, die untereinander schwer vergleichbar sind.
- Bestehende Korrelationen bleiben im allgemeinen unberücksichtigt.
- Der Aufwand ist - im Verhältnis zu dem nachfolgend beschriebenen Verfahren (numerische Simulation) - ziemlich hoch.

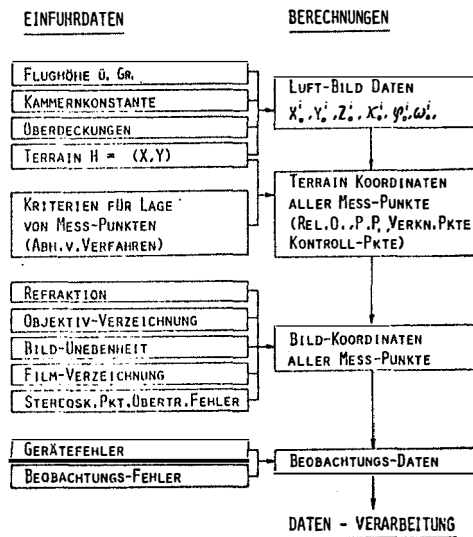
Um die Nachteile der beiden obgenannten Methoden zu vermeiden und zu einem konsistenten System von Genauigkeitsmodellen zu kommen, wurde am ITC das Konzept ACCSIM (Accuracy-simulation) entwickelt.

#### " ACCSIM " : SIMULATION EXPERIMENTELLER GENAUIGKEITSANALYSEN



Im wesentlichen handelt es sich dabei um eine Modifizierung des Prinzipes von integralen Experimenten.

Soweit es sich um die Rekonstruktion deterministischer Relationen handelt, werden jedoch der echte Bildflug und die echte Beobachtungsphase (Messungen) durch numerische Simulation ersetzt. Dagegen werden alle in einem Prozeß wirksamen stochastischen (Fehler)-Einflüsse in Form von tatsächlichen Messungen einer größeren Anzahl von Stichproben eben dieser individuellen Fehlereinflüsse in die Berechnungen eingeführt.



So ist auch vorgesehen, daß eine bestimmte Untersuchung bei diesem Verfahren nicht durch ein Experiment sondern durch eine Serie von z.B. 20 voneinander vollständig unabhängigen Wiederholungen ausgeführt wird.

Eine wichtige Tatsache, die den eingeschlagenen Weg rechtfertigt, ist, daß an den in verschiedenen Prozessen auftretenden Genauigkeitsverlusten jeweils eine große Anzahl von direkten und indirekten Fehlereinflüssen beteiligt sind, die zum größten Teil voneinander unabhängig sind.

DIREKTE FEHLERQUELLEN :

REFRAKTION (SYST.)  
OBJEKTIV-VERZEICHNUNG (SYST.)  
FILM-EBENHEIT (SYST.)  
FILM-VERZERRUNG (SYST.)  
GERÄTE-FEHLER (SYST.)  
PUNKT-ÜBERTRAGUNGSFEHLER  
BEOBACHTUNGS-FEHLER  
  
TERR.P.P.-FEHLER (SYST.?)

INDIREKTE EINFLOSSE :

BILD-MASSSTAB  
KAMMER-KONSTANTE  
BILD-ÜBERDECKUNGEN  
KAMMER-KONSTANTE  
TERRAIN-HÖHENUNTERSCHIEDE  
MESSPUNKT-LAGEN  
(VERSCHIEDENER PUNKTKATEGORIEN)  
  
DATENVERARBEITUNGS-VERFAHREN  
TERR.P.P.-VERTEILUNG

Der Stand der Arbeiten für dieses Forschungsprogramm ist derzeit folgender:

Das allgemeine Rechenprogramm liegt in einer provisorischen, vereinfachten Fassung vor; an der endgültigen Form wird gearbeitet.

Der Terrainhöhengenerator ist programmiert, muß aber noch endgültig kalibriert werden.

Die Sammlung von Stichproben für die verschiedenen Fehlerquellen stellt eine Reihe von voneinander unabhängigen Aufgaben dar.

Die theoretischen Vorarbeiten dazu bestehen jeweils aus der Definition von Modellen, dem Entwurf geeigneter Meßanordnungen, und schließlich der Erstellung von Datenverarbeitungsprogrammen.

Während die Erstellung der Module: Refraktion, Objektivverzeichnung und Filmebenheit von ITC ausgeführt wird, sind die Arbeiten für die Erstellung der Module: Filmdeformation, Gerätefehler, Beobachtungs- und Punktübertragungsfehler von der Commission F der OEEPE als Grundlagenforschung übernommen worden.

Die wichtigsten vom Programm ACCSIM zu erwartenden Vorteile können folgendermaßen umschrieben werden:

- Geringer Aufwand für eine einzelne Untersuchung
- Möglichkeit der realistischen Erfassung aller Fehlereinflüsse (zufällig, systematisch, pseudosystematisch, dynamisch etc.)
- Eindeutige Erfassung der Auswirkung einzelner Fehlereinflüsse
- Echte Vergleichsmöglichkeit der Genauigkeitsleistung verschiedener Prozesse

und darüberhinaus



- Identifizierung kritischer Aspekte in verschiedenen Prozessen (und damit Definition von Zielsetzungen für Forschung und Entwicklung)
- Bewertung hypothetischer (nur in Konzeptform vorliegender) Prozesse
- Objektive Beurteilung verschiedener Datenverarbeitungsprogramme in verschiedenen Anwendungssituationen.

#### 4. FORSCHUNGSPROGRAMM II:

##### ERSTELLUNG VON MODELLEN FÜR DIE SEMANTISCHE INFORMATIONSLEISTUNG

Die Aufgabenstellung lautet hier: Bestimmung der funktionellen Relationen zwischen "Interpretierbarkeit" verschiedener Kategorien von Objekten (Häuser, Straßen, Signale etc.) mit allen denjenigen Faktoren, die diese Interpretierbarkeit direkt oder indirekt beeinflussen.

Diese Information ist für den Projektplaner zur Beantwortung der wichtigen Frage notwendig: Wie müssen - unter Berücksichtigung gegebener Umstände - die Prozeßparameter gewählt werden, daß die gewünschten Objektkategorien genügend vollständig erfaßt werden ?

Auf diesem Gebiet sind nur wenige systematische Untersuchungen ausgeführt, deren Resultate zumeist auch noch veraltet sind.

In der täglichen Praxis stützt man sich auf vage Erfahrungswerte, oder baut große Sicherheitsmarken ein, oder (noch ungünstiger) man nimmt einfach das Risiko in Kauf, daß die gegebenen Produktspezifikationen entweder überhaupt nicht oder nur durch aufwendige Feldergänzung erfüllt werden können.

Nun ist das vorliegende Problem in seiner vollen Breite tatsächlich sehr komplex, einerseits zufolge der großen Anzahl von in Frage kommenden Objektkategorien, andererseits wegen der großen Anzahl von wirksamen Einflußfaktoren:

EINFLUSS - FAKTOREN

- BILD-MASS-STAB
- AUFNAHME-OBJEKTIV
- OBJEKTIV-ÖFFNUNG
- BELICHTUNGS-ZEIT
- FLUG-GESCHWINDIGKEIT
- FILM-EMPFINDLICHKEIT
- (LOKALE) DEFOKUSSIERUNGEN
- VIBRATION U.FLUGZEUGSCHWANKUNGEN
- LICHTVERHÄLTNISSE
- LUFTLICHT, DUNST
- FILMENTWICKLUNG
- BEOBACHTUNGS-BILDMATERIAL
- BEOBACHTUNGS-SYSTEM (OPT.VERGR.)
- STEREOSKOPIE
- VARIATIONEN IN OBJEKTEIGENSCHAFTEN
- SEHVERMÖGEN DES AUSWERTERS
- REFERENZ-NIVEAU DES AUSWERTERS
- ETC. ETC.

Allgemein kann man das Problem folgendermaßen darstellen:

ALLGEMEINE PROBLEMSTELLUNG

$$E_i = f(\alpha_j, \beta_k, \gamma_c)$$

- $E_i$  INTERPRETATIONSERTRAG FÜR OBJEKTKAT.  $i$
- $\alpha_j$  WÄHLBARE FAKTOREN (PROZESS-PARAMETER)
- $\beta_k$  VORHERSAGBARE, NICHT WÄHLB. FAKTOREN
- $\gamma_c$  NICHT VORHERSAGBARE, VOM STANDPUNKT  
DES PLANERS STOCHASTISCH WIRKS.FAKTOREN

Ein Untersuchungsprogramm, in dem alle diese Funktionen direkt bestimmt werden, erfordert einen praktisch nicht möglichen Aufwand. Deshalb wurde vom Autor eine Strategie vorgeschlagen, die darauf abzielt, das Gesamtproblem in zwei Teilprobleme zu spalten und zwar durch die Einführung von Bildgüteparametern  $\psi$ , die im Bild selbst meßbar sein müssen.

SPALTUNG DES PROBLEMS

$$E_i = f(\psi, \bar{\alpha}_j)$$

$$\psi = f(\bar{\alpha}_j, \beta_k, \gamma_c)$$

$\psi$  (IM BILD SELBST MESSBARER) BILDGÜTEPARAMETER

Die Interpretationserträge  $E_i$  werden in erster Linie als Funktionen dieser Bildgüteparameter (und einiger weniger Prozeßparameter  $\bar{\alpha}_j$ ) erfaßt, während die Werte von  $\psi$  (Bildgüteparameter) in einem zweiten Forschungsprogramm als Funktionen der verschiedenen Einflußfaktoren erfaßt werden sollen.

Unter anderem ist zu erwarten, daß durch Anwendung dieser Strategie eine starke Einschränkung des notwendigen Interpretations-Aufwandes erreicht werden kann.

Die in diesem Abschnitt skizzierte Aufgabe wurde von der Comm.E der OEEPE als Forschungsprojekt übernommen. Eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe unter Leitung von Dr.Schmidt-Falkenberg ist mit den theoretischen Voruntersuchungen beschäftigt, wobei die bisherigen Resultate hoffnungsvolle Perspektiven bieten.

5. FORSCHUNGSPROGRAMM III;  
ERSTELLUNG VON KOSTENMODELLEN

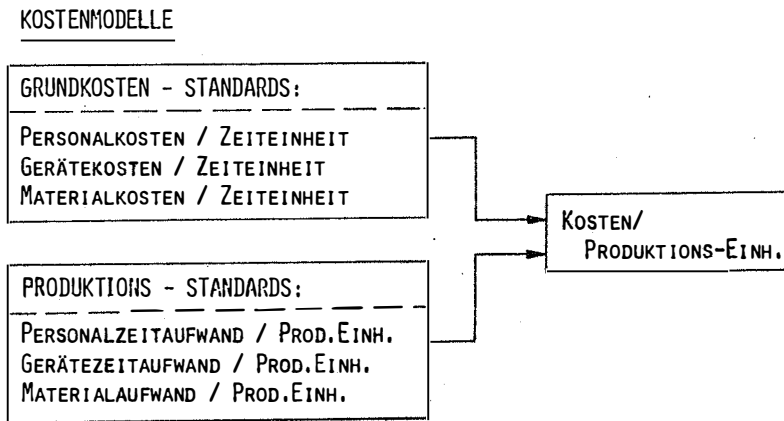
Die Aufgabenstellung lautet: Bestimmung von funktionellen Relationen zwischen einerseits den Kosten je Produktionseinheit in verschiedenen Subprozessen und andererseits allen identifizierbaren Einflußfaktoren.

Optimalisierungs- und Entscheidungsprobleme können nicht ohne möglichst exakte Information in bezug auf Kostenaspekte gelöst werden (wobei hiermit nicht einmal in erster Linie das Problem der Preiskalkulation gemeint ist).

In Unterricht und Wissenschaft findet dieses Problem ziemlich wenig Interesse. Eine erstaunliche Situation für eine Ingenieursdisziplin ! Kommerzielle Organisationen, die sich zweifellos seriös damit beschäftigen, sind aus begreiflichen Gründen nicht geneigt, ihr Wissen mit anderen zu teilen.

Was doch von anderen Quellen die Öffentlichkeit erreicht, ist häufig dilettantisch und unvollständig und als echte Information für andere potentielle Benützer wenig geeignet.

Kostenmodelle, die der eingangs angegebenen Aufgabenstellung entsprechen, sind in erster Instanz eine Kombination von sogenannten Grundkosten-Standards und Produktions-Standards.



Auch hier sind also deutlich zwei Teilfragen zu unterscheiden. Es muß Fachleuten auf dem Gebiet betriebs- und national-ökonomischer Probleme überlassen werden, sich in bezug auf die erste Teilfrage im Detail zu beschäftigen. Aber auch für den Laien ist bereits deutlich zu erkennen, daß hier in unserer Disziplin oft wissenschaftlich schlecht vertretbare Prinzipien zur Anwendung kommen.

So werden z.B. Probleme von "overhead", Investitionsabschreibung etc. sehr oft auf recht dilettantische Weise behandelt. Das muß notwendigerweise dazu führen, daß nicht-optimale Entscheidungen gefällt werden. Gehen wir aber weiterhin von der Erwartung aus, daß auch in unserer Disziplin der Wunsch besteht, die gegebenen Aufgaben möglichst kostengünstig zu erledigen bzw. die gegebene Produktionskapazität so einzusetzen, daß eine maximale Produktivität erreicht wird, dann wird man sich mit diesen Fragen doch systematisch auseinandersetzen müssen.

Am Rande sei noch erwähnt, daß auch eine so wichtige Frage wie die nach den bestgeeigneten Produktionsmethoden in Entwicklungsländern (angepaßte Technologie) weitgehend objektiv gelöst werden kann, wenn man systematisch das Konzept der "Sozialen Kosten" anwendet, d.h. der Kosten, die einer nationalen Wirtschaft als Konsequenz bestimmter Entscheidungen im ganzen erwachsen. Man wird also, in gemeinsamer Arbeit, durch Analyse verschiedenster Situationen und Ausgangspunkte, Kriterien und Methoden für die bessere Festlegung der jeweils gültigen Grundkosten-Standards schaffen müssen.

Die zweite Teilfrage, die Festlegung von Produktions-Standards ist mehr

technischer Natur. Aber auch hier wird es notwendig sein, gemeinsam systematische Problemanalysen auszuführen, die verschiedenen Einflußfaktoren zu identifizieren, mathematische Modelle für die gesuchten Relationen aufzustellen, und schließlich möglichst viel von den in verschiedenen Organisationen gesammelten Erfahrungswerten statistisch zu verarbeiten.

Eine ganz wesentliche Voraussetzung wird aber jedenfalls sein, daß man sich auf eine gewisse Standardisierung der Definition und Klassifizierung von allen Einflußfaktoren einigt, damit verschiedene Erfahrungswerte auf eine vergleichbare Basis gebracht werden.

Das oben skizzierte Problem der Kostenmodelle wurde in der Zwischenzeit ebenfalls von der Commission F der OEEPE als Forschungsprojekt akzeptiert.

#### 6. ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Die drei zuvor beschriebenen Untersuchungsprogramme können in absehbarer Zeit, jedes für sich, zu sehr nützlichen Resultaten und Informationen führen. Endziel ist aber, sie in der Praxis im Zusammenhang einzusetzen. Es ist leicht denkbar, dafür ein "operational research"-Programm zu entwerfen, das ein so weitgehend isomorphes Modell der Projektwirklichkeit darstellt, daß mit seiner Hilfe alle Optimierungs- und Entscheidungsfragen rasch und effektiv gelöst werden können. Ein experimentelles Programm dieser Art, für Demonstration und Übungszwecke im Rahmen der Vorlesungen über Projektplanung am ITC entwickelt, ist schon seit einigen Jahren in Gebrauch.

Der für die Schaffung eines solchen Programmes notwendige Aufwand wird ziemlich groß sein. Bedenkt man jedoch den ökonomischen Umfang aller damit erfaßten Produktionsprozesse, und weiterhin, welche wirtschaftlichen Auswirkungen ein solches Programm haben dürfte, dann sollte dies doch eine sehr rentable Investition darstellen.

SCHRIFTTUM

- JERIE, H.G.: PPP - An Operations-Research Programme for  
Project Planning,  
ITC-Journal 1973, Heft 3
- JERIE, H.G.: Development of a Computer Simulation System  
concerning Accuracy of Photogrammetric Operations  
ITC-Journal 1973, Heft 4
- JERIE, H.G.: Establishment of Semantic Information Performance  
of Photogrammetric Processes  
ITC-Journal 1973, Heft 5
- JERIE, H.G.: Cost Models in Photogrammetry  
ITC-Journal 1976, Heft 2

Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 47 - 72

ÜBER DIE ENTWICKLUNG DER PHOTOGRAMMETRIE IM BUNDESAMT  
FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN SEIT DEM JAHRE 1945

von

J. Bernhard, Wien

Adresse des Autors:

W.Hofrat Dr. J. Bernhard, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen,  
Gruppe Landesaufnahme, Krotenthallergasse 3, 1080 Wien

Über die Entwicklung der Photogrammetrie in Österreich und auch über jene im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen ist in der Literatur bereits des öfteren, u.a. in /1/ - /7/ berichtet worden. Dabei deutet LEGO schon frühzeitig, nämlich im Jahre 1935 in /1/ an, daß die Photogrammetrie im Begriffe sei, nicht nur für die topographische Landesaufnahme und zahlreiche technische Aufgaben, sondern auch für den Kataster eine anerkannte Aufnahmemethode zu werden. Gleichzeitig weist er aber auch auf die hohen Kosten hin, die bei der Anschaffung eines photogrammetrischen Instrumentariums erforderlich sind.

Wenn nun im folgenden die neueren Entwicklungen und Arbeiten im Bereich der Photogrammetrie unter Beschränkung auf das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen zusammenfassend skizziert werden, so deshalb, weil der

80. Geburtstag von

Präsident i.R. des Bundesamtes für Eich-  
und Vermessungswesen

Honorarprofessor Dr.h.c. Ing. Karl NEUMAIER

Anlaß gibt, Rückblick und Vorschau zu halten und so auch die Verdienste in Erinnerung zu rufen, die sich der Jubilar während seines Wirkens in diesem Amte erworben hat.

Die ersten Jahre nach 1945 waren schwierig und die in Verwendung stehenden Arbeitsverfahren sicher nicht mehr genügend zeitgemäß; die Herstellung der Österreichischen Karte beruhte noch auf der Auswertung terrestrisch-photogrammetrischer Aufnahmen, und im Bereich des Katasters wurde die Photogrammetrie, von Sonderanwendungen abgesehen, überhaupt nicht eingesetzt. Für eine Umstellung auf die zu dieser Zeit sich natürlich bereits anbietende Aerophotogrammetrie fehlten zunächst aber praktisch noch alle Voraussetzungen.

In dieser Situation war es K. NEUMAIER, der - weit vorausschauend - die für den Einsatz der Luftphotogrammetrie erforderlichen Weichenstellungen vornahm: Grundlegende methodische und organisatorische Fragen wurden abgeklärt, Auswerter auf ihre künftigen Aufgaben vorbereitet und geeignete Arbeitsräume - vollklimatisiert - adaptiert. In der Folge gelang es, die budgetären Voraussetzungen für den Ankauf moderner



Auswertegeräte zu schaffen, und im Jahre 1950 konnte ein Autograph WILD A5 für numerische und ein Autograph WILD A6 für graphische Auswertungen in Betrieb genommen werden. Die Landesaufnahme des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen erhielt so ein modernes Profil und gelangte zu neuem Ansehen. +)

Am Beginn jeder Photogrammetrie steht die Messungsaufnahme. Sie muß - aufgabenbezogen - nicht nur in hinreichender Qualität, sondern vor allem auch termingerecht vorliegen. In dieser Hinsicht war zu berücksichtigen, daß zu dieser Zeit in Österreich nur mit Chartermaschinen geflogen werden konnte. ++) Der erste Bildflug erfolgte im Herbst 1949 im Raume Vorarlberg. Bis zum Jahre 1957 wurde alsdann hauptsächlich mit holländischen, aber auch mit schweizerischen und bundesdeutschen Maschinen geflogen. Die Forderungen, die man an das Bildmaterial stellte, waren hoch: Man verlangte einwandfreie photographische Qualität und setzte für Navigationsabweichungen, insbesondere für die zulässigen Bildneigungen, enge Grenzen /8/.

Es war ein Jubeltag für das Bundesamt, als die erste amtseigene Maschine mit dem Kennzeichen OE-BHV am 25. Sept. 1957 über dem 8. Wiener Gemeindebezirk aufkreuzte und ihre Kreise zog. Nach reiflicher Überlegung hatte man einen zweimotorigen TWIN-PIONEER, einen Hochdecker, gewählt, dessen Zelle mit zwei Bodenluken ausgestattet worden war (Abb,1 und 2) /9/. Pilot, Navigator, Kameramann und Bordmechaniker waren bald eine aufeinander gut eingespielte "Crew". Man flog damals, in den ersten Jahren des amtseigenen Bildflugbetriebes, mit vier Mann Besatzung. Als Aufnahme-gerät stand eine (Film-)Reihenbildmeßkammer WILD RC5 zur Verfügung,

---

+ ) Es ist nicht das Ziel dieses Artikels, in diesen Zusammenhängen alle getroffenen Maßnahmen zu behandeln. Der Verfasser beschränkt sich vielmehr auf die Entwicklungen im Bereich der Abteilung Photogrammetrie.

++ ) Eigene Flugzeuge durfte Österreich erst nach dem Staatsvertrag halten (15. Mai 1955).

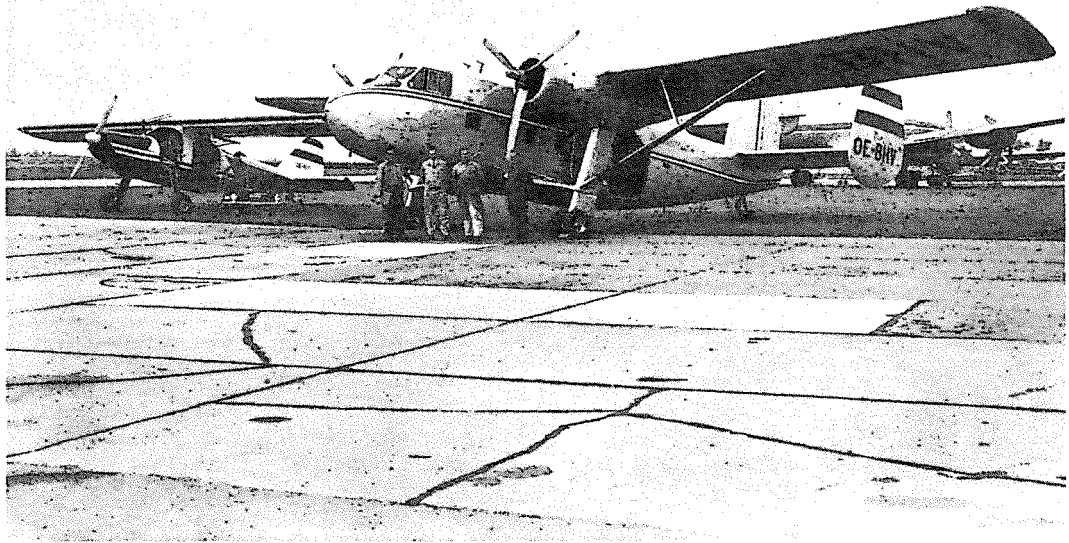


Abbildung 1: Vermessungsflugzeug TWIN PIONEER

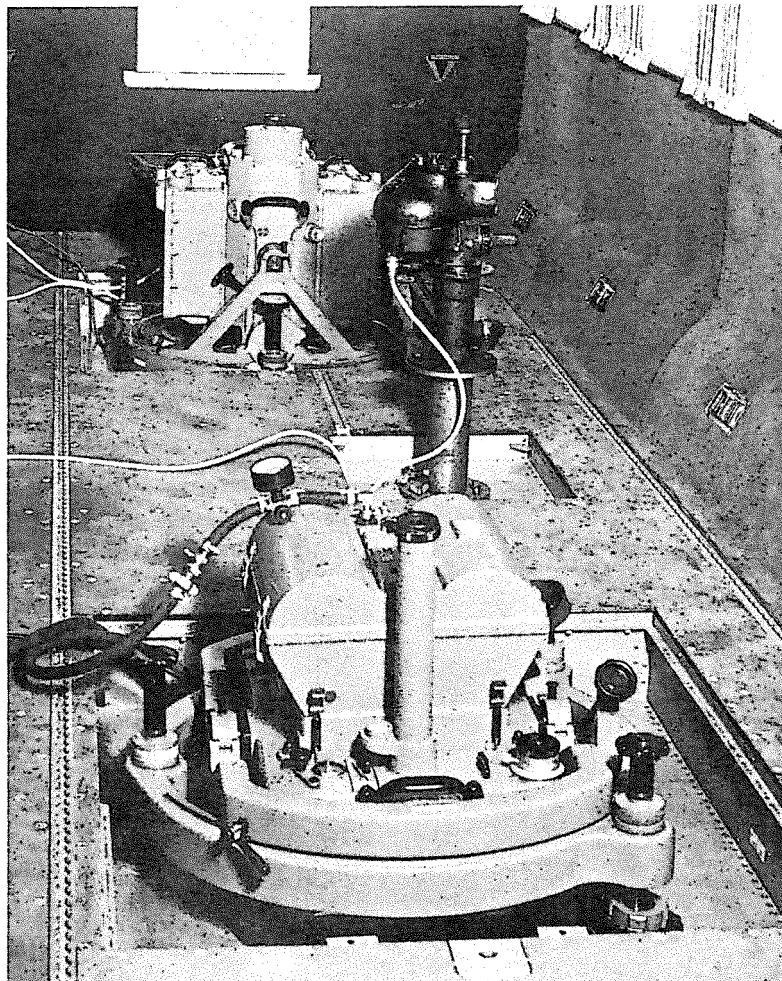


Abbildung 2: TWIN PIONEER mit eingebauten Reihenbildkammern WILD RC5 und WILD RC7 sowie Navigationsfernrohr

bestückt mit den noch völlig neuen Hochleistungsobjektiven AVIOTAR  
f = 210 mm und AVIOGON f = 115 mm.

Der Anwendungsbereich der Photogrammetrie erstreckte sich zunächst aber nur auf Arbeiten für die Österreichische Karte, die zu dieser Zeit noch im Maßstab 1:25 000 hergestellt wurde. Ein Arbeitskonzept, amtsintern "Generalplan" genannt, regelte die terminliche Zusammenarbeit aller Abteilungen. In seinen Grundzügen ist dieses Konzept noch heute aktuell.

Die Aerophotogrammetrie bot in diesen Jahren aber auch bereits erfolgversprechende Aspekte für numerische Auswertungen in großen Maßstäben, insbesondere für den Kataster, denn: Die erwähnten Hochleistungsobjektive galten - wie man sich erinnert - als "praktisch verzeichnungsfrei" und auch von der Geräteseite her schien Zuversicht hinsichtlich der zu erwartenden Auswertegenauigkeit durchaus gerechtfertigt.

Davon ausgehend hat man in den Jahren 1950/51 mit ersten kataster-photogrammetrischen Versuchsarbeiten begonnen, in deren Verlauf nicht zuletzt auch eingehende Versuche über die Signalisierung von Punkten im Gelände durchgeführt wurden /10/. Nach Vorliegen der ersten Auswertungsergebnisse zeigten sich jedoch Unstimmigkeiten systematischer Art, die an der hinreichend guten Verzeichnungsfreiheit der neuen Objektive zweifeln ließen. Bemerkenswert übrigens, wie detailliert die Modelldeformationen immer wieder nachgewiesen werden konnten. Andere Untersuchungen bezogen sich auf die Maßhaltigkeit der Filme, die damals noch auf Acetat-Basis hergestellt wurden.

Natürlich drohten diese Fragen, den Anwendungsbereich der Photogrammetrie einzuschränken. Ganz allgemein gesehen verunsicherten sie auch, und das zu einem Zeitpunkt, wo man dem Leistungsvermögen der Photogrammetrie vielenorts ohnehin noch abwartend, z.T. sogar skeptisch, gegenüberstand. Im Erkennen dieser "Schwachstellen" entwickelten die Firmen aber

- sogenannte Kompensationsplatten, mit deren Hilfe es möglich wurde, den Verzeichnungsfehler der Aufnahmeoptik zu eliminieren, und als Aufnahmegerät für "Messungen höchster Genauigkeit" wurde
- eine Reihenbild-Plattenkammer auf den Markt gebracht.

In der Praxis stellte sich dann allerdings heraus, daß die in den Handel gebrachten Photo-Platten durchaus nicht immer hinreichend "plan"

waren. Das war eine neue Frage, die insbesondere bei Auswertegeräten mit frontaler Bildbetrachtung kritisch beurteilt werden mußte. Wirklich befriedigen konnte erst die sogenannte "ultra-flat" Platte, die, mit einer Ebenheitsgarantie von 20 Mikron, der Praxis ab dem Jahre 1956 zur Verfügung stand.

Unter Inanspruchnahme dieser neuen "Hilfsmittel" wurde es möglich, Katastergenauigkeit mittels aero-photogrammetrischer Arbeitsverfahren wirtschaftlich vertretbar anzubieten. Dabei waren kleinstmöglicher Bildmaßstab, also minimale Modellanzahl und damit auch minimaler Anteil der Orientierung am Gesamtarbeitsaufwand, eine Art Leitlinie für die Konzeption solcher Aufgaben. Konkret hat man bei den Arbeiten für den Kataster einen mittleren Bildmaßstab von 1:11 000 Jahre hindurch mit gutem Erfolg verwendet.

Was die Auswertung selbst anlangt, erinnert man sich, daß zu dieser Zeit die Aufgabe der gegenseitigen Orientierung weltweit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen war. Im Bundesamt bewährte sich nach eingehender Prüfung das Orientierungsverfahren von H.G.JERIE. Dieses Verfahren konvergiert auch bei Vorliegen gebirgigen Geländes zuverlässig, es wird bei Bedarf noch heute angewendet.

Für Arbeiten mit punktintensiven Modellen bevorzugte man i.a. die Einzelmodell-Auswertung, während die für die graphische Auswertung der Österreichischen Karte erforderlichen Paßpunkte mittels (klassischer) Aerotriangulierung bestimmt wurden. In beiden Fällen war die Tätigkeit an den Geräten im Vergleich zu heute außerordentlich mühsam: Denn noch mußten die Maschinenkoordinaten an den Zählwerken der Auswertegeräte abgelesen und manuell festgehalten werden. Modelle mit vielen Punkten, wie dies bei kataster-photogrammetrischen Arbeiten fast immer der Fall war, waren unter solchen Umständen nicht selten mehrere Tage hindurch im Auswertegerät, insbesondere dann, wenn simultan mit der Auswertung kartiert werden mußte. Schon damals zeigte sich, daß die Photogrammetrie - um ein geflügeltes Wort zu verwenden - "nicht mehr nur die Kunst war, Rechnungen zu vermeiden !"

In allen diesen Zusammenhängen wurden auch eingehende Überlegungen über den zweckmäßigsten Arbeitsrhythmus an den Auswertegeräten angestellt.

Unter Berücksichtigung aller maßgeblichen, insbesondere auch betriebswirtschaftlichen Komponenten bot sich für den Bereich der numerischen Auswertungen ein 6-stündiger Schichtdienst als optimal an. Nicht zuletzt deshalb, weil bei der Aerotriangulierung auf diese Weise die Einflüsse der unvermeidlichen subjektiven Auffassungen so gering wie möglich gehalten werden konnten. Aus Genauigkeitsgründen war es bei der Auswertung selbstverständlich auch notwendig, das an allen photogrammetrischen Geräten bestehende "Spiel" zu beachten und durch geeignet gewählte "Auswertewege" möglichst auszuschalten. Darüber hinaus wurde der Justierungszustand regelmäßig, in Intervallen von etwa zwei Monaten, geprüft und - wenn notwendig - verbessert /11/.

Die Weiterverarbeitung der Maschinenkoordinaten geschah in den ersten Jahren teils graphisch, teils rechnerisch, Dabei befaßte man sich bei den Ausgleichungen der Aerotriangulierungen eingehend mit den bei diesem Arbeitsverfahren auftretenden Fehlern und erarbeitete sich später einen rein rechnerischen Weg, der auch die in Österreich gegebenen Geländeverhältnisse berücksichtigte /12/ und /13/.

Das Interesse, das man der leistungsstark gewordenen Photogrammetrie entgegenbrachte, wurde von Jahr zu Jahr größer. Schon in den Jahren 1953/54 konnte dieser Entwicklung durch Anschaffung von zwei weiteren Präzisionsauswertegeräten, zwei Autographen WILD A7, Rechnung getragen werden und es ist gewiß erfreulich, feststellen zu können, daß diese Geräte noch heute, also nach mehr als 20 Jahren, nach wie vor einwandfrei arbeiten. Es soll deshalb an dieser Stelle nicht verabsäumt werden, die Qualität dieser Geräte, die gewissenhafte Wartung und nicht zuletzt auch die sorgsame und sachgemäße Bedienung gebührend zu erwähnen.

Völlig neue Aspekte für die Photogrammetrie ergaben sich in der Folge durch die elektronische Datenverarbeitung (EDV). Hand in Hand mit der Entwicklung des "Computerwesens" wurden die Auswertegeräte mit Koordinatenregistriergeräten ausgestattet, die in Kombination mit Karten- oder Streifenlochern den Operateur vom bisher notwendig gewesenen Ablesen und Aufschreiben der Maschinenkoordinaten entlasteten und so den "Datenfluß" bei der Auswertung außerordentlich beschleunigten.

Auch in dieser Situation war es wieder K.NEUMAIER, der die Bedeutung

dieser neuen Aspekte und Tendenzen frühzeitig erkannte und mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln förderte.

Die Phase der Automation begann für das Bundesamt im Jahre 1955, wobei die Datenverarbeitung in den ersten Jahren am Mathematischen Labor der Technischen Hochschule in Wien erfolgte. Unter Leitung von Professor INZINGER war dort eine der ersten IBM-Rechenanlagen in Betrieb genommen worden. Die Abteilung Photogrammetrie aber war damit die erste Dienststelle des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, die die durch die elektronische Datenverarbeitung entstandenen Möglichkeiten zu nutzen begann. Eine bundesamtseigene Abteilung für elektronische Datenverarbeitung konnte erst im Jahre 1960 eingerichtet werden.

Quantitativ gesehen kamen in der Folge an die Photogrammetrie immer mehr Aufgaben heran. Dabei zeigte sich aber auch, daß die Photogrammetrie durch die Wechselwirkung mit der elektronischen Datenverarbeitung in organisatorischen Belangen im Vergleich zu früher noch anspruchsvoller geworden war. Auch die bestehende Gerätekapazität erwies sich bald als nicht mehr ausreichend. Im Jahre 1961 wurde es deshalb notwendig, den "Gerätepark" aufzustocken: Zunächst konnte ein Autograph WILD A8 und im Jahre 1963 ein dritter Autograph WILD A7 angeschafft werden. Beide Geräte waren natürlich mit Koordinatenregistrieranlagen und IBM-Kartenlochern ausgestattet (Abb.3).

Vor dem Ankauf dieser (Analog-)Geräte hatte man im Hinblick auf die damals bestehenden Entwicklungstendenzen auch eine teilweise Umstellung auf analytisch-photogrammetrische Arbeitsverfahren erwogen und den Ankauf eines Präzisions-Stereokomparators jener Art in Betracht gezogen, wie sie am SIP-Kongreß in London, im Jahre 1960, vorgestellt worden waren. Die Entscheidung fiel jedoch zu Gunsten der universeller verwendbaren Analoggeräte aus /14/.

Der eingangs erwähnte Autograph WILD A5 aber war mit dem Beginn der Automation abgegeben worden.

Als K. NEUMAIER, der ab dem Jahre 1960 das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen als Präsident geleitet hatte, mit Ende des Jahres 1963 wegen Erreichung der Altersgrenze aus dem aktiven Dienst des Amtes ausschied, konnte "die Photogrammetrie" bereits eine beachtliche Bilanz ziehen:

Neben den Arbeiten für die topographische Neuaufnahme im Umfang von durchschnittlich mehr als vier Blättern der Österreichischen Karte 1:50 000 pro Jahr hatte man im Rahmen der Mitarbeit am Festpunktfeld insgesamt schon rd. 10 000 Einschaltpunkte (EP) koordiniert und für Zwecke der katastralen Neuvermessung sowie für Agrarische Operationen waren zusammen an die 100 000 Grenzpunkte bestimmt worden /15/, /16/ und /17/.

Mit dieser für die Photogrammetrie im gesamten äußerst erfreulichen Entwicklung konnte der "Aufnahmesektor" aber bald nicht mehr Schritt halten. Anzahl und Umfang der Aufgaben wuchsen rascher als ein Vermessungsflugzeug, genügend gesichert, zu leisten vermochte. Von entscheidender Wichtigkeit bei diesen Überlegungen erwiesen sich die in Österreich bestehenden Wetterverhältnisse, die, wie man im Laufe der Jahre festgestellt hatte, das Bildflugwetter mit kaum 200 Flugstunden/Jahr begrenzten. Vor allem aus dieser Sicht wurde der Einsatz einer zweiten Bildflugmaschine zwingend notwendig,

Als Zwischenlösung gelang es, im Wege einer interministeriellen Vereinbarung mit dem Bundesministerium für Verkehrs- und Elektrizitätswirtschaft, dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen die Mitbenützung einer diesem Ministerium gehörenden Maschine vom Typ DORNIER 27 zu ermöglichen. Wenn auch der Einsatz dieser Maschine von ihren Flugleistungen her nur begrenzte Möglichkeiten bot - Dienstgipfelhöhe 3 500 m - so wurde auf diese Weise die Kapazität im Bildflugbetrieb doch spürbar angehoben.

Wenige Jahre später, nämlich 1965, ersetzte man zunächst den TWIN-PIONEER durch den deutlich schnelleren, zweimotorigen AERO-COMMANDER, und im Jahre 1968 gelang es, als zweites amtseigenes Flugzeug einen PILATUS-TURBO-PORTER, eine einmotorige Propeller-Turbinenmaschine, in den Dienst zu stellen (Abb.4 und 5) /18/ und /19/.

Die notwendige Leistungsfähigkeit im Bildflugbetrieb war damit auf Jahre hinaus sichergestellt.

In diesen Jahren wurde der Trend zu dem Bildformat 23x23 cm aus Gründen

der Wirtschaftlichkeit immer deutlicher, Vor allem auch deshalb, weil die in der Zwischenzeit auf den Markt gekommenen Polyesterfilme eine für dieses große (Bild-)Format hinreichende Stabilität versprachen.

Ausgehend von diesen neuen Voraussetzungen erschien es vorteilhaft, von der Aerotriangulierung mit den (kleinen) Plattenmodellen abzugehen und die Auswertung mit etwa gleichen Paßpunktaufwand - auf der Basis von Einzelmodellen mit Doppeldeckung vorzunehmen.

Zu allen diesen Fragen, die von der Stabilität des Filmmaterials über die Verhältnisse bei der Aufnahme und der Auswertung bis zu eingehenden Genauigkeitsüberlegungen reichten, suchte man in der Abteilung Photogrammetrie nach Lösungen, über die in der Literatur nur zum Teil, und oft erst Jahre später, berichtet wurde /20/, /21/, /22/, /23/, /24/ und /25/.

Für die Praxis von besonderer Bedeutung war dabei die Entwicklung eines Programmes für räumliche Transformationen, weil es damit möglich wurde, am Auswertegerät nur mehr gegenseitig zu orientieren und die absolute Orientierung rechnerisch durchzuführen /26/. Die Auswertekapazität wurde auf diese Weise beträchtlich erhöht.

Als dann im Jahre 1968 im Bundesgesetzblatt Nr. 306 vom 3. Juli 1968 das "Vermessungsgesetz" veröffentlicht wurde, kam auf die Abteilung Photogrammetrie eine neue Aufgabe zu: Das Gesetz definierte nämlich für die Aufnahme von Detailpunkten eine maximal zulässige Spannung von  $\pm 20$  cm, während bisher als Fehlergrenze  $\pm 30$  cm gegolten hatten. Als Konsequenz resultierte die Notwendigkeit, alle photogrammetrisch erstellten EP-Felder auf ihre Genauigkeit hin zu überprüfen, wo erforderlich zu verbessern und für die Weiterarbeit ein Konzept zu entwerfen, das eine mittlere Punktlagegenauigkeit von  $\pm 7$  cm sicherstellt. Fehlertheoretische Überlegungen verlangten dazu einen Bildmaßstab von 1:7 000 bis 1:8 000. Um aber die dafür notwendige Paßpunktdotation soweit wie möglich reduzieren zu können, wurde zusätzlich ein Hochflug im Maßstab 1:15 000 vorgesehen, der es gestatten sollte, aus seinen großen Modellen Näherungskordinaten für alle Punkte abzuleiten /27/.

Ab dem Jahre 1969 wurde dieses Konzept mit Erfolg in die Praxis übernommen; es blieb einige Jahre hindurch die Grundlage für alle katasterphotogrammetrischen Arbeiten.



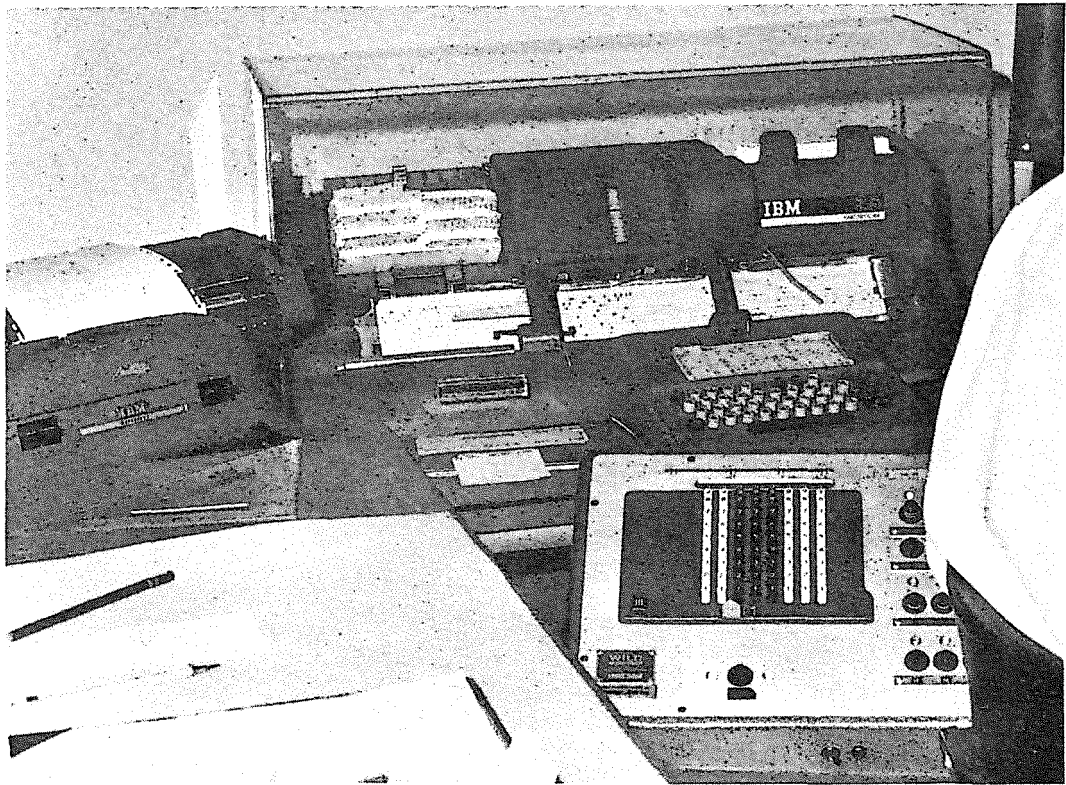


Abbildung 3: Autograph WILD A7 mit Koordinatenregistriergerät EK5 und IBM Kartenlocher



Abbildung 4: Vermessungsflugzeug AERO COMMANDER

Anderorts befaßte man sich zu dieser Zeit bereits mit der rechnerischen Behandlung von Modellverbänden. Im Bundesamt fehlten dazu aber - von der dafür erforderlichen Rechenkapazität her - zunächst noch die Voraussetzungen.

Elektronik und Automation, beide zusammen bestimmten in der Folge zunehmend den Fortgang der Entwicklung im Bereich der "Bildmessung". Weiterentwickelt wurden zunächst die Koordinatenregistriergeräte. Dies war deshalb notwendig geworden, weil die sogenannte "digitale" (Luftbild-)Auswertung in Verbindung mit der elektronischen Rechentechnik zunehmend Bedeutung erlangte.

Im Bundesamt war man an diesen neuen Aspekten insbesondere im Zusammenhang mit den Arbeiten für die Erneuerung der Katastralmappe interessiert und stattete deshalb im Jahre 1973 zwei Autographen A7 mit modernen Datenerfassungssystemen EK22 in Kombination mit Lochstreifengeräten aus (Abb.6).

Eine bei dieser neuen Gerätekonfiguration nicht unerhebliche Umstellung brachte der im Vergleich zur Lochkarte bedeutend schnellere Lochstreifen mit sich, weil die bisher möglich gewesene simultane Erstellung von Klarschriften mittels Schreibmaschine von nun ab entfallen mußte.

Bei der Auswertung wurden die jeweils verlangten Linien und Objekte punktweise erfaßt und in einem gesonderten Arbeitsgang in der EDV-Abteilung mit Hilfe von programmgesteuerten Kartiergeräten maßstabsgerecht dargestellt. Natürlich ging man auch bei diesen Arbeiten von nur gegenseitig orientierten Modellen aus.

Die digitale Auswertung ergänzt seither die Analogauswertung, ist leistungsstark und hat die Kapazität am Sektor "graphische Auswertung" beträchtlich erhöht /28/.

In diese Zeit fällt auch der weitere Ausbau der Abteilung für Datenverarbeitung. Sie übersiedelt in das neuerrichtete Bundesrechenzentrum und verfügt nun über Rechenkapazitäten, die die Anwendung des Blockausgleichungsverfahrens ermöglichen. Zur Anwendung kommt ein in der Abteilung Photogrammetrie von P. LEEB entwickeltes Programm, das mit

Rücksicht auf die im Bundesamt zur Verfügung stehenden Analoggeräte von der Methode unabhängiger Modelle ausgeht, Das Programm läuft zur vollsten Zufriedenheit. Seine Konzeption wurde noch nicht veröffentlicht.

Die bis jetzt letzte Folge der erwähnten Wechselwirkung zwischen Elektronik und Photogrammetrie ist auf den Fragenkomplex Orthophoto gerichtet. Das Orthophoto vereint bekanntlich die bildhafte Anschaulichkeit einer Luftaufnahme mit dem Grundriß einer Karte, kann bei Bedarf auch mit Höheninformationen ausgestattet werden und stellt so eine moderne und vielseitig verwendbare Arbeits- und Planungsunterlage dar. Manche der zumeist kostenaufwendigen Arbeiten im Gelände können bei Verwendung von Orthophotos erheblich reduziert werden und der aktuelle Informationsgehalt des Luftbildes an sich stellt bereits einen bedeutenden Gewinn dar.

Von diesen Gegebenheiten ausgehend war es für das Bundesamt interessant und wertvoll, die am Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien in letzter Zeit entwickelte, neue Orthophoto-Technologie kennenlernen und nach erfolgreicher Erprobung schrittweise in die Praxis übernehmen zu können /29/. So wurde

- mit der Erstellung einer Luftbildkarte von Österreich im Maßstab 1:10 000 begonnen und
- geplant, die Orthophotographie auch für die Nachführung der Österreichischen Karte und die Erneuerung der Österreichischen Katastralmappe heranzuziehen,

Für das Gesamtkonzept dieser Arbeiten von besonderer Bedeutung ist die Errichtung einer Geländehöhen-Datenbank, die einmal erstellt die Berechnung der Steuerdaten für die Orthophotoproduktion aus Wiederholungsflügen jederzeit, also ohne neuerliche Datenerfassung, ermöglichen wird.

Zahlreiche Fragen waren in allen diesen Zusammenhängen zu lösen. Sie reichten von der Luftbildaufnahmetechnik über die Datenerfassung, die Blockausgleichung und Orthoprojektion bis zu den zugehörigen photographischen und reprotchnischen Arbeiten. Was dabei die Aufnahmetechnik anlangt, ist zu berücksichtigen, daß bei der Orthophotographie im Gegensatz zur konventionellen Photogrammetrie die Qualitätsmerkmale des Ausgangspröduktes im Endergebnis, also im Orthophoto, sichtbar werden. Darüber hinaus ist zu



Abbildung 5: Vermessungsflugzeug PILATUS TURBO-PORTER

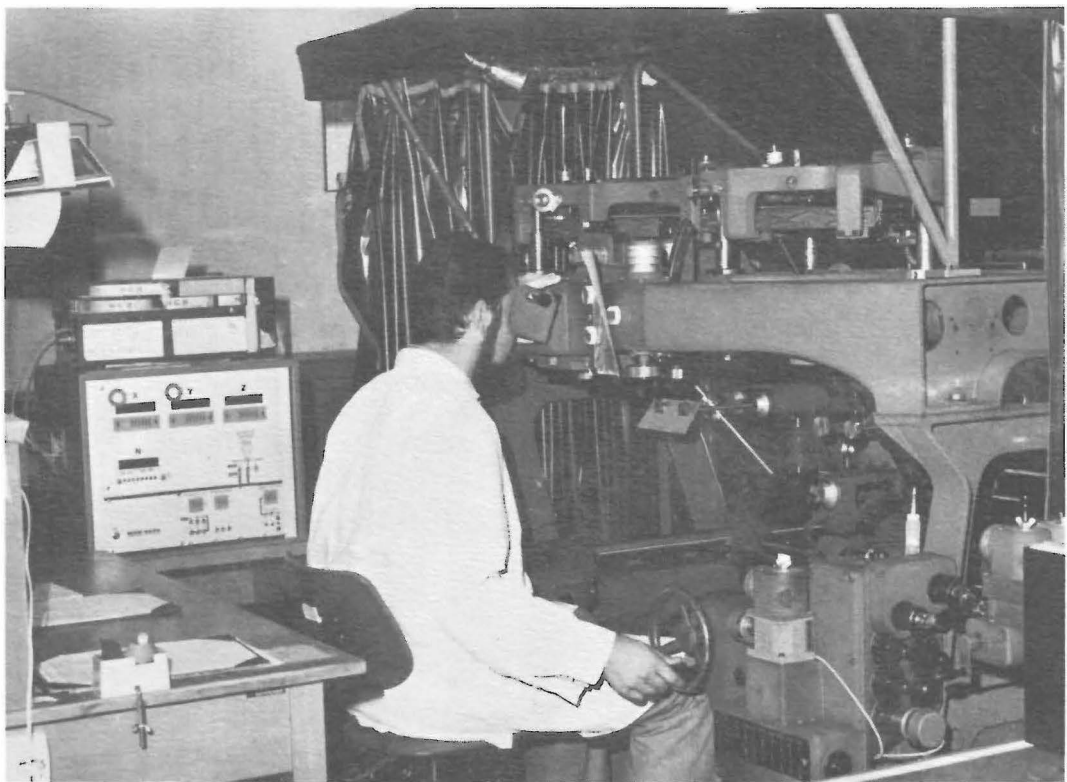


Abbildung 6: Autograph Wild A7 mit Datenerfassungssystem EK22 und Streifenlocher

beachten, daß weite Teile in unseren alpinen Regionen wegen Schneelage i.a. vor Juni/Juli nicht befliegen werden können und daß andererseits ab Mitte September die Schattenlängen oft bereits störend sind. Kein Zweifel also, daß bei Orthophotoflügen besondere Bedingungen und Schranken bestehen.

Eine in diesen Fragen wesentliche Hilfe brachten die als Zusatz zu den Aufnahmekammern entwickelten Belichtungsautomaten.

Bemerkenswert in Verbindung mit der Orthophotographie ist auch der Trend zu längeren Bildweiten, um so nicht nur bessere Einblicke in das Gelände zu gewinnen, sondern auch bei Arbeiten in großen Maßstäben das "Stürzen" der Objekte in den bildrandnahen Zonen in Grenzen zu halten. Für die in Abb.7 dargestellte Gerätekonfiguration stehen Objektive mit den Bildweiten 150 mm, 210 mm und 300 mm zur Verfügung.

Natürlich nehmen bei Verwendung längerer Bildweiten die Flughöhen im selben Verhältnis zu, sodaß z.B. bei Flügen für topographische Zwecke die (obere) Maßstabsgrenze oft von der Dienstgipfelhöhe des Flugzeuges bestimmt wird. Aber auch bei Flügen für größere Maßstäbe gelangt man bei Verwendung der Bildweite  $f = 30$  cm schnell (und oft) in Höhen, die die Mitnahme von Sauerstoff erfordern. Die photogrammetrische Praxis benötigt daher heute, soll sie voll einsatzfähig sein, genügend leistungsfähige und mit Druckkabinen ausgestattete Maschinen.

Als Ausgangsbildmaterial für die Datenerfassung bestehen - wenn vom Digitalisieren etwa vorhandener Höhenlinien abgesehen wird - zwei Möglichkeiten, nämlich

- die Heranziehung vorhandener, mit Paßpunkten bereits dotierter Bildflüge und
- die Verwendung von Neuflügen.

Bisher vorliegende Erfahrungen haben in dieser Hinsicht gezeigt, daß bei Verwendung von Neuflügen die erforderlichen Paßpunkte weitgehend mittels stereoskopischer Punktübertragung aus den oben erwähnten "Altflügen" erhalten werden können (Abb.8).

Um den beim Digitalisieren extrem schnellen Datenfluß bewältigen zu können, ist der Einsatz von Magnetbandstationen erforderlich, wobei das Datenerfassungsgerät die Möglichkeit gibt, das jeweils passende Wegintervall zu wählen. Ein Autograph A7 und ein Autograph A8 arbeiten bereits mit Bandstationen (Abb.9).

Für die Orthoprojektion selbst steht ein Differentialumbildegerät WILD Avioplan OR 1 zur Verfügung, das im Oktober 1976 gemeinsam mit dem Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien angeschafft und in Betrieb genommen worden ist (Abb.10).

Das Gerät wird, wie in /29/ beschrieben, unter Verwendung des Programmes SORA-OP, das im Bundesrechenzentrum installiert vorliegt, digital gesteuert. Die gesamte Technologie des Orthophotoverfahrens arbeitet klaglos und die ersten Luftbildkarten werden in Kürze erscheinen.

Zur Zeit ist man damit befaßt, in Anlehnung an den früher erwähnten Generalplan der Österreichischen Karte 1 : 50 000 ein langfristiges Arbeitskonzept zu erarbeiten, mit dem Ziel, Orthophotos für die Aufgaben des Bundesamtes schwerpunktorientiert so rasch wie möglich zur Verfügung stellen zu können.

Nochmals zusammenfassend wird deutlich, wie vielseitig und leistungsstark die Photogrammetrie im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in ihren Anwendungen geworden ist:

Der Bildflugbetrieb erbringt jährlich eine Flächenleistung von nahezu einem Viertel des Bundesgebietes, an den Auswertegeräten werden neben den Arbeiten für das Festpunktfeld und die Österreichische Karte 1 : 50 000 umfangreiche Digitalisierungen für die Erneuerung der Katastralmappe durchgeführt und seit dem Jahre 1977 hat auch die Datenerfassung für die Geländehöhendatenbank in Verbindung mit der Herstellung von Orthophotos im Gesamtarbeitsplan ihren festen Platz.

Die eingangs genannten Erwartungen hinsichtlich der Weiterentwicklung der Photogrammetrie haben sich somit in bester Weise erfüllt.

SCHRIFTTUM 1)

- / 1/ LEGO: Die photogrammetrischen Arbeiten im neuen Österreich, ÖZfV 1935
- / 2/ LEGO: Die photogrammetrischen Arbeiten in Österreich von 1938 - 1948, ÖZfV 1948

1) Im Hinblick auf den Charakter des gegenständlichen Artikels werden nur Autoren des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen genannt.



Abbildung 7: Reihenbildkammer WILD RC10 mit Belichtungsmeßeinheit PEM 1 und Navigationsfernrohr NAV2



Abbildung 8: Punktübertragungsgerät WILD PUG4







Abbildung 9: Autograph WILD A8 mit Datenerfassungssystem EK22 und Magnetbandstation

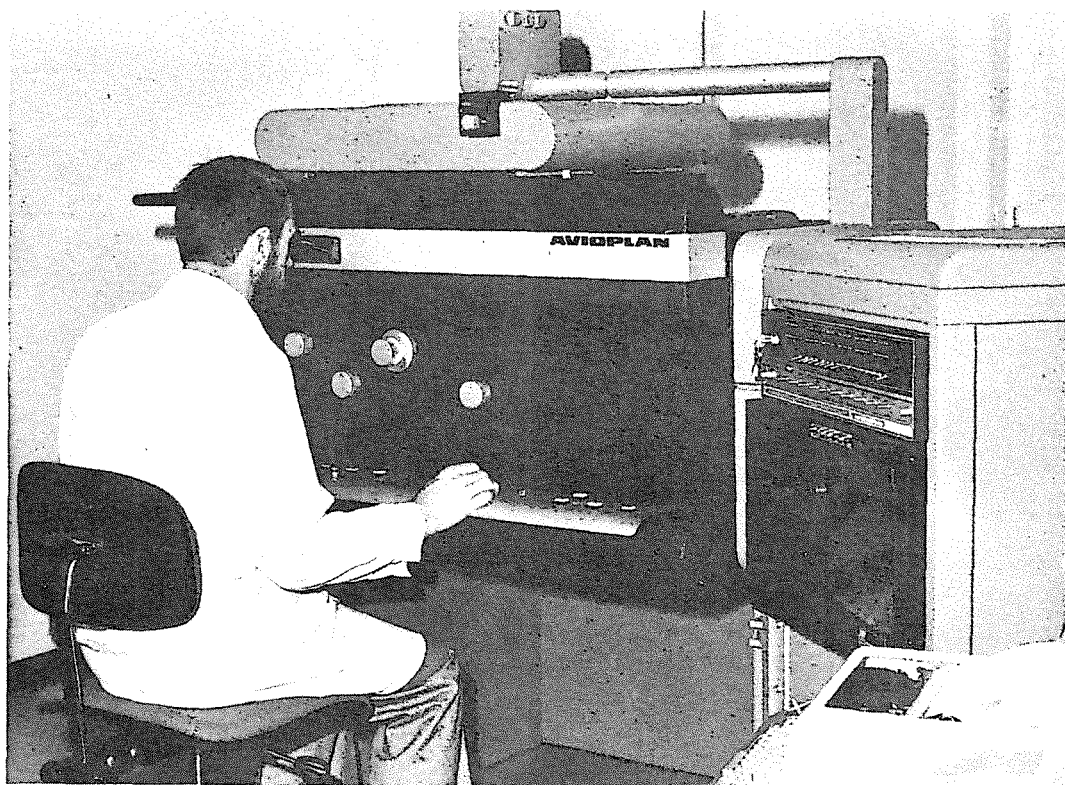


Abbildung 10: WILD Avioplan OR1

- / 3/ KRAMES: Scheimpflugs Landesvermessung aus der Luft in: Festschrift Th. Scheimpflug, Sonderdruck Nr.16 der ÖZfV 1956
- / 4/ LEGO: Die Erfindung der Photogrammetrie und ihre Entwicklung in Österreich ...., ÖZfV 1958
- / 5/ EBENHÖH: 25 Jahre Luftbildauswertung in Österreich, ÖZfV 1962
- / 6/ NEUMAIER: Photogrammetrie und österreichische Vermessungen 2. Fachtagung für Vermessungswesen, Veröffentlichung des BAfEuV 1967
- / 7/ BERNHARD: Die Photogrammetrie im Dienste der Landesaufnahme in: Die amtliche Kartographie Österreichs Veröffentlichung des BAfEuV 1970
- / 8/ BERNHARD: Über den Einfluß der Achsstellungen des Auswertegerätes auf die gegenseitige Orientierung von Luftaufnahmen, Photogrammetria 1953/54
- / 9/ STICKLER: Das Vermessungsflugzeug, ÖZfV 1959
- /10/ HLAWATY u. STICKLER: Signalisierungsversuch, Photogrammetria 1955/56 (Special Congress Number)
- /11/ BERNHARD: Über periodische Prüfungen des Justierungszustandes photogrammetrischer Auswertegeräte I.Ordnung, ÖZfV 1964
- /12/ NEUMAIER u.SCHERMERHORN: Systematischer Fehler bei der Aerotriangulation, Photogrammetria 1939
- /13/ HALWAX: Eine Methode für die rechnerische Ausgleichung von Aerotriangulationen, ÖZfV 1962
- /14/ BERNHARD: Genauigkeitsfragen und gegenwärtig bestehende Leistungsgrenzen bei der Lagebestimmung luftsichtbar gemachter Punkte mittels rechnerischer Einbildphotogrammetrie, ÖZfV 1962
- /15/ KAMENIK: Die großmaßstäbliche Photogrammetrie, ÖZfV 1962
- /16/ STICKLER: Der Versuch Gedorf, ÖZfV 1962
- /17/ HALWAX: Studie zur photogrammetrischen Bearbeitung der österreichisch-bayerischen Staatsgrenze, ÖZfV 1962
- /18/ MUZIK: Über äußere Bildflugbedingungen, ÖZfV 1963
- /19/ STICKLER: Über den Betrieb von Vermessungsflugzeugen 2. Fachtagung für Vermessungswesen, Veröffentlichung des BAfEuV 1967
- /20/ HALWAX: Über Zusammenhänge zwischen Aufnahmetemperatur, Kammerkonstanten und system. Fehlern der inneren Orientierung, Photogrammetria 1959/60
- /21/ KOVARIK: Wird die Genauigkeit von Einzelmodellauswertungen durch die rechnerische Transformation der Maschinen koordinaten beeinträchtigt ? ÖZfV 1966
- /22/ KOVARIK: Erfahrungen mit Cronar-Film bei einer großmaßstäblichen numerischen Punktbestimmung, ÖZfV 1967

- /23/ BERNHARD: Über Bündel- und Modelldrehungen an Analoggeräten mit zwei Aufpunkten, ÖZfV 1967
- /24/ BERNHARD: Über spezielle Testanordnungen bei der Prüfung von Stereoauswertegeräten, ÖZfV 1968
- /25/ KOVARIK: In welchem Maß können affine Transformationen durch die Auswahl der Paßpunkte beeinflußt werden ? ÖZfV 1969
- /26/ LEEB: Über räumliche Transformationen, ÖZfV 1968
- /27/ KOVARIK: Zur photogrammetrischen Bestimmung von Einschaltpunkten, ÖZfV 1971
- /28/ BERNHARD: Luftbildauswertung konventionell - digital, EVM Heft 9/1973, Veröffentlichung des BAFeuV
- /29/ KRAUS, OTEPKA,  
LOITSCH u. BERNHARD: Presented paper XIII. Internationaler Kongreß für Photogrammetrie, Helsinki 1976

Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 73 - 84

A POSTERIORI GEWICHTSSCHÄTZUNG BEI DER VERALLGEMEINERTEN  
KLEINSTEN QUADRATE AUSGLEICHUNG

von  
H. Ebner

Adresse des Autors:

Prof. Dr. H. Ebner, Lehrstuhl für Photogrammetrie der Technischen  
Universität München, D-8000 München 2, Arcisstr. 21, BRD

## 1. EINFÜHRUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Bei der klassischen Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate werden die zu schätzenden Parameter als freie Unbekannte behandelt. Beschränken wir uns auf den Fall der vermittelnden Ausgleichung, was hier ohne Verlust an Allgemeinheit möglich ist, so ergibt sich das folgende System linearer oder linearisierter Verbesserungsgleichungen:

$$v_1 = A_1 \hat{x} - l_1, P_1 \quad (1)$$

$l_1$  = Vektor der Absolutbeträge bzw. Beobachtungen

$v_1$  = Vektor der Verbesserungen

$\hat{x}$  = Vektor der Schätzwerte der Unbekannten

$A_1$  = Koeffizienten- oder Design-Matrix

$P_1$  = Gewichtsmatrix der Beobachtungen

Die Unbekannten  $\hat{x}$  werden so geschätzt, daß die bekannte Minimumsbedingung erfüllt ist:

$$v_1^T P_1 v_1 = \min \quad (2)$$

Soll die Schätzung unverzerrt sein mit

$$E \{ x - \hat{x} \} = 0, \quad (3)$$

$E$  = statistische Erwartung oder statistisches Mittel

$x$  = Vektor der theoretischen (wahren) Werte der Unbekannten

so müssen die Beobachtungen  $l_1$  die Bedingung

$$E \{ A_1 x - l_1 \} = 0 \quad (4)$$

erfüllen.

Eine wesentliche Verallgemeinerung der Methode der kleinsten Quadrate, die im englischen Sprachraum als "Generalized Least Squares" bekannt ist, besteht nun darin, daß die verfügbaren a priori Informationen über die Parameter  $x$  in der Ausgleichung mitberücksichtigt werden /1/. Dies kann in sehr einfacher Weise durch zusätzliche Verbesserungsgleichungen erfolgen /2/.

Dadurch wird die Beziehung (1) zum Gesamtsystem

$$v = A \hat{x} - l, P \quad (5)$$

erweitert, das sich explizit darstellt als:

$$\begin{aligned} v_1 &= A_1 \hat{x} - l_1, P_1 \\ v_2 &= I \hat{x} - l_2, P_2 \end{aligned} \quad (6)$$

$l_1, v_1, \hat{x}, A_1, P_1$  haben dieselbe Bedeutung wie in (1)

$l_2$  = Vektor der zusätzlichen Beobachtungen

$v_2$  = Vektor der zusätzlichen Verbesserungen

$I$  = Einheitsmatrix

$P_2$  = Gewichtsmatrix der Beobachtungen  $l_2$

Die Beobachtungen  $l_2$  müssen dabei nicht unbedingt echte Meßgrößen sein, sondern können sich auch aufgrund gewisser Abschätzungen ergeben, wobei der reduzierten Genauigkeit dann in der Gewichtsmatrix  $P_2$  Rechnung getragen wird. In (6) ist ferner angenommen, daß keine Korrelationen zwischen  $l_1$  und  $l_2$  bestehen. Darüberhinaus werden die  $l_2$  selbst i.a. als unkorrelierte Beobachtungen behandelt.

Die Minimumsbedingung (2) wird durch die zusätzlichen Verbesserungsgleichungen erweitert zu:

$$v_1^T P_1 v_1 + v_2^T P_2 v_2 = \min \quad (7)$$

Eine unverzerrte Schätzung von  $\hat{x}$  gemäß (3) erfordert jetzt zusätzlich zu (4), daß die Beobachtungen  $l_2$  die Bedingung

$$E\{x - l_2\} = 0 \quad (8)$$

erfüllen.

Der klassische Ansatz nach (1) läßt sich dann als Sonderfall von (6) mit  $l_2 = 0$  und  $P_2 = 0$  darstellen.

Soll bei einem praktischen Ausgleichungsproblem der Ansatz (1) durch den verallgemeinerten Ansatz (6) ersetzt werden, so muß erwartet werden können, daß die Beobachtungen  $l_2$  Gleichung (8) erfüllen und daß die Genauigkeitseigenschaften der Beobachtungen  $l_2$  in Form der Gewichtsmatrix  $P_2$  hinreichend gut bekannt sind. Sind diese beiden Voraussetzungen erfüllt, so ergibt der Ansatz (6) ebenfalls unverzerrte, aber genauere Schätzwerte  $\hat{x}$  als der klassische Ansatz (1). Das Maß der Genauigkeitssteigerung ist dabei von der Genauigkeit der zusätzlichen Beobachtungen  $l_2$  bzw. von ihren Gewichten abhängig.

Eines unter vielen möglichen Anwendungsbeispielen für die verallgemeinerte Kleinste-Quadrate-Ausgleichung ist die photogrammetrische oder astrometrische Blockausgleichung mit Selbstkalibrierung, bei der die stets vorhandenen, aber betragsmäßig kleinen systematischen Bildfehler mit Hilfe zweckmäßig ange-setzter zusätzlicher Parameter simultan in der Ausgleichung bestimmt und kompensiert werden /3/, /4/. Falls nun für einzelne zusätzliche Parameter unterstellt werden kann, daß ihr statistischer Mittel- oder Erwartungswert Null ist, so wird die Forderung (8) nach einer erwartungstreuen Schätzung der Parameter  $\hat{x}$  erfüllt, indem für die Beobachtungen  $l_2$ , die diesen zusätzlichen Parametern entsprechen, die Beobachtungswerte Null angesetzt werden. Die Gewichtswahl für diese Beobachtungen  $l_2$  erfolgt dann aufgrund der zu erwartenden Beträge der betreffenden zusätzlichen Parameter, wobei im Zweifelsfall eher kleinere Gewichte verwendet werden. Auf diese Weise kann die Genauigkeit aller Schätzwerte  $\hat{x}$  und damit auch der hauptsächlich interessierenden Koordinatenunbekannten u.U. spürbar verbessert werden, insbesondere wenn es - wie in der Astrometrie - erforderlich ist, für die einzelnen Bilder auch individuelle zusätzliche Parameter anzusetzen (siehe dazu Kapitel 3).

Diese Darstellung der verallgemeinerten Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate macht aber auch deutlich, daß der Gewichtswahl für die zusätzlichen Beobachtungen  $l_2$  eine ganz wesentliche Bedeutung zukommt. Wählt man die Gewichte, die die Matrix  $P_2$  bilden nämlich zu groß, so werden die Schätzwerte  $\hat{x}$  zu stark von den Beobachtungswerten  $l_2$  (im obigen Beispiel  $l_{2i} = 0$ ) beeinflußt und damit verfälscht. Bei zu kleinen Gewichten für  $l_2$  hingegen vergibt man einen Teil der Genauigkeitssteigerung. Wie im folgenden Kapitel 2 gezeigt wird, lassen sich die Gewichte der Beobachtungen

$l_2$  aber auf strenge und verhältnismäßig einfache Weise a posteriori schätzen.

Die im Ansatz auf Helmert zurückgehende a posteriori Gewichtsschätzung ist detailliert von Kubik und später auch vom Verfasser behandelt worden /5/, /6/, /7/. Die Grundidee besteht darin, daß im Zuge der Ausgleichung nicht nur die Unbekannten sondern gleichzeitig auch die Gewichte der Beobachtungen geschätzt werden.

In der vorliegenden Arbeit wird die a posteriori Gewichtsschätzung jedoch nur auf die Beobachtungen  $l_2$  angewandt, was zu einem wesentlich einfacheren Schätzverfahren führt und den erforderlichen Rechenaufwand deutlich reduziert.

## 2. DAS SCHÄTZVERFAHREN

Wir gehen im folgenden davon aus, daß die Beobachtungen  $l_2$  der Unbekannten  $x$  unkorrelierte und gruppenweise gleich genaue Größen mit den zu schätzenden Gruppengewichten  $\hat{p}_{21} \dots \hat{p}_{2i} \dots \hat{p}_{2t}$  sind. Unter Berücksichtigung dieser  $t$  Gruppen stellt sich das Verbesserungsgleichungssystem (5) bzw. (6) dar als:

$$\begin{array}{l}
 v_1 = A_{11}\hat{x}_1 + \dots + A_{1i}\hat{x}_i + \dots + A_{1t}\hat{x}_t - l_1 \\
 v_{21} = I_1 \hat{x}_1 - l_{21} \\
 \vdots \\
 v_{2i} = \quad \quad \quad I_i \hat{x}_i - l_{2i} \\
 \vdots \\
 v_{2t} = \quad \quad \quad \quad \quad I_t \hat{x}_t - l_{2t}
 \end{array}
 , \hat{P} = \begin{bmatrix}
 P_1 & & & & \\
 & \hat{p}_{21}I_1 & & & \\
 & & \ddots & & \\
 & & & \hat{p}_{2i}I_i & \\
 & & & & \ddots \\
 & & & & & \hat{p}_{2t}I_t
 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$\hat{p}_{2i}$ ,  $i = 1 \dots t$  = Schätzwerte der Gruppengewichte  
 $I_i$ ,  $i = 1 \dots t$  = Einheitsmatrizen

Da die Gewichtsschätzung nur auf die Beobachtungen  $l_2$  angewandt werden soll, wird die Gewichtsmatrix  $P_1$  als bekannt vorausgesetzt. Die in /6/ und /7/

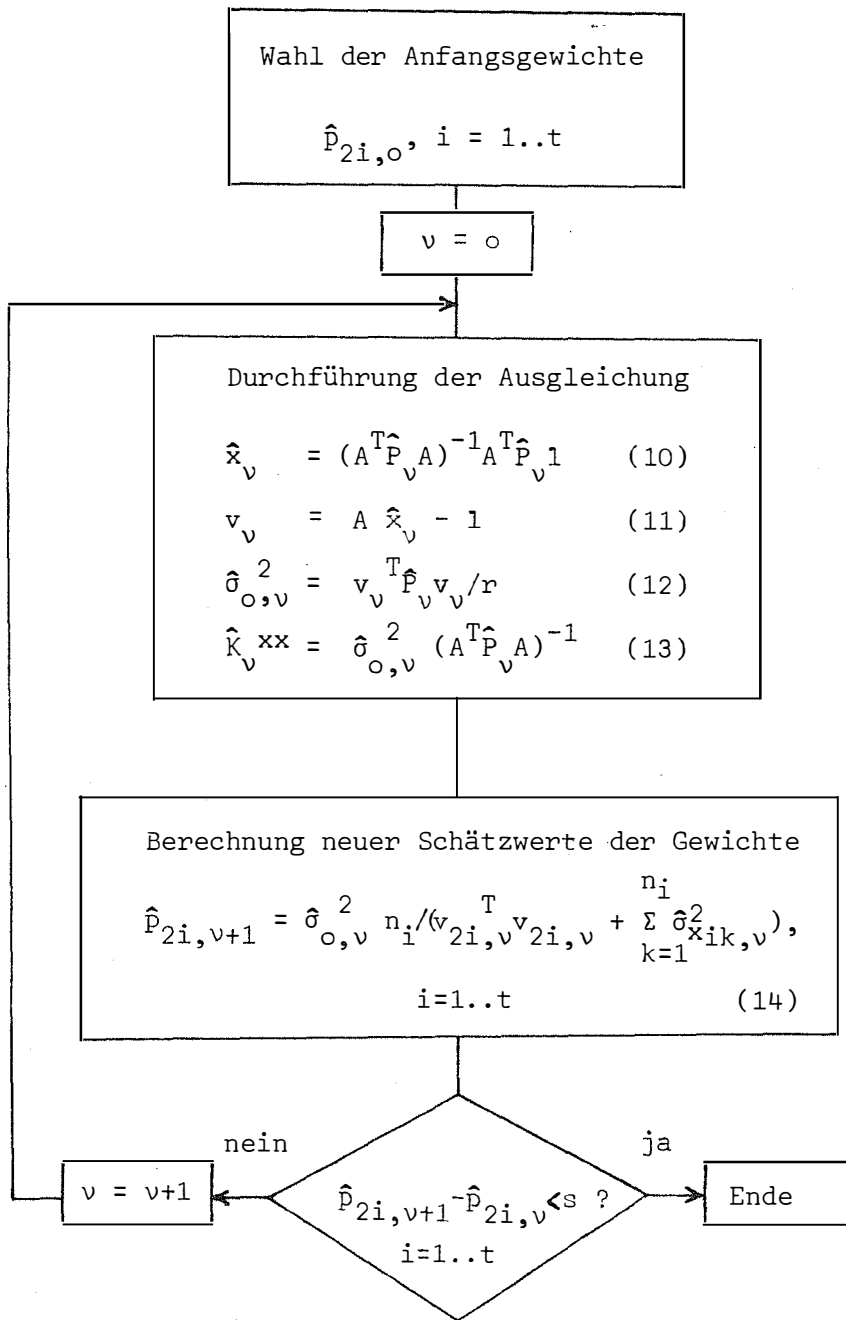


aufgezeigten Lösungen für die a posteriori Gewichtsschätzungen arbeiten iterativ. Da in der vorliegenden Arbeit die Schätzung der Gewichte nach derselben Konzeption erfolgt, ergibt sich auch hier ein Iterationsprozeß für die Berechnung der Schätzwerte  $\hat{p}_{2i}$ . Der Ablauf des Prozesses ist im folgenden Blockdiagramm dargestellt, wobei  $v$  den jeweiligen Iterationsschritt bezeichnet und für das Gesamtsystem (9) der Verbesserungsgleichungen wieder die abgekürzte Schreibweise (5) verwendet wird.

Die Grundgleichung (14), nach der die jeweils neuen Schätzwerte der Gewichte berechnet werden, wird im Anhang hergeleitet. Sie ergibt sich auch durch Spezialisierung der in /7/ verwendeten Grundgleichung (12) auf den hier vorliegenden Fall, der sich durch eine besonders einfache Struktur der Koeffizientenmatrix  $A$  auszeichnet. Die im Vergleich zu der allgemeinen Beziehung deutlich vereinfachte Grundgleichung (14) führt auch zu einem wesentlich geringeren Rechenaufwand für die praktische Durchführung der Gewichtsschätzung.

Der verwendete Iterationsprozeß gehört zur Gruppe der Jakobi-Prozesse. Typisch für diese Prozesse ist eine relativ geringe Konvergenzgeschwindigkeit, aber große Konvergenzbreite. Das bedeutet für die Praxis, daß zwar u.U. eine größere Anzahl von Iterationen erforderlich ist, der Prozeß aber auch bei sehr unrealistischen Anfangsgewichten  $\hat{p}_{2i,0}$  noch einwandfrei konvergiert.

Wenn gewisse Parameter (zum Beispiel die Gruppe  $x_i$ ) als freie Unbekannte behandelt werden sollen, so werden die betreffenden zusätzlichen Beobachtungen und ihre Gewichte von vornherein gleich Null gesetzt (z.B.  $l_{2i} = 0$ ,  $\hat{p}_{2i} = 0$ ) und die Redundanz  $r$  wird um die Anzahl  $n_i$  verringert. Die Gewichtsschätzung wird dann nur auf die verbleibenden zusätzlichen Beobachtungen angewandt.



- $\hat{\sigma}_o^2$  = Schätzwert des Varianzfaktors
- $r$  = Redundanz (Anzahl der  $l_1$ )
- $\hat{K}^{xx}$  = Kovarianzmatrix der Schätzwerte  $\hat{x}$
- $\hat{\sigma}_{x_{ik}}^2$  = Aus  $\hat{K}^{xx}$  entnommene Varianz des  $k$ ten Schätzwertes  $\hat{x}_{ik}$  der Gruppe  $i$
- $n_i$  = Anzahl der Schätzwerte  $\hat{x}_i$  der Gruppe  $i$
- $s$  = Iterations - Abbruchschranke

Blockdiagramm für die Schätzung der Gewichte  $\hat{p}_{2i}$

### 3. ERSTE PRAKTISCHE ERFAHRUNGEN

Zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit der a posteriori Gewichtsschätzung in Verbindung mit der verallgemeinerten Ausgleichung nach kleinsten Quadraten sind am Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart im Rahmen von zwei Diplomarbeiten entsprechende Untersuchungen mit praktischen und simulierten Daten durchgeführt worden /8/, /9/.

Dabei hat sich bestätigt, daß das vorgeschlagene Schätzverfahren einwandfrei konvergiert, wobei die Anzahl der erforderlichen Iterationsschritte von der gewählten Abbruchschranke  $s$  (siehe Blockdiagramm) und von den Beträgen der Verbesserungen  $v_{2i,v}$  im Vergleich zu den entsprechenden Standardabweichungen  $\hat{\sigma}_{x_{ik,v}}$  abhängt.

Ist das Verhältnis

$$v_{2i,v}^T v_{2i,v} \sum_{k=1}^{n_i} \hat{\sigma}_{x_{ik,v}}^2 \leq 1,$$

so konvergiert das entsprechende Gewicht  $\hat{p}_{2i}$  langsam gegen unendlich.

Zur Konvergenzbeschleunigung wurde in diesem Fall sofort  $\hat{p}_{2i,v+1} = \infty$  gesetzt. Mit dieser Maßnahme konnte die praktisch erforderliche Iterationsanzahl bei den behandelten Beispielen auf 10 bis 20 begrenzt werden, wobei sich die Konvergenzgeschwindigkeit sicher noch weiter verbessern ließe.

Die erhaltenen Genauigkeitsergebnisse haben gezeigt, daß die a posteriori Gewichtsschätzung dem klassischen Ansatz, der alle Parameter als freie Unbekannte behandelt, vielfach nur geringfügig, in bestimmten Fällen aber doch sehr deutlich überlegen ist.

So ergab sich bei der photogrammetrischen Blockausgleichung mit zusätzlichen Parametern, die jeweils für alle Modelle eines Streifens oder Blocks gemeinsam angesetzt waren, praktisch keine Genauigkeitssteigerung. Ein simuliertes Beispiel aus dem Bereich der photographischen Sternpositionsbestimmung oder Astrometrie, bei dem der Block aus nur 5 Bildern bestand, für die zum Teil auch individuelle zusätzliche Parameter angesetzt wurden, hat dagegen gezeigt, daß die mit dem klassischen Ansatz erreichbare Genauigkeit der ausgeglichenen Koordinaten mit Hilfe der a posteriori Gewichtsschätzung ganz erheblich verbessert werden kann (Genauigkeitssteigerung um den Faktor 2 und mehr).

Die bisherigen Ergebnisse lassen die folgende Schlußfolgerung zu;

Je ungünstiger die als freie Unbekannte angesetzten Ausgleichsparameter der Gruppe  $x_i$  die Fehlerfortpflanzung beeinflussen, umso eher kann die Einführung entsprechender zusätzlicher Beobachtungen  $l_{2i}$  und die a posteriori Schätzung ihrer Gewichte die Gesamtgenauigkeit der Ausgleichung verbessern. Die Genauigkeitssteigerung ist dann umso größer, je weniger die wahren Werte  $x_i$  von den eingeführten Beobachtungen  $l_{2i}$  abweichen.

Für die Durchführung der Untersuchungen möchte der Verfasser den Herren Buczilowski, Heider und Schneider herzlich danken.

#### SCHRIFTTUM

- / 1/ SCHMID, H.H. and SCHMID, E.: A Generalized Least Squares Solution for Hybrid Measuring Systems.  
The Canadian Surveyor, 27 ~ 41, 1965.
- / 2/ BROWN, D.C. et al.: Research in Mathematical Targeting, the Practical und Rigorous Adjustment of Large Photogrammetric Nets.  
Report by D. Brown Associates, Inc.
- / 3/ EBNER, H.: Self Calibrating Block Adjustment.  
Invited Paper of Commission III, ISP Congress, Helsinki.  
Bildmessung und Luftbildwesen, 128-139, 1976.
- / 4/ de VEGT, Chr. and EBNER, H.: Blockadjustment Methods in Photographic Astrometry.  
Astronomy and Astrophysics, 276-285, 1972.
- / 5/ HELMERT, F.R.: Die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate.  
2. Auflage, 358 ff, 1907.
- / 6/ KUBIK, K.: The estimation of the weights of measured quantities, within the method of least squares.  
Bulletin Géodésique, 21-40, 1970.
- / 7/ EBNER, H.: A posteriori Varianzschätzungen für die Koordinaten unabhängiger Modelle.  
Zeitschrift für Vermessungswesen, 166-172, 1972.
- / 8/ BUCZILOWSKI, H.G.: Die a posteriori Varianzschätzung in Ausgleichungen mit zusätzlichen Parametern.  
Selbständige Arbeit und Diplomarbeit, Fachbereich Geodäsie, Universität Stuttgart, 1977.
- / 9/ HEIDER, M.: Kompensation systematischer Fehler im Zuge der Blockausgleichung mit unabhängigen Modellen.  
Selbständige Arbeit und Diplomarbeit, Fachbereich Geodäsie, Universität Stuttgart, 1977.

ANHANG

Herleitung der Grundgleichung (14) für die Gewichtsschätzung.

Wir gehen zunächst von der theoretischen (wahren) Gewichtsmatrix  $P$  und dem theoretischen Varianzfaktor  $\sigma_o^2$  aus, die die (wahren) Genauigkeitseigenschaften aller Beobachtungen  $l_1, l_2$  beschreiben und leiten die Beziehungen zwischen den einzelnen Gewichten  $p_{2i}$  und den Kovarianzmatrizen der Verbesserungen  $v_{2i}$  und der Schätzwerte  $\hat{x}_i$  her. Ausgehend von den Gleichungen (10) und (11) erhalten wir zuerst;

$$K^{xx} = \sigma_o^2 (A^T P A)^{-1} \quad (15)$$

$$K^{vv} = \sigma_o^2 P^{-1} - A K^{xx} A^T \quad (16)$$

$K^{xx}$  = theoretische Kovarianzmatrix der  $\hat{x}$   
 $K^{vv}$  = theoretische Kovarianzmatrix der  $v$

Wenden wir Gleichung (16) nun auf die, zu den Beobachtungen  $l_{2i}$  gehörigen Hauptdiagonal-Submatrizen an und berücksichtigen wir die aus (9) ersichtliche besondere Struktur der Koeffizientenmatrix  $A$  so folgt

$$K^{v_{2i}v_{2i}} = (\sigma_o^2 / p_{2i}) I_i - K^{x_i x_i} \quad (17)$$

und bei Übergang auf die Spur

$$sp K^{v_{2i}v_{2i}} = \sigma_o^2 n_i / p_{2i} - \sum_{k=1}^{n_i} \sigma_{x_{ik}}^2 \quad (18)$$

Die linke Seite der Gleichung (18) läßt sich noch umformen zu:

$$\begin{aligned} sp K^{v_{2i}v_{2i}} &= sp E \{ v_{2i} v_{2i}^T \} = E \{ sp(v_{2i} v_{2i}^T) \} = \\ &E \{ sp(v_{2i}^T v_{2i}) \} = E \{ v_{2i}^T v_{2i} \} \end{aligned} \quad (19)$$

Aus Gleichung (18) und der Umformung (19) ergibt sich nun:

$$p_{2i} = \sigma_o^2 n_i / (E \{ v_{2i}^T v_{2i} \} + \sum_{k=1}^{n_i} \sigma_{x_{ik}}^2) \quad (20)$$

Die mit der theoretischen (wahren) Gewichtsmatrix P berechneten Verbesserungen v und Schätzwerte  $\hat{x}$  genügen somit der Beziehung (20), die umgekehrt nun als Bedingung für die Schätzung der Gewichte  $\hat{p}_{2i}$  bei der praktischen Ausgleichung verwendet werden kann, wobei die Erwartungen  $E \{ v_{2i}^T v_{2i} \}$  empirisch aus den Verbesserungen  $v_{2i}$  bestimmt werden. Im vorliegenden Falle einer univariaten oder Einzel-Ausgleichung reduzieren sich diese Erwartungen auf die Skalarprodukte  $v_{2i}^T v_{2i}$  selbst. Damit ergibt sich die folgende Bedingung für die Schätzung der Gewichte  $\hat{p}_{2i}$ :

$$\hat{p}_{2i} = \hat{\sigma}_o^2 n_i / (v_{2i}^T v_{2i} + \sum_{k=1}^{n_i} \hat{\sigma}_{x_{ik}}^2) \quad (21)$$

Aus der Bedingung (21) wird nun direkt die Grundgleichung (14) abgeleitet:

$$\hat{p}_{2i,v+1} = \hat{\sigma}_{o,v}^2 n_i / (v_{2i,v}^T v_{2i,v} + \sum_{k=1}^{n_i} \hat{\sigma}_{x_{ik,v}}^2) , i=1..t$$

Geowiss. Mitt.

13, 1978 S. 85 - 100

VERFAHRENSWEISEN UND ANWENDUNGSGEBIETE  
EINES ANALYTISCHEN AUSWERTESYSTEMS,  
GEZEIGT AM ZEISS PLANICOMP

von  
H. Schneider

Adresse des Autors:

Dr. H. Schneider, CARL ZEISS, D 7082 Oberkochen, Postfach 35/36, BRD

## 1. EINLEITUNG

Die analytischen Auswertegeräte bedeuten eine Wende in der Entwicklung der Photogrammetrie, deren Bedeutung heute nur ungefähr abzuschätzen ist. Es ist klar, daß die analytischen Plotter den bisherigen Analoggeräten überlegen sind; es ist aber doch frappierend, wenn man beim Studium eines solchen Systems feststellt, wie die bisherige photogrammetrische Arbeitsweise verändert und wie das Spektrum der Auswertemöglichkeiten erweitert wird.

Im folgenden wird der Versuch gemacht, dies am Beispiel des analytischen Auswertesystems ZEISS-PLANICOMP zu belegen.

Der Verfasser weiß aus vielen Demonstrationen des PLANICOMP, mit welchem Interesse jede einzelne Operation verfolgt wird. Selbst so einfache Arbeitsvorgänge, wie eine relative Orientierung, können erfahrene Photogrammeter in Begeisterung versetzen. Die photogrammetrischen Grundoperationen sind nicht nur eleganter und rascher gelöst, sie sind auch durch den direkten Dialog mit dem Rechner wesentlich interessanter geworden. Wir wissen von einer großen photogrammetrischen Firma, bei der nach Bestellung des Systems unter den Mitarbeitern ein Kampf um die Stelle des PLANICOMP-Operators ausgebrochen ist.

Neben den Standard-Problemen brachte fast jeder Interessent eine Reihe von Aufgaben mit, die mit den bisherigen Analog-Geräten gar nicht oder nur sehr schwer zu lösen waren. Fast in allen Fällen konnte eine direkte Lösung mit der vorhandenen Hard- und Software angeboten werden. Es bewährt sich dabei eine der Grundforderungen bei der Entwicklung des PLANICOMP, eine gediegene Software zu entwickeln, die alle Standardaufgaben der Photogrammetrie löst und eigene Programmentwicklungen des Kunden weitgehend überflüssig macht.

Das PLANICOMP wurde von D. Hobbie in /1/ erstmals beschrieben. Einen weiteren großen Erfahrungsbericht bringt die Photogrammetrische Woche im September 1977 in Stuttgart. Hier sollen in erster Linie rein qualitativ die neuen Arbeitsweisen und Auswertemöglichkeiten diskutiert werden.



Das Gerätesystem kann als Stereo-Auswertegerät genauso benutzt werden wie als Mono- oder Stereokomparator. Es erlaubt graphische und digitale Ausgabe und kann auch als Grundgerät für die photogrammetrische Weiterverarbeitung des Bildinhaltes benutzt werden, z.B. die Gewinnung der Profildaten für die Orthophoto-Herstellung. Luftbilder, terrestrische Bilder oder auch nicht-perspektive Bilder werden mit diesem System erfolgreich ausgewertet, wobei keinerlei Beschränkungen bezüglich Aufnahmebrennweite, Richtung der Aufnahmeachsen, räumliche Ausdehnung des Objektes usw. bestehen. Die anschauliche Darstellung von Ergebnissen und die Kontrollmöglichkeiten machen den gesamten Arbeitsvorgang interessanter und tragen dazu bei, die Arbeitsbedingungen eines Photogrammetrie-Operators zu verbessern.

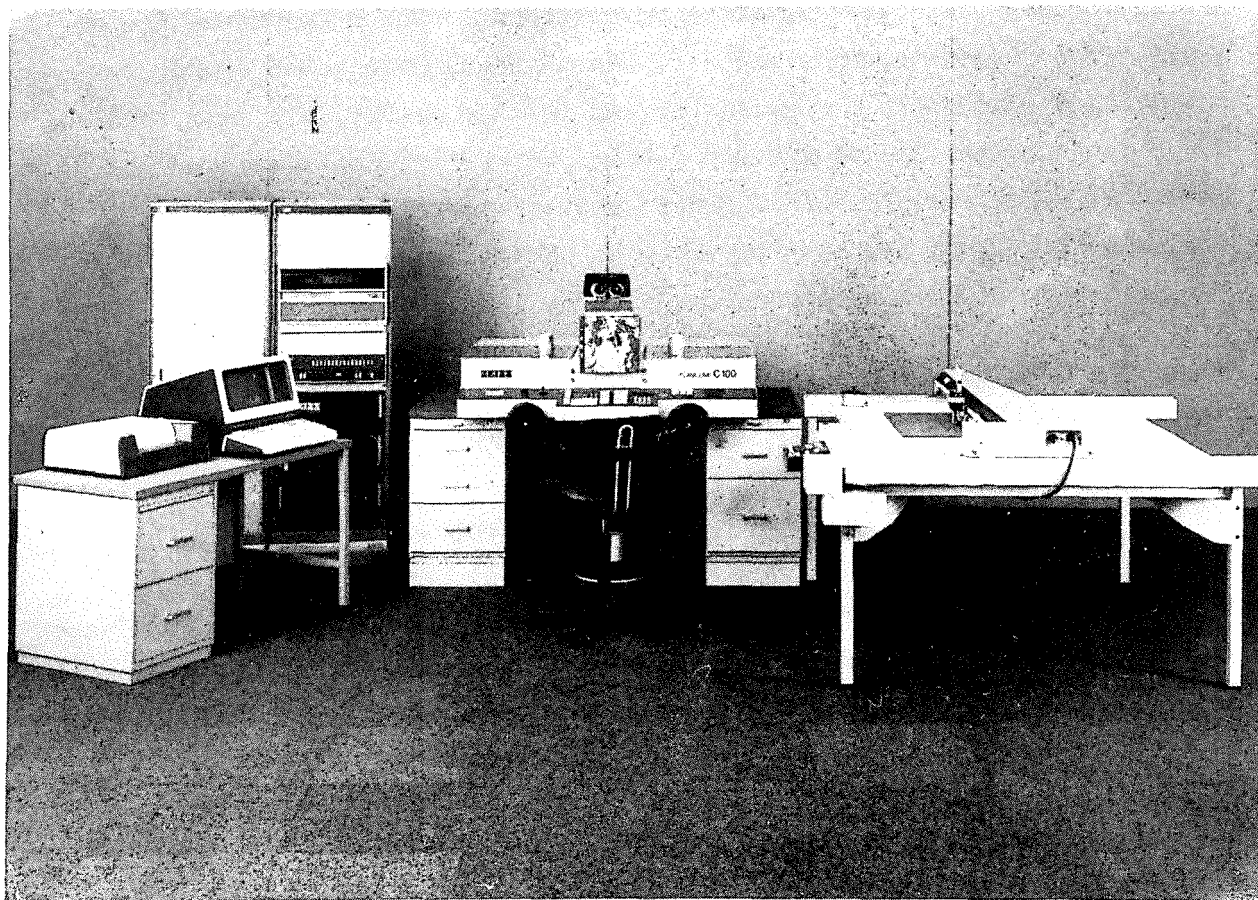


Bild 1: PLANICOMP C 100 mit Digital-Zeichentisch DZ 6

## 2. INNERE ORIENTIERUNG:

Die innere Orientierung bedeutet eine Wiederherstellung des Strahlenganges der Aufnahmekammer. Dazu ist zunächst einmal die Lage des Projektionszentrums festzulegen. Sie ist bestimmt durch den Bildhauptpunkt und die Brennweite.

Bei Analog-Geräten kommt der Bildhauptpunkt durch Zentrieren der Bilder auf den Bildträgern mit Hilfe der Rahmenmarken in seine Soll-Lage. Die Brennweite wird als vertikaler Abstand zwischen zwei Kardanen, die durch den Raumlensker verbunden sind, mechanisch eingestellt. Beim PLANICOMP werden die Bilder auf den Bildträgern nicht mehr zentriert, sondern nur innerhalb eines vorgegebenen Viereckes aufgelegt. Zur inneren Orientierung mißt man die Koordinaten der Rahmenmarken. Dabei ist die Messung von mindestens zwei Marken notwendig. Die Koordinaten des Hauptpunktes werden rechnerisch festgehalten. Ebenso ist die Brennweite ein Zahlenwert, der dem Rechner als Parameter mitgeteilt wird. Da der Bildhauptpunkt durch zwei Lagekoordinaten definiert ist, ist seine Lage an keine mechanische Position relativ zu den Bildträgern gebunden. Er kann auch außerhalb des auf den Bildträger aufgelegten Bildes liegen. Das kann von Bedeutung sein, wenn Bilder ausgewertet werden, die größer sind als das Bildformat 23 x 23 cm, für die die Bildträger normalerweise ausgelegt sind. Eine mögliche Anwendung ist die Auswertung von 9" x 18"-Aufnahmen. Diese müßten etwa in der Hälfte durchgeschnitten werden und zwar so, daß mindestens zwei Rahmenmarken pro Bildteil erhalten bleiben.

Eine wichtige Aufgabe bei der Auswertung von Meßaufnahmen ist die Kompensation sämtlicher Bilddeformationen. Im einfachsten Fall wird es sich um eine Kompensation (einfach oder affin) des Bildschrumpfes handeln, wie er aus der Messung der Rahmenmarken-Abstände ermittelt werden kann. Dazu werden vorher als Parameter dem Rechner die kalibrierten Rahmenmarkenabstände der Aufnahmekammer mitgeteilt. Ein weiterer Parameter ist die für den Filmschrumpf erlaubte Toleranz. Nach der Messung der vier Rahmenmarken werden ihre tatsächlichen Abstände gerechnet und mit den Sollabständen verglichen. Liegt die Differenz über der erlaubten Toleranz, so wird dies dem Operateur mit genauer Angabe des Meßergebnisses auf dem Bildschirm mitgeteilt. Sämtliche Bildkoordinatenwerte können nun wegen Bildschrumpf korrigiert werden.

Selbstverständlich muß die Filmschrumpf-Korrektur nicht unbedingt linear in x- und y-Richtung verlaufen, sondern kann ganz bestimmten Funktionen folgen. Damit ist auch die Einbeziehung der Information, die wir über die Deformation des Filmes aus Reseau-Aufnahmen erhalten, in die Stereo-Auswertung möglich. Es handelt sich hier um eine wesentliche Neuerung gegenüber den Analoggeräten, da hier erstmals direkt gemessene Modell-Koordinaten vom Einfluß der Bilddeformationen frei sind. Mit demselben Programm kann - wenn notwendig - auch die Objektivverzeichnung kompensiert werden.

### 3. RELATIVE ORIENTIERUNG

Für die relative Orientierung werden die Y-Parallaxen in mindestens 6, maximal 24 Punkten gemessen. Das Gerät arbeitet dabei als Stereokomparator, d.h. die Bilder werden in ihren Ebenen verschoben und dabei die Parallaxen in den Orientierungspunkten weggestellt.

Im Standardfall wird man jene Betriebsart wählen, bei der die ungefähre Position der 6 Gruber'schen Punkte automatisch angefahren wird. An weitere Punkte wird die Meßmarke manuell herangeführt. Bei der zweiten Betriebsart wird auf das automatische Anfahren von Punkten verzichtet.

Sind die Parallaxen in allen gewünschten Punkten gemessen, wird die Berechnung der Parameter der relativen Orientierung gestartet. Als Ergebnis werden dem Operateur die Parameter sowie eine mittlere Restparallaxe und alle Restparallaxen in den gemessenen Punkten angezeigt. Damit bekommt der Operateur unmittelbar ein Bild von der Qualität seiner Messung. Abschließend wird er gefragt, ob er die Messung akzeptiert oder nicht. Ist er einverstanden, teilt er dies dem Rechner mit, indem er die dafür vorgesehene YES-Taste drückt. Ist er nicht einverstanden, drückt er die NO-Taste und kann durch verschiedene Manipulationen das Ergebnis verbessern. So kann er Punkte mit großen Restparallaxen neu messen oder aus der Rechnung einfach eliminieren. Darüber hinaus kann er die Messung von Parallaxen in neuen Punkten in die Berechnung einbeziehen. Die Berechnung der relativen Orientierung wird nach jeder Manipulation wieder gestartet. Damit kann der Operateur sofort beurteilen, ob er eine Ergebnisverbesserung erzielt hat oder nicht.

Ganz nebenbei kann hier sehr anschaulich der Einfluß einer großen Parallaxe

in einem Punkt auf die Parallaxen in den Nachbarpunkten sowie auf das Gesamtergebnis demonstriert werden.

Große Bedeutung für die Wiedermessung von Punkten bei der relativen Orientierung hat das Programm, das ein automatisches Anfahren bereits gemessener Punkte erlaubt. Wählt der Operator dieses Programm und fährt er einen Punkt automatisch an, so kommen die Bilder exakt in jene Position, die er bei der ersten Messung eingestellt hat. Er kann dann beurteilen, ob er die Einstellung verbessern kann oder nicht. Damit wird, falls das erste Ergebnis der relativen Orientierung unbefriedigend war, sehr rasch eine Ergebnisverbesserung erzielt. Ein geübter Operator stellt die relative Orientierung in etwa 5 Minuten fertig.

Auch das Orientieren unvollständiger Modelle ist mit dem PLANICOMP kein Problem. Es müssen nur die Parallaxen in mindestens 6 Punkten in guter Verteilung im Restmodell gemessen werden. Ist das erste Ergebnis unbefriedigend, kann die Verteilung der Punkte durch Messen neuer Punkte leicht optimiert werden.

#### 4. ABSOLUTE ORIENTIERUNG

Für die absolute Orientierung müssen zunächst die Geländekoordinaten der Paßpunkte dem Rechner bekannt sein. Für die Eingabe gibt es verschiedene Möglichkeiten:

Sie können von Hand eingegeben, über eine Peripherie-Einheit, beispielsweise einen Lochstreifenleser, eingelesen werden, oder aus einer vorangegangenen Aerotriangulation bereits im Rechner vorhanden sein. Die Paßpunkte werden nun im relativ orientierten Modell der Reihe nach angefahren und ihre Modellkoordinaten gemessen. Der Rechner vergleicht die neu eingegebene Punktnummer mit seinem Punktspeicher und bestätigt dem Operator, daß er den Punkt gefunden hat und ihn als Paßpunkt akzeptiert. Dem Operator steht außerdem ein List-Programm zur Verfügung, mit dessen Hilfe er sämtliche im Rechner gespeicherten Paßpunkte anzeigen bzw. ausdrucken lassen kann.

Für die Orientierung eines unabhängigen Modelles sind mindestens zwei Lage- und drei Höhenpaßpunkte notwendig. Das Programm kann aber bis zu

24 Messungen von Teil- und Vollpaßpunkten für die Berechnung der Orientierungsdaten benützen. Die Messung kann dabei in beliebiger Reihenfolge geschehen. Der Vergleich zwischen Modell-Koordinaten und Gelände-Koordinaten erfolgt in jedem Fall mit einem Ausgleichungsansatz. Im Falle von Überbestimmung werden dem Operateur die Restfehler angezeigt.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Orientierungsvorgang zu beschleunigen:

So können bereits bei der relativen Orientierung die Parallaxen in sämtlichen Paßpunkten gemessen werden. Einer bestimmten Kodierung folgend, werden diese Punkte zweimal mit verschiedenen Punktnummern abgespeichert. So können sie sowohl bei der Berechnung der relativen und der absoluten Orientierung wirksam werden. Damit wird bei der absoluten Orientierung kein Punkt mehr gemessen und ihre Berechnung wird sofort nach Aufruf des Programmes gestartet.

Eine zweite Möglichkeit zur Beschleunigung der absoluten Orientierung ergibt sich dann, wenn viele zum Teil schwer auffindbare Paßpunkte im Modell vorhanden sind. Man könnte nämlich zunächst drei Paßpunkte messen und eine vorläufige absolute Orientierung rechnen. Das Ergebnis wird nur vorläufig akzeptiert, dient aber zum automatischen Anfahren aller weiteren, im Modell vorhandener Paßpunkte. Das ist möglich, da die Geländekoordinaten dieser Punkte bereits im Speicher vorhanden sind und die ungefähren Parameter der absoluten Orientierung vorliegen. Der Operateur vermeidet so oft zeitraubende Sucharbeit und - was vielleicht noch wichtiger sein kann - er reduziert die Gefahr einer falschen Punktidentifikation.

Eine Variante der absoluten Orientierung tritt dann ein, wenn das Modell bereits einmal orientiert wurde und die Orientierungs-Parameter im Rechner gespeichert sind. Es ist dann beim Wiedereinlegen der Bilder lediglich notwendig, die innere Orientierung zu machen. Relative und absolute Orientierung werden aus dem Speicher übernommen. Die eigentliche Arbeit für die Orientierung ist somit auf die Messung der Rahmenmarken beschränkt und kann in 2-3 Minuten abgeschlossen werden. Dieses Verfahren hat speziell Bedeutung, wenn eine Aerotriangulation vorangegangen ist, aus der die Parameter der absoluten Orientierung für jedes einzelne Bild bekannt und im Speicher vorhanden sind.

Das Programm weist dem Operateur nach Abschluß der absoluten Orientierung die Restfehler in allen gemessenen Paßpunkten aus. Er wird wieder gefragt, ob er das Ergebnis akzeptiert. Tut er das nicht, so gibt es wieder verschiedene Manipulationen, um das Ergebnis zu verbessern. Er kann Punkte noch einmal messen oder fehlerhafte Paßpunkte aus der Berechnung weglassen. Auch hier spielt die Möglichkeit, Punkte automatisch anzufahren, eine große Rolle.

Erwähnenswert ist noch, daß die Daten der absoluten Orientierung praktisch für jedes Analogauswertegerät umgerechnet werden können. Damit beschleunigt das PLANICOMP auch die Arbeit an anderen Geräten.

#### 5. GLEICHZEITIGES EINLEGEN MEHRERER BILDER

Sind die auszuwertenden Bilder entsprechend klein, z.B. 9 x 12 cm-Aufnahmen, so ist es möglich, gleichzeitig mehrere Bildpaare in die Bildträger einzulegen und zu orientieren. Das ist eine echte Neuerung gegenüber den Analogauswertegeräten und nur möglich, weil - wie wir bei der inneren Orientierung beschrieben haben - die Lage des Bildhauptpunktes völlig frei ist. Es werden also z.B. vier 9 x 12 cm Bildpaare eingelegt und nacheinander absolut orientiert. Die Parameter von jedem Bildpaar werden gespeichert und können jederzeit aufgerufen werden. Selbstverständlich ist im Gerät immer nur eines der vier Bildpaare relativ orientiert, doch kann innerhalb weniger Sekunden auf ein anderes Bildpaar umgeschaltet werden. Diese Möglichkeit hat sich besonders bei sehr schwierigen Geländebeziehungen, wie sie z.B. Aufnahmen von Abbaustellen im Kohlebergbau zeigen, als Vorteil erwiesen. Bei solchen Bildern ist die Frage der Punkt-Identifikation im Überdeckungsbereich zweier Stereo-Modelle besonders kritisch und zwingt den Operateur häufig, noch einmal das vorangegangene Modell einzusehen. Bisher werden derartige Rückfragen meist abseits vom Stereoauswertegerät unter anderen Betrachtungsverhältnissen gemacht. Jetzt kann der Operateur im gleichen Gerät bei gleicher Betrachtungsvergrößerung kritische Stellen noch einmal prüfen.

#### 6. GRAPHISCHE AUSGABE

An das PLANICOMP-System kann ein Zeichentisch angeschlossen werden. Er erfüllt alle Funktionen der bisher an Analoggeräte angeschlossenen

Zeichentische. Darüber hinaus ist natürlich zu beachten, daß er von einem Rechner kontrolliert wird und auch als selbständiger Plotter verwendet werden kann. Er kann beliebige Punktmengen auftragen, was im Zusammenhang mit der photogrammetrischen Auswertung vor allem Bedeutung für das Zeichnen von Gitterpunkten und Paßpunkten hat. Der Rechner ermöglicht auch das automatische Schreiben von Zahlen und Buchstaben in beliebiger Richtung und beliebiger Größe sowie das Zeichnen von Symbolen, wobei Richtung und Größe ebenfalls frei wählbar sind.

Eine Erleichterung für die graphische Arbeit ist die Tatsache, daß das Zeichenblatt auf dem Zeichentisch nicht mehr gedreht oder verschoben werden muß, sondern einfach aufgelegt und in einer günstigen Lage festgehalten wird. Die Koordinatensysteme auf dem Tisch und im Modell werden zueinander orientiert und anschließend Nullpunktverschiebung, Drehung und Maßstabskorrektur vom Modell zum Tisch rechnerisch durchgeführt. Bei Kartennachführung erfolgt die Einpassung auf die bestehende Karte, wobei die Transformation auch Deformationen des alten Kartenblattes berücksichtigen kann.

## 7. DIGITALE AUSGABE

Das Hauptanwendungsgebiet des PLÁNICOMP liegt natürlich in der digitalen Ausgabe. Der Rechner des Systems mit einer Speicherkapazität, die bis zu 256 K Worten á 16 bit erweitert werden kann, sowie mit verschiedenen peripheren Ausgabeeinheiten, erlaubt praktisch jede Art von Digitalisierung und Speicherung. Es können Einzelpunkte registriert werden, wie zum Beispiel für Katasterzwecke, Aerotriangulation oder Industrievermessungen; es kann ein digitales Geländemodell hergestellt werden oder der Bildinhalt für eine spätere digitale Kartierung koordinatenmäßig erfaßt werden. Dabei ist es möglich, das Gerät als Mono- oder Stereokomparator zu benutzen, und Bildkoordinaten festzuhalten, oder im Stereomodell zu arbeiten und direkt Geländekoordinaten abzuspeichern.

Selbstverständlich ist der Rechner groß genug, um sämtliche Daten in irgendeiner Form weiter zu verarbeiten. Er kann praktisch alles rechnen, was man mit koordinaten überhaupt rechnen kann, z.B. den Schwerpunkt einer Anzahl von Einzelpunkten, horizontale oder vertikale Entfernungen, die Länge von Raumgeraden oder gekrümmten Linien, Bestimmung von Raumwinkeln, Azimut-

oder Böschungswinkeln, Flächen- oder Rauminhalte, Koordinatentransformation usw. Die Liste dieser Programme kann beliebig erweitert werden.

#### 8. DIGITALES GELÄNDEMDELL

Die Messung eines digitalen Geländemodelles kann gegenwärtig in drei verschiedenen Operationsweisen erfolgen.

Bei der ersten Methode werden beliebige Linien im Modell mit einer Meßmarke frei nachgefahren. Registriert wird durch inkrementale Registrier- auslösung nach konstanten Höhen-, Weg- oder Zeitintervallen. Eine Anwendung dieser Methode ist die Digitalisierung von Schichtlinien.

Die zweite Methode erlaubt die Digitalisierung von Profilen ebenfalls in konstanten Höhen-, Weg- oder Zeitintervallen. Profilrichtung, Profillänge und Abstand zwischen den Profilen sind dabei völlig frei und werden als Parameter vor der Messung dem Rechner mitgeteilt. Die Richtung kann sowohl im Modellkoordinatensystem wie im Geländekoordinatensystem festgelegt werden. Neben dem einfachen Abfahren des gesamten Modells, z.B. für die Gewinnung der Profildaten zur Steuerung eines Orthoprojektors, wird die Flexibilität des Systems vor allem im Straßen- und Wegebau voll ausgeschöpft. Liegt der Entwurf einer Trasse im Gelände-Koordinatensystem vor, so können Anfangs- und Endpunkt von Profilen gerechnet und ins Modellsystem übertragen werden. Die Meßmarke im Modell fährt automatisch im Grundriß diesen Profilen nach, der Operateur hat lediglich die Höhe einzustellen.

Bei der dritten Methode wird über das Modell ein Gitter mit in x- und y-wählbaren Maschenweiten gelegt. Nun können entweder freie Linien im Modell verfolgt werden, und jedes Mal beim Passieren einer Gitterlinie wird eine Registrierung ausgelöst. Die Gitterpunkte können aber auch automatisch angefahren werden, worauf dem Operateur genügend Zeit gegeben wird, die Meßmarke auf dem Gelände aufzusetzen, bevor diese automatisch zum nächsten Gitterpunkt weiterfährt.

Das System der inkrementalen Registrierung ist sehr flexibel und kann durch Wahl von primären und sekundären Inkrementen den unterschiedlichsten Anforderungen angepaßt werden. Ein Beispiel soll dies erklären:



Als primäres Inkrement wurde ein Zeitintervall von 1 Sekunde gewählt, als sekundäres Inkrement eine Höhenbewegung der Meßmarke im Geländesystem von 5 Metern. Normalerweise wird nun jede Sekunde eine Registrierung ausgelöst. Beträgt aber die Höhenbewegung innerhalb der einen Sekunde mehr als 5 Meter, so erfolgt eine weitere Registrierauslösung innerhalb des vorgegebenen Zeitinkrementes. Darüber hinaus könnte beispielsweise ein Mindest-Intervall für die Bewegung der Meßmarke vorgegeben werden. Bleibt der zurückgelegte Weg unter dieser Distanz, so wird auch die automatische Registrierung im Zeitintervall nicht wirksam.

#### 9. AEROTRIANGULATION

Im PLANICOMP werden Messung und Ausgleichung von Aerotriangulation besonders wirtschaftlich durchgeführt. Auch hier sei wieder erwähnt, daß das Gerät sowohl als Stereokomparator als auch als Stereoauswertegerät eingesetzt werden kann. Die optimale wirtschaftliche Nutzung wird aber in der Messung von unabhängigen Modellen und in der anschließenden Blockausgleichung im systemeigenen Rechner liegen. Wichtigste Merkmale des PLANICOMP für diese Art der Arbeit sind:

- die sehr schnelle, relative Orientierung
- jedes Modell eines Streifens wird während der Messung an das vorhergehende herangeschoben; es können dann große Meßfehler in den Verknüpfungspunkten und in den Paßpunkten erkannt werden.
- Sämtliche Messungen werden im Rechner gespeichert und stehen für die spätere Ausgleichung direkt zur Verfügung.
- Der PLANICOMP-Rechner kann die Ausgleichung von Blöcken bis zu einigen 100 Modellen selbst übernehmen.
- Für die spätere Auswertung der Bilder können die Daten der absoluten Orientierung im Rechner festgehalten werden.

Messung der unabhängigen Modelle im PLANICOMP:

Das erste Modell eines Streifens wird relativ und wenn möglich auch absolut orientiert. Danach werden alle für die Triangulation notwendigen Punkte gemessen, nämlich Verknüpfungspunkte zu den Nachbarmodellen und zu den Nachbarstreifen sowie vorhandene Paßpunkte. Lediglich die Messung der Projektionszentren entfällt im PLANICOMP. Ihre Koordinaten werden bei der relativen bzw. absoluten Orientierung bestimmt. Die Messung eines Modelles wird durch

Festhalten der Modelldaten in den dafür vorgesehenen Speicherplätzen des Rechners beendet.

Beim Folgebildanschluß wird ähnlich verfahren wie bei Analoggeräten mit Basiswechsel. Das dritte Bild ersetzt das erste Bild; die Basis wird von innen nach außen oder umgekehrt rechnerisch gewechselt; die Betrachtung von orthoskopisch auf pseudoskopisch umgeschaltet. Bei der folgenden relativen Orientierung werden zweckmäßigerweise die Verknüpfungspunkte zum ersten Modell als Orientierungspunkte benützt. Das Gerät sucht sich dazu sämtliche Punkte, die es aus dem ersten Modell bereits kennt und die in einem Überdeckungsbereich von 70% des zweiten und dritten Bildes liegen und fährt diese automatisch an. Der Operateur mißt die Parallaxen in diesen Punkten. Liegt ein Punkt außerhalb des Folgemodelles, so wird dies dem Rechner vom Operateur mitgeteilt, worauf das Gerät automatisch zum nächsten Punkt weiterfährt. Der linke Rand des Folgemodelles ist so rasch erledigt. Es bleibt noch die Messung der Verknüpfungspunkte zum nächsten Modell und etwa vorhandener Paßpunkte.

Alle diese Messungen werden beim Folgebildanschluß gemacht, so daß sämtliche Punkte bereits bei der relativen Orientierung wirksam werden. Bei der absoluten Orientierung werden im Normalfall keine weiteren Messungen zu machen sein. Sie ist theoretisch nicht notwendig, da sie ja von der nachfolgenden Ausgleichung übernommen wird; ihre genäherte Berechnung während der Triangulation im PLANICOMP bringt aber entscheidende Vorteile. Zum einen wird jedes Modell an das vorangegangene herangeschoben und eine Maßstabsabgleichung der beiden Modelle durchgeführt. Es handelt sich um eine reine Verschiebung und Maßstabskorrektur ohne Ausgleichung und gibt als Ergebnis Koordinatendifferenzen in den Verknüpfungspunkten, aus denen grobe Meßfehler erkannt werden können. Ein zweiter Schritt benützt die näherungsweise bekannten Parameter der absoluten Orientierung und rechnet die Geländekoordinaten der Paßpunkte und vergleicht sie mit den Soll-Koordinaten. Auch diese Maßnahme dient zum Erkennen grober Meßfehler. Sind genügend Paßpunkte vorhanden, kann ein Modell auch nachhorizontiert werden. Das Ergebnis der Messung eines Streifens im PLANICOMP sind Punktkoordinaten in einem verhältnismäßig einheitlichen Koordinatensystem, die frei von groben Meßfehlern sind.

Über den notwendigen Zeitaufwand für die Messung eines Blockes im

PLANICOMP liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt (Juli 1977) noch keine Angaben vor. Erste Erfahrungen haben aber gezeigt, daß bei gut vorbereiteten Bildern etwa 3 Modelle pro Stunde gemessen werden können.

Der Rechner des PLANICOMP kann auch die anschließende Blockausgleichung ausführen. Diese Aufgabe übernimmt eine für diesen Rechner abgestimmte Version des Blockprogrammes PAT-M 43 der Universität Stuttgart. Über die mögliche Blockgröße liegen zur Zeit ebenfalls noch keine Angaben vor, nach einer ersten Abschätzung dürfte das Programm Blöcke mit etwa 100 Modellen verkraften können.

Ein weiterer Vorschlag, der die Abwicklung eines gesamten photogrammetrischen Projektes vom Bildflug bis zur abschließenden Auswertung rationalisieren könnte, ist die Durchführung der Aerotriangulation ohne signalisierte oder künstlich markierte Punkte. Als Verknüpfungspunkte würden dann natürliche Punkte Verwendung finden. Sind sie einmal gemessen, sind ihre Koordinaten bekannt und sie können sowohl bei der Aerotriangulation sowie später bei der Orientierung für die Auswertung automatisch angefahren werden. Ein Fehler in der Identifizierung ist dabei ausgeschlossen.

#### 10. DIE AUSWERTUNG TERRESTRISCHER AUFNAHMEN

Die Auswertung terrestrischer Aufnahmen war mit den bisherigen Analoggeräten eigentlich nie voll befriedigend gelöst. Die Anforderungen bezüglich Brennweiteneinstellungen, Auswertebereiche oder Kammerneigungen, die dabei an die Auswertegeräte gestellt werden, sind überaus groß und man stößt bei einer mechanischen Lösung sehr rasch an unüberwindbare Grenzen. Das PLANICOMP bietet tatsächlich eine universelle Lösung für die terrestrische Photogrammetrie. Wir wollen dabei natürlich nicht die höheren Investitionskosten übersehen, doch geben die analytischen Geräte der terrestrischen Photogrammetrie sicherlich neue Impulse, die ihren Anwendungsbereich erweitern und ihren wirtschaftlichen Einsatz verstärken werden.

Im PLANICOMP wird das Koordinatensystem der Luftbildphotogrammetrie durch einen Knopfdruck in das der terrestrischen Photogrammetrie umgeschaltet. Das Zeichnen und Digitalisieren von Rissen in beliebigen Ebenen ist möglich. An die Kammerneigungen sind keine Grenzen gesetzt. Auch konvergente Bilder sind auswertbar. Der Konvergenzwinkel ist aber durch die Notwendigkeit

der Stereobetrachtung der beiden Bilder limitiert.

11. NICHT ZENTRALPERSPEKTIVE BILDER

Ein Zusatzprogramm zum PLANICOMP wird die Auswertung nicht zentralperspektiver Bilder, z.B. von Panoramaaufnahmen ermöglichen. Auch dies ist eine entscheidende Neuerung, deren Folgen für die Entwicklung bisher weniger verwendeter Aufnahmearten noch nicht abzusehen ist.

12. SCHLUSS:

Die Diskussion über die Möglichkeiten analytischer Auswertegeräte steht erst am Anfang. Hier konnte nur anhand von einigen Beispielen gezeigt werden, wie sehr sich die Arbeitsweise der Photogrammeter verändert, und welche neuen Anwendungsgebiete erschlossen werden können. Es gibt jedoch heute schon viele weitere Ideen und sicher steht uns in den nächsten Jahren eine stürmische Entwicklung bevor. Die Photogrammetrie wird ihre klassische Aufgabe, die Herstellung von Karten und Planungsunterlagen, noch wirtschaftlicher erfüllen können, sie wird aber vielleicht auch ganz überraschend in andere Zweige der Industrie und Forschung eindringen. Der Verfasser möchte hier einen Satz von Präsident Neumaier aus einer Vorlesung im Jahre 1962 zitieren: "Von allen Zweigen des Vermessungswesens entwickelt sich die Photogrammetrie gegenwärtig am raschesten, wenn Sie da mitmachen, werden Sie immer sehr schöne Aufgaben vorfinden."

SCHRIFTTUM

- /1/ HOBBIÉ, D.: PLANICOMP C 100, das analytische Stereoauswertesystem von Carl Zeiss, Oberkochen. Presented Paper, Comm. II, XIII. Intern. Kongreß für Photogrammetrie, Helsinki 1976.

Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 101 - 124

DER VERSUCH WIEN DER OEEPE/C

von

P. Waldhäusl

Adresse des Autors:

Prof. Dr. P. Waldhäusl, Institut für Photogrammetrie der  
Technischen Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A 1040 Wien

## VORWORT

Der Jubilar, dem dieses Heft der geowissenschaftlichen Mitteilungen in Verehrung gewidmet ist, Herr Hon.-Prof.Präsident Ing. Dr. h.c. Karl Neumaier, mein Doktorvater, hat mich vor 20 Jahren eingeladen, im Rahmen der Europäischen Organisation für experimentelle photogrammetrische Untersuchungen (OEEPE), als Mitglied der Kommissionen B (Aerotriangulation) und C (Großmaßstäbliche Karten und Katastervermessung) mitzuarbeiten. Professor Neumaier war Gründungsmitglied der OEEPE, stand ihr 1963 - 1965 als Präsident vor und leitete durch viele Jahre die Kommission E (Kleinmaßstäbige Karten). Viele Arbeitsstunden habe ich seither diesem ehrenvollen Auftrag gewidmet. Auch der Beginn des Versuches Wien fiel noch in jene Zeit, in der ich als Assistent Prof. Neumaiers an der Technischen Hochschule Wien tätig war (1956 - 1973). Die folgende Arbeit möge daher mehr sein als nur eine Abhandlung; sie möge auch der Erinnerung an einen langen, gemeinsamen Lebensabschnitt dienen, an den ich stets gerne und mit Gefühlen der Dankbarkeit zurückdenke.

### 1. ENTSTEHUNG UND ZIELE DES VERSUCHES WIEN:

Die Kommission C für großmaßstäbliche Karten- und Katastervermessung hat seit ihrer Gründung im Jahre 1953 (vgl. E. Gigas, 1962) 2 Großversuche international kontrolliert durchgeführt und abgeschlossen:

1. den Versuch Oberriet                      1953 - 1962,
2. den Versuch Reichenbach                1956 - 1969.

Die Ergebnisse sind in der Fachliteratur veröffentlicht (siehe Lit.Verz.)

Die Ideen und Anregungen zu weiteren Großversuchen stammen aus den Jahren 1967 - 1970. Tabelle 1 gibt eine Übersicht zu den Versuchen der Kommission C der OEEPE. Eine Studie der holländischen Mitglieder der Kommission C (van Gent, 1969) hatte ergeben, daß die bisher publizierten Ergebnisse über großmaßstäbliche, photogrammetrische Stadtvermessungen, d.h. mit Bildmaßstäben größer als 1:6 000, sehr stark differierten. Es hatte sich auch gezeigt, daß sich fast alle veröffentlichten Versuche auf nur wenig Datenmaterial stützten, technisch miteinander nicht vergleichbar waren und die Signifikanz der Ergebnisse nur gering war (R. Förstner, 1972).

Versuch (Flugjahr)	Bildmaßstab	Gelände	Hauptzweck
Oberriet (1954)	1:21 000 bis 1: 5 000	flach	Punktverdichtung Katastervermessung
Reichenbach (1959)	1:12 000 bis 1: 8 000	bergig	
Dordrecht (1972)	1: 6 000 und 1: 3 500	Stadt	Dächervermessung
Wien (1973)	1: 4 000 bis 1: 1 500	Stadt	Technische Punkte, städtisches Detail

Tab. 1 Die Großversuche der Kommission C der OEEPE

Grundlagenuntersuchungen über die Meßbarkeit der verschiedenartigen städtischen Detailobjekte fehlten überhaupt. Bei den großen Maßstäben spielt die Interpretierbarkeit der photogrammetrisch zu erfassenden Objekte eine so große Rolle, daß die theoretisch gerechtfertigte Annahme, die Genauigkeitsleistung der Photogrammetrie steige proportional mit dem Bildmaßstab, zumindest in Frage gestellt ist. 1970 beschloß daher die Kommission C, die bei den früheren Versuchen begonnene Maßstabsreihe unter Einhaltung gleicher Versuchsprinzipien systematisch in den Großmaßstab fortzusetzen.

Die Versuche Oberriet und Reichenbach haben in ebenem bzw. bergigem Gelände vor allem signalisierte, d.h. optimal definierte Punkte behandelt. Bei einem neuen Versuch muß also, wenn er eine systematische Fortsetzung des Versuches Reichenbach darstellen soll, das dort verfolgte Konzept hinsichtlich Anzahl und Verteilung der signalisierten Punkte beibehalten werden.

Beim Versuch Oberriet wurden bereits Vorversuche über die Auswertbarkeit natürlicher Punkte und Linien - im Gegensatz zu den signalisierten Punkten - vorgenommen (Härry, Stickler-Waldhäusl, 1975), die auf die große Bedeutung der Punktdefinition und der Objektinterpretierbarkeit für die Vollständigkeit, Richtigkeit und Genauigkeit der photogrammetrischen Messungen hingewiesen haben. Es ist einzusehen, daß die Einstellbarkeit

eines Details mit einer photogrammetrischen Meßmarke abgesehen von deren Form, Art und Größe vor allem von der Art und Gestalt des natürlichen Details selbst abhängt. Bei den neueren Versuchen der Kommission C sollten daher verschiedenartige Gruppen natürlicher Objekte systematisch auf ihre Meßbarkeit untersucht werden.

Extrem großmaßstäbige aerophotogrammetrische Auswertungen betreffen fast immer Stadtgebiete. Ein neues Versuchsfeld müßte daher im Stadtgebiet angelegt werden. Daraus folgte wieder, daß in erster Linie Normalwinkelkammern einzusetzen wären, um einen möglichst günstigen Einblick in die "Straßenschluchten" zu gewährleisten,

Die Schweizer Mitglieder der Kommission C hatten in diesem Zusammenhang den Wunsch, man möge doch auch einen Vergleich zwischen einem alten und einem modernen Normalwinkelobjektiv hinsichtlich seiner praktischen Eignung für derartige Aufgaben ermöglichen.

Seitens fast aller Mitarbeiter in der Kommission wurde die Frage nach dem Zusammenhang der Auswertegenauigkeit von signalisierten Bodenpunkten einerseits und von Hausfundamentpunkten, Dachecken und Firstpunkten andererseits als vordringlich angesehen. Insbesondere sollte ein Vergleich der geodätischen mit den photogrammetrischen Ergebnissen möglich sein (van Gent, 1970). Man entschloß sich daher zum Versuch Dordrecht, der ausschließlich diesen letzten Fragen der Gebäudevermessung gewidmet wurde. Er sollte möglichst rasch und losgelöst von den übrigen Fragen behandelt werden. Inzwischen ist der Schlußbericht in Arbeit. Die wesentlichsten Ergebnisse sind von J. Timmermann 1976 veröffentlicht worden. Die wichtigsten der übrigen Fragen wollte man beim Versuch Wien bearbeiten. Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, die Magistratsabteilung 41 der Gemeinde Wien und mehrere geodätische Institute der Technischen Universität Wien erklärten sich bereit, für die Anlage eines Versuchsfeldes bzw. für die Durchführung der Bildflüge zu sorgen.

Welche Aufgaben kommen nun dem Versuch Wien zu:

1. Die Prüfung des Genauigkeitsverhaltens photogrammetrisch ausgewerteter Punkte als Funktion des Bildmaßstabes. Dieser Teil des Versuches Wien dient also der Fortsetzung des Versuches Reichenbach in mehreren möglichst großen Maßstäben. Im folgenden soll die Wahl der Maßstäbe technisch begründet werden. Die kleinste, über verbauten Gebieten in Österreich erlaubte relative Flughöhe beträgt 300 m, über den Großstädten 600 m



(Innsbruck), 900 m (übrige) bzw. 1 000 m (Wien). (Luftverkehrsregeln 1974).  
 Ausnahmegenehmigungen werden nur in Ausnahmefällen für mehrmotorige Maschinen bis 300 m über Grund gewährt, wenn noch verschiedene andere Sicherheitsbedingungen, etwa hinsichtlich einer Notlandemöglichkeit, erfüllt sind. Bildmaßstäbe größer als 1:2 000 sind daher über Stadtgebiet praktisch nur mit Spezialobjektiven ( $c=60$  cm) zu erfliegen, oder mit Sondergenehmigungen, mit denen man jedoch in der Praxis nicht kalkulieren darf. Eine weitere Einschränkung folgt aus der minimalen Bildfolgezeit von 2 s und der hohen Fluggeschwindigkeit von etwa 200 km/h bei mehrmotorigen Flächenflugzeugen. Eine 60-prozentige Längsüberdeckung ist beim Format 23x23 cm nur für Bildmaßstäbe kleiner als 1:1 200 erzielbar. Es wurde daher als größter, für die Praxis noch repräsentativer Bildmaßstab (Stadtgebiet, Flächenflugzeug-Befliegung,  $c=30$  cm) 1:1 500 angenommen.

Ursprünglich sollten auch die mit mehrmotorigen Hubschraubern über Stadtgebieten erfliegbaren Bildmaßstäbe bis 1:1 000 mit einbezogen werden. Dies scheiterte jedoch an den fehlenden Möglichkeiten.

Als kleinster Bildmaßstab wurde 1:4 000 gewählt, womit die Maßstabsreihe von Reichenbach (1:12 000 - 1:8 000) etwa gleichabständig fortgesetzt wird. Ein Zwischenmaßstab, nämlich 1:2 500, sollte die Versuchsreihe signifikant vervollständigen. (s. Abb. 1)

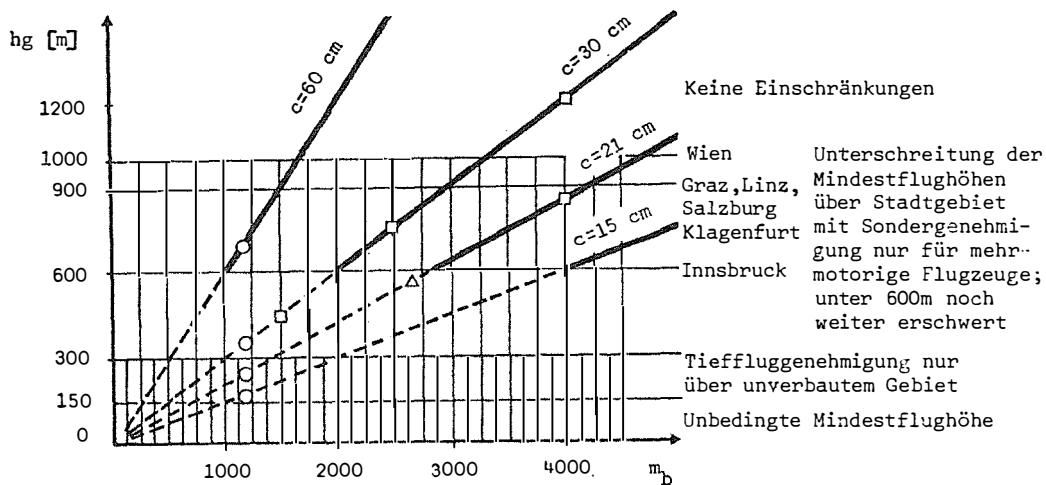


Abb. 1 Zur Wahl der Bildmaßstäbe und Flughöhen.

- Annahmen: Längsüberdeckung 60 %  
 Fluggeschwindigkeit 55 m/s (200 km/h)  
 ○ = kürzeste Bildfolgezeit  $\Delta t = 2$  s (für Format 23 x 23 cm)  
 △ = kürzeste Bildfolgezeit  $\Delta t = 3,5$  s (für Format 18 x 18 cm)  
 □ = beim Versuch gewählte Flugdispositionen

2. Vergleich der Auswerteleistungen alter und neuer Normalwinkelobjektive.  
Als 2. Aufgabe war ein Vergleich mit einem alten Normalwinkelobjektiv zu ermöglichen. Für das alte Format 18x18 cm und der größeren Bildfolgezeit von 3,5 s des WILD Aviotars  $c=21$  cm ergibt sich als kleinster Bildmaßstab 1:2 700, wenn man 60-prozentige Längsüberdeckung erfliegen will. Von den 3 oben gewählten Maßstäben eignet sich daher nur der Bildmaßstab 1:4 000 für einen Leistungsvergleich. Von der Kommission wurde es als hinreichend angesehen, diesen Leistungsvergleich nur in diesem einen Maßstab durchzuführen.
3. Vergleich der Genauigkeit terrestrischer und photogrammetrisch ausgewerteter signalisierter Punkte. Dafür war ein Testfeld übergeordnet genau und mehrfach geodätisch vermessener, signalisierter Vergleichspunkte zu schaffen, dessen Punktdichte den gewählten Bildmaßstäben anzupassen war. Beim Versuch Reichenbach hatte man vorgesehen, daß in jedem Modell etwa 80 Punkte liegen sollten, um eine statistisch hinreichende, repräsentative Zahl von Messungen zu bekommen. Selbst wenn man sich beim Versuch Wien auf 60 Punkte pro Modell beschränkt, müßte für den größten Bildmaßstab 1:1 500 alle 27 m in Längs- und Querrichtung ein Punkt angeordnet werden. Praktisch fallen aber die dicht verbauten Flächen aus. Dadurch war eine sehr enge Punktverteilung erforderlich. Es ist verständlich, daß Kompromisse unvermeidbar waren.
4. Prüfung des Einflusses der Beleuchtung (Sonne oder diffuse Beleuchtung?).  
Bei der Stadtvermessung mit Photogrammetrie stören bekanntlich die Schlagschatten. Es ist daher vielgeübte Praxis, Stadtgebiete bei diffusem Licht zu befliegen. Die dabei auftretende Frage ist nun die, ob die Beleuchtungsverhältnisse auch die Genauigkeit der Ergebnisse beeinflussen oder nicht. Wenn ja, sollte in einem eigens dafür angeetzten Versuch die Frage nach dem Wie und Warum geklärt werden. Für den Versuch Wien wurde nur angeordnet, daß alle Flüge sowohl bei Sonne als auch bei diffusem Licht durchgeführt werden. Selbstverständlich verdoppeln sich damit wieder die Auswertearbeiten, aber diese Frage sollte nicht außer Acht gelassen werden.
5. Vergleich zwischen der terrestrisch und photogrammetrisch erzielbaren Genauigkeit verschieden genau definierter, städtischer Detailobjekte.  
Als eine Hauptaufgabe des Stadtvermessungsversuches Wien muß die

Überprüfung der erzielbaren Koordinatengenauigkeit für die verschiedenen typisch städtischen Detailobjekte angesehen werden, wie Haus- und Mauer-ecken, abstoßende Grenzen, Zaunecken, Maste und Verkehrszeichen, Kanaldeckel und Wasserschieber, Gehsteigränder oder Straßenbahnschienen (unterteilt in gerade und gekrümmte Linienzüge). Diese Detailpunkte sollten von den signalisierten Punkten aus auch mehrfach geodätisch vermessen werden.

## 2. DIE ANLAGE DES VERSUCHSFELDES

### 2.1 Auswahl und Signalisierung der Testpunkte

Das Institut für Photogrammetrie hat zunächst 249 Punkte ausgewählt, und zwar so, daß sich entlang der allen Bildflügen gemeinsamen Flugachse eine möglichst große und zum Rand des Versuchsfeldes hin eine geringere Punktdichte ergab. Damit ist gewährleistet worden, daß sowohl für die großen Bildmaßstäbe als auch für die kleineren hinreichend gleich verteilte Punkte vorlagen. Die Punkte wurden mit Messingbolzen vermarktet und durch weiße Signalquadrate 12x12 cm luftsichtbar gestrichen. Bei besonderem Bedarf wurde für einen besseren Kontrast gesorgt, indem ein 15 cm breiter, heliogenblauer Streifen um das Signal gespritzt wurde.

### 2.2 Die geodätische Bestimmung der Testpunktkoordinaten

Die geodätische Vermessung erfolgte durch die Triangulierungsabteilung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (P. Hörmannsdorfer, 1973). Das Aufmessen der Testnetzpunkte geschah innerhalb von 15 Arbeitstagen. Zunächst wurde ein Rahmenpolygon gemessen und in 2 Gruppen zu je 25 Punkten mit zusammen 130 Strecken ausgeglichen. Für diese Punkte wurden mittlere Punktlagefehler von  $\pm 4$  bis  $\pm 11$ , durchschnittlich  $\pm 8$  mm angegeben. Die übrigen Punkte wurden dann vom Rahmenpolygon aus doppelt polar mit WILD DI3 und T2 aufgemessen. Alle größeren Differenzen bei den doppelten Punktbestimmungen wurden nachgemessen. Schließlich resultierten für alle Punkte mittlere Punktlagefehler von  $\pm 1$  cm, womit allen Anforderungen einer Stadtvermessung entsprochen werden kann. Der mittlere Fehler der nivellierten Höhen liegt unter 1 cm.

### 2.3 Die 1. terrestrische Messung der Detailpunkte

Im Anschluß an die terrestrische Vermessung der signalisierten Punkte für die Fortsetzung des Versuches Reichenbach wurden insgesamt 2 818 Detailpunkte mit WILD DI3 und Stockreflektoren lage- und höhenmäßig polar aufgenommen. Die Daten wurden durch Doppelaufnahmen und Strecken mindestens lagemäßig kontrolliert. P. Hörmannsdorfer gibt den mittleren Punktlagefehler aufgrund von doppelt gemessenen Punkten mit  $M = \pm 27$  mm an. Diese Lagegenauigkeit der Detailpunkte liegt noch weit unter der geforderten Genauigkeit für Grenzpunkte und Einschaltpunkte, Es versteht sich von selbst, daß diese Punkte vor allem im achsnahen Bereich liegen und derart für alle Maßstäbe zur Verfügung stehen. Tab. 2 beschreibt punktgruppenweise die Art der typisch städtischen Detailobjekte. Die Tab. 3 dokumentiert die gleichmäßige Aufteilung der Detailpunkte auf die einzelnen Modelle des größtmaßstäblichen Bildfluges.

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 Zusammenstellung der Detailpunktgruppen für den Stadtvermessungsversuch Wien*

Kenn- ziffer	gewünschte Anzahl pro Modell	Anzahl d. Punkte im M o d e l l					S u m m e	
		1	2	3	4	5	ist	soll
1	50	90	68	50	60	35	303	200
2	40	-	27	45	53	45	170	160
3	80 (je 2)	-	63	143	70	40	316	320
4	150 (je 3)	168	175	100	90	95	628	600
5	150	105	145	50	145	155	600	600
6	40	55	85	45	55	35	275	160
7	40	42	38	9	30	20	139	160
8	50	50	45	45	65	45	250	200
9	40	45	38	25	14	15	137	160
Summe	640	555	684	512	582	485	2818	2560

Tab. 3 *Übersicht über die gewünschte und tatsächlich aufgenommene Anzahl der Detailpunkte der verschiedenen Klassifikations-Gruppen in den 5 durchschnittlichen Modellräumen.  
(Aus dem technischen Bericht von P. Hörmannsdorfer 1973)*

#### 2.4 Die 2. terrestrische Messung der Detailpunkte

Das Institut für Photogrammetrie hat 1973 einen auch im normalen Berufsleben viel mit Stadtvermessungsaufgaben betrauten Vermessungsingenieur beauftragt, eine 2. geodätische Aufmessung aller Detailpunkte vorzunehmen. Diese 2. terrestrische Messung ist von der 1. nur insoferne abhängig, als von den gleichen Festpunkten, nämlich den signalisierten Testpunkten, ausgegangen worden ist. Die Detailpunkte waren nicht etwa mit Farbklecksen oder Ähnlichem während der 1. terrestrischen Messung näher definiert worden. Die genaue Punktdefinition blieb ganz der Auffassung des Meßtechnikerns überlassen, wie dies ja auch in der Praxis geschieht. Die 2. terrestrische Messung erfolgte ausschließlich mit herkömmlichen geodätischen Meßmitteln, WILD T16 und Stahlbandmessung. Die Ergebnisse wurden mit jenen der 1. terrestrischen Messung verglichen, um grobe Fehler (über 15 cm) aufzudecken. Etwa 40 Punkte wurden daraufhin von beiden Meßpartien unabhängig noch einmal nachgemessen, womit die groben Fehler restlos beseitigt waren.

#### 2.5 Die 3. terrestrische Messung der Detailpunkte

Aus der Zeit vor der Festlegung des Testgebietes existierten von einzelnen Teilstücken geodätische Detailaufnahmen, die von verschiedenen Ingenieur-

konsulenten für Vermessungswesen aus praktischen Erfordernissen aufgenommen worden waren. Die Aufnehmenden hatten von dem Versuch Wien natürlich noch keine Ahnung, waren also völlig unvoreingenommen. Die Meßdaten zu diesen Aufnahmen wurden gesammelt und könnten mit ausgewertet werden. Die Ausgangspunkte für diese Aufnahmen waren dieselben Grundlagennetzpunkte, die auch für die Ausgleichung des Primärpolygons für die Testpunkte herangezogen worden sind. Koordinatenlisten liegen nur von einem kleinen Teil vor, der Rest müßte erst relativ mühsam berechnet werden. Aufgrund einer ersten Abschätzung könnten 40 % der Detailpunkte auch bei diesen Erstmessungen vorliegen, die als 3. terrestrische Messung zusammengefaßt werden könnten.

### 3. DIE BILDFLÜGE UND DIE DURCH SIE GEGEBENEN VERGLEICHSMÖGLICHKEITEN

Die Bildflüge wurden vom Bundesamt für Eich und Vermessungswesen in der Zeit vom 28.4. - 3.5.1973 ausgeführt. Zwischen den Aufnahmen bei Sonne bzw. bei diffusem Licht ist also kaum ein Zeitunterschied. Die Tageszeit der bei Sonne geflogenen Streifen schwankt nur innerhalb von 2 Stunden ( $13^{08}$  -  $14^{49}$ ).

Als Aufnahmekammer diente einerseits die WILD RC10 mit dem Objektiv 30 AtII Nr. 4 003 (letztes Kalibrierungsdatum 12.4.1973), eingebaut im zweimotorigen Vermessungsflugzeug Aero Commander 680 F, andererseits die WILD RC5 mit dem Objektiv 21 At Nr. 7 (letztes Kalibrierungsdatum 30.1.1969), eingebaut in einem einmotorigen Vermessungsflugzeug DO 27.

In Tab. 4 sind die wichtigsten Flugdaten und die Modellanzahlen zusammengestellt. Die durch dieses Bildmaterial ermöglichten Vergleiche für die wichtigsten Versuchsaufgaben sind deutlich hervorgehoben worden. Der Bildflug 39 (c=30 cm, 1:4 000, diffuse Beleuchtung) ist wegen Doppelbildern und Bewegungsunschärfen ausgeschieden worden.

### 4. DIE PHOTOGRAMMETRISCHEN MESSUNGEN

#### 4.1 Die Regeln für die photogrammetrischen Messungen

Die Vorschriften für die photogrammetrischen Auswertungen wurden von der Kommission C im Juli 1973 beschlossen und vom Präsidenten am 29.8.1973

Flughorizont (Kennziffer)	Kammerkon- stante c (Bildformat)	Bildmaß- stab 1:	Modellanzahlen bei sonniger (8) diffuser (9) Beleuchtung	
			III ——— III	
1.	30 cm (23x23 cm.)	I 1500      IV 	6	6
2.		I 2500      IV 	4	4
3.		I 4000      IV                  II	2	ausgefallen
4.		II 4000      IV 	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. 4 Die Bildflüge und die durch sie gebotenen Vergleichsmöglichkeiten.  
Die Flug-Nr. setzt sich aus der Flughorizont- und der  
Beleuchtungskennziffer zusammen.

verteilt. Sie enthielten, kurz gefaßt, folgendes:

1. Ein Verzeichnis der zur Verfügung stehenden Unterlagen: Glasdiapositive und Arbeitskopien, Flugübersichten und Übersichten zu den signalisierten Paß- und Kontrollpunkten, bzw. zu den Detailpunkten. Punktlisten und Erläuterungen zu den Punktnumerierungen, Paßpunktkoordinaten, Kalibrierungsprotokolle der Meßkammern, Meßanweisung für die Gerätetests.

(Die Punktlisten, die die je Modell auszuwertenden Punkte aufzählen, sind erst während der Auswertungen von den Schweizer Auswertestellen bzw. vom Bundesamt für Eich und Vermessungswesen in Wien hergestellt worden. Das übrige Material wurde ab Anfang 1974 den beteiligten Auswertestellen zur Verfügung gestellt.)

2. Vor und nach den Messungen sind die Auswertegeräte entsprechend den Empfehlungen der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie (Kongreß Ottawa 1972) zu prüfen. Kopien dieser Test sind dem Centre pilote (TU Wien) abzuliefern.

(Die Kommission C hatte dafür zwei Gründe. Erstens wollte man sicher gehen, daß nicht etwa schlecht justierte Geräte eingesetzt werden. Zum andern wollte man Erfahrungen mit den Gerätetests sammeln, um den dafür notwendigen Zeitaufwand und die Wirksamkeit der Tests in der Praxis besser kennenzulernen.)

3. Das Verfahren der gegenseitigen Orientierung wird freigestellt, ist jedoch später im einzelnen zu beschreiben. Die absolute Orientierung erfolgt später rechnerisch aufgrund der gegebenen Paßpunkte.

(Die Freigabe des Orientierungsverfahrens entspricht dem Streben der Kommission, den Versuch möglichst praxisnah anzulegen.)

4. Die Koordinaten  $x$ ,  $y$  und  $z$  sind einheitlich in Millimeter im Modellmaßstab zu registrieren.
5. Die signalisierten Punkte werden in 2 getrennten Durchgängen gemessen. Die nicht signalisierten Detailpunkte werden dagegen nur in einem Durchgang gemessen. Vor und nach jeder längeren Unterbrechung sind die Messungen für die Paßpunkte zu wiederholen. Die Auswertestellen sind für die Durchführung der Messungen im einzelnen selbst verantwortlich.
6. Jede Auswertestelle liefert eine Kopie der Originalauswerteprotokolle an das Centre pilote ab.

(Für die Messungen ist das Institut für Photogrammetrie der TU Wien Centre pilote.)

7. In einem Abschlußbericht sind dem Centre pilote und durchschriftlich dem Präsidenten - insbesondere folgende Daten bekanntzugeben:
  - ausgewertetes Bildmaterial
  - Auswerte- und Registriergeräte, Verzeichnungskompensation, Art und Größe der Meßmarken, Modellmaßstab, Basisstellung etc.
  - Verfahren der inneren, gegenseitigen und absoluten Orientierung.
  - Ergebnis der Gerätetests, Zeitaufwand und eventuelle Verbesserungsvorschläge.



- Angewandtes Korrekturverfahren zur Beseitigung eventueller aufgrund des Gerätetests festgestellter, systematischer Instrumentalfehler.
- Angaben über alle Arbeitszeiten
- Besonderheiten

(Es handelt sich also bei den Schlußberichten um eine Zusammenstellung aller technischen Daten, die gegebenenfalls für die Beurteilung der Auswertegenauigkeit wichtig sein könnten.)

8. Die terrestrisch bestimmten Koordinaten der Vergleichspunkte werden einer Auswertestelle erst nach Lieferung der Auswerteprotokolle und Modellkoordinaten bekanntgegeben.

(Satzungsgemäß ist es Aufgabe der OEEPE, international kontrollierte Versuche durchzuführen. Die Punkte 6 - 8 schließen von vornherein jeden Verdacht einer Manipulation der Ergebnisse aus.)

#### 4.2 Die an den photogrammetrischen Messungen beteiligten Auswertestellen

An den Auswertearbeiten haben sich die folgenden Institutionen beteiligt (genannt werden Staat, Stelle und Stadt):

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	MLWF	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. 5 Die Auswertezentren des Versuches Wien.

Jeder Halbstreifen bedeutet nahezu gleich viel Arbeit, wenn man von der unterschiedlichen Anzahl von Modellorientierungen absieht. Die eine Hälfte der Arbeiten war von praktisch arbeitenden Stellen, die andere von den Hohen Schulen übernommen worden. Insgesamt waren 18 verschiedene Institutionen aus 8 Staaten der OEEPE beteiligt.

#### 4.3 Die photogrammetrischen Meßergebnisse

Jedes Modell wurde 6 mal (d.h. von 6 verschiedenen Auswertestellen) ausgewertet, 3 mal mit Analoginstrumenten und 3 mal mit Stereokomparatoren. Zu Beginn des Versuches Wien war es schwierig, hinreichend viele Stellen zu finden, die die lange Brennweite ( $c=30$  cm) auswerten konnten. Der Einsatz der Stereokomparatoren ist dadurch begründet, daß der Versuch Reichenbach ja auch einen Vergleich zwischen den Auswerteleistungen von Analoggeräten und Stereokomparatoren vorsah.

In der Zwischenzeit hat das Centre pilote alle Messungen erhalten, die letzten im Spätherbst 1977; insgesamt etwa 180 000 Messungen auf Lochkarten und Magnetbändern.

Vor und nach den Messungen sind die Auswertegeräte entsprechend den Empfehlungen der Arbeitsgruppe II/2 der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie (Standardtests) geprüft worden. Man hatte für die Tests weniger Zeit benötigt als befürchtet. Der Gerätezustand schien allen Auswertestellen, die natürlich vorher ihre Geräte gereinigt und justiert hatten, so befriedigend, daß keine Stelle später Korrekturen an den Messungen zufolge systematischer Gerätefehler vorgenommen hatte.

Die unter 4.1 im Detail geschilderten Regeln für die photogrammetrischen Auswertungen ließen den Auswertestellen genug Spielraum, sodaß die Ergebnisse wirklich als der Praxis entsprechend angesehen werden können.

- Der Durchmesser der verwendeten Meßmarken schwankte zwischen 10 und 60  $\mu\text{m}$  im Bild.
- Einige Zentren führten die Messungen der Zwei-Tage-Modelle (sehr große Punktzahlen!) in 6 Teilen durch und transformierten die Modellteile mit Hilfe von 9 bis 11 Paßpunkten zusammen, andere Zentren maßen alles in einem Paket unter der Annahme, daß sich an den Modellorientierungen nichts verändert habe.

- Einige Auswertestellen haben die radiale Restverzeichnung kompensiert, einige überhaupt nicht.
- Einige transformierten die Bildkoordinaten zufolge von Filmschrumpf mit Hilfe einer Affintransformation auf die "Soll"-Koordinaten der Rahmenmarken, einige haben den Filmschrumpf überhaupt nicht berücksichtigt.

Nach den Gerätemessungen wurden die Doppelmessungen der Koordinaten der signalisierten Punkte von den Auswertestellen gemittelt und daraus modellweise Angaben über die Meßgenauigkeit bestimmt. Erst die gemittelten Modellkoordinaten wurden mit Hilfe der 9 bzw. 11 Paßpunkte jedes Modells in das System Wien, ein lokales Vergleichskordinatensystem, räumlich ähnlich transformiert. Aus den Restfehlern an den Paßpunkten wurde die Einpaßgenauigkeit berechnet. Zu den unbekanntem wahren Standardabweichungen  $\sigma$  wurden mittels der empirisch ermittelten mittleren Fehler die Konfidenzintervalle für eine zweiseitige Abgrenzung von je 2,5 % bestimmt.

## 5. DAS RECHENPROGRAMM

Die ersten Entwürfe zum Rechenprogramm, erstellt von der Kommission C, wurden im Rahmen einer Diplomarbeit von J. Jansa (1975) im Detail überarbeitet. 1976 beschloß die Kommission in Padua, im wesentlichen diesem Programm zu folgen. Eine ganze Reihe von Änderungen, die insbesondere vom Institut für allgemeine Geodäsie in Frankfurt vorgeschlagen worden waren, wurden noch in das Programm aufgenommen. Über Details wird später zu berichten sein. Die große Linie sei jedoch im folgenden skizziert:

### 5.1 Zur Behandlung der "Punkte":

Die Analyse der Meßergebnisse zum Versuch Wien zerfällt entsprechend dem gesamten Versuchsaufbau in 2 Teile:

1. Fortsetzung des Versuches Reichenbach, Untersuchung der Fehler der terrestrischen und photogrammetrischen Messungen an den signalisierten Punkten. Hier wird formal der gleiche Weg eingehalten, wie er schon beim Versuch Reichenbach verfolgt worden ist. Eine detaillierte Beschreibung findet sich bei R. Förstner, 1969. Als Centre pilote fungiert das Institut für angewandte Geodäsie in Frankfurt, das bereits über die Fehleranalyse Erfahrungen vom Versuch Reichenbach verfügt.

2. Stadtvermessungsversuch Wien, Untersuchung der Fehler der terrestrischen und photogrammetrischen Messungen an den nicht signalisierten Detailpunkten. Hinsichtlich aller "punktförmig" definierten Details wird der gleiche Weg verfolgt, wie bei den signalisierten Punkten. Centre pilote für die Rechenarbeiten am Versuch Wien ist das Institut für Photogrammetrie der TU Wien.

5.2. Zur Behandlung der Geraden:

Insgesamt wurden 223 Gerade gemessen, vor allem Gehsteigränder und Schienenstücke. Jede einzelne Messung einer Geraden ist durch 3 Punkte bestimmt. Fällt von diesen 1 Punkt aus, fällt die dadurch betroffene Messung der ganzen Geraden aus. Eine durch 3 Punkte gemessene Gerade wird so berechnet, daß die Quadratsumme der Senkrechtabstände aus den gemessenen Punkten ein Minimum ist. Um einen eventuell auftretenden Unterschied der Geraden- genauigkeit in und quer zur Sonneneinstrahlung (= in und quer zur Flugrichtung) abschätzen zu können, werden die Geraden zunächst getrennt nach Längs- und Querveraden behandelt, dann aber zu einer Gruppe zusammengefasst. Da eine Gerade (zunächst in der Ebene) zwei Freiheitsgrade hat, sind 2 die Gerade beschreibende Parameter festzusetzen. Als geometrisches Fehlermodell könnte man die Querverschiebungsgröße des aus den 3 gemessenen Punkten bestimmbaren Schwerpunktes und den Verschwenkungswinkel um diesen Schwerpunkt heranziehen oder auch die beiden Querverschiebungen an den Enden einer Normstrecke. Beim Wiener Versuch wird jedoch eine andere Betrachtungsweise versucht, bei der die Gerade als Folge unendlich vieler Punkte mit der Laufkoordinate  $l$  und der Querabweichung  $D(l)$  gesehen wird, sodaß sich als quadratischer Durchschnitt aller Querabweichungen zwischen  $l_1$  und  $l_2$  (vergleiche Jansa 1975 und Abb. 2)

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

$$L = l_2 - l_1$$

ergibt.

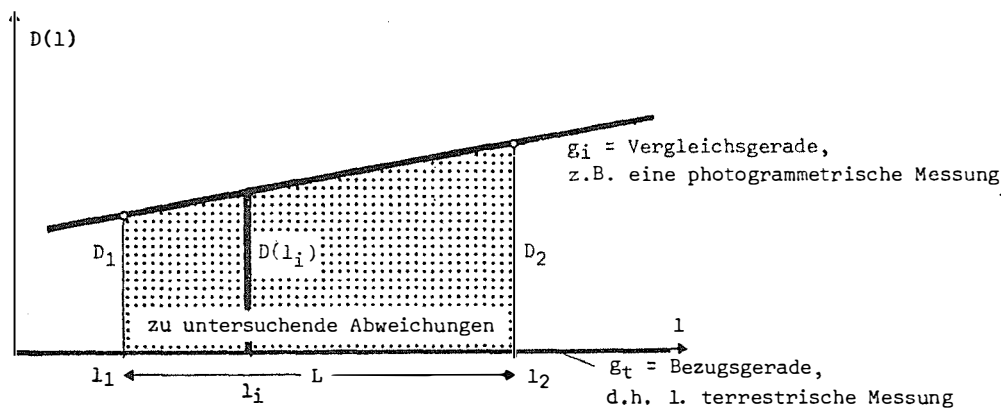


Abb. 2 Zum Geradenvergleich

Dieser Querfehler gibt nicht an, ob eine Gerade gegenüber einer anderen parallel versetzt ist oder ob sie diese schneidet, Es wurde daher auch ein Winkelfehler eingeführt:

$$\epsilon = \arctan \frac{D_1 - D_2}{L}$$

Dieser Winkelfehler ist nicht unabhängig von der Länge der Geraden L. Er wurde daher normiert ( $L_0 = \text{Normlänge}$ ):

$$\epsilon_N = \arctan \frac{L}{L_0} \frac{D_1 - D_2}{L} = \frac{D_1 - D_2}{L_0}$$

Beim Höhenvergleich müssen zunächst jene Geraden ausgeschieden werden, die wohl im Grundriß Gerade aber höhenmäßig Bögen sind. Im übrigen wird gleich wie beim Lagevergleich verfahren werden.

### 5.3 Die Behandlung der Bögen

Von den 93 Bögen sind etwa ein Drittel durch 5, ein Drittel durch 4 und das letzte Drittel durch 3 Punkte definiert. Da die Bögen in der Natur nur in erster Näherung Kreisbögen sind und außerdem sowohl bei den terrestrischen als auch bei den photogrammetrischen Messungen nicht an exakt denselben Stellen erfaßt wurden, ist es schwierig, einen unanfechtbaren Vergleich

durchzuführen. Das Problem wurde schließlich so gelöst, daß durch die (3-5) Punkte der 1. terrestrischen Messung ein Kreisbogen als Trendkurve gelegt wird. Die Abweichungen von der für alle Messungen eines Bogens geltenden Trendkurve sind jedenfalls klein. Durch sie wird in den Meßpunkten im Vergleichskordinatensystem (1,D(1)) eine natürliche Spline-Funktion 3. Grades (in Form eines Polynoms mit abgehackten Potenzfunktionen) definiert, die die jeweiligen Messungen als echte Interpolierende miteinander verbindet. Unter echter Interpolation sei (im Gegensatz zur Approximation mit vorgegebenen Normierungsbedingungen) verstanden, daß die Interpolationsfunktion tatsächlich durch jeden speziellen Wert hindurchgeht. Als Laufvariable  $x$  dient die Bogenlänge  $l$  am Trendkreis der ersten terrestrischen Messung.

$$S_3(x)=D(1)=a+bx+\sum_{j=1}^n c_j(x-x_j)_+^3, \quad n = \text{Anzahl der Stützstellen} = (3, 4, 5), \quad +)$$

wobei gemäß der Definition der natürlichen Splinefunktionen gilt:

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j^r = 0, \quad r = 0, 1$$

(siehe auch Waldhäusl, 1973; S 60-61).

Dieses etwas kompliziert erscheinende Interpolationspolynom hat einen großen Vorteil, den Greville 1969 allgemein nachgewiesen hat: Die natürlichen Splinefunktionen 3. Grades sind nach der Definition

$$\sigma(f) := \int_a^b (f''(x))^2 dx \rightarrow \text{Min.}$$

die glattesten Interpolierenden unter allen denkbaren stetig differenzierbaren Interpolationsfunktionen mit mindestens stückweise stetiger 2. Ableitung.

Jeder Zeichner versucht, dieses Ideal so gut wie möglich bei der Kurveninterpolation zwischen den im allgemeinen wenigen gemessenen Stützwerten

---

+) Das "+" gibt an, daß  $(x-x_j)$  nur positiv definiert ist. Für  $x < x_j$  ist  $(x-x_j)_+ = 0$ , die Funktion ist für alle Werte  $x < x_j$  an der Stelle  $x_j$  "abgehackt".

$S_3(x)$  zu erreichen, indem er etwa einen Stahldraht (Spline) zwangsfrei (das heißt ohne Einfluß von Schwerkraft, Reibung oder Tangentenbedingungen) an den Stützstellen lagert.

Beim Versuch Wien tritt nun das Problem auf, daß die Stützstellen der Wiederholungsmessungen an den Bögen nicht genau mit jenen der terrestrischen Vergleichsmessung übereinstimmen. Für Bogenanfang und Bogenende sind die Unterschiede  $\Delta l_i = l_i - l_i^t$ ,  $l_i$  = Meßstelle,  $l_i^t$  = Knotenstelle = Meßstelle der ersten terrestrischen Bogenmessung, prüfbar gering. Für die elektronische Datenverarbeitung ist es am einfachsten, zunächst eine Splinefunktion durch die  $n = 3, 4$  oder  $5$  Meßpunkte an den Stellen  $l_i$  zu legen und deren Funktionswerte  $D(l_i^t)$  an den abgespeicherten Stützstellen  $l_i^t$  der Vergleichsbasis zu bestimmen. Mit diesen werden dann nochmals (praktisch idente) Interpolations-Koeffizienten ermittelt.

Konkret ist für die Spline-Interpolation jeweils ein Gleichungssystem (7,7) folgender Form zu lösen:

Gleichung	D(l)	a	b	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
a-1	$D(l_1)$	1	$l_1$	0	0	0	0	0
a-2	$D(l_2)$	1	$l_2$	$(l_2 - l_1^t)$	0	0	0	0
a-3	$D(l_3)$	1	$l_3$	$(l_3 - l_1^t)$	$(l_3 - l_2^t)$	0	0	0
a-4	$D(l_4)$	1	$l_4$	$(l_4 - l_1^t)$	$(l_4 - l_2^t)$	$(l_4 - l_3^t)$	0	0
a-5	$D(l_5)$	1	$l_5$	$(l_5 - l_1^t)$	$(l_5 - l_2^t)$	$(l_5 - l_3^t)$	$(l_5 - l_4^t)$	0
b-1	0	0	0	1	1	1	1	1
b-2	0	0	0	$l_1^t$	$l_2^t$	$l_3^t$	$l_4^t$	$l_5^t$
c-1	0	0	0	0	0	0	1	0
c-2	0	0	0	0	0	0	0	1

Falls nur 4 Stützstellen ( $l_i, D(l_i)$ ) vorliegen, wird die Gleichung a-5 durch c-2 ersetzt, bei nur 3 Stützstellen auch a-4 durch c-1.

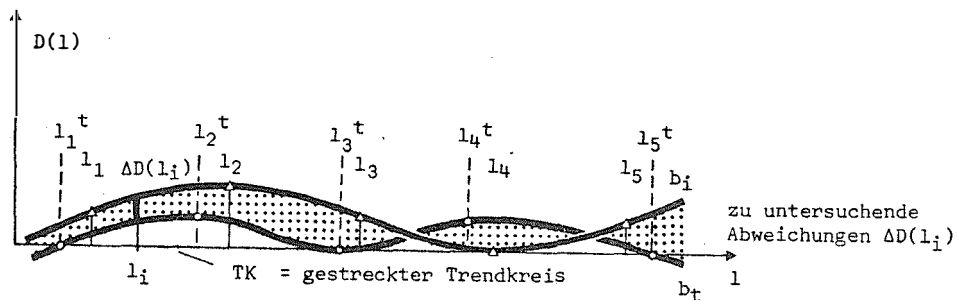


Abb. 3a Zum Bogenvergleich

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

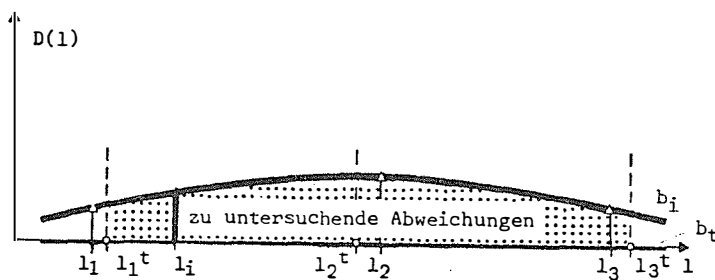


Abb. 3b Zum Bogenvergleich bei Bögen, die durch nur 3 Punkte definiert sind.  
 $b_t = TK$ .

Insgesamt ergibt sich eine klare Interpolationsroutine, die für den Versuch Wien gut geeignet ist. Wir erhalten mathematisch genau das, was ein Zeichner machen würde, wenn er die punktweise aufgenommenen Kurven zeichnet, allerdings objektiv und exakt. Der Bogenvergleich kann nun an jeder beliebigen Stelle  $l_i$  des Bogens als einfache Differenz zwischen 2 Spline-Funktionswerten durchgeführt werden. Da die Splinefunktionen differenzierbar und integrierbar sind, ist eine fehlertheoretische Untersuchung im gleichen Sinne, wie sie bei den Geraden angedeutet wurde, möglich. Bei diesem Konzept spielen auch die Abweichungen der einzelnen Meßstellen entlang des Bogens keine Rolle.

Selbstverständlich wird geprüft, ob die Meßstellen grob übereinstimmen, indem zusammengehörige  $l_i$  untereinander abgeschranzt werden. Unstetigkeiten oder numerische Schwierigkeiten, wie sie bei analytischer Darstellung ebener Kurven höheren Grades in beliebiger Lage oder bei Polynomen höheren Grades auftreten, gibt es bei Splinefunktionen nicht. Die bei der Interpolation ebener Kurven meist übliche Parameterdarstellung  $x=X(t)$  und  $y=Y(t)$ ,  $X$  und  $Y$  seien Splinefunktionen  $S(t)$ , ist wesentlich vereinfacht, da wir in allen Fällen die bereits gute Approximation durch einen Trendkreis voraussetzen dürfen.



## 6. STAND DER ARBEITEN UND AUSBLICK

Die Arbeiten sind inzwischen so weit gediehen, daß die Trennung der Daten für die Analyse der signalisierten Punkte in Frankfurt und der Detailpunkte in Wien erfolgen kann. Vorher wird jedoch noch ein Fehlersuchlauf für alle Daten gemeinsam an der Rechananlage der Technischen Universität Wien eingeschaltet werden. Es hängt nicht zuletzt vom Ergebnis dieses Prüfprozesses ab, wann mit den statistischen Auswertungen der Meßergebnisse begonnen werden kann. Ein detaillierter Bericht der Kommission C ist jedenfalls für den nächsten Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie 1980 in Hamburg vorgesehen.

Die Thematik an sich hat während der doch schon langen Versuchsdauer nicht an Wichtigkeit verloren. Im Gegenteil: Die Notwendigkeit, einen Leitungskataster einzurichten, unterstreicht neuerlich die Bedeutung des Versuches.

### SCHRIFTTUM

- H. BELZNER: Versuchsfelder für internationale Versuchs- und Forschungsarbeiten. NKV R.V., OEEPE-Sonderveröffentlichung Nr.1, IfAG Frankfurt 1962, S.37-41
- W. BRUCKLACHER: Compte-rendu du centre "Zeiss-aerotopograph" sur les restitutions pour la Commission C de l'OEEPE. Photogrammetria XII (1955-56) Nr.3, S.180-182
- R. FÖRSTNER: Rapport sur la restitution effectuée dans l'Institute für Angewandte Geodäsie, Francfort. Terrain d'essai d'Oberriet. Photogrammetria XII (1955-56) Nr.3, S. 183-197
- R. FÖRSTNER: Bericht über die Tätigkeit und Ergebnisse der Kommission C der OEEPE (1956-60) Photogrammetria XVI (1959-60) Nr.4, S.352-357
- R. FÖRSTNER: Kurzbericht über die Arbeiten der Kommission C der OEEPE. NKV R.V., OEEPE-Sonderveröffentlichung Nr.1 IfAG Frankfurt 1962, S.31 ff
- R. FÖRSTNER: Résumé du Rapport sur les résultats de l'essai de Reichenbach de la Commission C de l'OEEPE. Presented Paper ISP Congres Lausanne 1968
- R. FÖRSTNER: Über die Genauigkeit der photogrammetrischen Koordinatenvermessung in bergigem Gelände. Bericht über die Ergebnisse des Versuchs 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
- R. FÖRSTNER: Das Versuchsfeld Reichenbach der OEEPE. NKV, OEEPE-Sonderveröffentlichung Nr.7, IfAG Frankfurt, 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
- H.L.van GENT: Gebäudevermessung. Bureau van de Fotogrammetrische Dienst van het Kadaster, 's-Gravenhage 1970
- E. GIGAS: Beitrag zur Geschichte der Europäischen Organisation für photogrammetrische experimentelle Untersuchungen. NKV, OEEPE-Sonderveröffentlichung Nr.1, IfAG Frankfurt, 1962
- E. Gotthardt: Compte-rendu de la restitution a la T.H. Stuttgart des vols d'essai du groupe I du terrain d'Oberriet. Photogrammetria XII (1955-56) Nr.3, S.163-179
- E. Gotthardt: Rapport sur les premiers résultats de l'essai d'Oberriet de la Commission C de l'OEEPE. Photogrammetria XV (1958-59) Nr.3, S.96-132
- T.N.E. GREVILLE et al.: Theory and Applications of Spline Functions. Academic Press, New York, 1969
- H. HÄRRY: Messungen an nicht signalisierten Geländepunkten im Versuchsfeld "Oberriet". NKV, OEEPE-Sonderveröffentlichung 10, IfAG Frankfurt 1975, S.9-15
- P. HÖRMANNSDORFER: Der reduzierende Distomat WILD DI 3, Neue Wege der Detailvermessung. ÖZV 1973, S.83-89
- P. HÖRMANNSDORFER: Technischer Bericht zum Versuch Wien. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Dezember 1973.
- ITC, DELFT: Déroulement chronologique des observations de la Commission C de l'OEEPE. Photogrammetria XII (1955-56) Nr.3, S.198-199
- J. JANSA: OEEPE/C Versuch Wien: Das Rechenprogramm. Entwurf vom 15.4.1975. Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie der T.U. Wien
- G. LEHMANN: Compte-rendu des travaux de la Commission C de l'OEEPE effectués jusqu'à présent. Photogrammetria XII (1955-56) Nr.3, S.141-163
- LUFTVERKEHRSREGELN: Österreichisches Bundesgesetzblatt 56/1967, §7 der Fassung der Novelle BGBl.659a/1974
- A. STICKLER: Interpretation of the Results of the OEEPE-Commission C. Photogrammetria XV, Nr.1, S.8-16
- A. STICKLER und P. WALDHÄUSL: Interpretation der vorläufigen Ergebnisse der Versuche der Kommission C der OEEPE aus der Sicht des Zentrums Wien. OEEPE-Sonderveröffentlichung Nr.3 der ÖZV, Wien 1967

- A. STICKLER und P. WALDHÄUSL: Graphische Auswertung nicht signalisierter Punkte und Linien und deren Vergleich mit Feldmessungsergebnissen im Versuchsfeld "Oberriet". NKV, OEEPE-Sonderveröffentlichung 10, IfAG Frankfurt 1975
- J. TIMMERMAN: Über die Genauigkeit der photogrammetrischen Geländevermessung. Presented Paper, (Kommission IV) ISP-Kongreß Helsinki, 1976
- P. WALDHÄUSL: Funktionale Modelle der Streifen- und Streifenblockausgleichungen mit einfachen und Spline-Polynomen für beliebiges Gelände. Sonderheft 26 der ÖZVPh, Wien, 1973

Geowiss.Mitt.

13, 1978, S. 125 - 150

Empirische Genauigkeitsuntersuchung  
von Orthophotos

von

G. Otepka und E. Duschanek

Adresse der Autoren:

Dr. G. Otepka, Ingenieurkonsulent für Vermessungswesen,  
6600 Reutte, Innbrückenstraße 8, Österreich  
Dipl.-Ing.E. Duschanek, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen,  
Gruppe Landesaufnahme, Krotenthallergasse 3, 1080 Wien

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Orthophotoherstellung mit dem Avioplan OR1 und dem Programm SORA-OP sind Datenerfassung und Umbildung zwei voneinander getrennte Arbeitsschritte. Im Vergleich zu den bisher bekannten Orthophotosystemen, bei denen das Gelände simultan mit der Orthophotoherstellung abgetastet wird, ergeben sich hinsichtlich der Genauigkeit neue Fragestellungen. In der vorliegenden Arbeit werden diese Fragen formuliert und anhand von empirisch erhaltenen Genauigkeitsangaben beantwortet. Von den verschiedenen Varianten der Datenerfassung wird in dieser Arbeit nur die Datenerfassung in Profilen mit unterschiedlichem Abstand und verschiedener Dichte innerhalb der Profile behandelt.

## 1. EINLEITUNG

Vorhandene Rechenprogramme zur Datenaufbereitung und digital gesteuerter Differentialumbildegereäte erlauben einen sehr universellen Einsatz, zur Lösung vielseitiger Problemstellungen. Mit dem Orthophotosystem Wild Avioplan OR1 (STEWARDSON, 1976) und dem Programmpaket SORA (=Software für die Offline Rektifikation mit dem Avioplan) existiert ein solches System. Eine Reihe der Möglichkeiten, die KRAUS (1976) angab, wurden inzwischen realisiert (ASSMUS, 1976; KRAUS u. TSCHANNERL, 1976; OTEPKA, 1976). Hauptanwendungsgebiet des erwähnten Systems bleibt jedoch die routinemäßige Produktion von Orthophotos, wofür am Institut für Photogrammetrie der TU-Wien das Programm SORA-OP (=SORA-Orthophotos) entwickelt wurde (OTEPKA und LOITSCH, 1976).

Mit welchem Erfolg sich ein technisches Produkt auf dem dafür in Frage kommenden Markt durchsetzt, hängt, wenn man die sicherlich sehr wesentliche finanzielle Komponente außer Acht stellt, von zwei Faktoren ab:

- der Güte des Produktes im Vergleich zu Konkurrenzserzeugnissen,
- dem Komfort für den Benutzer bei der Erstellung des Produktes.

Für den geodätisch-photogrammetrisch arbeitenden Betrieb, der eine neue Technologie als Auftragsnehmer benutzen bzw. ein neues Produkt herstellen möchte, sind die beiden genannten Faktoren vor allem - wenn man an die eingangs erwähnte Hard- und Software Kombination zur Erzeugung von Orthophotos denkt - mit der Zuverlässigkeit aller beteiligten Geräte und mit der Genauigkeit der damit erstellten Orthophotos gleichzusetzen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem für Auftraggeber und Auftragnehmer gleichermaßen zentralen Thema, nämlich der Genauigkeit des Produktes Orthophoto.

## 2. PROBLEMSTELLUNG DER UNTERSUCHUNG

Bei dem zur Diskussion stehendem System sind Datenerfassung und Orthophotoherstellung zwei voneinander völlig getrennte Vorgänge. Die digitale Steuerung des Orthoprojektors gestattet es, daß einmal erfaßte und auf Massenspeicher archivierte Geländehöheninformationen immer wieder für die Ableitung der Steuerdaten zur Orthophotoherstellung Verwendung finden können. Dabei ist die Erstellung des neuen Bildmaterials an keine Beschränkung

hinsichtlich Fluganordnung und Kammerkonstante gebunden.

Die vorliegende Arbeit versucht, auf folgende zwei Fragen Auskunft zu geben:

1. Welcher Punktabstand ist bei einer profilweisen Datenerfassung notwendig, damit ein Orthophoto mit vorgegebener Genauigkeit erstellt werden kann?
2. Mit welcher Lagegenauigkeit können Orthophotos aus einem vorgegebenen digitalen Höhenmodell (DHM) abgeleitet werden, wenn die Höhengenaugigkeit des DHM bekannt ist?

### 3. BESCHREIBUNG DES FESTMATERIALES

#### 3.1 Testgebiet und Kontrollpunkte

Das für die Untersuchung ausgewählte Testgebiet Hirschbach liegt im nördlich der Donau gelegenen Teil Oberösterreichs. Der Geländehöhenunterschied beträgt 330 m bei einer mittleren Geländeneigung von 13<sup>g</sup>. Nach NEUBAUER (1969), der die Geländeneigung für eine Geländeklassifikation verwendet, ist das Testgebiet dem Mittelgebirge zuzuordnen. Nach HOBBIIE (1975), der die Höhengenaugigkeit zu einer Klassifizierung heranzieht, gehört es bereits zum "Hochgebirge".

In dem Testgebiet standen 76 unregelmäßig verteilte signalisierte Kontrollpunkte zur Verfügung, deren Lage- und Höhenkoordinaten bekannt sind. Bei den Punkten handelt es sich um Triangulierungspunkte und Einschaltpunkte (EP), wie die Lagefestpunkte VI. Ordnung in Österreich genannt werden. Der einzelne Punktlagefehler dieser Festpunkte muß nach den entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen (Vermessungsverordnung BGBl 54/1976)  $\leq 20$  cm sein, d.h., daß der mittlere Koordinatenfehler etwa  $20/(3\sqrt{2}) = \pm 4,8$  cm beträgt. Die Punkte selbst wurden vor dem Bildflug für eine photogrammetrische Bestimmung signalisiert.

#### 3.2 Bildmaterial und Auswertung

Die Bilder des Doppelmodelles stammen aus dem Flug EP-Neumarkt 1974 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BAfEuV) und wurden mit einer Kamera Wild RC8/UAg,  $f=153$  mm im Maßstab 1:15 000 erflogen.

Die Datenerfassung erfolgte im BAfEuV an einem Autograph Wild A8.

Nach der näherungsweise absoluten Orientierung, wurden die Modelle mit einem Punktabstand von etwa 20 m in der Natur profilweise ausgewertet. Dazu konnte der Prototyp einer Profiliereinrichtung für den Wild A8 benutzt werden, den die Fa. Wild dem BAfEuV zur Erprobung überlassen hat. Die Registrierung der Modellkoordinaten von rund 11 000 Punkten je Modell erfolgte über ein an das Auswertegerät angeschlossenes Koordinatenregistriergerät Wild EK 22 auf Magnetband.

### 3.3 Herstellung der Orthophotos

Aus den erfaßten Daten hat das Institut für Photogrammetrie der TU-Wien Orthophotos hergestellt.<sup>1)</sup> Um die Auswirkung unterschiedlicher Datendichte auf die Orthophotogenauigkeit untersuchen zu können, wurden die Originaldaten (siehe 3.2) so verdünnt, daß sie einer Datenerfassung im Abstand von 40x40 m<sup>2</sup> und weiters von 80x80 m<sup>2</sup> entsprachen. Mit diesen drei Datensätzen wurden an der Rechenanlage CDC Cyber 74 der Abteilung Digitalrechenanlage des Rechenzentrums der TU-Wien mit dem Programm SORA-OP die Steuerdaten für die Herstellung von vier Orthophotos im Maßstab 1:5 000 (siehe Tabelle 1) berechnet. Die Umbildungen wurden am Wild Avioplan OR 1 in Wien vorgenommen.

Fall	Schlitzbreite im Orthophoto	Punktabstand der Geländedaten in der Natur
1	5 mm	20x20 m <sup>2</sup>
2.1	8 mm	20x20 m <sup>2</sup>
2.2	8 mm	40x40 m <sup>2</sup>
2.3	8 mm	80x80 m <sup>2</sup>

Tabelle 1: *Hergestellte Orthophotos*

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ist man in der Photogrammetrie bemüht, das Verhältnis Bildmaßstab zu Kartenmaßstab möglichst groß zu wählen.

<sup>1)</sup>Für diese Arbeit und für wertvolle Hinweise danken die Autoren den Herren Ing.J.LOITSCH und Dipl.-Ing.H.HAITZMANN.



Beeinflusst wird dieses Verhältnis durch die größtmögliche Höhe beim Bildflug, die geforderte Lage- und Höhengenaugkeit des Endproduktes sowie die Interpretierbarkeit des Bildmaterials. Bei der Erstellung von Orthophotos kommt überdies das Problem der Bildqualität hinzu. Entsprechende Untersuchungen (z.B. HOBBIE, 1975) ergaben, daß die Maßstabszahl

$$m_{\text{Bild}} \approx 3 m_{\text{Orthophoto}} \text{ bis } 4 m_{\text{Orthophoto}}$$

betragen soll. Aus diesem Grunde war mit dem vorliegenden Bildmaterial der Orthophotomaßstab von 1:5 000 gegeben.

Wie unter 3.2 angegeben, erfolgte die Datenerfassung im nicht streng absolut orientierten Modell (Fall 3 im Sinne der Veröffentlichung OTEPKA und LOITSCH, 1976). Das Programm führte daher eine rechnerische Modelleinpassung durch. Bei den vorliegenden Modellen standen dafür 7 bzw. 6 Vollpaßpunkte zur Verfügung. Aus den Restfehlern in diesen Punkten wurde eine mittlere Höhenmeßgenauigkeit von 0,08 %  $h_g$  erhalten. Der mittlere Koordinatenfehler von 35 bzw. 30 cm in der Lage entspricht einem Wert von 23 bzw. 20  $\mu$  im Bild. Diese Lagegenauigkeit, die wesentlich über der üblichen Meßgenauigkeit bei numerischen Auswertungen liegt, ist offensichtlich auf unsorgfältige Messung zurückzuführen.

#### 4. ARBEITEN ZUR GENAUIGKEITSUNTERSUCHUNG

Die für die Untersuchung notwendigen Ausmessungen der Orthophotonegative und darauffolgenden Berechnungen wurden im Vermessungsbüro Markowski in Imst durchgeführt. Bei den dabei verwendeten Geräten handelt es sich um eine Präzisionszeichenanlage (Contraves Coragraph DC2 und um eine mit 2 Plattenlaufwerken und einer Magnetbandstation ausgerüsteten Rechenanlage Nova 1200.

##### 4.1 Ausmessung der Orthophotos

Vor Beginn der Meßarbeiten wurde die Rechtwinkeligkeit und der Maßstabsfehler der Zeichenanlage überprüft. Dabei zeigte sich, daß die Rechtwinkeligkeit und die Maßstabgleichheit der beiden Koordinatenachsen bis auf die Meßgenauigkeit gegeben waren.

Von den Orthophotos, die ein Format von 55 x 55 cm<sup>2</sup> besitzen, wurde jeder der signalisierten Punkte in zwei Durchgängen bzw. Lagen angemessen. Zwischen den beiden Lagen wurde das Orthophotonegativ um 100<sup>g</sup> verdreht. Durch diese Meßanordnung und die anschließende Transformation der Ergebnisse von Lage 2 auf Lage 1 konnte die Einstellgenauigkeit bestimmt werden. Weiters wurden dadurch Fehlmessungen, die auf Identifizierungsfehler zurückzuführen waren, eliminiert. Da die Kontrollpunkte zunächst nur für eine stereoskopische Auswertung gedacht waren, wurde ohne Verwendung von Identifizierungsmerkmalen signalisiert. Die dadurch bedingten Identifizierungsschwierigkeiten zeigten sich deutlich an den Transformationsergebnissen. Bei den vier Orthophotos mußten im Schnitt die Messungen von 7 Punkten eliminiert werden. Außer diesen Eliminationen, die eindeutig auf Identifizierungsfehler zurückzuführen waren, wurden keine der aufgetretenen " Ausreißer " gestrichen.

Für die Transformation wurde die 3-Parametertransformation verwendet, wie die ebene Koordinatentransformation mit 3 Freiheitsgraden - Drehung und 2 Verschiebungen - genannt wird (KRAUS, 1975). Als mittlerer Koordinateneinstellfehler ergab sich aus den Doppelmessungen ein Wert von  $\pm 0,015$  mm im Orthophoto. Die Ergebnisse der Transformation der Meßergebnisse von Lage 2 auf Lage 1 sind in Tabelle 2 angeführt. Die gemittelten Werte aus beiden Lagen waren die Grundlage der rechnerischen Weiterverarbeitung der Meßergebnisse.

Fall	Anzahl d. Punktepaare	mittl. Koordfehler	max. Koordfehler in mm im Orthophoto	mittl. Lagefehler	max. Lagefehler
1	65	$\pm 0,019$	0,047	$\pm 0,027$	0,060
2.1	71	$\pm 0,020$	0,054	$\pm 0,028$	0,058
2.2	72	$\pm 0,021$	0,045	$\pm 0,030$	0,051
2.3	69	$\pm 0,022$	0,058	$\pm 0,031$	0,060

Tabelle 2: Ergebnisse der Transformation der Werte von Lage 2 auf jene von Lage 1

## 4.2 Rechnerische Weiterbehandlung

### 4.2.1 Transformation der Meßergebnisse auf die Sollwerte.

Die Restfehler, die nach der Transformation der Meßergebnisse auf die Sollwerte auftreten, zeigen die Lagefehler, die im Orthophoto enthalten sind. Für diesen Vorgang wurde bei ähnlichen bisherigen Untersuchungen (z.B. BLACHUT und van WIJK, 1976) die Helmerttransformation verwendet. Die Benutzung einer Transformation, die den Maßstab als Freiheitsgrad enthält, erscheint nach Meinung der Autoren aber als nicht richtig, da die Erstellung des Orthophotos immer in einem bekannten Maßstab erfolgt. Dieser Sollmaßstab, der bei den meisten Orthoprojektoren ident mit dem Kartenmaßstab ist, muß jedoch auch Gegenstand einer Genauigkeitsangabe des Orthophotos sein.

Aus diesen Gründen wurden die Meßergebnisse neben der 3-Parameter- auch mit der Helmerttransformation auf die Sollwerte transformiert. Die Fehlerwerte dieser Berechnungen sind in der Tabelle 3 angegeben. Für die Fälle 2.1 bis 2.3 wurden die Ergebnisse graphisch in den Abbildungen 1 bis 6 dargestellt.

Trans- formation	Fall	Anzahl d. Kontroll- punkte	mittl. Koordf.		max. Koordf.		mittl. Lagef.		max. Lagef.	
			i.d.Natur in m	i.Orthoph. in mm	i.d.Natur in m	i.Orthoph. in mm	i.d.Natur in m	i.Orthoph. in mm	i.d.Natur in m	i.Orthoph. in mm
Helmert	1	66	$\pm 0,403$	$\pm 0,081$	1,618	0,324	$\pm 0,570$	$\pm 0,114$	1,668	0,334
	2.1	71	$\pm 0,406$	$\pm 0,081$	1,533	0,307	$\pm 0,574$	$\pm 0,115$	1,690	0,338
	2.2	72	$\pm 0,643$	$\pm 0,129$	2,213	0,443	$\pm 0,909$	$\pm 0,182$	2,423	0,485
	2.3	69	$\pm 0,746$	$\pm 0,149$	2,318	0,464	$\pm 1,054$	$\pm 0,211$	3,117	0,623
3-Parameter	1	66	$\pm 0,407$	$\pm 0,081$	1,541	0,308	$\pm 0,575$	$\pm 0,115$	1,581	0,316
	2.1	71	$\pm 0,416$	$\pm 0,083$	1,441	0,288	$\pm 0,589$	$\pm 0,118$	1,529	0,304
	2.2	72	$\pm 0,643$	$\pm 0,129$	2,226	0,445	$\pm 0,909$	$\pm 0,182$	2,437	0,467
	2.3	69	$\pm 0,795$	$\pm 0,159$	2,727	0,545	$\pm 1,124$	$\pm 0,225$	3,626	0,725

Tabelle 3: Ergebnisse der Transformationen der ausgemessenen Orthophotokoordinaten auf die Sollwerte

#### 4.2.2 Zerlegung der Lagefehler in radiale und tangentielle Komponenten

Betrachtet man die Koordinaten der Paßpunkte als fehlerfrei, so sind die in Tabelle 3 ausgewiesenen Lagefehler der Orthophotos eine Funktion folgender Fehler:

- Restfehler der Modellorientierung,
- Meßfehler bei der Anmessung der Paßpunkte im Modell und in der Orthophoto-  
vorlage,
- Abtastfehler bei der Datenerfassung,
- Interpolationsfehler bei der Erstellung des DHM,
- Geländeapproximation durch ein Polyeder,
- Fehler bei der Orientierung des Luftbildes im Umbildeggerät,
- Gerätefehler des Umbildeggerätes,
- Filmdeformation bei der Entwicklung des Orthophotos,
- Meßfehler bei der Anmessung der Kontrollpunkte im Orthophoto.

Diese Ursachen bewirken Fehler, die in radiale und tangentielle Fehlerkomponente aufgespaltet werden können. Für die Beurteilung der Fehlerursachen und um einen Vergleich mit den Ergebnissen des bereits erwähnten ISP-Versuches (BLACHUT und van WIJK, 1976) vornehmen zu können, wurden die Lagefehler (siehe Tabelle 3) in ihre radialen und tangentialen Anteile aufgegliedert und auszugsweise für die 3-Parametertransformation in der Tabelle 4 angegeben.

Fall	Anzahl d. Kontroll- punkte	mittl.radiale Komponente i.d.Natur im Orthophoto		mittlere tangentielle Komponente i.d.Natur im Orthophoto	
		in m	in mm	in m	in mm
1	66	<u>+0,511</u>	<u>+0,102</u>	<u>+0,255</u>	<u>+0,051</u>
2.1	71	<u>+0,555</u>	<u>+0,111</u>	<u>+0,184</u>	<u>+0,037</u>
2.2	72	<u>+0,867</u>	<u>+0,173</u>	<u>+0,250</u>	<u>+0,050</u>
2.3	69	<u>+1,101</u>	<u>+0,220</u>	<u>+0,185</u>	<u>+0,037</u>

*Tabelle 4: Aufgliederung der Lagefehler nach der 3-Parametertransformation (Tab.3) in ihre radialen und tangentialen Komponenten*

Ein Vergleich der Werte der Tabelle 4 mit jenen, die man mit der Helmerttransformation für diese Größen erhält, zeigt, daß die tangentialen Komponenten für beide Transformationen etwa gleich groß sind. Die Größe

KARTIERUNGSMASZSTAB 1 : 20000  
FEHLERVEKTORMASZSTAB 1 : 50

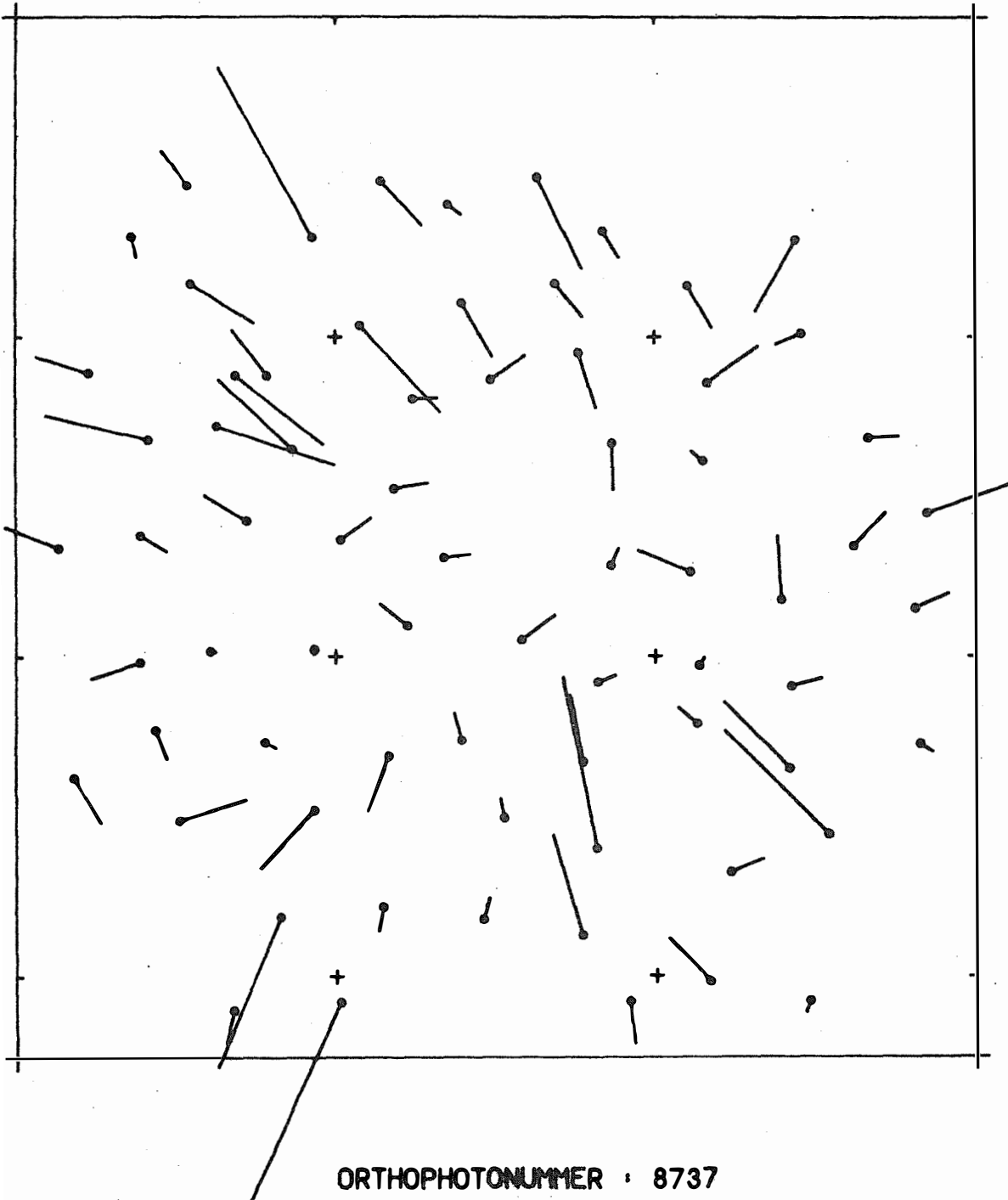


Abb.1: Fehlervektoren nach der Helmerttransformation  
(Fall 2.1: 8 mm Schlitz, 20x20 m<sup>2</sup> Punktabstand)

KARTIERUNGSMASZSTAB 1 : 20000  
FEHLERVEKTORMASZSTAB 1 : 50

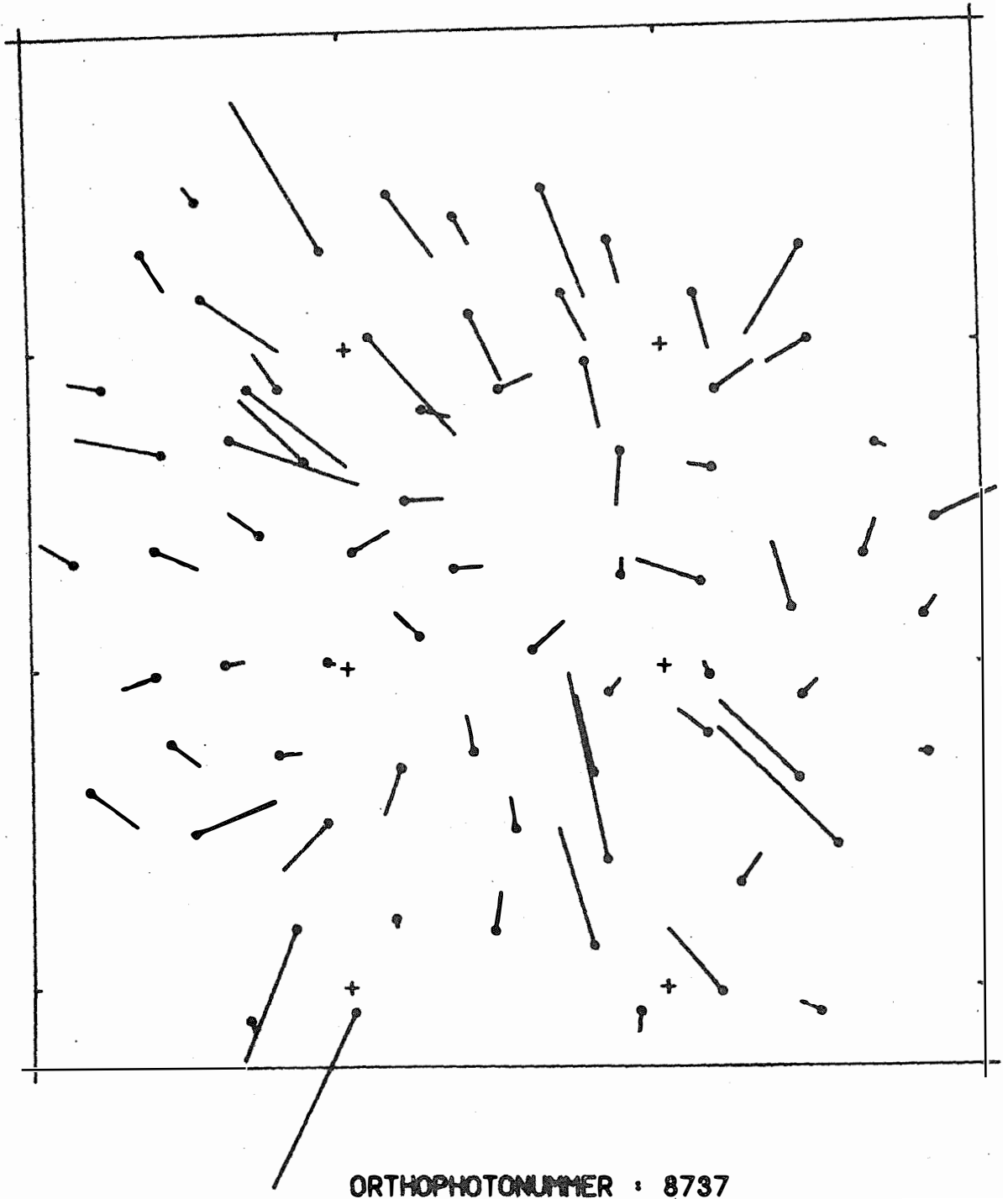
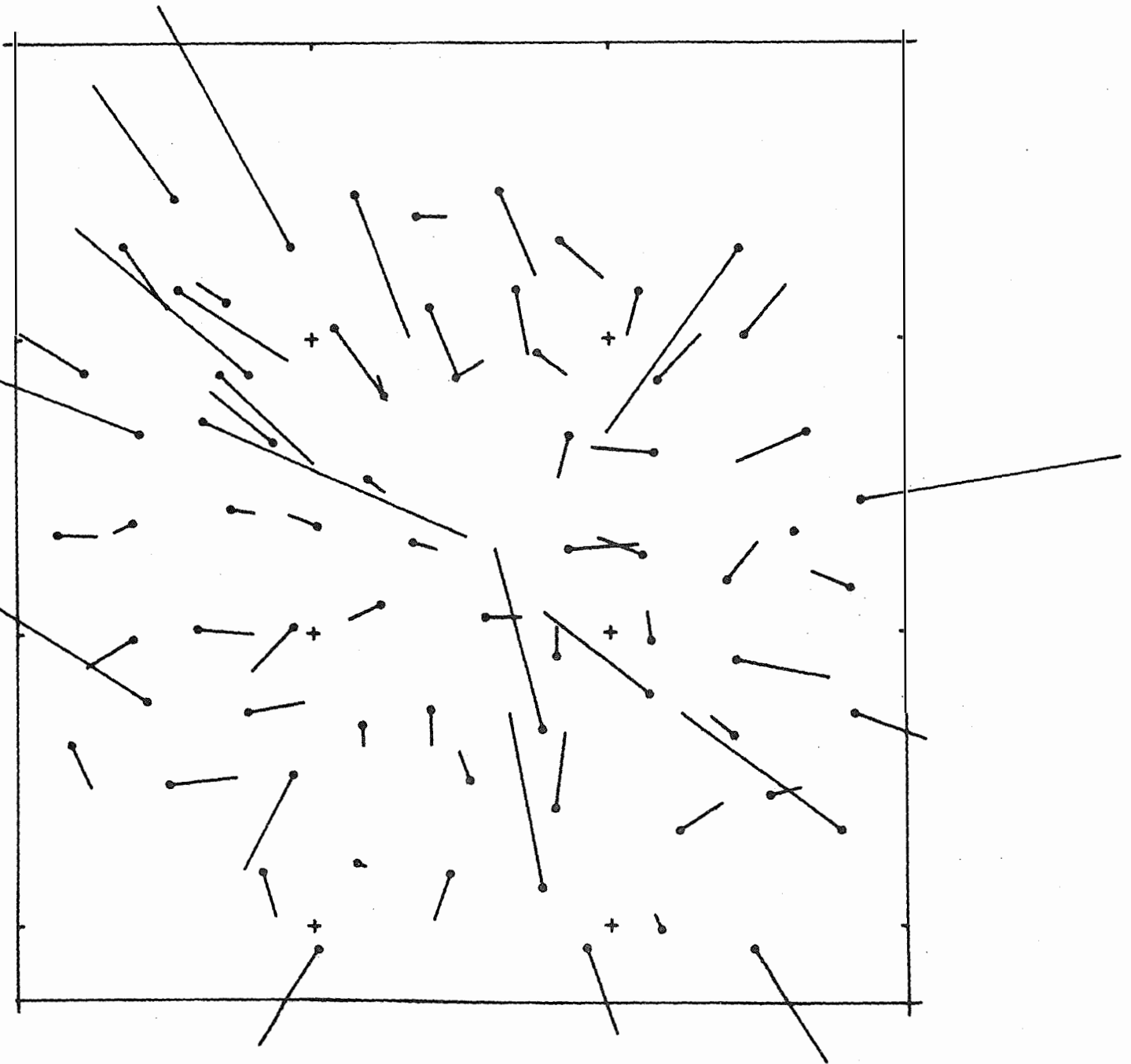


Abb.2: Fehlervektoren nach der 3-Parametertransformation  
(Fall 2.1: 8 mm Schlitz, 20x20 m<sup>2</sup> Punktabstand)

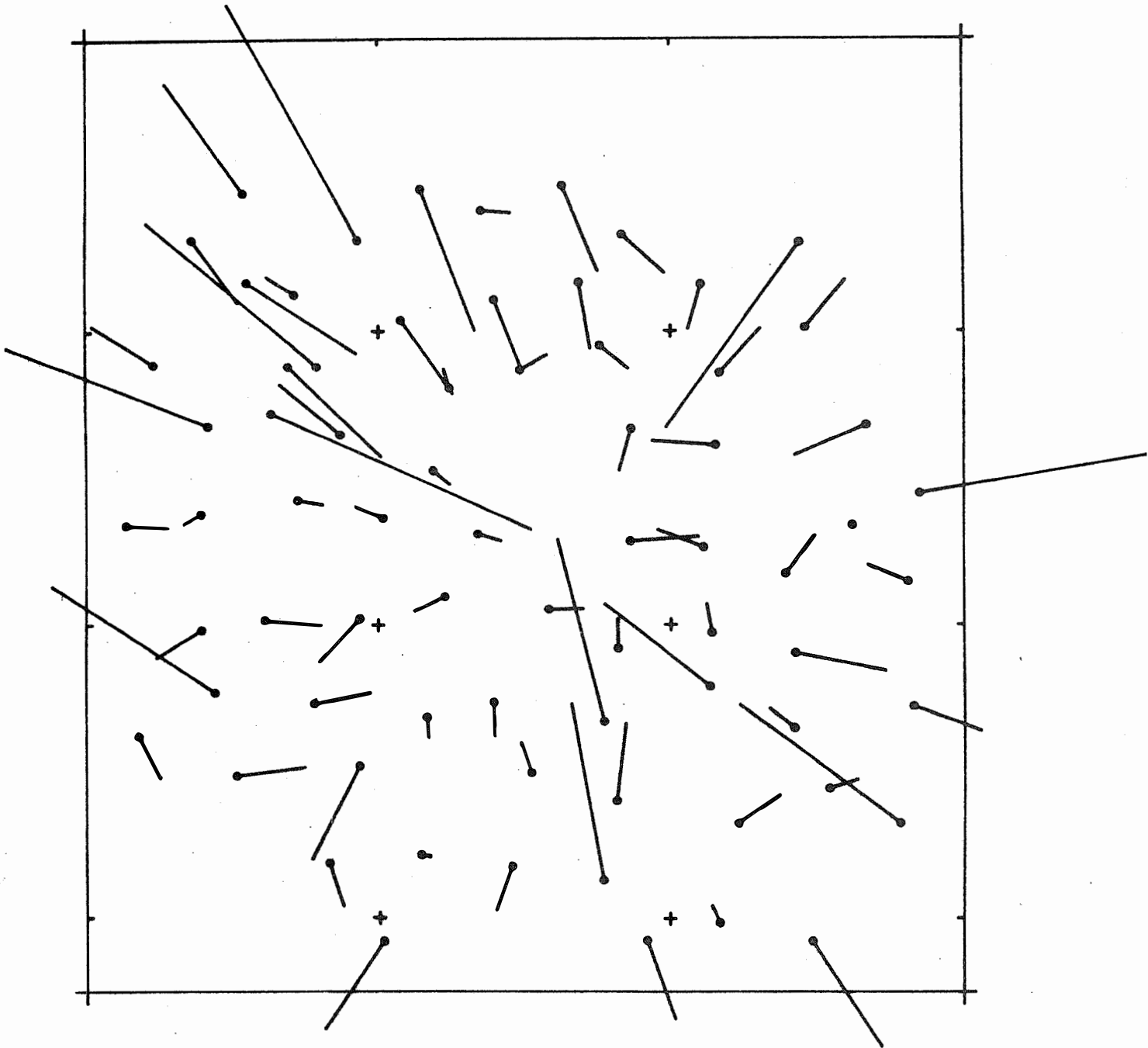
KARTIERUNGSMASZSTAB 1 : 20000  
FEHLERVEKTORMASZSTAB 1 : 50



ORTHOPHOTONUMMER : 8737

Abb.3: Fehlervektoren nach der Helmerttransformation  
(Fall 2.2: 8 mm Schlitz, 40x40 m<sup>2</sup> Punktabstand)

KARTIERUNGSMASZSTAB 1 : 20000  
FEHLERVEKTORMASZSTAB 1 : 50

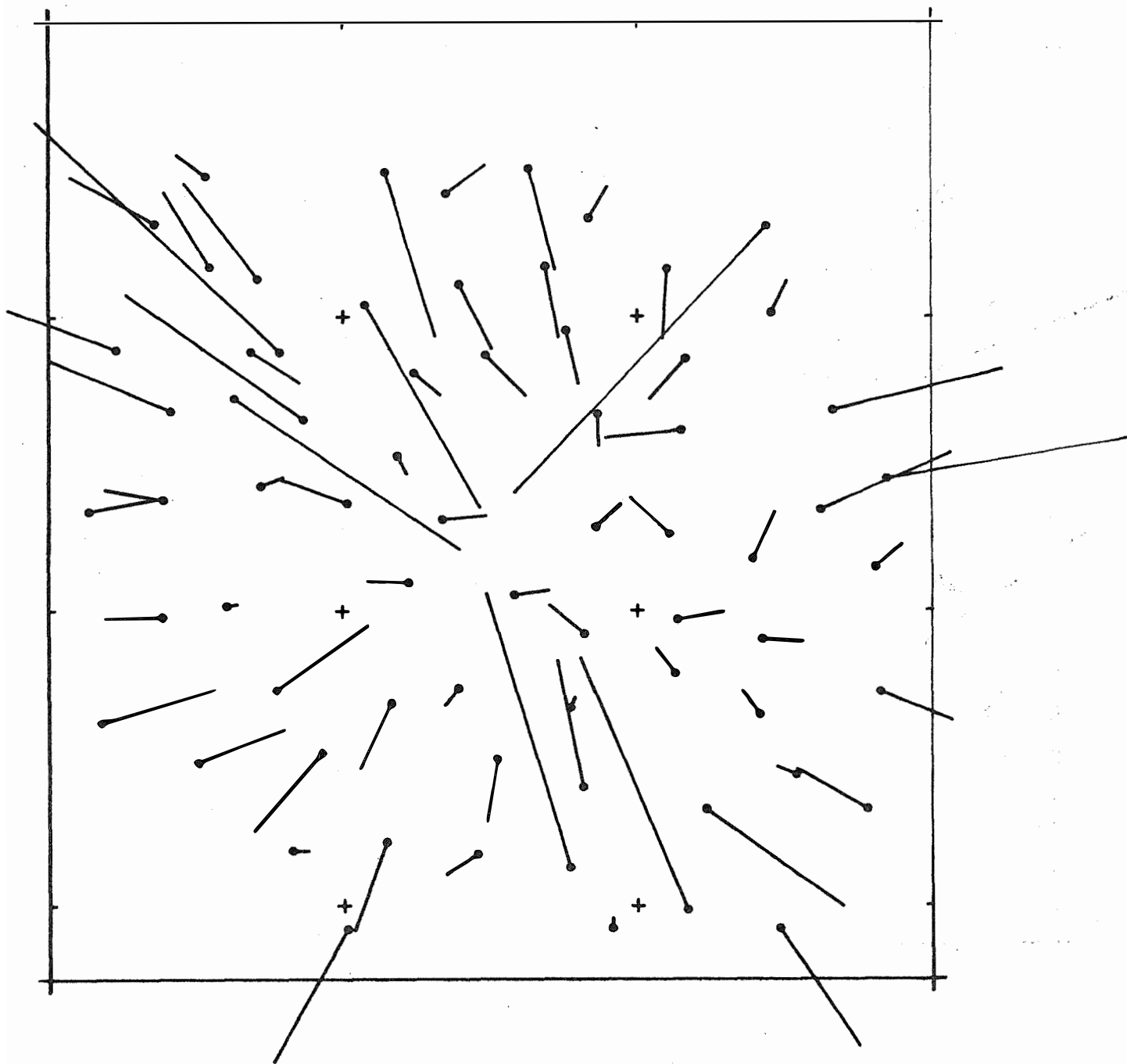


ORTHOPHOTO NUMMER : 8737

Abb.4: Fehlervektoren nach der 3-Parametertransformation  
(Fall 2.2: 8 mm Schlitz, 40x40 m<sup>2</sup> Punktabstand)



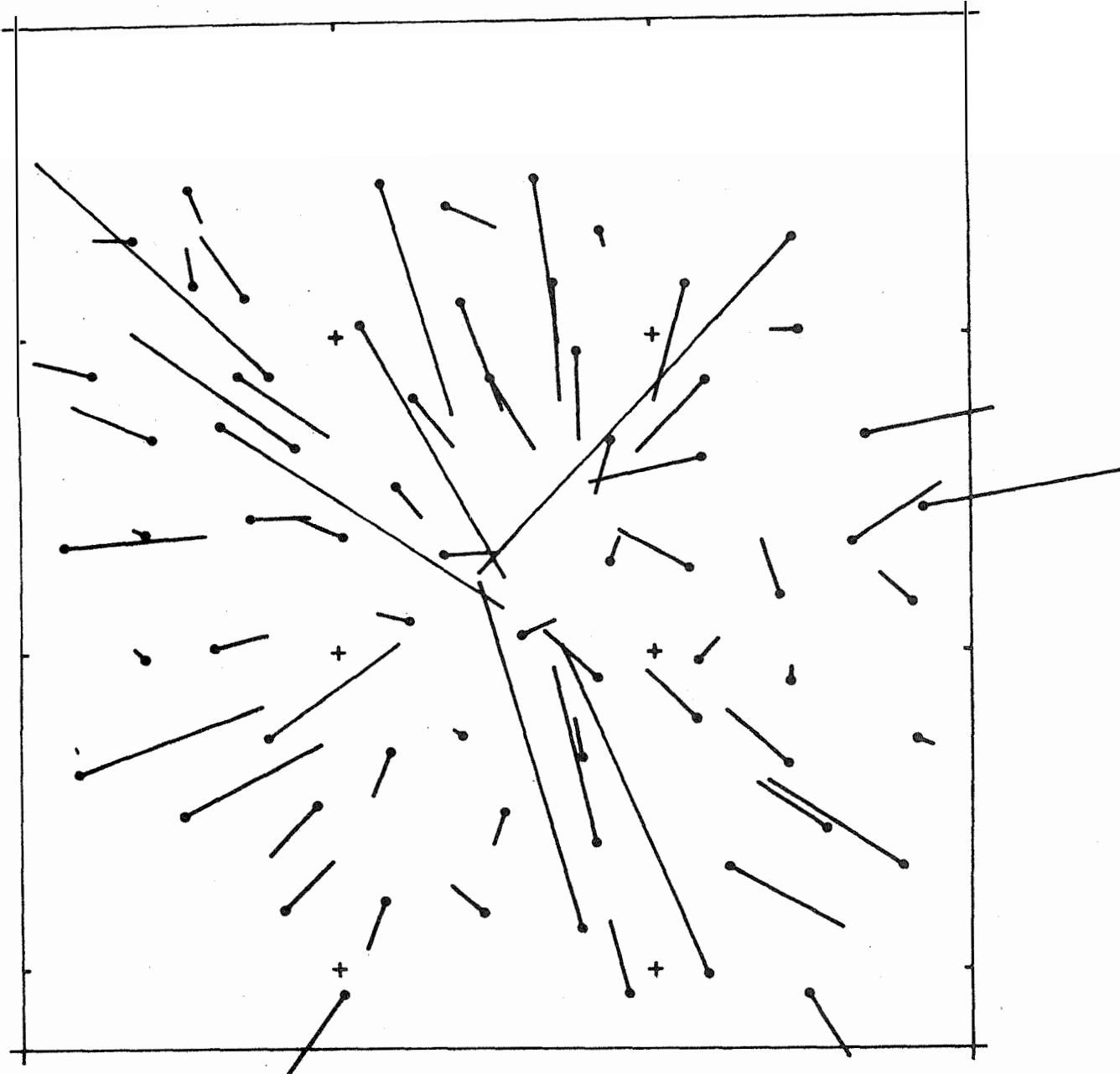
KARTIERUNGSMASZSTAB 1 : 20000  
FEHLERVEKTORMASZSTAB 1 : 50



ORTHOPHOTO NUMMER : 8737

Abb. 5: Fehlervektoren nach der Helmerttransformation  
(Fall 2.3: 8 mm Schlitz, 80x80 m<sup>2</sup> Punktabstand)

KARTIERUNGSMASZSTAB 1 : 20000  
FEHLERVEKTORMASZSTAB 1 : 50



ORTHOPHOTONUMMER : 8737

Abb.6: Fehlervektoren nach der 3-Parametertransformation  
(Fall 2.3: 8 mm Schlitz, 80x80 m<sup>2</sup> Punktabstand)

dieser Fehlerwerte ist überdies unabhängig von der Punktdichte bei der Datenerfassung. Der Vergleich mit den entsprechenden Größen aus der ISP-Untersuchung (Tabelle III) bestätigt diese Invarianz auch hinsichtlich anderer Maßstabsverhältnisse und Orthophotosysteme. Für eine Fehlerabschätzung der Lagewerte erscheint es daher gerechtfertigt, die mittlere tangentielle Fehlerkomponente  $L_t$  mit  $\pm 0,018$  mm im Bild anzunehmen (siehe 5.4).

Vergleicht man die mittleren radialen Fehlerkomponenten des ISP-Orthophototests mit jenen der Tabelle 4, so sieht man, daß einerseits Werte für die Fälle 1 und 2.1 im Spitzenfeld liegen und andererseits aber auch Werte, wie sie beim Fall 2.3 auftreten, von manchen Gerätefirmen noch als ausreichend angesehen werden. In diesem Zusammenhang darf nochmals darauf hingewiesen werden, daß die in der Tabelle 4 angegebenen Fehlerwerte über die 3-Parametertransformation gewonnen wurde. Im Vergleich zur Helmertransformationsführung führt diese Transformation zu größeren Fehlerwerten (maximal 10% im Fall 2.3).

#### 4.2.3 Einteilung der Fehlerwerte in Ringzonen

Auf Grund der bekannten Beziehung

$$L_r = m_H \cdot \tan v, \quad (1)$$

wobei  $L_r$  die radiale Komponente des Lagefehlers,  $m_H$  den Höhenfehler und  $v$  die Projektionsstrahlneigung darstellt, steigen die Lagefehler im Orthophoto bei gleichbleibendem Höhenfehler mit wachsendem Radialabstand an. Um diese Tatsache mit Zahlenwerten belegen zu können, wurde das Orthophoto in drei Ringzonen aufgeteilt und die Fehler für jede Zone gesondert bestimmt. Die Radien wurden mit  $R_1=5$ ,  $R_2=10$  und  $R_3=15$  cm im Bild so gewählt, daß die Zone 1 das Bildzentrum, die Zone 2 den Rest bis zum Rand des Nettobildformates und die Zone 3 den ungünstigen Eckbereich deckt. In der Abb.7 wurden die Fehler nur für die Zonen 1 und 2 dargestellt. Die Werte der Zone 3 sind, da in diesem Bereich nur jeweils 4 Messungen vorlagen (siehe dazu auch 4.1), nicht repräsentativ.

In der Tabelle 5 sind für jede Ringzone die radialen und tangentialen Komponenten der Lagefehler angegeben. Dabei zeigt sich, daß die

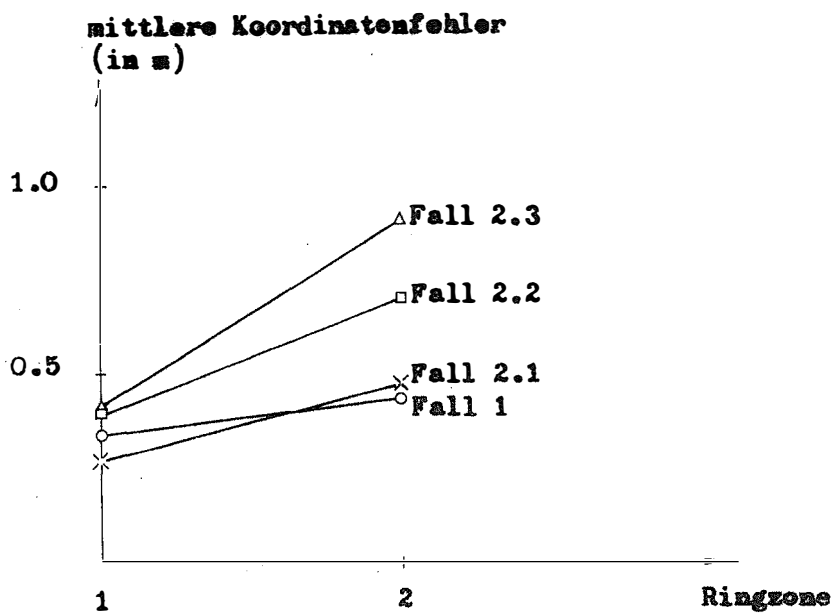


Abb. 7: Mittlere Koordinatenrestfehler nach Einteilung des Orthophotos in Ringzonen.

Tangentialfehler mit der Entfernung vom Bildzentrum etwa konstant bleiben, während die Radialfehler in den Zonen 1 und 2 den erwarteten Anstieg zeigen. In der Zone 3 ist das unterschiedliche Verhalten auf die zu geringe Anzahl von Elementen zurückzuführen.

Fall	Zone	Anzahl d. Kontrollpunkte	Radialfehler in d. Natur in m		Tangentialf. in d. Natur in m	
			mittl.	max.	mittl.	max.
1	1	15	$\pm 0,377$	1,241	$\pm 0,246$	0,510
	2	47	$\pm 0,552$	1,503	$\pm 0,262$	0,541
	3	4	$\pm 0,574$	0,722	$\pm 0,265$	0,329
2.1	1	17	$\pm 0,313$	0,692	$\pm 0,190$	0,324
	2	50	$\pm 0,636$	1,509	$\pm 0,189$	0,493
	3	4	$\pm 0,228$	0,327	$\pm 0,081$	0,087
2.2	1	17	$\pm 0,507$	1,554	$\pm 0,168$	0,375
	2	51	$\pm 0,933$	2,425	$\pm 0,281$	0,621
	3	4	$\pm 1,387$	1,698	$\pm 0,089$	0,115
2.3	1	16	$\pm 0,544$	1,572	$\pm 0,192$	0,364
	2	49	$\pm 1,257$	3,626	$\pm 0,189$	0,418
	3	4	$\pm 0,827$	1,258	$\pm 0,132$	0,203

*Tabelle 5: Zerlegung der Orthophotolagefehler nach der 3-Parametertransformation in ihre radialen und tangentialen Komponenten sowie ihre Unterteilung in Ringzonen.*

#### 4.2.4 Bestimmung der Höhenwerte in den Kontrollpunkten

Zur Klärung der im Abschnitt 2 angegebenen Fragestellung hinsichtlich der Auswirkung bekannter Höhenfehler eines DHM auf die Lagegenauigkeit des daraus abgeleiteten Orthophotos wurden folgende vorbereitende Berechnungen durchgeführt: Aus dem mit Teil 1 des Programmes SORA-OP erstellten DHM wurde für die Kontrollpunkte aus den jeweils 4 benachbarten Rasterpunkten die Isthöhe als allgemeines arithmetisches Mittel interpoliert. Die Differenzen zu den Sollhöhen rühren sowohl vom Abtastfehler bei der Datenerfassung als auch vom Interpolationsfehler bei der Berechnung des DHM her. In Tabelle 6 sind für verschiedene Punktdichten bei der Datenerfassung und Punktabstände bei der Interpolation des DHM die mittleren und maximalen Höhenfehler angegeben. Der Punktabstand des jeweiligen DHM wurde für beide Koordinatenrichtungen als gleich groß vorgegeben. Er entspricht im allgemeinen der Schlitzblende bei der Orthophotoherstellung. Für die nachfolgende

Untersuchung (5.4) ist die Kenntnis der Lagefehleranteile, die von den Höhenfehlern verursacht werden, von Wichtigkeit. Diese Werte wurden mit Hilfe der Gleichung (1) bestimmt und sind ebenfalls in der Tabelle 6 angegeben.

Fall	Anzahl d. Kontrollpunkte	Anzahl d. im Doppelmodell reg. Punkte	Punkt- abstand bei der Registrierung	Punkt- abstand im DHM	Anzahl d. berechneten DHM-Punkte	mittl. Höhenf. in der Natur in m	max. Höhenf. i. d. Natur in m	mittl. Lage- fehler i. d. Natur in m	max. Lage- fehler i. d. Natur in m
1	66	22 200	20x20m <sup>2</sup>	25x25m <sup>2</sup>	12 210	+1,089	3,470	+0,536	1,328
-	76	5 730	40x40m <sup>2</sup>	25x25m <sup>2</sup>	12 210	+1,454	4,420	+0,847	3,499
-	76	1 530	80x80m <sup>2</sup>	25x25m <sup>2</sup>	12 210	+2,052	6,190	+1,031	3,648
2.1	71	22 200	20x20m <sup>2</sup>	40x40m <sup>2</sup>	4 970	+1,317	2,950	+0,667	1,915
2.2	72	5 730	40x40m <sup>2</sup>	40x40m <sup>2</sup>	4 970	+1,779	4,680	+0,904	2,182
2.3	69	1 530	80x80m <sup>2</sup>	40x40m <sup>2</sup>	4 970	+2,343	6,730	+1,192	4,218

Tabelle 6: Höhenfehler in den Kontrollpunkten und die davon verursachten radialen Fehleranteile in der Lage

Vergleicht man die tatsächlichen mittleren radialen Lagefehler (Tabelle 4) mit den aus den Höhenfehlern berechneten Werten (Tabelle 6), so ist der Betrag der Erstgenannten kleiner. Eigentlich erwartet man das Gegenteil. Das vorliegende Ergebnis dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Punktverteilung doch nicht zufällig ist, und daß durch das Minimumsprinzip der Transformation mit den 3 Freiheitsgraden Fehler kompensiert wurden. Wenn der Abtastfehler als bekannt angenommen wird, so kann als Differenz zu den Werten der Tabelle 6 der Interpolationsfehler bestimmt werden. Nach SCHNEIDER (1971) beträgt der Abtastfehler 0,4 ‰  $h_g$ , was einem Wert von  $\pm 0,9$  m bei den vorliegenden Verhältnissen entspricht.

Zu Kontrollzwecken wurden die Höhenfehler auch für die 3 Ringzonen (siehe Abschnitt 4.2.3) getrennt bestimmt. Die Ergebnisse bestätigen, daß unter den vorliegenden Bedingungen und für die gestellte Aufgabe die Höhenfehler über das ganze Doppelmodell als konstant angenommen werden können.

## 5. ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

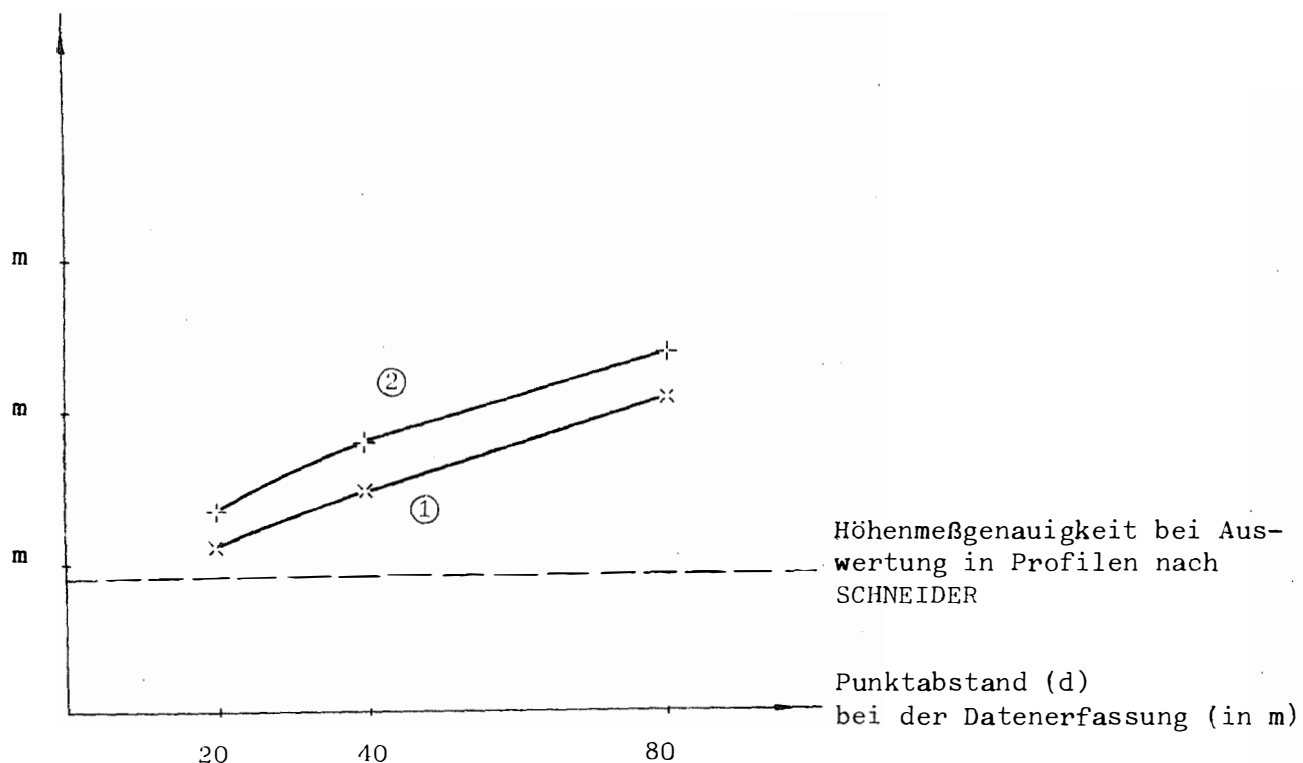
### 5.1 Genauigkeit des Maßstabes der Orthophotos

Der tatsächliche Orthophotomaßstab wurde, wie schon in 4.2.1 ausgeführt ist, durch Benutzung der Helmerttransformation bestimmt (siehe Tabelle 3). Klammert man das Ergebnis des Falles 2.3 aus, wo durch das Minimumsprinzip ein Teil der radialen Fehlerkomponente eine Maßstabsänderung bei der Berechnung bewirkte (siehe 4.2.2), so beträgt der Maßstabsfehler 0,00007. Umgelegt auf das Orthophotofilmformat von 55 x 55 cm<sup>2</sup> ergibt das einen Längenfehler von 0,04 mm. Zu diesem sicherlich guten Ergebnis ist noch zu bemerken, daß weder die Lagerung noch die Ausmessung der Orthophotos in klimatisierten Räumen erfolgte.

## 5.2 Höhengenauigkeit des mit SORA bestimmten DHM

In Abb.8 sind die Höhenfehler der Kontrollpunkte aus der Tabelle 6 graphisch dargestellt. Die Abbildung zeigt, daß der Interpolationsfehler mit dem Punkt- abstand linear ansteigt, wenn der Punkt- abstand bei der Datenerfassung größer als der Rasterabstand des DHM (=Größe der Schlitzblende im Orthophoto) ist.

Höhenfehler der Kontrollpunkte  
(in m)



Kurve ① Punkt- abstand des DHM = 25 x 25 m<sup>2</sup>

Kurve ② Punkt- abstand des DHM = 40 x 40 m<sup>2</sup>

Abb. 8: Mittlere Höhenfehler des Digitalen Geländemodelles

Für diesen Bereich kann an Hand der vorliegenden Ergebnisse die Kurve 1 durch die Gleichung

$$0,015 d + 0,86 \sim 0,015 d + 0,4 \text{ ‰ } h_g \quad (2)$$

und die Kurve 2 durch

$$0,014 d + 1,32 \quad (3)$$

approximiert werden. Das  $d$  in den beiden Gleichungen entspricht dem Punktabstand der Datenerfassung.

War der Punktabstand  $d$  kleiner als das Rasterintervall des DHM, so ergab das ein überlineares Absinken der Höhenungenauigkeit. Ob die Gleichungen (2) und (3) in eine übergeordnete Beziehung zusammengefaßt werden können und ob eine weitere Verallgemeinerung hinsichtlich Maßstabsverhältnisse, Punktabstand usw. damit möglich wird, läßt sich aus den bisher vorliegenden Ergebnissen nicht schlüssig beweisen.

### 5.3 Auswirkung des Punktabstandes bei der Datenerfassung auf die Lagegenauigkeit im Orthophoto

Kartiert man für die Fälle 2.1 bis 2.3 die im Orthophoto aufgetretenen Lagefehler (siehe Tabelle 3), so zeigt die Kurve 1 der Abb. 9 den Zusammenhang zwischen Punktdichte bei der Datenerfassung und Genauigkeit des Orthophotos. Man sieht, daß bei einem Punktabstand von  $20 \times 20 \text{ m}^2$ , das entspricht  $1,3 \times 1,3 \text{ mm}^2$  im Bild, der mittlere Lagefehler  $\pm 0,11 \text{ mm}$  beträgt. Mit der Reduktion der Punktmenge steigt der Lagefehler. Bei einer Reduzierung der Datenpunkte von rund 22 000 auf etwa 1 500 (siehe Tabelle 6), was einer Verringerung der Profilanzahl und damit des Meßaufwandes um rund 65 % entspricht, steigt der Lagefehler erst auf das Doppelte, nämlich auf  $\pm 0,22 \text{ mm}$  im Orthophoto. Bedenkt man, daß diese Datenreduzierung überdies die Kosten der Orthophotoherstellung, nach den derzeit dafür geltenden Sätzen, um etwa 40 % senkt und vielfach ein mittlerer Lagefehler von weniger als  $\pm 0,25 \text{ mm}$  im Orthophoto als ausreichend angesehen wird (PICHLIK, 1968), so sind die Verhältnisse, die dem Fall 2.3 zu Grunde liegen, aus wirtschaftlicher Sicht sicher sehr attraktiv.

Die Kurve 1 aus Abb. 9 kann als Entscheidungshilfe für die Festlegung der



Punktdichte bei der Datenerfassung ähnlicher Projekte benutzt werden.

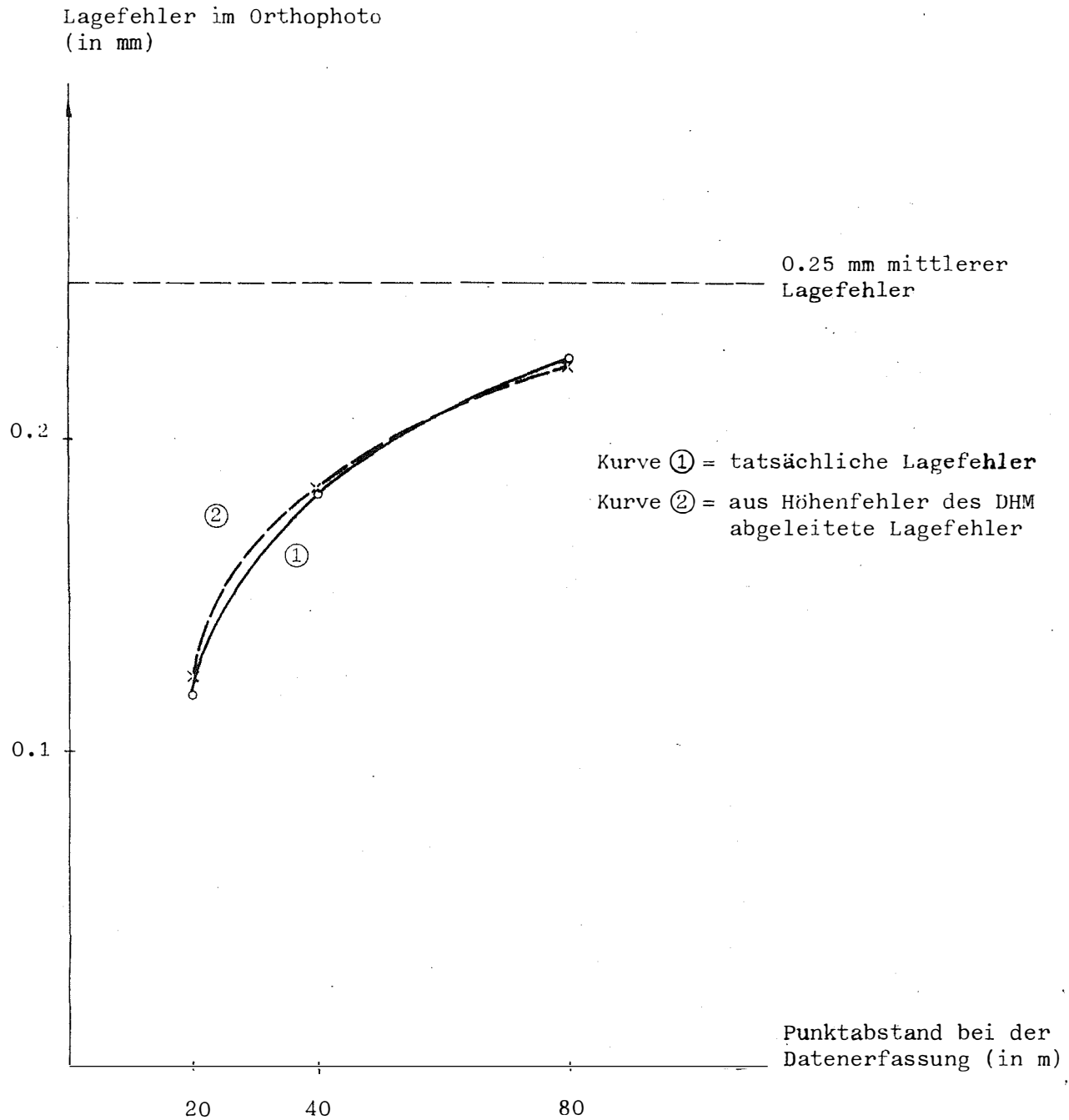


Abb. 9: Mittlere Lagefehler im Orthophoto.

#### 5.4 Auswirkung der Höhengenaugigkeit des DHM auf die Lagegenauigkeit

Über die von HOBBIE (1975) angegebene Beziehung

$$m_H[m] = 2.83 \frac{f}{s'} \cdot \frac{m_K}{1000} \cdot L_r [mm] \quad (4)$$

kann man den Zusammenhang zwischen der radialen Komponente des Lagefehlers  $L_r$  im Orthophoto und dem mittleren Höhenfehler  $m_H$  des DHM ausdrücken. Die restlichen Bezeichnungen bedeuten:

$f$  = Kammerkonstante,  $s'$  = Nettobildformat und  $m_K$  = Maßstabszahl des Orthophotos.

Löst man die Gleichung (4) nach  $L_r$  auf, so kann man, wenn der mittlere Höhenfehler des DHM bekannt ist, den mittleren radialen Lagefehleranteil bestimmen.

Entsprechend der Ausführungen in 4.2.2, kann die mittlere tangential Fehlerkomponente des Lagefehlers mit  $l_t = 0,018$  mm im Bild angenommen werden. Mit Kenntnis des radialen und tangentialen Fehleranteiles ergibt sich ein mittlerer Lagefehler  $L_m$  im Orthophoto aus

$$L_m = \sqrt{L_r^2 + \left( \frac{m_B}{m_K} L_t \right)^2} \quad (5)$$

Durch den Faktor  $m_B/m_K$  wird das Vergrößerungsverhältnis zwischen Luftbild und Orthophoto berücksichtigt.

Mit den Ergebnissen der Tabelle 6 wurde unter Benutzung der Beziehungen (4) und (5) der mittlere Lagefehler für die Fälle 2.1 bis 2.3 berechnet und in Abbildung 9 als Kurve 2 dargestellt. Ein Vergleich der so erhaltenen Werte mit den tatsächlich aufgetretenen Lagefehlern (Kurve 1 in Abb. 9) zeigt, daß über die Gleichungen (4) und (5) sehr gute Näherungswerte für die zu erwartenden mittleren Lagefehler im Orthophoto angegeben werden können.

Durch das Übereinstimmen der beiden Kurven ist überdies gezeigt, daß die Fehler des Umbildeggerätes, die Filmdeformationen usw. praktisch vernachlässigbar sind. Der Hauptanteil der Lagefehler resultiert, wie zu erwarten war, aus dem Höhenfehler des DHM, der seinerseits aus dem Abtast- und

Interpolationsfehler verursacht wird.

Eine für die Praxis interessante und schon mehrfach vorgeschlagene Möglichkeit der Genauigkeitssteigerung im Orthophoto bei Verwendung eines bestehenden DHM liegt darin, daß man zur Umbildung Bildmaterial verwendet, das mit langbrennweitigen Kameras erfliegen wurde (KRAUS, 1976). Die radialen Fehleranteile der Tabelle 6 reduzieren sich dann im Verhältnis 15/21 oder 15/30, wenn die Orthophotos aus Luftbildern mit  $f = 21$  bzw.  $f = 30$  cm abgeleitet werden.

## 6. SCHLUSS

Die Autoren sind sich dessen bewußt, daß mit der vorliegenden Arbeit die im Abschnitt 2 formulierten Problemstellungen nur für ganz bestimmte Verhältnisse beantwortet werden konnten. Die Tatsache, daß die erste Geräteserie von Avioplans ausgeliefert ist und in den meisten Fällen die Programminstallation von SORA-OP parallel dazu erfolgte, war Anlaß, diese Arbeit als Zwischenbericht zu veröffentlichen. Eine Verallgemeinerung der behandelten Fragen, wie Datenerfassung in Schichtenlinien, Auswirkung verschiedener Schlitzbreiten, unterschiedliche Maßstabsverhältnisse, Anschlußdifferenzen von Orthophotos usw. sind Gegenstand einer laufenden Untersuchung und werden nach Abschluß derselben publiziert.

## SCHRIFTTUM

- / 1/ ASSMUS E. (1976): Berücksichtigung von Geländekanten im Stuttgarter Höhenlinienprogramm - Theorie und Ergebnisse  
Geowissenschaftl. Mitteilungen, Heft 8, TU-Wien, 1976
- / 2/ BLACHUT T.J. und van WIJK M.C. (1976): Results of the International Orthophoto Experiment 1972-76  
Presented paper, XIII. ISP-Kongreß, 1976
- / 3/ HOBBIÉ D. (1975): Die Projektparameter bei differentieller Entzerrung.  
Bulletin 59, Société Française de Photogrammétrie, 1975
- / 4/ KRAUS K. (1975): Verschiedene Transformationen und Indikatoren zur Lokalisierung grober Datenfehler  
Allgemeine Vermessungsnachrichten, Heft Nr.1, 1975
- / 5/ KRAUS K. (1976): Anwendungsmöglichkeiten eines digital gesteuerten Differentialumbildegertes.  
Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 8, TU-Wien, 1976

- / 6/ KRAUS K. und TSCHANNERL J. (1976): Die photographische Entzerrung  
abwickelbarer Regelflächen  
Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 8, TU-Wien, 1976
- / 7/ NEUBAUER H.G. (1969): Die Geländeneigungen und ihr Einfluß auf die  
Lagefehler der differentiellen Entzerrung  
Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 5, 1969.
- / 8/ OTEPKA G. (1976): Praktische Erfahrungen bei der Rektifikation  
von MSS-Bildern  
Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 8, TU-Wien, 1976
- / 9/ OTEPKA G. und LOITSCH J. (1976): Ein Programm zur digitalgesteuerten  
Orthophotoproduktion  
Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 8, TU-Wien, 1976
- /10/ PICHLIK V. (1968): Parameters and Accuracy Criteria of Plans and  
Map Compilation  
Invited paper, XI. ISP-Kongreß, 1968
- /11/ SCHNEIDER H. (1971): Untersuchungen am Orthoprojektor GZ1 über die  
Höhengenauigkeit der Profilschraffenmethode.  
Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 162, 1971
- /12/ STEWARDSON P.B. (1976): The Wild Avioplan OR1 Orthophotosystem  
Presented paper, XIII. ISP-Kongreß, 1976

Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 151 - 168

WALDKARTIERUNGEN IN DER SCHWEIZ

von

O. Kölbl

Adresse des Autors:

Dr. O. Kölbl, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen,  
CH-8903 Birmensdorf ZH, Schweiz

## ZUSAMMENFASSUNG

In der Schweiz wird das Luftbild sehr intensiv für die Herstellung von Bestandskarten und die waldbauliche Planung genutzt. Die Verfahren zur Erstellung der Waldkarten wurden sehr stark durch die Bewirtschaftungsmethoden, aber auch durch Besonderheiten der Verwaltungsstruktur und den Besitzverhältnissen geprägt. Im vorliegenden Aufsatz wird versucht, die Entwicklung bei der Waldkartierung parallel zu den waldbaulichen Bestrebungen aufzuzeigen.

## 1. EINFÜHRUNG

In der Schweiz wird das Luftbild im Zusammenhang mit der waldbaulichen Planung intensiv für die Herstellung von Bestandeskarten verwendet. Aus der Sicht eines Photogrammeters mag dies als fortschrittlich erscheinen, es wäre aber verfehlt, die Kartiermethoden, wie sie hier praktiziert werden, ohne weiteres auf ausländische Verhältnisse übertragen zu wollen. Die Verfahren zur Herstellung von Waldkartierungen und die Verwendung der Bestandeskarten wurde sehr stark durch die Bewirtschaftungsmethoden, aber auch durch Besonderheiten der Verwaltungsstruktur und der Eigentumsverhältnisse bestimmt.

Aller Wald der Hochgebirgsregion und darüber hinaus der größte Teil der übrigen Regionen der Schweiz ist "Schutzwald". Die Erhaltung dieser Wälder ist für die Umwelt von größter Bedeutung. Entsprechende gesetzliche Regelungen wurden aber erst erlassen, als insbesondere in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts die Folgen einer starken Übernutzung der Wälder zu einer Häufung von Naturkatastrophen führten. Mit dem ersten Forstpolizeigesetz von 1876 wurden die Wälder der Hochgebirgsregion unter die Oberaufsicht des Bundes gestellt; der Wirkungsbereich dieses Gesetzes wurde später (1902) auch auf die Regionen des Mittellandes ausgedehnt. Das Gesetz schreibt eine Erhaltung der Waldfläche vor, verbietet für den Schutzwald den Kahlschlagbetrieb und verlangt eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder. Zur Sicherstellung dieser Forderungen wurden Vorschriften zur Schulung und zur Wahl des Forstpersonals erlassen; es wurden aber auch Zusicherungen für finanzielle Unterstützungen bei verschiedenen forstlichen Maßnahmen gegeben. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß in der Schweiz mehr als 70 % der Gesamtwaldfläche auf öffentliche Waldungen entfallen (Staatswald, vor allem aber Gemeinde- und Korporationswald). Die Aufsicht über die Wälder allgemein und die Erstellung von Wirtschaftsplänen für den öffentlichen Wald erfolgt zentral durch die kantonalen Forstdienste. Eine wichtige Grundlage für die planerischen Maßnahmen sind neben Erhebungen des Holzvorrats und Schätzungen des Zuwachses geeignete Waldpläne und Bestandeskarten. In den Waldplänen gelangen insbesondere die Eigentumsgrenzen, das Erschließungsnetz und die Flächen der Bewirtschaftungseinheiten zur Darstellung; in den Bestandeskarten werden dagegen die einzelnen Waldbestände nach Alter, Mischungsgrad zwischen Laub- und Nadelbäumen sowie nach deren Dichte ausgedehnt.

Im folgenden wird die Entwicklung der Waldkartierung in Verbindung mit den waldbaulichen Zielsetzungen aufgezeigt. Die Betrachtungen konzentrieren sich auf eine beschränkte Region im schweizerischen Mittelland (Kanton Aargau), sind aber weitgehend übertragbar auf andere Gebiete. Die ersten Waldpläne wurden im 18. Jahrhundert erstellt (Bild 1). Detaillierte Vorschriften über den Inhalt derartiger Pläne sind beispielsweise in der "Wald- Holz- und Forstverordnung" für die österreichischen Vorlande (1786) enthalten. Diese Kartierungen blieben aber auf kleinere Gebiete beschränkt. Die Entwicklung im 19. Jahrhundert ist kantonsweise unterschiedlich verlaufen. Grundlage für die Waldkartierung bildeten zunächst vielfach spezielle Waldvermessungen, erst später konnte auch auf topographische Kartierungen und auf die Übersichtspläne im Maßstab 1:5 000 und 1:10 000 zurückgegriffen werden. Diese Waldpläne genügten allerdings nicht mehr, als der Kahlschlagbetrieb und damit der Altersklassenwald ab der Jahrhundertwende aufgegeben wurde und kleinflächigere Bewirtschaftungsmethoden zur Anwendung gelangten. Um eine Übersicht über die Bestandesverteilung zu erhalten, wurden detaillierte Pläne benötigt, die aber mit terrestrischen Erhebungen nur schwer zu erreichen waren; erst durch die Einbeziehung des Luftbildes gelangte man zu zufriedenstellenden Bestandeskarten.

Heute wird für über 70 % der öffentlichen Waldungen das Luftbild zur periodischen Erstellung von Bestandeskarten benutzt /1/.

In der Praxis erfolgt die Luftbildauswertung vielfach nach relativ einfachen Verfahren. In der letzten Zeit wurden auch Methoden zur Automatisierung der Bestandeskartierung entwickelt. Besondere Bedeutung kommt dabei Verfahren zu, bei denen die Luftbildinterpretation nach wie vor visuell erfolgt, dagegen die kartographischen Arbeiten und die Flächenplanimetrierung mit den Hilfsmitteln der elektronischen Datenverarbeitung ausgeführt werden.



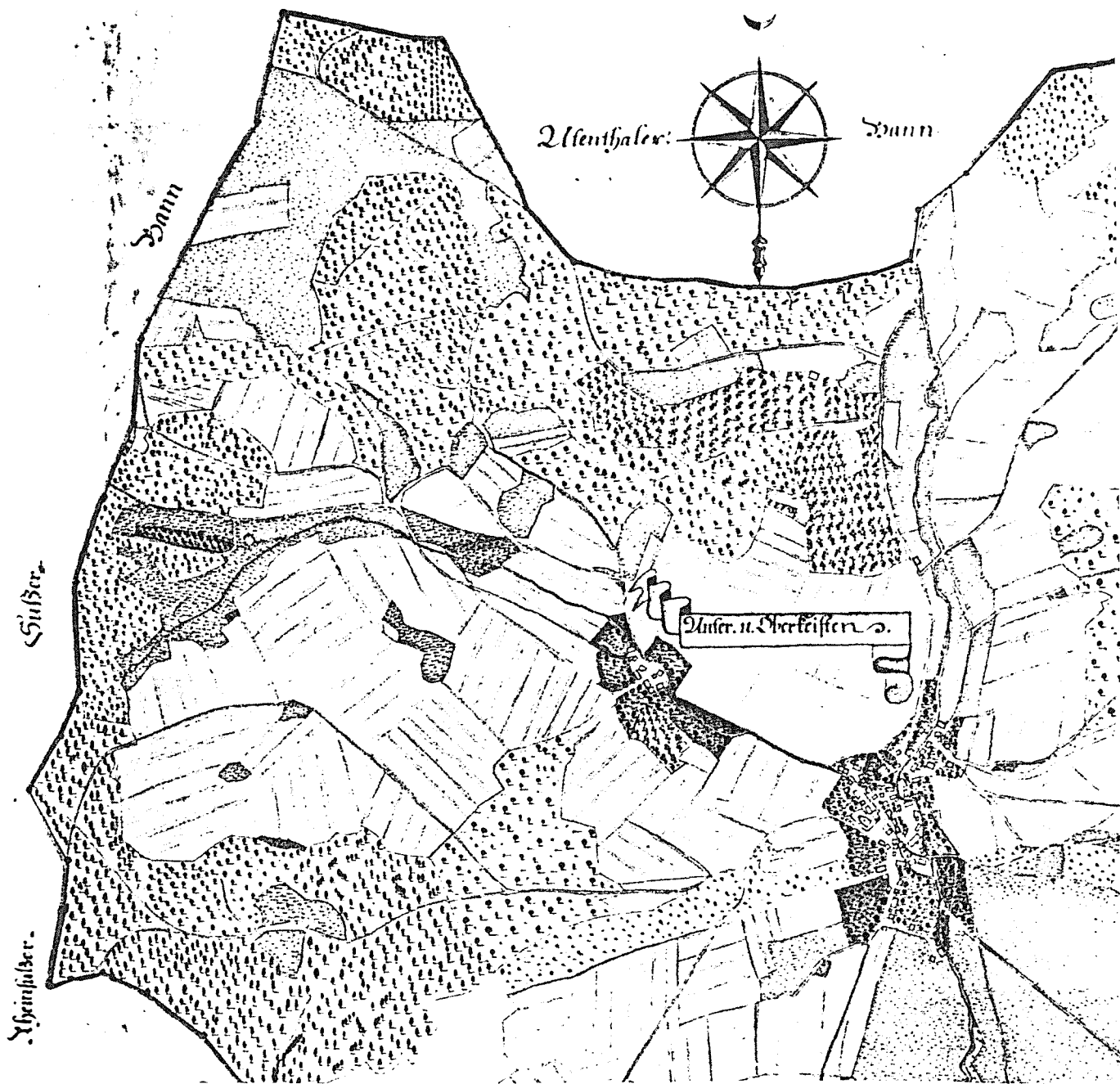


Bild 1: Ausschnitt aus dem Plan der Gemeinde Keisten (AG) mit detaillierten Angaben über den Waldbestand, angefertigt im Auftrag der Vorderösterreichischen Verwaltung im Jahre 1778. Maßstab des Plans ca. 1:6 200, Reproduktion 4-fach verkleinert. Als Waldtypen wurden ausgedehnt: "Dannen Holz, Laubholz, Eichenholz, Mischholz, Gestrippholz ...". (Reproduktion mit freundlicher Genehmigung des Aargauer Staatsarchivs).

## 2. GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG

Das Fricktal, die Landschaft südlich des Rheins, gegenüber dem Schwarzwald, war bis 1802 Teil der Vorderösterreichischen Lande mit den "Kammeralherrschaften" Rheinfeldern und Laufenburg. Aus der am 28. Februar 1786 unter der Regierungszeit von Joseph II erlassenen Wald- Holz- und Forstverordnung seien folgende beide Paragraphen zitiert:

§ 9. Alle Kammeralwaldungen, worüber noch keine ordentlichen Mappen (Pläne) vorhanden sind, sollen wenigstens binnen einer Jahresfrist mit Beyziehung eines Forstverständigen genau ausgemessen, ordentlich beschrieben, und in eine, oder, wo die Waldungen zu sehr von einander entfernt sind, in mehrere Mappen gebracht werden. Diese Mappen sind so einzurichten, daß daraus genau gesehen werden kann, wo, und auf wie viele Jochen ganz ausgewachsenes, halbausgewachsenes, und junges Holz steht, auch mit welcher Holzgattung der Grund überall bewachsen ist, damit die Schläge, nach der weiteren Vorschrift darnach ausgemessen werden mögen.

§13. Was für die Kammeralwaldungen verordnet ist, soll ebenfalls bey den landesfürstlichen Städten und Märkten (sowie den Privatgütern und Klöstern, Anmerkung des Verfassers entspr. § 14) zum Besten der dasigen Gemeinden in Vollzug gesetzt werden. Die Magistratspersonen, welche binnen Jahresfrist die vorgeschriebene Mappirung und Berichtigung der ihren Gemeinden zustehenden Wälder nicht aufnehmen, und hierüber das Protokoll, nebst der Mappe, und Beschreibung an die Landesstelle einschicken würden, sollen ohne weiteres mit einer Strafe von 25 fl. welche sie aus eigenem Beutel zu bezahlen haben, belegt werden.

Diese Forstverordnung ist historisch äußerst interessant und vermittelt einen Einblick in die damaligen Bestrebungen auf dem Gebiete der Waldbewirtschaftung, zeigt aber auch welche Bedeutung detaillierten Waldplänen zugemessen wurde.

Zu jener Zeit stellte der Wald einen ganz wesentlichen wirtschaftlichen Faktor dar. Das Holz war als Baumaterial sowie als Brennstoff unersetzlich und wurde in großen Mengen benötigt. Ferner wurde der Wald vielfach beweidet und die zahlreichen Eichenwälder wurden intensiv für die Schweinemast genutzt. Die relativ starke Bevölkerungszunahme in jener Zeit führte im Schweizer Mittelland zur Übernutzung der Wälder und in der Folge zu einer ausgesprochenen Holzverknappung. Die Bestrebungen zur Intensivierung der Holzproduktion führten zum Entstehen einer eigentlichen Forstwirtschaft. Angestrebt wurden für die Beschaffung von Bauholz reine Nadelwälder mit Umtriebszeiten von 70 bis 100 Jahren sowie Nieder- und Mittelwälder zur Produktion von Brennholz; bei letzteren handelt es sich um Laubwälder mit

Stockausschlägen, wobei Umtriebszeiten von 15 bis 30 Jahren üblich waren. Die Bewirtschaftung dieser Wälder erfolgte vorwiegend im Kahlschlagbetrieb, wobei die jährlichen Schläge, entsprechend den festgelegten Umtriebszeiten, streng geometrisch eingeteilt wurden. Für diese Flächenaufteilung nach Jahresschlägen und für die Überwachung der Nutzung bildeten die Waldkarten eine wichtige Grundlage (Bild 1).

Nach 1803 (Neugründung der Eidgenossenschaft) wurden in zahlreichen Kantonen Forstgesetze erlassen und die Waldvermessung vorangetrieben. Im Kanton Aargau z.B. konnte die Waldvermessung bereits 1870 abgeschlossen werden; die Kartierung erfolgte im Maßstab 1:4 000. Diese Waldpläne entsprachen dem damaligen Konzept der Waldbewirtschaftung. Der Kahlschlagbetrieb brachte vor allem in Bergregionen erhebliche Nachteile mit sich und wurde entsprechend dem Eidg. Forstgesetz (1876) zunächst in der Hochgebirgsregion, nach 1902 auch im Mittelland durch den Femelbetrieb abgelöst. Nach der Jahrhundertwende begann man auch die Nieder- und Mittelwälder in Hochwälder umzuwandeln und strebte anstelle der nach Altersklassen gegliederten Rheinbestände natürlichere Bestandesstrukturen an. Dies bedeutet insbesondere für das Mittelland eine intensive kleinflächige Mischung von Laub- und Nadelbäumen. Auf diese Weise entstanden zum Teil sehr komplexe Bestandesstrukturen, wobei es erhebliche Mühe bereitete, mittels terrestrischer Methoden geeignete Bestandeskarten für die waldbauliche Planung herzustellen.

Zur Überbrückung dieser Schwierigkeiten hatte man schon sehr früh versucht, das Luftbild mit einzubeziehen. Knuchel /2/ versuchte bereits 1925, für derartige Aufgaben Fliegeraufnahmen zu verwenden. Dabei handelte es sich aber um isolierte Arbeiten, da zu dieser Zeit noch keine systematische Befliegung des Bundesgebietes erfolgte, zudem war die erreichbare Bildqualität noch recht bescheiden. Erst durch die Entwicklung der Hochleistungskammern nach dem 2. Weltkrieg und der Erstellung systematischer Befliegungen in regelmässigen Intervallen durch die Eidg. Landestopographie stand auch für forstliche Aufgaben geeignetes Luftbildmaterial zu Verfügung (siehe u.a./3/4/5/6/).

### 3. PHOTOGRAMMETRISCHE BESTANDESKARTIERUNG IN DEN FORSTÄMTERN

Wie bereits erwähnt, erfolgen die Forsteinrichtung und die Ausarbeitung von Wirtschaftsplänen für die öffentlichen Waldungen in der Regel zentralisiert

durch kantonale Behörden. Dies erleichtert den Einsatz spezialisierter Verfahren wie die photogrammetrische Bestandeskartierung. Die Kartierarbeit selbst wird vielfach von den kantonalen Forstbehörden mit relativ einfachen Mitteln ausgeführt, lediglich für stark kupiertes Gelände werden auch Stereokartiergeräte verwendet.

Die Kartierung erfolgt fast durchwegs mit dem Luftbildmaterial der Eidg. Landestopographie. Es handelt sich dabei um panchromatische Bilder im Maßstab ca. 1:24 000; größere Bildmaßstäbe werden nur in Ausnahmefällen verwendet. Als Kartengrundlage dienen der Übersichtsplan im Maßstab 1:5 000 bzw. 1:10 000 oder Vergrößerungen der Landeskarte 1:25 000.

Der Übersichtsplan bildet für Wald- und Weidegebiete (Vermessungszone B; sie umfaßt 44 % des Bundesgebietes) gleichzeitig die Basis für die Grundbuchsvermessung; allerdings liegt gegenwärtig erst von 40 % dieser Zone eine Parzellarvermessung vor /7/.

Vor der eigentlichen Bestandeskartierung erfolgt im allgemeinen eine Vorinterpretation der Luftbilder, wobei die Bestandesgrenzen unmittelbar ins Luftbild (oder auf eine Folie) eingetragen werden. Kriterium für diese Bestandesauscheidung sind das Alter der Bestände, deren Mischungsgrad sowie die Bestandesdichte. Diese Arbeit erfolgt unter dem Spiegelstereoskop zum Teil auf Vergrößerungen. Für die Übertragung der Interpretationsergebnisse in die Karte werden vielfach optische Projektionsgeräte verwendet. Im Prinzip wird damit eine zonenweise Entzerrung ausgeführt. Als Referenz für diese Entzerrung dient der bereits erwähnte Übersichtsplan. Das Kartenbild liefert im Mittelland und Alpenvorland genügend Paßpunkte (Straßen, Gerinne, Waldgrenzen) für ein derartiges Vorgehen. Nach der Einpassung wird das Lineament mit Bleistift auf den Plan übertragen; dieses Kroki wird anschließend im Gelände verifiziert, gleichzeitig werden die Bestandestypen festgelegt. Diese Geländebegehung wird meist zusammen mit dem lokalen Förster ausgeführt, wobei gleichzeitig die waldbaulichen Maßnahmen für die kommende Wirtschaftsperiode besprochen werden. Anschließend erfolgt die kartographische Überarbeitung der Bestandeskarte und die Flächenplanimetrierung.

Der Zeitaufwand für die Luftbildinterpretation und die Kartierung des Lineaments beträgt ca. 1/3 des gesamten Zeitaufwands (ohne Geländeverification), die Kartenreinzeichnung erfordert ein weiteres Drittel ebenso wie die Flächenplanimetrierung /8/. Für diese Arbeiten werden keine

kostenintensiven Geräte benötigt, außerdem ist die Bedienung der Geräte recht einfach und kann vom Forstpersonal in eigener Regie ausgeführt werden.

Anstelle des optischen Projektionsgerätes wären auch andere einfache photogrammetrische Auswertegeräte denkbar. Geräte wie Stereotop oder Radiallineplotter sind allerdings nicht so einfach zu bedienen und verlangen eine beträchtlich längere Einarbeitungszeit. Außerdem läßt sich mit diesen Geräten keine 5-fache Vergrößerung erzielen; die gleichen Probleme ergeben sich bei Einzelbildauswertegeräten wie beim Luftbildumzeichner. In diesem Zusammenhang ist es erwähnenswert, daß auch beim französischen Kataster lange Jahre mit ähnlichen Projektionsgeräten gearbeitet wurde, wie sie im Schweizer Forstwesen verwendet werden /9/.

#### 4. AUTOMATISIERUNG DER BESTANDESKARTIERUNG

Die Verwendung einfacher Verfahren für die Bestandeskartierung weist zahlreiche Vorteile auf, ist aber auch mit einigen Nachteilen verbunden. Das Verfahren bietet nur sehr beschränkte Möglichkeiten für eine Kartenachführung und die Genauigkeit ist durch Systemfehler entscheidend begrenzt. Zudem läßt sich das Verfahren in stark kupertem Gelände nicht verwenden. Werden für diese Aufgaben Stereokartiergeräte eingesetzt, so ergeben sich über die Hilfsmittel der elektronischen Datenverarbeitung besondere Rationalisierungsmöglichkeiten. Allerdings handelt es sich bei der Stereokartierung und der anschließenden Datenverarbeitung um technisch hochqualifizierte Arbeiten, die auch beträchtliche Investitionen erfordern. Ob sich diese Verfahren im Forstwesen schließlich auch auf breiter Basis durchsetzen können, läßt sich gegenwärtig noch schwer beurteilen.

Die Entwicklungsarbeit für eine derartige automatisierte Bestandeskartierung erfolgte innerhalb der letzten beiden Jahre an der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Bei diesem Verfahren wird das Lineament der Bestandeskarte an einem photogrammetrischen Stereokartiergerät digitalisiert; die Reinzeichnung der Bestandeskarte erfolgt dann an einem automatischen Zeichentisch (Bild 2), parallel dazu erfolgt die Berechnung der Bestandesflächen /10/.

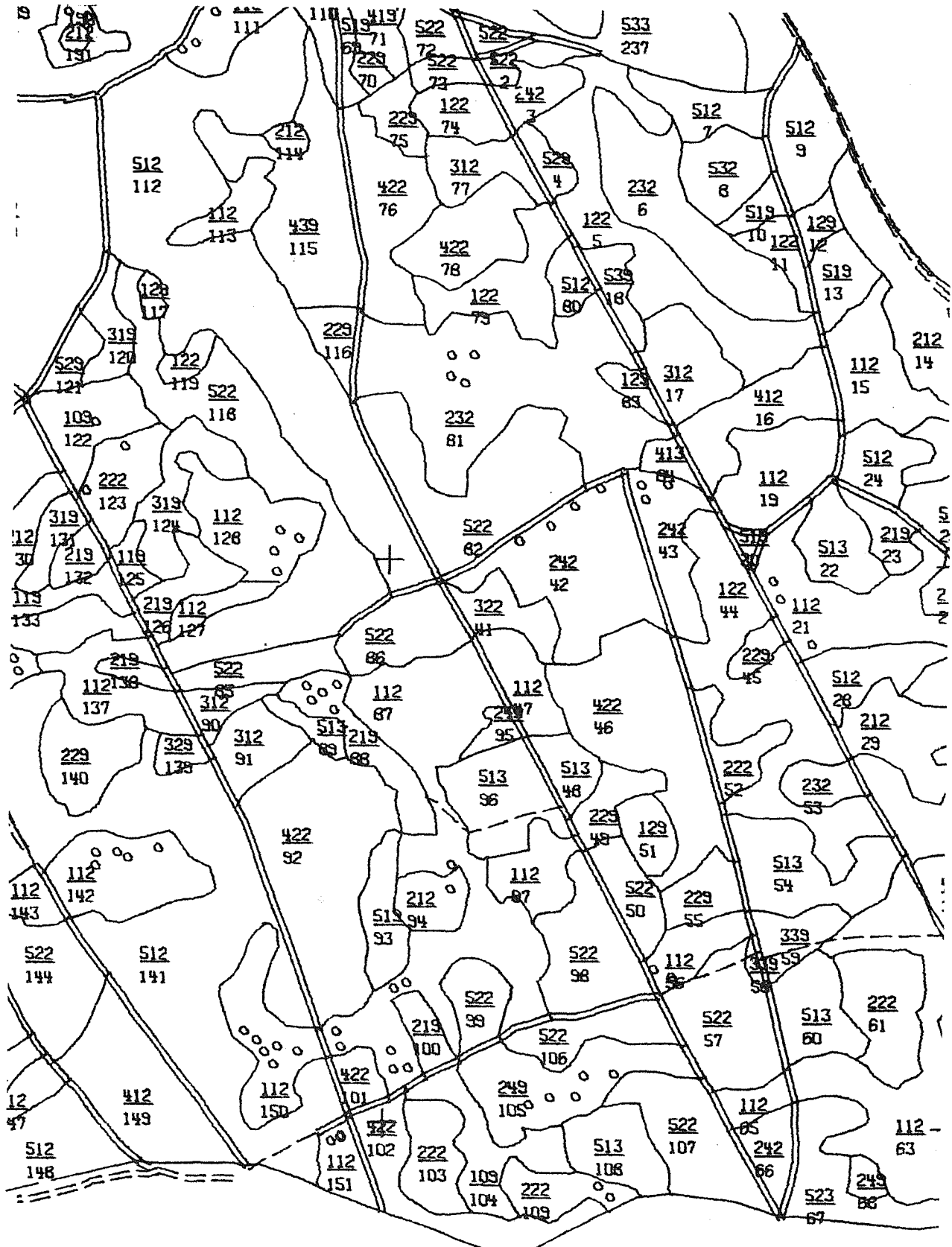


Bild 2: Ausschnitt aus einer auf einem Trommelplotter gezeichneten Bestandeskarte mit Wegnetz und Bestandestypisierung (Maßstab 1:5 000). Zwischen der wünschbaren kartographischen Qualität und dem vertretbaren Aufwand muß bei diesen Kartierungen ein sinnvoller Mittelweg gefunden werden.

Durch entsprechende Vorkehrungen im Rechenprogramm erübrigt es sich, eine Bestandesgrenze als geschlossene Linie zu digitalisieren. Bei der Datenverarbeitung wird das Umfahungspolygon eines Bestandes selbständig rekonstruiert und die Koordinaten der Grenzpunkte der Flächenberechnung zugeführt (Bild 3). Damit entfällt das zweimalige Abfahren eines Linienzuges bei angrenzenden Beständen. Im Rechenprogramm ist außerdem eine kartographische Überarbeitung des Lineaments vorgesehen, um Zeichengenauigkeiten bei Verzweigungen oder Einmündungen von Linienzügen zu korrigieren.

Ein digitales Kartierverfahren bietet wegen seiner Flexibilität beträchtliche Vorteile gegenüber graphischen Auswerteverfahren. Dies kommt besonders bei geometrischen Umformungen einer Karte zum Tragen. Derartige Transformationen müssen nicht mehr auf Vergrößerungen oder Verkleinerungen beschränkt bleiben, sondern es lassen sich auch perspektive Verzerrungen berechnen, da die gemessenen Modellhöhen im Zuge der Digitalisierung mitregistriert wurden. Durch solch eine Umformung läßt sich die Bestandeskarte der Geometrie eines Luftbildes anpassen und es kann dieses mit der Signaturenkarte überlagert werden. Diese Besonderheit ist für eine Nachführung der Karte von großem Vorteil, da sich Änderungen im Bestand (Schläge, Verjüngungen) auf diese Weise sehr leicht erfassen lassen (Bild 4). Im Zuge dieser Arbeit kann auch die Grundbuchvermessung und die Einmessung des Wegenetzes in die Kontrolle mit einbezogen werden.

Prinzipiell ergeben sich damit die gleichen Arbeitsbedingungen wie bei der Verwendung von Orthophotos, allerdings ist gegenwärtig die Herstellung von Orthophotos mit wesentlich höheren Kosten verbunden. Zu bedenken wäre auch, daß gerade im Wald die Umwandlung eines Luftbildes in ein Orthophoto strenggenommen gar nicht zu erreichen ist, da für die Orthogonalisierung als Höhenbezug entweder der Kronenraum oder die Geländehöhe verwendet wird, dementsprechend ist immer mit Versetzungen zwischen diesen beiden Bezugsflächen zu rechnen. Waldkarten, die ausschließlich aus Orthophotos abgeleitet wurden, sind daher immer mit gewissen Lagefehlern behaftet.

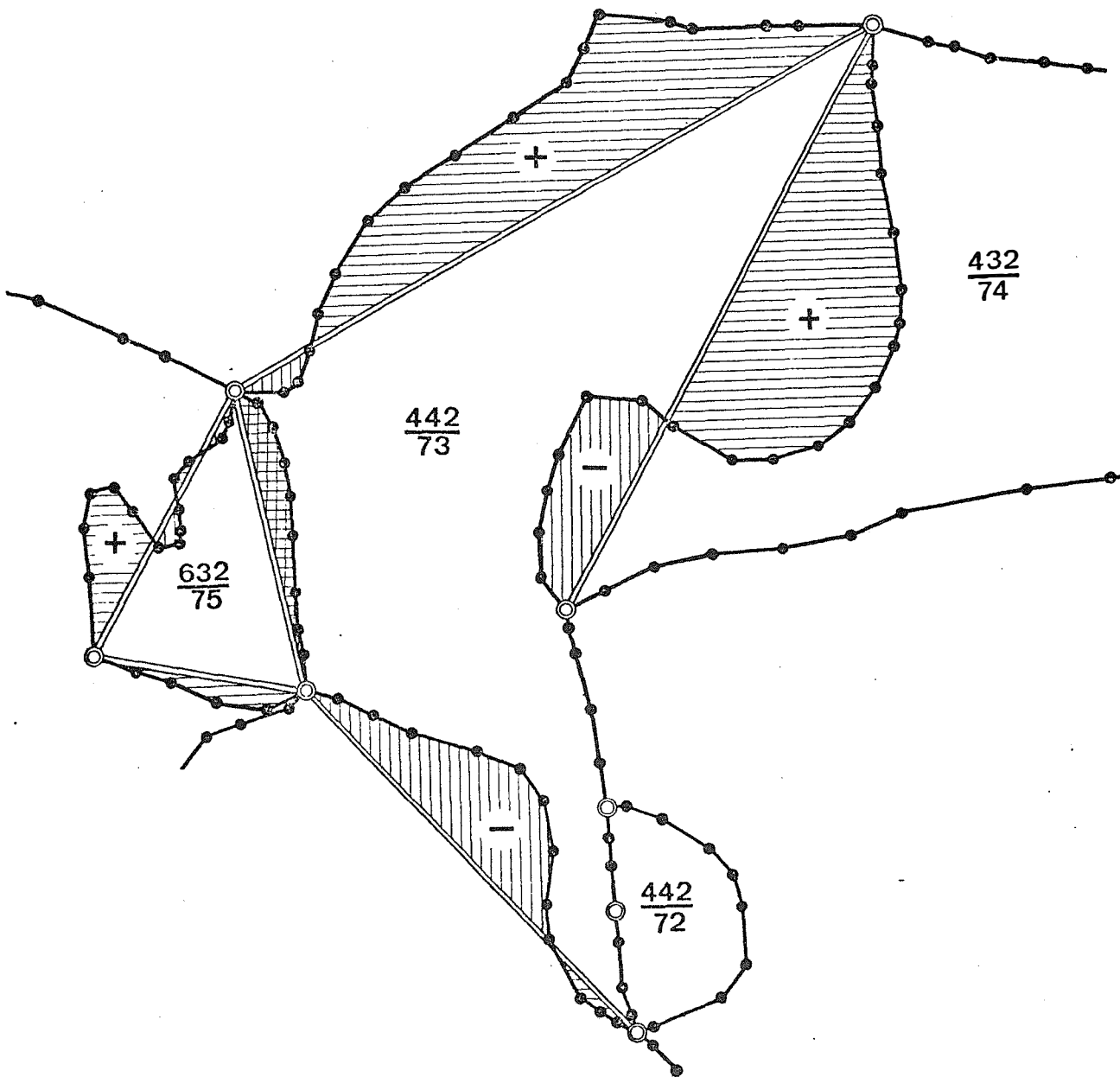


Bild 3: Approximation von Bestandesgrenzen durch eine Punktfolge für eine digitale Kartierung. Bei der Abtastung der Linienzüge im Stereokartiergerät werden die Koordinaten dieser Punkte mittels eines elektronischen Registriergeräts auf Lochstreifen (oder Magnetband) festgehalten; Verzweigungspunkte (Doppelringe) werden durch einen speziellen Code gekennzeichnet. Die Flächenberechnung erfolgt in zwei Abschnitten: zuerst wird die Fläche zwischen der geradlinigen Verbindung von zwei aufeinanderfolgenden Bestandesgrenzen (schraffierter Bereich) berechnet, anschließend erfolgt die Flächenberechnung des Vielecks, welches nur durch die Knotenpunkte gebildet wird. Die Auswahl der zugehörigen Knotenpunkte erfolgt vollautomatisch im Computer genauso wie die gesamte Flächenberechnung.





Figur 4: Überlagerung einer Bestandskarte aus dem Jahre 1971 mit einem Luftbild, aufgenommen 1976, Veränderungen im Bestand können dabei sehr leicht erkannt und nachgetragen werden (Aufnahme der Eidg. Landestopographie Wabern-Bern)

## 5. KOSTENABSCHÄTZUNG FÜR DIE PHOTOGRAMMETRISCHE BESTANDESKARTIERUNG

Für eine Beurteilung der beschriebenen Kartierverfahren sind Kostenabschätzungen von großem Interesse. Allerdings sind Kostenangaben immer mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet, insbesondere wenn sich ein Verfahren noch im Entwicklungsstadium befindet. Auch für Arbeitsabläufe, die in den Routinebetrieb eines Amtes integriert wurden, sind zuverlässige Zeitstudien nur sehr schwer zu erhalten.

Eine interessante Zusammenstellung von Zeitabschätzungen wurde im Rahmen der Kartierarbeiten für den Kanton Zug versucht /8/. Demnach werden in der Praxis bei Verwendung einfacher Kartiergeräte für die Bestandesinterpretation und die Kartierung des Lineaments 6 - 16<sup>h</sup> für 100 ha benötigt. Die Werte schwanken sehr stark und hängen von der mittleren Bestandesgröße, den Geländebeziehungen und schließlich auch von der Erfahrung des Operateurs ab. Der Autor selbst weist für die Bestandeskartierung an einem Stereokartiergerät (Aviograph B 8 von Wild) einen Zeitaufwand von 8 - 13<sup>h</sup> aus. Diese Werte beruhen auf Kartierarbeiten für eine Waldfläche von ca. 6 000 ha und erstreckten sich über einen Zeitraum von insgesamt 2 Jahren. Für den Voralpenbereich wird ein Zeitaufwand von 8<sup>h</sup> für 100 ha bei einer mittleren Bestandesgröße von 0.5 ha ausgewiesen; bezogen auf den einzelnen Bestand ergibt sich ein Aufwand von 2 - 3 Min.

Für die digitale Bestandeskartierung liegen noch keine derartig umfangreiche Zeitstudien vor. Nach der bisherigen Erfahrung werden für die Digitalisierung der Bestandesgrenzen 1 - 2 Min. pro Bestand (Bestandesgröße im Mittel 0.7 - 1.5 ha) benötigt, die Eingabe der Code-Nummern für die automatische Flächenbeschriftung erfordert weitere 0.5 - 1 Min. Im Gegensatz zu den vorher erwähnten Kartierarbeiten für den Kanton Zug erfolgten diese Kartierungen nach einer vorangegangenen Vorinterpretation. Die Zeitstudie basiert auf Kartierarbeiten über eine Waldfläche von 400 ha. Damit konnte vor allem gezeigt werden, daß sich bei der Digitalisierung der Bestandesgrenzen kaum eine Verzögerung gegenüber einer graphischen Auswertung ergibt. Als Kompensation erübrigt sich bei der digitalen Methode die absolute Modellorientierung, da diese im Zuge der Datenverarbeitung numerisch ausgeführt werden kann.

Die Gesamtkosten für die digitale Bestandeskartierung lassen sich nur recht approximativ beziffern, da die Arbeitszeit, welche für die Datenverarbeitung benötigt wird, erheblichen Schwankungen unterliegt. Hauptarbeit ist hierbei das Aufsuchen und Eliminieren von fehlerhaften Angaben bei der Datenregistrierung. Diese wird zwar durch durchgreifende Rechenkontrollen und eine detaillierte Fehlerdiagnose durch das Rechenprogramm sehr erleichtert, trotzdem werden in ungünstigen Fällen bis zu 10 Min. für die Korrektur eines einzigen Datenfehlers benötigt. Gegenwärtig wird für die Datenmanipulation noch etwa die gleiche Zeit benötigt wie für die Digitalisierung am Stereokartiergerät. Die Gesamtkosten für die Stereokartierung, die Kartenreinzeichnung am automatischen Zeichentisch und die Flächenberechnung belaufen sich zur Zeit noch auf 6 - 10 sFr pro ha, bei einem angenommenen Stundensatz von 40 sFr (die reinen Rechenkosten am Computer wurden hierbei mit 2 sFr beziffert). Die Gesamtkosten liegen damit in etwa der gleichen Höhe wie für die Erstellung von Bestandeskarten nach einfachen Kartierverfahren. Die große Kostenspanne zeigt aber, daß es schließlich sehr von den Umständen (effektive Lohnkosten, Arbeitsleistung, Verfügbarkeit der Geräte, Nachführungsmöglichkeit der Karte) abhängt, welches Verfahren am zweckmäßigsten und kostengünstigsten angewendet werden kann. Der gewählte Kostenansatz von 40 sFr mag hoch erscheinen, entspricht aber in etwa den Ansätzen eines Vermessungsbüros.

## 6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

In dem vorliegenden Beitrag konnte ein Aufgabenbereich aufgezeigt werden, bei welchem der Einsatz des Luftbildes mit Erfolg in die Praxis eingeführt und eine weite Verbreitung erzielt werden konnte (vgl. auch /11/). Dies ist bemerkenswert, verfügt doch die Schweiz über ein hervorragendes topographisches Kartenwerk. Es hatte sich aber gezeigt, daß bei der vorherrschenden Waldbehandlung eine detaillierte Bestandeskartierung sinnvollerweise nur mit Hilfe von Luftbildern zu erreichen ist. Von großer Bedeutung ist ferner, daß die Verfahren der Luftbildauswertung relativ einfach sind und zumindest die Bestandesabgrenzung vom Forstpersonal selbst ausgeführt werden kann. Dies ist bei thematischen Kartierungen besonders wichtig, da diese Arbeiten selten genügend objektiviert werden können, wie dies beispielsweise für eine topographische Kartierung möglich ist. Die Inhomogenität des Waldes verlangt für eine kartenmäßige Darstellung eine starke Generalisierung und Vereinfachung, die unter dem Gesichtspunkt

der vorgesehenen Waldbehandlung vorzunehmen ist. Dieser Interpretationsvorgang erlaubt dem Forstingenieur, sich gleichzeitig mit dem Operat vertraut zu machen und die so gewonnene Erfahrung bei der Ausarbeitung des Wirtschaftsplanes mit zu verwerten. Wird dagegen die Bestandeskarte von einem Außenstehenden bearbeitet, so besteht die Gefahr, daß keine genügende Koordination zwischen dem Kartenhersteller und dem tatsächlichen Benutzer besteht und die Karte schließlich ungenügend genutzt wird. Aus dieser Sicht wäre auch eine Automatisierung des Interpretationsvorgangs wie sie u.U. über Multispektralaufnahmen denkbar ist, nicht unbedingt erstrebenswert; es sei denn, es ließe sich auf diese Weise erheblich mehr an Information aus Luftaufnahmen entnehmen wie beispielsweise eine gesicherte Vorratsschätzung. Aus der Sicht der heutigen technischen Möglichkeiten stellt aber die Bestandeskartierung eine optimale Form der Luftbildauswertung für Aufgaben der betrieblichen Planung dar.

Dieser Aufsatz entstand im Rahmen der Arbeiten der Abteilung Inventar und Ertrag und ich danke dem Leiter dieser Abteilung, Herrn Dr.P. Schmid-Haas, für die freundliche Unterstützung. Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn E. Wullschleger, Leiter der Abteilung für das Landesforstinventar und früherer Kantonsoberrforster im Kanton Aargau, der sich intensiv mit der historischen Entwicklung der Forstwirtschaft befaßt und mir in sehr entgegenkommender Weise seine Erfahrung und seine Materialien zur Verfügung stellte.

SCHRIFTTUM

- /1/ WULLSCHLEGER E., BERNADZKI E., u. MAHRER F.: Planungsmethoden im Schweizer Wald, Berichte der Eidg. Anstalt für das forstl. Versuchswesen (EAFV), Nr.143, S.52, 1975
- /2/ KNUCHEL H.: Über Bestandeskarten und Bestandesprofile. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 95, 373 - 383, 1944
- /3/ HÄRRY H.: De l'importance de la vue aérienne et de la mensuration aérophotogrammétrique pour la forêt. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 102, 20 - 34, 1951
- /4/ WULLSCHLEGER E.: Instruktion für die Ausarbeitung der Wirtschaftspläne der öffentlichen Waldungen im Kanton Aargau 1956. Aargau 1956
- /5/ STELLINGWERF D.A.: Methods and results of a forestry photointerpretation. Publication of the International Training Centre for Aerial Survey Ser. B 8, S.11, 1960
- /6/ BOON, D.A.: Ergebnisse einer forstlichen Luftbildkartierung. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstl. Versuchswesen 38, 121 - 132, 1962
- /7/ Deuxième rapport de la Commission "Cadastre polyvalent" de la Société suisse des mensurations et améliorations foncières, S.5, Lausanne 1976
- /8/ FREI CH.: Methoden und Aufwand für eine Bestandeskartierung. Berichte EAFV 147, 19 - 48, 1976
- /9/ HERBIN P.: Le cadastre français. Paris 1953
- /10/ KÖLBL O.: Photogrammetrische Bestandeskartierung mit automatisierter Flächenberechnung und Kartenreinzeichnung. Berichte EAFV 147, 49 - 81, 1976
- /11/ SCHMID-HAAS P.: Aufgabe und Anwendung der Bestandeskarte. Berichte EAFV 147, 7 - 18, 1976

Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 169 - 188

ERSTELLUNG EINER KARTE 1:25 000 IM SÜDEN VENEZUELAS

von

Josef Fischer

Adresse des Autors:

Dipl.-Ing.J.Fischer, Fa. Tranarg C.A., Apartado 68098,  
Caracas 106, Venezuela

## 1. EINLEITUNG

Mit der Absicht, das Kartenwerk Venezuelas im Maßstab 1:25 000 zu vervollständigen, beauftragte die venezolanische Regierung, vertreten durch das Ministerium für Bergbau und Erdöl, die Firma Tranarg C.A. mit der photogrammetrischen Aufnahme eines Gebietes von annähernd 40 000 km<sup>2</sup> im Südosten Venezuelas.

Diese praktisch unerschlossene Zone ist zum Großteil von dichtem Urwald überzogen und entbehrt jeglicher Verbindungswege, sowohl zu Land als auch zu Wasser. Wohl durchziehen dieses Gebiet riesige Flüsse, gespeist durch periodisch auftretende tropische Regengüsse, doch sind diese durch viele Stromschnellen unschiffbar gemacht. Es ist daher naheliegend, daß eine solche Region mit normalen photogrammetrischen Methoden kaum zu wirtschaftlich annehmbaren Kosten vermessen werden kann, und auch der notwendige Zeitaufwand bei diesen Praktiken zu hoch sein würde. Daraus ergibt sich also die Notwendigkeit, mittels Anwendung neuer Methoden und modernerer Instrumente eine bessere Lösung zu finden.

## 2. BESCHREIBUNG DER ZONE

Venezuela, im nördlichsten Teil Südamerikas gelegen, hat eine Oberfläche von 912 050 km<sup>2</sup>. Innerhalb dieses Staates, zwischen Brasilien im Süden, dem Caura-Fluß im Westen, dem Orinoko-Fluß im Norden und Guayana (ehem. Britisch-Guayana) liegt venezolanisch Guayana, ein Gebiet, das reich an mineralischen Lagerstätten ist. Man findet dort Gold, Diamanten, Eisen, Bauxit, Mangan u.a. mehr.

### 2.1 Geomorphologie

Venezolanisch Guayana gehört dem präkambrischen Schild an. Es gleicht im Westteil einer riesigen Senke, im Osten einer Hochebene, beide übersät mit einzelnen Bergrücken und auch hohen Tafelbergen (bis zu 2 800 m hoch).

### 2.2 Hydrographie

Zwei große Flüsse, der Caroni und der Cuyuni, sammeln ihre Wasser aus einem Netz von unzähligen Zubringern. Der Caroni hat ein Einzugsgebiet von annähernd 95 000 km<sup>2</sup>. Er mündet nach 925 km in den Orinoko. Der Cuyuni,

etwas kleiner, fließt nach Guayana ab. Am Westrand der Zone befindet sich noch der Caura, ebenso mächtig wie der Caroni und ebenfalls ein Nebenfluß des Orinoko. Alle Flüsse zeichnen sich durch viele Wasserfälle und Stromschnellen aus. Hier im venezolanischen Guayana findet man auch einen der höchsten Wasserfälle der Welt, der Angel-Fall, mit einer freien Fallhöhe von fast 1 000 m.

## 2.2 Vegetation

Die unterschiedliche Vegetation dieser Zone ergibt sich sowohl aus der geographischen Ausdehnung vom 2. bis zum 8. nördlichen Breitengrad als auch aus den verschiedenen Landschaftsformen. Man findet tropischen Regenwald, tropophyten Urwald, Savanne und Palmensümpfe. Die Vegetationszonen sind nicht klar abgegrenzt, im Gegenteil, sie gehen unmerkbar ineinander über, den vorherrschenden Wachstumsbedingungen entsprechend (Henry Pittier). Die wichtigste Flora ist der Regenwald, genährt von reichen Regenfällen während des ganzen Jahres.

Dieser Urwald zeichnet sich durch dichten Baumwuchs mit Baumhöhen bis zu 60 m aus. Die höchsten Bäume bilden mit ihren riesigen Kronen einen Schild, der nur wenig diffuses Sonnenlicht nach unten durchläßt. Der flache Boden erlaubt keine tiefe Verwurzelung. Trotzdem stehen diese hohen Bäume sicher durch brettförmige Stützwurzeln und dadurch, daß sie sich in den Kronen ineinander verfilzen und auch noch durch Lianen verflochten sind. Dadurch sind diese Wälder nur schwer durchdringbar und auch sehr schwer abzuholzen; man findet darin auch keine Lichtungen.

In den tropophyten Urwäldern sind die Baumhöhen geringer. Es gibt dort viele bekannte Holzarten wie z.B. Zeder und Eiche. In der Savanne wächst dünnes, mittelhohes Gras, nur entlang der Flußläufe wird sie von langen, undurchdringlichen Galeriewäldern unterbrochen.

## 2.4 Wetterbedingungen

Reichliche Regenfälle treten das ganze Jahr hindurch auf, jedoch in der Zeit von April bis Oktober mit größerer Intensität. Die Regenfälle lassen in der Zeit von November bis März etwas nach, ohne jedoch gänzlich aufzuhören. Unter dem Einfluß der äquatornahen Sonne verdunstet ein Großteil des Wassers



der Flüsse und der Savanne und führt dadurch zur Bildung von großen Cumulus-Wolken. Auch die Evaporation der Flora trägt ihren Teil dazu bei. So sind die Wolken fast das ganze Jahr über im Gebiet anzutreffen. Sie bilden sich in den Morgenstunden, in einer durchschnittlichen Höhe zwischen 300 und 1 000 m. Während der kurzen Perioden der "Trockenzeit" klart der Himmel zwischen Spätnachmittag und Abend an einigen wenigen Tagen auf.

Diese atmosphärischen Bedingungen grenzen die Zeit für die photographischen Aufnahmen auf die ersten Stunden des Morgens und die letzten Stunden des Nachmittags ein. Durch die Neigung des Sonnenlichtes in diesen Stunden wird die stereoskopische Qualität der Luftaufnahmen eingeschränkt.

### 2.5 Verkehrsverbindungen

Eine einzige Straße verbindet Ciudad Bolivar im Norden am Orinoko mit Santa Elena de Uairen (ca. 16 km von der brasilianischen Grenze) und Icabaru. Diese Straße, ein Teilstück der Panamericana, hat eine Länge von 840 km. Zwischen Ciudad Bolivar und El Dorado ist die Straße auf einer Länge von 400 km asphaltiert; die weiteren 440 km nach Icabaru müssen auf einer Sandstraße zurückgelegt werden. Diese Straße, die quer durch die Gran Sabana geht, war zum Zeitpunkt der Kartenherstellung noch nicht fertig gebaut.

Eine private venezolanische Fluglinie befliegt mit DC-3 (Douglas) die wichtigsten Ortschaften des Gebietes. Es gibt 4 Flüge pro Woche nach El Dorado, Kavanayen, Kamarata, Uriman, Uanken, Santa Elena und Icabaru. Es ist dabei erwähnenswert, daß die genannten Ortschaften zum Großteil nur durch Ansiedlung von Leuten auf Grund der zahlreichen Gold- und Diamantenfunde gebildet wurden.

Die Navigation auf den Flüssen ist wegen der vielen Stromschnellen und Wasserfälle sehr schwierig.

### 3. AUFGABENSTELLUNG

Im Jahre 1971 beschloß das Ministerium für Bergbau und Erdöl ein Programm für die Vermessung der für den Lagerstättenbau interessanten Gebiete im

venezolanischen Guayana. Das Fehlen von guten Karten, die Notwendigkeit der Aufstellung eines Lagerstättenkatasters, die industrielle Entwicklung des Landes und der steigende Bedarf an Rohmaterialien veranlaßte die offiziellen Stellen, ein Gebiet von annähernd 40 000 km<sup>2</sup> photogrammetrisch vermessen zu lassen. Die Karten sollten im Maßstab 1:25 000, mit einem Höhen-schichtlinienintervall von 20 m, in der UTM-6<sup>0</sup>-Streifenprojektion im Blatt-format von 7,5 Längenminuten und 5 Breitenminuten hergestellt werden. Um auch die von diesem Gebiet teilweise bestehenden Luftaufnahmen verwenden zu können, wurden folgende Bedingungen gestellt:

- Bildmaßstab 1:50 000
- Relative Flughöhe 7 620 m
- Luftbildkammer: Format 23 x 23 cm, Brennweite f = 152 mm

Gegen Ende des Jahres 1971 unternahm die Firma Tranarg C.A. mit Hubschrauber einen 3-tägigen Erkundungsflug über dem Gebiet. Dabei wurden Zugangsschwierigkeiten, Organisationsprobleme, Punktauswahl, Netzverteilung, Lokalisation von Operationsbasen, Flugpisten, Vegetationsbedingungen und anderes mehr genauestens untersucht.

Daraus und aus den übrigen Unterlagen konnten folgende Schlüsse für den Arbeitsplan des Projektes gezogen werden:

- 1) Auf Grund der vorherrschenden meteorologischen Bedingungen muß die notwendige Zeit für die Erstellung der Luftaufnahmen auf ein absolutes Minimum reduziert werden.
- 2) Auf Grund der Unbegehrbarkeit des Geländes und der Vegetationsbedingungen muß die Feldarbeit auf ein Minimum reduziert werden.
- 3) Wegen der Wetterbedingungen ist die Seitenmessung der Winkelmessung vorzuziehen.

#### 4. SPEZIELLE METHODOLOGIE UND AUSTRÜSTUNG

Um den oben beschriebenen Bedingungen nachzukommen, wurden folgende Arbeitsmethoden und Instrumente in Anwendung gebracht:

##### 4.1 Luftaufnahmen

Notwendig ist der Einsatz eines Flugzeuges, das in möglichst kurzer Zeit sowohl die Zone als auch die nötige Flughöhe erreichen und mit großer

Geschwindigkeit die Flugstreifen abfliegen kann. Da es in der Zone außer Vegetationsgrenzen und der Hydrographie nur wenig planimetrisches Detail gibt, kann - entgegen der ursprünglichen Absicht - der Bildmaßstab drastisch reduziert werden. Um dabei aber die Höhengenaugkeit nicht unverhältnismäßig zu verschlechtern, ist wegen des besseren Basisverhältnisses Überweitwinkelphotographie zu verwenden.

Als Flugzeug kam ein Lear Jet, Modell 23, mit folgenden Flugeigenschaften zum Einsatz:

- Reisegeschwindigkeit: 860 km/h
- Steiggeschwindigkeit: 12 500 m in 11 Minuten
- Reichweite ungefähr 2 400 km

In einer Spezialtür mit optischem Fenster für Senkrechtaufnahmen wurde eine Wild RC-9 Überweitwinkelkammer installiert. Die Flughöhe über Grund wurde mit 11 000 m, das bedeutet einen Bildmaßstab von 1:125 000, projiziert. Damit konnte theoretisch die notwendige Flugzeit auf ca. 1/7 der ursprünglich vorgesehenen Zeit reduziert werden.

#### 4.2 Feldarbeit

Um die Feldarbeit zu reduzieren, wurden folgende Vorkehrungen getroffen:

- Trennung der Paßpunkte in Höhen- und Lagepunkte
- Anwendung des photogrammetrischen Blockausgleichs anstelle der Streifentriangulation.
- Anwendung der Trilateration, die auch bei nicht einwandfreier Sicht (Nebel, Dunst, Wolken) ausgeführt werden kann.
- Messung der Höhenpaßpunkte vom Flugzeug aus (Laser-APR)

Zur Ausführung standen, neben der normalen Grundausrüstung, folgende spezielle Geräte zur Verfügung:

- 7 Electrotape DM-20 mit Zusatzantenne für extrem weite Messungen.  
Das großschirmige Electrotape DM-20 ist eine Abänderung des herkömmlichen Modells DM-20. Das normale Gerät hat einen eingebauten Schirm von 30 cm Durchmesser, mit dem Entfernungsmessungen bis etwa 50 km möglich sind. Durch die Modifikation einer aufsetzbaren Parabolantenne mit 60 cm

Durchmesser sind einwandfreie Entfernungsmessungen bis etwa 100 km möglich.

- 1 Autotape DM-43 - bestehend aus einer Haupt-(Meß-)Station mit 3-Kanal-Registriergerät - und drei Nebenstationen (Antennen) zur gleichzeitigen Messung von bis zu 3 Distanzen. Das Autotape DM-40 wurde für spezielle Vermessungsprobleme konstruiert. Der grundlegende Unterschied zum Electrotape besteht darin, daß das Autotape auch in einem sich bewegenden Fahrzeug verwendet werden kann. Messungen können erfolgen, wenn

a) die Relativgeschwindigkeit zwischen den Meßstationen kleiner als 370 km/h ist,

b) Sichtverbindung zwischen den Stationen besteht und

c) diese nicht weiter als 100 km voneinander entfernt sind.

Im allgemeinen wird die Hauptstation auf dem fahrenden Fahrzeug (Flugzeug, Schiff oder Auto) montiert.

Um dem Problem der Paßpunktmessung Rechnung zu tragen, konstruierte die Firma CUBIC - auf unseren Antrag - ein Autotape Modell DM-43 mit 3 Kanälen (normal 2 Kanäle).

Dieses Instrument wurde, unter Benützung von 2 Stationen, für die Distanzmessung zwischen zwei Punkten, die keine Sichtverbindung haben, mittels Querüberfliegung der zu messenden Seite (line-crossing) angewendet. Bei Probemessungen wurden mit dieser Methode mittlere Seitenfehler von etwa 0,5 m bei Seitenlängen von 44 bis 88 km und vierfachen Messungen jeder Seite erreicht.

- Laser Airborne Profil Recorder, Geodolite 3A, mit Präzisionsstoskop, Monitorkamera und graphischem Registriergerät, installiert in einem zweimotorigen Mitchell B-25 Flugzeug. Das Laser APR wurde dem Radar-APR vorgezogen, da sich durch die stärkere Bündelung des Laserstrahls (ungefähr 20 cm Durchmesser am Boden bei 1 300 m Flughöhe) ein sehr exaktes, detailreiches Geländeprofil ergibt.

##### 5. AUSFÜHRUNG DES BILDFLUGES

Mit der schon oben beschriebenen Ausrüstung konnte die Befliegung ohne besondere Schwierigkeiten in drei Monaten abgeschlossen werden. Organisatorisch bestanden keine Probleme. Das Flugzeug war in Puerto Ordaz stationiert.

Puerto Ordaz liegt am Orinoko, ca. 200 km (15 bis 20 Flugminuten) vom Arbeitsgebiet entfernt. Die Besatzung, bestehend aus Pilot, Copilot und Photograph (ein Österreicher), hat schon jahrelang Erfahrung im Bildflug und ist gut aufeinander eingespielt. Die Befliegung wurde nach dem herkömmlichen System der Sichtnavigation durchgeführt. Als Unterlage für den Flugplan diente ein Radarbild (SLAR) der Zone im Maßstab 1:500 000. Der Streifenabstand war 20 km (30% Querüberdeckung); die durchschnittliche Streifenlänge lag bei 200 km.

Es ist bemerkenswert, daß der Photograph mit zwei verschiedenen Flugplänen ausgerüstet war, einer mit Nord-Süd- und der andere mit Ost-West-Streifen. Erst nach einigen Erkundungsflügen wurde dann infolge der Bewölkungsbedingungen die Entscheidung getroffen, daß die Befliegung in N-S-Richtung vorteilhafter war.

## 6. ORGANISATION DER FELDARBEIT

Die Organisation der Feldarbeiten wurde folgendermaßen aufgebaut:

- zentrale Leitung aller Arbeiten vom Bürositz in Caracas aus,
- Verbindungs- und Versorgungsstation in Ciudad Bolivar (noch im Bereich der vollen Zivilisation),
- verlegbares Hauptlager im Arbeitsgebiet,
- mobile Lager in der Nähe der zu messenden Punkte.

### 6.1 Verbindungs- und Versorgungsdienst

Der dafür zuständige Mann hatte seinen Stützpunkt in Ciudad Bolivar, das auch Ausgangspunkt für die Flüge in die Gran Sabana-Region ist. Seine Aufgaben bestanden im Transport der Lebensmittel für die Feldgruppen, des Treibstoffes für die Flugzeuge und der Hubschrauber, der Campingartikel sowie sonstiger Materialien und Werkzeuge.

Neben der administrativen Tätigkeit war er auch für die reibungslose Verbindung zwischen der Direktion in Caracas und den Feldtruppen verantwortlich. Neben Telefonverbindung mit Caracas stand ihm eine Radio-Funkstation zur Verfügung, die oft als Brücke im Kommunikationsnetz sowohl zwischen Caracas und der Arbeitszone als auch zwischen einzelnen Stationen in der Zone fungierte.

## 6.2 Transport

Die Lücke der Landverkehrsverbindungen sowie die Schwierigkeiten der Befahrung der Flüsse konnte nur durch die Verwendung von Flugzeugen und Hubschraubern überbrückt werden. Hubschrauber wurden für die Besetzung der trigonometrischen Punkte, für die Verfrachtung von Material und Personal, für die Messungen aus der Luft (line-crossing), aber auch für Essens- und Ausrüstungstransporte verwendet. Drei verschiedene Typen von Hubschraubern wurden ausgewählt und jeder für einen anderen Einsatzzweck abgestimmt:

- 1 Helikopter Bell G-4 (Kolbenmotor)
- 2 Helikopter Bell 206 Jet-Ranger (Turbine)
- 1 Helikopter Bell 205 (UH) (Turbine)

Wegen seiner großen Ladekapazität, die für den raschen Transport der zahlreichen Rodungsmannschaften notwendig war, wurde während der Vorbereitungszeit der Typ 205 UH zum Einsatz gebracht.

Die Flugzeugtypen C-46 (Curtiß), DC-3 (Douglas) und Dornier wurden für die Lebensmittel- und Treibstoffversorgung von Ciudad Bolivar zu den Basislagern verwendet. Der Typ Dornier wurde für Flüge mit kurzen Landepisten eingesetzt. Eine Cessna Skywagon 206 stand dem Basislager für Mannschafts- und Lastentransporte zur Verfügung. Dieses Flugzeug war außerdem mit einer Entfernungsmesseinrichtung (Autotape-Zentralstation) ausgerüstet.

## 6.3 Das Netz der Funkverbindung

In einem Gebiet, wo die einzelnen Trupps ca. 50 Kilometer weit voneinander entfernt sind und das einzige Transportmittel das Flugzeug darstellt, ist es notwendig, ein gut funktionierendes Kommunikationssystem zu besitzen. Für mobile Radiostationen mit Ausgangsleistungen von 100 Watt und 20 Watt standen zwei Frequenzen im HF-Single Side Band-Bereich zur Verfügung. Eine der beiden Frequenzen war am Morgen und am Abend, die andere während des ganzen Tages gut hörbar. Insgesamt wurden vier 100-Watt-Stationen (Caracas, Ciudad Bolivar und Hauptlager) eingerichtet. Die Meß- und Vorbereitungstrupps sowie die barometrischen Beobachtungsstationen an den Flugzeugpisten wurden je mit einem 20-Watt-Radio ausgestattet. Somit war die Verbindung aller Arbeitsgruppen unter sich und auch mit Ciudad Bolivar

und Caracas möglich.

Manchmal war die Funkverbindung - wegen einer ungünstigen Installation der Antenne oder topographischer Gegebenheiten - zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen schwierig. In diesem Falle mußte das Hauptlager oder Ciudad Bolivar als Vermittler zwischen den einzelnen Trupps fungieren.

Bei notwendigen Fußmärschen durch den dichten Urwald wurde die mitgeführte Ausrüstung auf ein Minimum reduziert. In diesem Fall wurden die Mitglieder mit Sprechfunkgeräten (Walkie-Talkie) ausgerüstet und standen dadurch mit der Cessna 206 bei ihren täglichen Flügen in Kontakt.

#### 6.4 Die Hauptlager

Schon beim ersten Erkundungsflug wurden jene Orte als Hauptlager ausgewählt, die Landepisten hatten und teilweise auch von Fluglinien angefliegen wurden. Im Hauptlager hatte der Leiter der Feldarbeiten sein Büro. Dort wurden die Meßgeräte, Lebensmittel, Treibstoff usw. verwaltet. Das Hauptlager hatte auch einen transportierbaren 4-kW-Wechselstromgenerator für Licht, Rechenmaschinen, Kühlschränke und Aufladegeräte, die ihrerseits die Batterien der Radiostationen, Streckenmeßgeräte und Signalscheinwerfer versorgten. Das Hauptlager wurde je nach Fortschritt der Feldarbeit verlegt und befand sich abwechselnd in San Salvador de Paul, El Dorado, San Pedro de las Bocas, Kavanayen, Uriman, Santa Elena de Uairen und Icabard. Der Einflußbereich eines Hauptlagers betrug daher nie mehr als 60 km (ungefähr 24 Minuten Hubschrauberflugzeit).

Die Arbeitsgruppe des Lagers setzte sich aus dem Leiter, Piloten und Mechanikern, Radiooperateur (Bedienung des Standbarometers), einem Rechner, einem Verwalter, dem Küchen- und Hilfspersonal zusammen. Meist gab es zwei Hauptlager gleichzeitig im Arbeitsgebiet.

#### 6.5 Mobile Lager

Wurde ein Meßpunkt besetzt, so blieben der Vorbereitungs- und der Meßtrupp bis zum Ende der Arbeit an diesem Punkt. Die Arbeitsmittel und die Ausrüstung variierten für die einzelnen Gruppen in Abhängigkeit der topographischen und klimatischen Bedingungen. Außer der technischen Ausrüstung standen den Meßtrupps noch folgende Gegenstände zur Verfügung:

Campingzelte und Zeltplanen, Klappsessel und Tische, Campingbetten, Schlafsäcke, Küchengeschirr, Gas-Kocher und -Lampen, kleiner Wechselstromgenerator, Batterie-Ladegerät, Treibstoff, Essen und Wasser für 7 Tage, Erste Hilfe und Gewehre. Alle 4 oder 6 Tage brachte, je nach Bedarf, der Hubschrauber frische Verpflegung und Wasser.

## 7. DURCHFÜHRUNG DER FELDARBEITEN

### 7.1 Bestehende Ausgangspunkte

Die erste Aufgabe bestand in der Auffindung der schon bestehenden Vermessungspunkte. Diese befinden sich nur an der Nordgrenze der zu vermessenden Zone, und zwar im Nordostteil einige Punkte eines Präzisionspolygonzuges, der im Jahre 1965 mit Tellurometer im Rahmen eines Projektes des US Army Map Service zwischen Orinoko und dem 6. Breitengrad gemessen wurde, und im Nordwesten einige Triangulationspunkte einer Dreieckskette des staatlichen Vermessungsdienstes. Zur Überprüfung dieser Punkte wurden einige Winkel und Strecken nachgemessen, hauptsächlich, um eine falsche Identifizierung auszuschließen. Für die weitere Messung konnten diese Punkte dann als Fixpunkte angenommen werden.

### 7.2 Aufstellung des Festpunktnetzes

Bereits beim ersten Erkundungsflug wurden die Punkte unter Berücksichtigung der Schwierigkeiten des Zuganges und der Urwald-Vegetation ausgewählt. Nach Durchsicht der teilweise schon vorhandenen Luftaufnahmen wurde die Position der einzelnen Punkte verbessert und es wurden verschiedene Hubschrauber-Landeplätze ausgewählt.

Dann wurden Flüge mit dem Vermessungstruppführer und einem Einheimischen durchgeführt, um mögliche Schwierigkeiten bei der Besetzung der Punkte kennenzulernen und die anzuwendende Methode auszuwählen. Wo es möglich war, erfolgte eine Landung sowie eine Überprüfung und Signalisierung der Punkte.

Insgesamt wurden 31 neue Netzpunkte ausgewählt. 9 Neupunkte im Rahmen eines Präzisionspolygonzuges zwischen den schon bestehenden Anschlußpunkten und 22 Neupunkte in einem daran anschließenden Trilaterationsnetz.



### 7.3 Punkt Vorbereitung

Die meisten Neupunkte waren unzugänglich und mußten erst für die Besetzung vorbereitet werden. Zu diesem Zweck wurde möglichst nahe am Punkt, dort wo die Vegetation nicht allzu hoch war, eine Vorbereitungsgruppe vom Hubschrauber eingeflogen. Diese bestand aus zwei Personen: einem erfahrenen Meßgehilfen und seinem Adjutanten, einem Indianer. Beide seilten sich samt den Geräten vom Hubschrauber aus in den Urwald ab. Mit einem weiteren Seil erreichten sie von ihrem "Landungsplatz" (meist einem Baum) festen Boden. Die weitere Ausrüstung setzte sich aus Motorsäge, Buschmesser, Essen und Wasser für drei Tage, Schlafsack, Schrotgewehr, erste Hilfe (besonders Schlangenserum) und Sprechfunkgerät zusammen. Von ihrem Landeplatz aus schlugen sie sich zur Lage des Neupunktes durch, um dort binnen weniger Tage einen Landeplatz für den Hubschrauber zu lichten. Sobald der Landeplatz fertig war, wurde mit Hubschrauber die Rodungsgruppe eingeflogen und ein mobiles Lager errichtet. Die Rodungsgruppe, unter Aufsicht eines Topographen, bereitete nun den Platz für die Messung vor. Der Neupunkt wurde vermarktet und die Sichten ausgeholt. Die Vermarktung erfolgte mit Grenzmarken der Firma Attenberger. Zu jedem Neupunkt wurden noch drei Beipunkte vermarktet. Zur Vorbereitung der Punkte gehörte auch die noch zu besprechende Signalisierung (Abschnitt 7.5). Die Zeit für die Vorbereitung der einzelnen Punkte lag im allgemeinen zwischen 2 und 10 Tagen, bei einem Punkt bei 30 Tagen.

### 7.4 Winkel- und Streckenmessung

Wie schon erwähnt, besetzten die Vermessungsteams die Punkte und verblieben dort bis zur Beendigung der gesamten Operation. Die Messung der Winkel und Strecken wurde, je nach den atmosphärischen Bedingungen, am Tage oder in der Nacht durchgeführt. Die Messung der Horizontalwinkel für den Polygonzug war jedoch langwieriger und schwieriger als die Streckenmessung im Trilaterationsnetz. Einige der Punkte mit einer Seehöhe zwischen 1 500 und 2 700 m waren ständig in Wolken. Auch der Höhenunterschied erschwerte die Arbeit. Hatte eine Station gute Sicht, waren die anderen - höher oder tiefer gelegenen - häufig nicht sichtbar.

Die Ergebnisse zeigten, daß die sorgfältige Auswahl und Planung eines Trilaterationsnetzes einer elektronischen Polygonalmethode vorzuziehen ist.

Die Winkel wurden mit einem Sekundentheodolit, in 10 Beobachtungsserien für die Horizontalwinkel (Toleranz des Mittels 5") gemessen. Die Vertikalwinkel wurden viermal gemessen, mit einer Toleranz von 6". Wo immer es möglich war, wurde ein Signal auf den Zielpunkten errichtet. In den anderen Fällen - vor allem bei langen Sichten - verwendete man am Tag Heliotrope und in den Nachtstunden Signalscheinwerfer. 16 Horizontalwinkel und 62 Vertikalwinkel wurden beobachtet.

Für die Messungen der Distanzen über 50 km wurde das Elektrotape mit dem 60-cm-Schirm eingesetzt. Die maximal gemessene Distanz betrug 104 km. Jede Dreiecksseite zweimal gemessen. Ebenso wurden die meteorologischen Beobachtungen an beiden Stationen mit einem Aneroid-Barometer und dem Bendix-Psychrometer während der Messungen durchgeführt.

Gab es keine Sichtverbindung zwischen zwei Punkten, wurde die Strecke durch Überfliegen (line-crossing) mit dem Autotape DM-43 gemessen. Dafür wurde ein Hubschrauber (Jet-Ranger) oder ein Flugzeug (Cessna 206) mit der Hauptstation und Antenne ausgerüstet. Die Besatzung bestand aus Pilot, Navigator und dem Bediener des Autotape.

Die Messung wurde sorgfältig vorbereitet. Aus Luftbildern wurde der beste Überfliegungspunkt der Strecke ausgewählt. Die Flughöhe wurde auf die topographischen Gegebenheiten und die zu messende Länge abgestimmt. Dann wurden die Streckenendpunkte mit Autotape Nebenstationen besetzt. Bei der Messung wird die Strecke ungefähr senkrecht zur Streckenrichtung mit der Autotape-Hauptstation überflogen und dabei die beiden Strecken vom Flugzeug zu den Streckenendpunkten jede Sekunde gemessen und registriert. Summiert man jeweils die einzelnen Streckenpaare auf, so erlaubt es das Streckenpaar mit der minimalen Distanz, die Entfernung zwischen den beiden Festpunkten zu berechnen, Dafür sind die Höhen und die meteorologischen Bedingungen erforderlich.

Barometrische und meteorologische Daten wurden in den Endpunkten der Strecke, Flughöhe, Geschwindigkeit, Flugkurs und Lage der Fluglinie im Flugzeug aufgezeichnet. Der Höhenmesser des Flugzeuges wurde beim Start und bei der Landung mit einem Paulin-Barometer, das an der Flugzeugpiste montiert war, geeicht.

Die Messung jeder Strecke wurde drei- bis viermal ausgeführt und gemittelt. Die längste nach diesem System gemessene Seite war 173 km.

Insgesamt wurden 117 Seiten gemessen, davon 63 mit Elektrotape, 13 mit Autotape auf die konventionelle Weise und 41 nach der Line-crossing-Methode.

#### 7.5 Terrestrische Paßpunkte für die Aerotriangulation

Die Paßpunkte wurden von den Festpunkten aus polar bestimmt. Die Messung des Azimuts und der Distanz wurde mit Theodolit und Elektrotape durchgeführt. War der Paßpunkt nicht begehbar, so wurde die Messung mit Hilfe eines Helikopters, der über dem Punkt stationär gehalten wurde, durchgeführt. Dabei wurden Horizontal- und Vertikalwinkel direkt zu dem so gewählten Punkt, meist einem hohen Baum, gemessen. Die Distanzen wurden mit dem am Helikopter montierten Autotape mit mindestens 10 Ablesungen in jeder Sekunde gewonnen. Dieser Vorgang wurde viermal wiederholt.

Falls kein Paßpunkt im Luftbild identifiziert werden konnte, wurde ein Punkt signalisiert. Da einerseits die Signalisierung oft nach der Befliegung erfolgte und andererseits eine Signalisierung für den gewählten Bildmaßstab 1:125 000 in der Regel zu aufwendig war, wurden mehrere Punkte auf einfache Weise signalisiert. Jeder dieser signalisierten Punkte wurde dann in einem separaten Bildflug mit einigen großmaßstäbigen Modellen überflogen, die eine Übertragung des Signals in den Hochflug im Laufe der Aerotriangulation mit hoher Präzision erlaubten.

#### 7.9 Berechnung der Festpunkte

Um grobe Meßfehler aufzudecken, wurde eine vorläufige Rechnung aller Feldarbeiten im Hauptlager durchgeführt; die endgültige Berechnung erfolgte in Caracas. Sowohl der Polygonzug als auch das Trilaterationsnetz wurden streng nach vermittelnden Beobachtungen ausgeglichen. Da auch genügend Vertikalwinkel im Netz gemessen werden konnten, wurde das Netz auch höhenmäßig, ebenfalls nach vermittelnden Beobachtungen, ausgeglichen. Für die Rechenarbeiten stand ein Kleincomputer Wang 2200 zur Verfügung. Die dazu nötigen Rechenprogramme wurden in der Firma Tranarg ausgearbeitet.

## 8. HÖHENMESSUNG

### 8.1 Vermessung der Landepisten

Das APR-Profilmeßgerät ist vergleichbar mit einem Echolot. Dient beim Echolot die Meeresoberfläche als Referenz, so wird beim APR die Fläche gleichen Drucks, die Isobarenfläche, als Referenz angesehen. Um nun die absolute Höhe der Isobarenlinien feststellen zu können, ist es notwendig, den APR-Flug von einem bekannten Höhenpunkt aus zu beginnen. Dadurch ist die Flughöhe bestimmt und die gemessenen Vertikal-Abstände können für die Berechnung der Geländehöhen der Neupunkte verwendet werden.

Während des APR-Fluges ist auch die tägliche Luftdruckschwankung zu berücksichtigen, die ungefähr 5 mm auf der Quecksilbersäule betrug. Um diese Schwankungen eliminieren zu können, wurden barometrische Kontrollstationen in der Zone eingerichtet, in denen halbstündlich der Luftdruck registriert wurde. Dabei zeigte sich, wie auch schon Baron Alexander von Humboldt im Jahre 1799 festgestellt hat, daß in diesen Breiten die Luftdruckänderung einer sehr starken Regelmäßigkeit unterworfen ist. Es ist eine sinusförmige Schwingung, "nach der man sogar seine Uhr richten könnte" (A.v.Humboldt).

Die absolute Höhenkontrolle für die APR Auswertung wurde mittels 8 Landepisten, deren Höhen mit trigonometrischen Nivellements bestimmt worden waren, durchgeführt. Vielfach wurden die Landepisten in der Längsachse nivelliert. In einigen Fällen wurden in der Nähe der Flugbasis Längsprofile gemessen. Durch Überfliegung dieser eingemessenen Stellen konnten die gemessenen APR-Profile höhenmäßig absolut eingerechnet werden.

### 8.2 APR-Flug innerhalb der Zone

Die optimale Flughöhe für den APR-Flug wird von zwei Faktoren bestimmt:

- 1) Die maximale relative Arbeitshöhe des Laser-APR (Geodolite 3A), die bei 1 800 m liegt.
- 2) Die minimale Flughöhe, die eine sichere Identifizierung der Fotos der 35 mm Filmkamera in den Luftbildern garantiert.

Während des APR-Fluges werden Fotos mit einer 35 mm Monitor-Kamera,

Objektivbrennweite 28 mm, gemacht, Diese Fotos werden dann zur genauen Festlegung des Flugweges und der Identifikation des Profils in den Luftbildern verwendet. Der Maßstab der Monitorfotos hängt von der Flughöhe über Grund ab und berechnet sich ungefähr nach der Formel  $m = 11 \times H$  (H = Höhe über Grund in Fuß). Bei 3 000 Fuß Höhe ergibt sich dadurch ein Maßstab von 1:33 000 für die APR-Fotos. Aufgrund der starken Maßstabsdifferenz zwischen Luft- und APR-Bildern wird die Identifikation relativ schwierig, besonders in den Zonen mit wenig planimetrischen Details, wie es eben im Dschungel der Fall ist.

Unter Berücksichtigung der zwei erwähnten Faktoren liegt die optimale Flughöhe bei 1 200 m über Grund. Für optimale APR-Flugbedingungen muß man daher warten, bis die Wolkendecke höher als 1 200 m liegt. Die APR-Flüge wurden immer von Ciudad Bolivar oder Canaima aus gestartet. In der Zone wurden dann so oft als möglich höhenmäßig bekannte Pisten oder Kontrollpunkte überflogen.

Die Flüge wurden hauptsächlich im Überdeckungsbereich der Luftbildstreifen durchgeführt. Aber auch Ost-West-Profile wurden mit APR im nördlichen und südlichen Teil des Arbeitsgebietes geflogen. Damit war ein genauer höhenmäßiger Ausgleich der APR-Streifen gewährleistet.

Die Auswertung der APR-Profile im Büro ist eine langwierige Arbeit. Es sind Tausende von APR-Bildern sowohl den Luftbildern als auch den Barometer- und APR-Messungen zuzuordnen. Trotzdem ist diese Methode in diesem Gebiet weitaus wirtschaftlicher als die Messung von Punkten im Felde.

## 9. AEROTRIANGULATION

Als Methode wurde die Aerotriangulation mit unabhängigen Modellen gewählt. Für die Auswahl und Übertragung der Paß- und Neupunkte sowie der APR-Punkte wurde ein Punktübertragungsgerät Wild PUG 4 verwendet. Außer den normalen Übertragungspunkten von Modell zu Modell und zwischen den Stoskop- und zwei bis sechs gut identifizierbare APR-Punkte pro Modell ermittelt. Die Modellkoordinaten wurden mit dem Zeiss-Planimat gemessen.

Die Berechnung der Aerotriangulation erfolgte in zwei Schritten: Zuerst Streifenbildung aus den Modellen und dann iterativer Blockausgleich der Streifen nach Polynomen auf einer IBM 360/50 mit 500 K bytes.

Leider standen uns zu diesem Zeitpunkt weder der Monokomparator Kern MK-2, noch das Blockausgleichsprogramm PAT-M43 von Prof. Ackermann zur Verfügung, die heute zur Standardeinrichtung unserer Firma gehören. Mit diesen Hilfsmitteln hätte man noch bessere Endresultate erzielen können, eine Tatsache, die man beim Lesen des letzten Kapitels in Betracht ziehen sollte.

## 10. AUSWERTUNG

Die Auswertung der Luftbilder wurde an folgenden Instrumenten durchgeführt: 2 Zeiss-Planimat, 2 Kern PG 2 mit großem Pantographen. Bemerkenswert ist dabei die große Höhengenaugigkeit, die mit dem PG 2 erreicht wurde, und die relativ höheren Produktionsziffern des Kern-Gerätes. Die planimetrische Präzision des Kern-Pantographen war zufriedenstellend, Alle Instrumente waren mit einer Korrekturvorrichtung für die Erdkrümmung ausgerüstet, die bei dem verwendeten Bildmaßstab notwendig war.

## 11. RESULTATE

### 11.1 Feldmessungen

#### 11.1.1 Präzisions-Polygonzug

Er hat die Form eines Bogens und erstreckt sich über eine Länge von 474 km von der Region Canaima bis nach El Dorado, bestehend aus insgesamt 9 Neupunkten. Dabei wurden folgende Genauigkeiten erreicht:

Winkel-Abschlußfehler: total 15" (entspr.  $4,5''\sqrt{n}$ ;  $n=11$ )

Linearer Abschlußfehler: 5,86 m ( $N=5,86$  m;  $E=0,03$  m)

Relative Genauigkeit: 1/80.900

Trigonometrischer Höhenabschluß: 4.10 m

#### 11.1.2 Trilateration

Das Trilaterationsnetz beinhaltete 29 Punkte, von denen 7 dem Präzisions-polygonzug angehörten. Um die restlichen 22 Neupunkte zu bestimmen, wurden 102 Distanzen gemessen, d.h. es waren 58 Messungen überschüssig.

Die Koordinaten wurden nach vermittelnder Ausgleichung im UTM-System Zone 20

berechnet. Sie hatten folgende Genauigkeiten:

Nord: von  $\pm 0,52$  m bis  $\pm 1,51$  m

Ost: von  $\pm 0,59$  m bis  $\pm 1,58$  m

Die Achsen der Fehlerellipse variierten zwischen 0,49 m und 1,65 m.

Eine Analyse der Verbesserungen der gemessenen Distanzen ergab:

65 Distanzen (64%) mit  $d < 0,75$  m

34 Distanzen (33%) mit  $0,75 \text{ m} < d < 1,5$  m

3 Distanzen (3%) mit  $d > 1,5$  m

Die größte Verbesserung ergab sich mit 2,78 m. Der mittlere quadratische Fehler der gemessenen Distanzen betrug - bei einer mittleren Streckenlänge von 75 km -  $\pm 0,78$  m.

Die relative Genauigkeit der Distanzen betrug:

16 Distanzen zwischen 1:30 000 und 1:60 000

44 Distanzen zwischen 1:60 000 und 1:150 000

42 Distanzen besser als 1:150 000

### 11.2. Aerotriangulation

Ein erstes Genauigkeitsmaß ist der mittlere Restfehler bei der Bildung der Streifen aus den einzelnen Modellen. Es ergab sich zu  $\pm 3,0$  m.

Nach der Blockausgleichung ergaben sich folgende mittlere Differenzen:

#### a) Terrestrische Paßpunkte

Lagekoordinaten  $M_{xy} = \pm 3,3$  m

Höhe  $M_z = \pm 3,6$  m

b) APR-Punkte  $M_z = \pm 5,3$  m

#### c) Verknüpfungspunkte

Lagekoordinaten  $M_{xy} = \pm 8,5$  m

Höhe  $M_z = \pm 7,5$  m

Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 189 - 224

ZUR HERSTELLUNG VON KARTEN MITTELS SATELLITENPHOTOGRAPHIE  
UND FERNERKUNDUNGSVERFAHREN

von

Franz Leberl

Adresse des Autors:

Doz. Dr. F. Leberl, Institut für Landesvermessung und Photogrammetrie  
der Technischen Universität Graz, A-8010 Graz, Rechbauerstr. 12, Österreich



### ZUSAMMENFASSUNG

Satellitenbilder und Fernerkundungsaufnahmen sind zur Zeit vielfach untersuchte neue Werkzeuge der Photogrammetrie, Schlußfolgerungen über ihren Wert zur Lösung photogrammetrischer Aufgaben sind unterschiedlich und widersprüchlich. Ausgehend von vorliegenden Ergebnissen wird in der gegenwärtigen Arbeit die Leistungsfähigkeit der Satellitenphotographie, der Abtastung und des Seitensichtradars zur Verwendung in der Kartenherstellung beschrieben. Die mögliche Rolle dieser Verfahren in der Erstellung zukünftiger Signaturkarten und Bildpläne wird skizziert, Insbesondere wird über neue Ergebnisse der Satellitenstereoabtastung und Radarkartierung von Meereseis berichtet.

### ABSTRACT

Both satellite photography and remote sensing images are new tools of photogrammetry that are at present frequently studied. There are varying and contradicting conclusions about their significance for the solution of photogrammetric tasks. Based on published results this paper examines the performance of satellite photography, scanning and side-looking radar in the production of line- and image maps, A scenario for future significance of these images is provided and some new results on satellite stereo scanning and radar mapping of sea ice are reported.

## 1. EINLEITUNG

Im Zeitalter der Satelliten und Fernerkundung stehen dem Photogrammeter neben dem Erd- und Luftbild neue Bilddaten, nämlich Weltraumphotographien und Fernerkundungsbilder, zur Verfügung. Im vorliegenden Beitrag wird untersucht, wieweit diese zur Erfüllung der traditionellen Aufgabe der Photogrammetrie, im besonderen der Herstellung von Karten der Erdoberfläche und der geodätischen Punktbestimmung, verwendet werden können. Es wird jedoch nicht darauf eingegangen, welche neuen Aufgaben dem Photogrammeter in der Fernerkundung und extraterrestrischen Kartierung erwachsen können,

Zur etwas willkürlichen Unterscheidung von der Photogrammetrie wird die Fernerkundung in dieser Arbeit einschränkend als die Gewinnung und Verarbeitung von Bildern verstanden, welche durch punkt- und linienweise Abtastung des Objekts entstehen. Dies führt bekanntlich zu ungünstigeren geometrischen Eigenschaften der Bilder und beschränkt ihre Bedeutung für die Lösung von Vermessungsaufgaben. Trotz dieses Nachteils werden Verfahren der Fernerkundung in Sonderfällen als Hilfsmittel zur Herstellung von Signaturkarten und Bildplänen und zur Lösung besonderer Vermessungsaufgaben verwendet. Im allgemeinen ist dies dann der Fall, wenn die terrestrische Vermessung und herkömmlichen photogrammetrischen Verfahren entweder zu zeit- oder zu kostenaufwendig sind.

Es werden also im folgenden solche Methoden der Gewinnung von Kartenunterlagen diskutiert, die auf der optisch-mechanischen und elektronischen Abtastung sowie auf Mikrowellenabbildung beruhen. Es wird davor gesondert über Anwendungen von Bildern berichtet, die aus einem Satelliten aufgenommen und deren Negative zur Erde zurückgebracht wurden. Somit gliedert sich die Arbeit in die drei Abschnitte: Weltraumphotographie, Abtastung und Radar. In diesem Rahmen wird versucht, über Anwendungen der genannten Aufnahmeverfahren einen Überblick zu vermitteln und über neue Ergebnisse zu berichten. Letztere betreffen die Analyse eines Satellitenstereoabtastsystems und die Vermessung der Bewegungen des Meereseises mittels Blöcken von überlappenden Seitensicht radarstreifen.<sup>1)</sup>

---

<sup>1)</sup> Zur Terminologie vgl. Albertz (1977)

## 2. WELTRAUMPHOTOGRAPHIE

### 2.1 Allgemeines

Die Kartenherstellung mittels Weltraumphotographien hat sich bisher nicht durchgesetzt. Der wesentliche Grund hierfür ist wohl die Tatsache, daß aus einem Satelliten aufgenommene Meßbilder, deren Negative zur Erde zurückgebracht werden, für zivile Zwecke kaum vorliegen. Es bestehen nur photographische Schnappschüsse der Erde von bemannten Raumflügen, wobei das SKYLAB-Projekt (1973) das bisher wichtigste Material lieferte. Weltraumphotographie liegt überdies vom Mond vor (APOLLO-Projekte). Zu diesem Thema sollte daher die Fragestellung lauten: Wäre die Weltraumphotographie zur Kartierung sinnvoll anwendbar, sofern Bildmaterial vorläge und welches wären die günstigsten Projektparameter? Bestehende Daten können nur experimentelle Grundlagen zur Beantwortung dieser Frage liefern.

Petrie (1970) gab eine erschöpfende Analyse der Lage, die 1970 bestand, und kam zu pessimistischen Schlußfolgerungen:

- a) Weltraumphotographie hatte nach Petrie entweder zu kleine Maßstäbe und daher zu geringes Auflösungsvermögen zur sinnvollen Verwendung in der Kartenherstellung; oder
- b) im Falle größerer Maßstäbe, z.B. durch Verwendung längerer Brennweiten, ergeben sich politische und rechtliche Probleme der Verletzung territorialer Hoheiten;
- c) die Kosten/Nutzen Frage schien 1970 ebenfalls für Weltraumphotographie noch sehr ungünstig im Vergleich zu konventioneller Befliegung.

Im Gegensatz zu Petries (1970) Untersuchung über die Verwendung der Satellitenphotos in herkömmlichen Auswerteverfahren steht der Vorschlag von Kölbl (1973), Weltraumphotographie in kaum kartierten Gebieten zur Verdichtung des Lagepaßpunktnetzes und als Grundlage der Entzerrung von kleinmaßstäbigen Luftbildern zu verwenden.

### 2.2. Skylab

Petries (1970) Argumente gelten auch heute noch und können durch Erfahrungen aus dem SKYLAB-Projekt nicht entkräftet werden. Dies ergibt sich aus einer kritischen Analyse des veröffentlichten Materials über die Anwendung der

SKYLAB-Photographie zur Kartenherstellung. Eine zusammenfassende Arbeit liegt von Colvocoresses (1976) vor, welche sich sehr wesentlich auf die experimentellen Ergebnisse von Stewart (1975), Keller (1976) und Mott (1975) stützt. Tabelle 1 beschreibt einige Parameter der zwei im SKYLAB-Unternehmen mitgeführten Kamern und zeigt, daß zur verbesserten optischen Auflösung sehr schmale Öffnungswinkel in Kauf genommen wurden.

SKYLAB - KAMERAS		
Bezeichnung	S190 A	S190 B
Brennweite	152 mm	457 mm
Format	70 mm	115 mm
Auflösung <sup>1)</sup>	50 lp/mm	70 lp/mm
Maßstab	1:3 Mill.	1:1 Mill.
Art der Kamera	Multispektral	Ohne Rahmenmarken
Flughöhe	435 km	435 km

1) Verschiedene Filme wurden verwendet, wobei die beste Auflösung theoretisch bis zu 100 lp/mm betrug.

Tab. 1: Technische Daten der beiden SKYLAB-Kammern.

Höhengenauigkeit:

Unter Verwendung von Erfahrungswerten aus der Luftbildmessung ergibt sich bei der Einzelmodellauswertung mit dem üblichen Basis-Höhen-Verhältnis von 1:1,6 eine Höhengenaugigkeit von etwa 0,1% der Flughöhe. Dieser Wert wurde mit den beiden Kamern des SKYLAB-Experiments allein schon wegen der ungünstigen Basis-Höhen-Verhältnisse von 1:7 und 1:9 nicht erreicht. Überdies traten in der S-190B-Kammer starke Filmdeformationen auf, sodaß Mott (1975) mit diesen Bildern Höhendeformationen von bis zu 2000 m (= 50% der Flughöhe) feststellen mußte. Allerdings ist die S-190B-Kammer wegen des Fehlens von Rahmenmarken keine Meßkammer. Ihre Aufnahmen waren also für geometrische Zwecke kaum verwendbar.

Die geometrischen Eigenschaften der S-190A-Kamera entsprechen dem Standard der Luftbildmessung. Keller (1976) erhielt in der Einzelmodellauswertung einen mittleren Höhenfehler von  $\pm 150$  bis  $\pm 180$  m, Dies entspricht einer relativen Genauigkeit von 0,3% der Flughöhe. Mit einem Basis-Höhenverhältnis 1:7 ist dies ein sehr guter Wert. Mott (1975) ging selbst soweit, mit diesen Aufnahmen im Himalaya-Gebiet Höhenlinien mit 250 m Äquidistanz auszuwerten.

#### Lagegenauigkeit:

Keller (1976) erhielt mittlere Fehler der Lagekoordinaten von  $\pm 40$  bis  $\pm 60$  m mit der (Meß-)Kammer S-190A. Dies entspricht im Bild  $\pm 13$  bis  $\pm 20$  m und ist etwas schlechter als vergleichbare Werte in der Luftbildmessung. Dies kann durch die Beschränkungen in der Identifizierung von Paßpunkten bedingt sein.

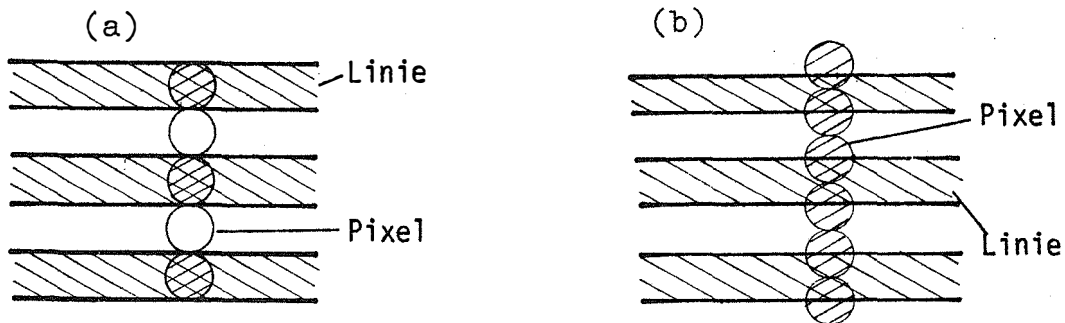
#### Interpretation:

Die SKYLAB-S-190-Daten zeigen die beste Auflösung aller bisher erzeugten, allgemein verfügbaren Weltraumaufnahmen, da es möglich war, erstmals einen bisher nur für militärische Aufklärung entwickelten Film zu verwenden. Somit ergibt sich Material für interessante Interpretationsexperimente. Das Auflösungsvermögen wurde von Welch (1974) mit etwa 50 bis 70 Linienpaaren pro Millimeter (lp/mm) empirisch bestimmt und liegt höher als in normalen Filmen der Luftbildmessung. Entsprechend Figur 1 zeigt sich, daß n Linienpaare pro Millimeter einer Pixelgröße<sup>1)</sup> von  $(1/2,8 n)$  Millimetern entsprechen. Somit wird auf der Erdoberfläche

---

<sup>1)</sup>"Pixel kommt vom engl. "Picture Element" und bezeichnet in Digitalbildern ein Element des in eine Grauwertmatrix umgewandelten Bildes. Der Begriff wird hier zur Beschreibung der Geländeauflösung im Bildmaßstab verwendet (vgl. Definition in der Fernerkundung von Albertz, 1977).

mit der S-190A-Kammer (50 lp/mm) das dem Pixel entsprechende Auflösungselement 24 m, mit der S-190B-Kammer 6 m (70 lp/mm).



*Fig. 1: Vergleich der Beschreibung des Auflösungsvermögens mittels Linienpaaren pro Millimeter und mittels Bildelementen (Pixels). Die dargestellten 3 Linienpaare (aus je einer schwarzen und einer weißen Linie) sind in (a) wohl, in (b) aber nicht mit 6 Pixeln aufgelöst.*

Die Lagegenauigkeit erlaubt eine Kartierung im Maßstab 1:160 000 nach der amerikanischen Maßstabsfestlegung mittels Lagefehlern (sogen. National Map Accuracy Standards, Class A). Die Höhenfehler erlauben nur eine Atlaskartierung. Der Bildinhalt zeigt im höher auflösenden Fall (S-190B, Pixel mit 6 m) die flächenhaften, natürlichen Details und Flußläufe, die in Karten im Maßstab 1:250 000 enthalten sein müssen. Künstliche Objekte wie Straßen, Eisenbahnlinien, Häuser, selbst Ortschaften, sind nicht in allen Fällen sichtbar. Mott (1975) beklagt die Schwierigkeit, im Himalayagebiet Siedlungen zu erkennen.

In einigen Projekten wurden Orthophotokarten in den Maßstäben 1:250 000 und 1:1 000 000 hergestellt, wobei von den ursprünglichen Aufnahmen Vergrößerungen von bis zu 11,5 : 1 verwendet wurden. Dies widerspricht den in der Luftbildmessung geltenden Regeln, in Fällen kleiner Kartenmaßstäbe, zum Beispiel 1:100 000, die Luftbilder in keinem kleineren Maßstab aufzunehmen, da sonst die Interpretierbarkeit unzulässig erschwert wird (Neumaier, 1966).

Trotzdem wurden die SKYLAB-Daten von der englischen Firma Hunting Surveys zur Kartierung im Himalayagebiet in den Maßstäben 1:500 000 und 1:62 500 verwendet, da besseres Bildmaterial nicht vorlag.

### 2.3 Zukünftige Entwicklungen

Es gibt auch heute noch Teile der Erdoberfläche, die selbst in kleinen Maßstäben noch kartiert werden müssen. Für diese Gebiete könnte Weltraumphotographie von der Art der SKYLAB-Daten sinnvoll verwendet werden, solange keine echten Kosten für die Aufnahme verrechnet werden müssen. Die Höhenauswertung aus solchen Daten ist wenig sinnvoll.

Eine weitere wichtige Anwendung der Satellitenphotographie in kleinen Maßstäben besteht nach Koeman (1970) unter Umständen in der Überprüfung der Generalisierung kleinmaßstäbiger Karten,

Es besteht jedoch die Möglichkeit, Weltraumbilder in größeren Maßstäben zu fliegen (längere Brennweiten und/oder geringere Flughöhe) oder zur Höhenmessung günstigere Konvergenzwinkel durch Kippung der Kammer zu erreichen. Die Höhe der Umlaufbahn ist wegen der atmosphärischen Reibung auf etwa 180 km nach unten begrenzt. Die Vergrößerung der Brennweite ist jedoch technisch möglich, wobei gleichzeitig ein großer Bildwinkel durch eine Panoramaabtastung erreicht werden könnte. Überdies ist zu erwarten, daß Weiterentwicklungen auf optischem und photographischem Gebiet die Genauigkeitsleistungen von Kammer in Zukunft verbessern können. Zum Beispiel berichten Gut und Höhle (1977) über konventionelle photogrammetrische Höhenauswertungen mittels Luftbildern, wobei Genauigkeiten von 0,04% der Flughöhe erreicht wurden.

Im Falle hoher Auflösungen wird die Frage der Bewegungsunschärfen bedeutend: der Satellit wandert mit einer Geschwindigkeit von 7 km/Sek., sodaß bei einer kurzen Belichtung von 1/1 000 Sek. schon eine Unschärfe von 7 m im Gelände auftritt. Dieser Effekt muß daher kompensiert werden, wobei technische Lösungen aus der Luftbildmessung vorliegen.

Diese Gesichtspunkte sind Inhalt von amerikanischen und europäischen Vorschlägen zur Nutzung des zukünftigen Raumfahrtlabors "Spacelab" und der Raumfähre "Space Shuttle", die ab 1979 zur Verfügung stehen soll. Derzeit kostet ein Satellitenprojekt zumindest etwa öS 240 Millionen. Spacelab und die Space Shuttle werden die fixen Kosten per Kilogramm Nutzgewicht für Weltraumprojekte wesentlich verringern, Es ist also denkbar, daß aus einer Höhe von 180 km und zum Beispiel mit einer Brennweite von 120 cm Weltraumbilder im Maßstab 1:150 000 aufgenommen werden. Zur Verwirklichung ist es notwendig, daß sich die Kostenfrage günstig entwickelt und Weltraumbilder in großen Maßstäben wirtschaftlich erzeugt werden können, sodaß es kommerziell vertretbar wird, Laderaum in der Space Shuttle und dem Spacelab für diese Zwecke zu mieten.

Probleme territorialer Hoheitsverletzungen wären zu vermeiden, wenn die zur Erde retournierten Negative direkt an den Auftraggeber übergeben werden, dessen Hoheitsgebiet aufgenommen wurde. Somit entspräche dies dem Vorgehen bei derzeitigen Luftbildaufnahmen. Die geschilderte Situation könnte schon im nächsten Jahrzehnt Wirklichkeit werden. Schwierigkeiten werden von der kurzen Dauer der Space-Shuttle/Spacelab-Missionen verursacht werden: Wolkenbedeckung mit gleichzeitiger Begrenzung der Dauer der Mission auf 7 bis 30 Tage kann die Bedeckung des Aufnahmegebietes erschweren. Die kurze Dauer der Mission ist durch den experimentellen Charakter des Projekts bedingt; auch ist die Länge des vorhandenen Filmes begrenzt. Der wesentliche Vorteil von Satellitenprojekten geht dabei verloren, nämlich die geringen variablen Kosten wiederholter Aufnahmen im Falle langlebiger Satelliten.

### 3. ABTASTUNG

#### 3.1 Allgemein

Als wesentlicher Vorteil der Abtastung gegenüber der Photographie kann angeführt werden, daß

- a) gleichzeitig in verschiedenen engen Spektralbereichen der sichtbaren, UV- und infraroten elektromagnetischen Strahlung Bilder erzeugt,



- b) diese Bilder in digitalfreundlicher Art funkübermittelt oder
- c) auf Magnetband aufgezeichnet werden können, so daß eine automatisierte (Vor-) Verarbeitung der Daten im Computer möglich ist.

Mit Ausnahme der Erforschung fremder Planeten dienen Abtastbilder in erster Linie nicht der Herstellung topographischer oder planimetrischer Karten. Die Lösung geometrischer Probleme dient statt dessen meist der verbesserten Kartierung, der Entdeckung von Veränderungen in multitemporalen (sequentiellen) Aufnahmen oder der automatischen Informationsgewinnung.

Die photogrammetrische Kartierung von Teilen der Erdoberfläche mittels Abtastbildern wurde bisher ausschließlich mit den LANDSAT-Satellitenaufnahmen unternommen. In einigen Fällen waren diese Projekte durchaus operationell (Mott, 1975; Fleming & Sebert, 1974, Fleming, 1976, 1977). Sie stützten sich auf diese Daten, da in den Projektgebieten keine konventionellen oder anderen Bildunterlagen zur Verfügung standen.

Zur Lösung von geometrischen Fragestellungen wurden in den letzten Jahren Algorithmen entwickelt und überprüft, die die Transformation des Abtastbildes in ein übergeordnetes Koordinatensystem ermöglichen (Derenyi und Konecny, 1966; Drenyi, 1970; Konecny, 1970; Masry und Gibbons, 1973; Derouchie und Forrest, 1974; Kratky, 1974; Baker und Mikhail, 1975; Trinder, 1975; Bähr, 1976; Schuhr, 1976; Bernstein, 1976; u.a.). Diese Algorithmen werden hier nicht im einzelnen angeführt. Ausführliche Übersichten finden sich in den Arbeiten von Konecny (1972, 1975, 1976). Im folgenden werden daher nur einige grundlegende Möglichkeiten umrissen und Ergebnisse kurz diskutiert.

### 3.2 Rechenverfahren und Ergebnisse der Umbildung einzelner Abtastbilder, insbesondere LANDSAT-Aufnahmen

Es können nach Baker & Mikhail (1975) und Bähr (1976) drei Methoden der Koordinatentransformation des Abtastbildes in das Landessystem unterschieden werden:

- a) Es werden zwischen Bild und Objektpunkten Projektionsbeziehungen aufgestellt, in denen beobachtete Navigationsdaten und Bild- sowie

- Paßpunktskoordinaten auftreten. Zusätzlich werden für die Sensorpositionen und -orientierungen zu verschiedenen Zeitpunkten  $t_i, t_j$  Beziehungen aufgestellt, die zum Beispiel auf Polynomen, Fourierreihen o.ä. beruhen. Die Unbekannten dieser Gleichungen werden in einer Ausgleichung bestimmt.
- b) Zu jedem Bildpunkt wird unter Verwendung der Navigationsdaten (Sensorposition und -orientierung) der dazugehörige Objektpunkt ermittelt. Paßpunkte werden erst in einem zweiten Schritt zur interpolativen Berechnung von Korrekturen der transformierten Punkte verwendet.
  - c) Die  $x, y$ -Bildkoordinaten der Abtastbilder werden rein interpolativ unter Verwendung von  $X, Y$ -Paßpunktkoordinaten in das Referenzsystem eingepaßt.

Methode (a) verwendet das strengste mathematische und stochastische Modell, wobei die Objekt- und Bildpunkte durch Kollinearitätsgleichungen in Beziehung gebracht werden. Die Korrelationen zwischen aufeinanderfolgenden Sensorpositions- und Orientierungsdaten können durch den Ansatz von Polynomen oder Fourierreihen berücksichtigt werden. Ebner (1976) entwickelte ein Modell zur Darstellung dieser Daten aus der Theorie der stochastischen Prozesse. Im allgemeinen ergeben sich zur Entzerrung einer Einzelaufnahme große Gleichungssysteme mit vielen Unbekannten und Beobachtungen, jedoch mit nur geringer Redundanz.

Methode (b) löst das Problem in zwei sequentiellen Schritten und verlangt einen geringeren Programmier- und Rechenaufwand als Methode (a). Durch die Umbildung werden die systematischen Unterschiede zwischen Bild und Karte eliminiert. Die interpolative Korrektur mittels Paßpunkten beschreibt dann die verbleibenden Auswirkungen der zufälligen und nichtberücksichtigten systematischen Fehler.

In der einfachsten Methode (c) wird nicht auf die Ursache der Bildverformungen eingegangen. Statt dessen werden Bild und Karte als ungleichartige Punkthaufen nach Pinkwart (1938) verstanden und interpolativ ineinander abgebildet. Baker und Mikhail (1975) untersuchten in diesem Zusammenhang eine Reihe von Verfahren für Flugzeugbilder. Wong (1975) und Trinder (1975) ermittelten optimale Polynomansätze für LANDSAT-Daten. Bähr (1975) verwendete überdies die lineare Prädiktion.

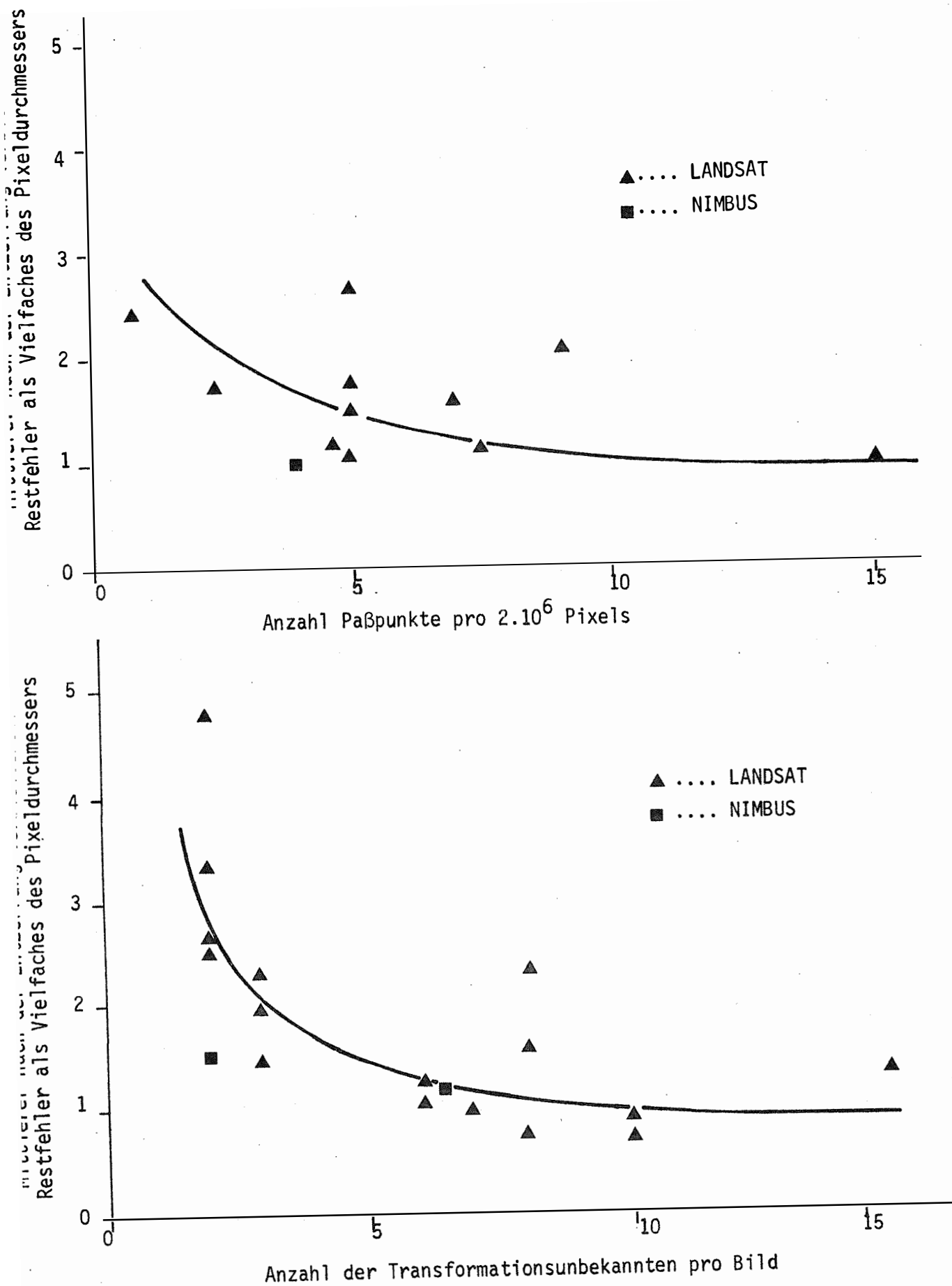


Fig. 2: Ergebnisse der Entzerrung von Satellitenabtastbildern. Mittlere Lagefehler sind als Vielfaches der Pixeldurchmesser angegeben.

Figur 2 faßt die Ergebnisse von Auswertungen (Entzerrungen) einzelner Satellitenabtastbilder, die von verschiedenen Autoren stammen, graphisch zusammen. Dabei wird die Lagegenauigkeit als Vielfaches der Größe des Bildelementes und sowohl in Abhängigkeit der Paßpunktdichte wie auch der Anzahl der Transformationsparameter angegeben. Da im allgemeinen verschiedene Autoren mit unterschiedlichem Material und Gerät arbeiten sowie von ungleichen Problemstellungen ausgehen, tritt eine breite Streuung der Ergebnisse auf. Somit kann Figur 2 von den Zusammenhängen nur einen allgemeinen Eindruck geben.

Aus den Ergebnissen der Luftabtastung nach Konecny (1970), Drenyi (1974) sowie Baker und Mikhail (1975) ist keine der Figur 2 entsprechende Darstellung zu ermitteln, da entweder keine Zusammenhänge mit der Paßpunktdichte untersucht oder keine Informationen über Pixeldurchmesser gegeben sind. Ein Vergleich dieser Arbeiten mit Figur 2 zeigt, daß die Genauigkeit entzerrter Luftabtastbilder, ausgedrückt, wo dies möglich ist, als Vielfaches von Pixeldurchmessern, geringer ist als jene von entzerrten Satellitenbildern. Dies wird durch Störungen der Luftaufnahmen verursacht, welche (ausgedrückt in Pixeldurchmessern) wesentlich größer sind als jene im Satelliten.

Aus Figur 2 und den genannten Veröffentlichungen ergeben sich folgende Schlüsse:

- (i) Die Methode der Interpolation (Methode c) scheint den anderen Methoden in der Genauigkeitsleistung nicht unterlegen zu sein. Wohl ist sie unter Umständen im Aufwand günstiger (Kratky, 1974; Baker und Mikhail, 1975; Forrest, 1975; Wong, 1975; Trinder und Nasca, 1976; Bähr, 1976).
- (ii) Genauigkeiten können mit günstiger Paßpunktverteilung besser als die Geländeauflösung werden.
- (iii) Eine gleichmäßige Paßpunktverteilung ist im aufgenommenen Gebiet am günstigsten. Aus Figur 2 folgt, daß im Satelliten eine Genauigkeit von 1 Pixel zu erreichen ist, wenn die Paßpunkte in einem Gitter angeordnet sind, dessen Maschenweite etwa 500 Pixels beträgt.
- (iv) Im LANDSAT-Projekt zeigt sich, daß die Steigerung der Paßpunktdichte über 10 bis 20 gut identifizierbare Punkte pro Bild (= 320 000 km<sup>2</sup>) kaum mehr eine Steigerung der Kartiergenauigkeit nach sich zieht.

Zur Schlußfolgerung (i) ist festzustellen, daß strengere Methoden wegen der im Vergleich starken Auswirkungen der zufälligen Fehler gegenüber den Systemfehlern keinen wesentlichen Vorteil zu bringen scheinen. Wohl stellt Bähr (1976) fest, daß strengere Methoden im Falle weniger Paßpunkte günstigere Ergebnisse liefern. Bei wachsender Paßpunktdichte werden jedoch sowohl die Systemfehler wie auch zufälligen Fehler mit einem Interpolationsverfahren hinreichend genau beschrieben.

Schlußfolgerungen (ii), (iii) und (iv) ergeben sich aus der dynamischen Art der Bilderzeugung, in der gewisse Frequenzen der Bildfehler dominieren: Die Paßpunkte müssen diese Frequenzen erfassen. Liegen keine höheren Frequenzen der Bildfehler vor, so ist auch durch eine weitere Steigerung der Paßpunktdichte keine wesentliche Verbesserung der Genauigkeit zu erreichen.

### 3.3 Kartierung mittels LANDSAT-Abtastbildern

Mott (1975), Fleming (1976), Fleming und Sebert (1974) und Trinder & Nasca (1976) berichteten über Kartierungen mittels LANDSAT-Abtastbildern in Afrika, Kanada und Australien. Die metrische (Lage-) Genauigkeit ermöglicht Arbeiten zur Kartierung im Maßstab 1:250 000 bis 1:1 Million. Fleming (1977) verwendete diese Daten auch für rein geometrische Zwecke zur Überbrückung eines festpunktlosen Raumes, um Inseln in das kanadische Landessystem einzubinden.

Für die Bildinterpretation gilt, daß natürliche Objekte am besten, künstliche am schwersten zu erkennen sind. Flüsse von mindestens 40 m Breite (Geländeauflösung 80 m!) können im allgemeinen erkannt werden, schmälere Flüsse nur fallweise durch ihren Vegetationsgürtel. Somit ist für keinen Maßstab eine vollständige Kartierung möglich. Aber auch im Falle einer Steigerung des Auflösungsvermögens ist die Verwendbarkeit zur Kartierung nur beschränkt möglich. (Vgl. die Aussagen zur Welt- raumphotographie, wo bisher Geländeaufösungen von bis zu 6 m erreicht wurden).

### 3.4 Stereo-Abtastung

#### 3.4.1 Bedeutung, Höhengenaugigkeit

Mott (1975) beklagt die fehlende Möglichkeit der guten Stereobetrachtung von LANDSAT-Bildern mit folgenden Worten:

"Es ist ein Merkmal von solcher Wichtigkeit, daß man nur hoffen kann, daß der Erfindergeist von Konstrukteuren zukünftiger Satellitenprojekte ein System hervorbringt, mit dem eine gute Stereobedeckung möglich ist."

Ähnlich ist der Wunsch eines von der amerikanischen Industrie eingerichteten "Geosat-Komitees"<sup>1)</sup>. Dies führte zu der nun ernsthaften Vorbereitung von Entwürfen für ein Satellitenstereoabtastsystem unter dem Namen STEREOSAT, das um etwa 1980 lanciert werden soll. Einige grundlegende photogrammetrische Gesichtspunkte eines solchen Systems werden im folgenden behandelt.

Masry (1969), Derenyi (1970) und Konecny (1970) berichteten über rechnerische Untersuchungen mit Stereoschlitzkammern und wiesen auf den Zusammenhang mit der Stereoabtastung hin. Lorenz (1972), Leberl (1970, 1972b) und Jerie (1976) machten Vorschläge zu diesem Thema, Taylor (1967) erwähnte Experimente mit Stereoarrangements von zwei Abtastern in einem Flugzeug.

Aus diesen Untersuchungen ergab sich, daß seitliche Überlappung keine befriedigende Stereoauswertung zulässt und daß ein Konvergenzsystem vorzuziehen ist. Die besten Resultate können mit einem Dreifach-Abtaster erhalten werden (eine vertikale wie auch konvergente Abtastung).

Der Zweck der Satellitenabtastung, wofür in Tabelle 2 einige jener Parameter angeführt werden, die zur Diskussion stehen, ist nicht die Verwendung zur Herstellung topographischer Karten, sondern die verbesserte Bildinterpretation.

Aus einem Satelliten kann nur ein Konvergenzsystem gute Parallaxen erzeugen, da die seitliche Überlappung zu sehr kleinen Stereobasen führt. Für die in Tabelle 2 angeführte Flughöhe von 400 km ergibt sich mit einem photogrammetrischen Verfahren eine Höhengenaugigkeit von 40 m (0,1% der Flughöhe).

---

1) Als Ges.m.b.H. mit Sitz in San Francisco gegründet, um beim U.S.-Kongreß und bei N.A.S.A. die Interessen der geowissenschaftlichen Industrie zu vertreten ("Lobby").

PARAMETER - STEREOSAT	
Flughöhe	400 km
Konvergenzwinkel	60°
Geländeauflösung	20 m
Breite des aufgenommenen Geländestreifens	40 km
Sensorstabilisierung	± 0,7° (?)
Veränderungsrate der Satellitenorientierung	0,015° pro Sekunde

Tab. 2: Projektparameter für ein Satellitenstereoabtastsystem.  
Geplanter Start: 1980 (NASA).

STEREOSAT hätte jedoch ein sehr großes Basis-Höhen-Verhältnis von 1:0,6. Somit ist ein besserer Wert als 0,1% v.H für die Höhengenaugigkeit möglich. Im Prinzip gilt die photogrammetrische Parallaxengleichung

$$\Delta h = \Delta p H/B = \Delta p/2 \tan \gamma \quad (\gamma \dots \text{ halber Konvergenzwinkel})$$

Zu einer Aussage über die erreichbare Höhengenaugigkeit sind die mittleren Parallaxenfehler  $m_{\Delta p}$  zu ermitteln. Nach Leberl (1972b) ergibt sich dann für die Höhenfehler  $m_{\Delta h}$  ein Ausdruck in Funktion von  $m_{\Delta p}$  und des Blickwinkels (Nadirdistanz)  $\Omega$ :

$$m_{\Delta h} = m_{\Delta p} / (2 \tan \gamma \cos \Omega)$$

Der Faktor  $1/\cos \Omega$  gibt die Auswirkung des mit wachsender Nadirdistanz  $\Omega$  kleineren Bildmaßstabes und der somit verringerten Geländeauflösung wieder.

Es kann erwartet werden, daß Parallaxen mit einer Genauigkeit wahrgenommen werden können, die besser ist als der Pixeldurchmesser. Dies bedeutet für STEREOSAT, daß bei einem Pixeldurchmesser von 20 m im Nadir eine Höhengenaugigkeit erhalten werden kann, die besser als ±20 m ist.

### 3.4.2 Bildung des Stereomodells mittels gemessener Sensorposition und Orientierungsdaten

Das mittels gemessener Navigationsdaten geformte Stereomodell ist wegen der Fehler der Sensorposition ( $dX'$ ,  $dY'$ ,  $dZ'$ ,  $dX''$ ,  $dY''$ ,  $dZ''$ ) und der Orientierung ( $d\phi'$ ,  $d\omega'$ ,  $d\kappa'$ ,  $d\phi''$ ,  $d\omega''$ ,  $d\kappa''$ ) verformt. Die Positionsfehler haben im Satelliten Komponenten mit langen Perioden von bis zu einigen Tausend Kilometern und Amplituden von einigen Kilometern (abhängig von der Genauigkeit der Bestimmung der Umlaufbahn), sowie auch kurze Perioden von z.B. etwa 100 km mit Amplituden von 10 m<sup>1)</sup>. Die Orientierungsfehler sind nach Tabelle 2 durch die Genauigkeit der Stabilisierung bestimmt und betragen im vorgeschlagenen STEREO-SAT etwa bis zu 0,7° mit einer Rate von 0,015° pro Sekunde.

Wegen

$$\Delta p = X'' - X'$$

gilt weiters:

$$\begin{aligned} d(\Delta p) &= dX'' - dX' = \\ &= dX'_O - dX''_O + \tan\gamma (dZ'_O - dZ''_O) + (H/\cos^2\gamma)(d\phi'' - d\phi') - \\ &- H \tan\gamma \tan\Omega (d\omega' - d\omega'') + H \tan\Omega (d\kappa' - d\kappa'') \end{aligned}$$

Figur 3 zeigt Beispiele der Höhendeformationen für STEREO-SAT, wie sie sich aus den in Tabelle 2 gegebenen Werten der Orientierungsfehler ergeben. Diese Werte wären sehr groß und stellen den ungünstigsten Fall dar; Die Stereobildpaare werden in Aufnahmeorten erzeugt, die etwa 600 km voneinander entfernt liegen, Die Fehler der äußeren Orientierung sind in den beiden Positionen nahezu gänzlich voneinander

---

1) Persönliche Mitteilung von W. Sjogren, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, USA.



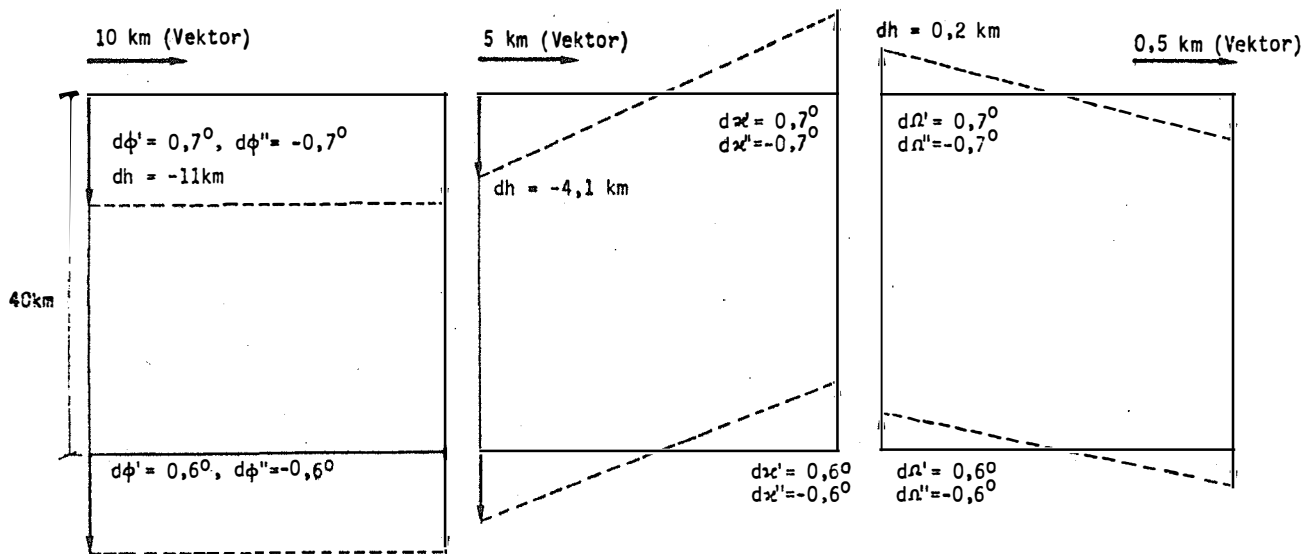


Fig. 3: Beispiel der Höhendeformationen in einem Stereomodell aus Satellitenabtastbildern nach dem Konvergenzsystem der Tabelle 2.

unabhängig und könnten Maximalwerte mit entgegengesetztem Vorzeichen haben. Die Fehler sind jedoch systematisch und mit nur 4 Paßpunkten zu beschreiben.

### 3.4.3 Verfahren der relativen Orientierung

Die relative Orientierung zur Bildung eines Stereomodelles mittels Streifenkammer wurde von Derenyi (1970) eingehend untersucht. Die Ergebnisse sind auch für die Abtastung gültig. Es ergeben sich in Anlehnung an die herkömmliche photogrammetrische relative Orientierung zwei verschiedene Verfahren:

(i) mit jeweils 2 Linienpaaren (diese formen einen Modellnormalschnitt)

(ii) mit jeweils zwei Bildteilen unter der Annahme, daß innerhalb des Bildteiles die Orientierung ( $\phi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$ ) konstant ist (oder sich linear verändert) und sich der Sensor entlang einer geraden Linie (oder Kurve zweiter Ordnung) bewegt.

Im Falle (i) werden jeweils die zwei Bildlinien relativ zueinander orientiert. Aus der photogrammetrischen Orientierung ergibt sich, daß mittels eines Modellnormalschnittes nur drei Orientierungselemente bestimmbar sind,

darunter stets  $\omega$ . Die zwei aus dem Modellnormalschnitt nicht bestimmten Elemente müssen in der Photogrammetrie durch zwei zusätzliche Orientierungspunkte außerhalb des Normalschnittes ermittelt werden. Da dies hier nicht möglich ist, sind die verbleibenden Orientierungselemente durch direkte Messung vorzugeben.

Im Orientierungsfall (ii) sind alle Elemente bestimmbar. Derenyi (1970) und Konecny (1970) publizierten Ergebnisse der zu erwartenden Genauigkeit. Es ergab sich, daß in den untersuchten Fällen mit kleinen Konvergenzwinkeln die aus der Orientierung zu erwartenden Genauigkeiten geringer sind als jene aus der direkten Messung. Für die Projektparameter von STEREOSAT mit geringerer Geländeauflösung, jedoch größerer Konvergenzwinkel, ist eine entsprechende Analyse noch auszuführen.

### 3.5 Zukünftige Entwicklungen

Vielfachdetektoren können eine entscheidende Entwicklung für die Abtastung sein. Hier wird das Objekt nicht durch ein quer zur Flugrichtung wanderndes Gesichtsfeld (Öffnungsfeld) abgetastet, sondern lineare oder flächenhafte Detektoranordnungen nehmen einen Geländeausschnitt in einem Moment ähnlich wie in der Photographie auf. Diese Verfahren lassen eine der optisch-mechanischen Abtastung überlegene geometrische Strenge erwarten. In naher Zukunft werden Vielfachdetektoren im Auflösungsbereich der herkömmlichen Abtastung und nur mit linearer Detektorenanordnung arbeiten. In der ferneren Zukunft sind jedoch höher auflösende und flächenhaft angeordnete Systeme zu erwarten.

Die Verwendung der Abtastbilder zur Herstellung von Kartenunterlagen hat auch in Zukunft nur dann Sinn, wenn geometrisch strengere Verfahren nicht zur Verfügung stehen. Erhöhtes Auflösungsvermögen wird in der nahen Zukunft wohl noch eine Welle von Projekten in schlecht bekannten Gebieten auslösen (LANDSAT D, 1983?). Überdies wird die Regelmäßigkeit, mit der auch in Zukunft Satellitenabtastbilder der Erde erzeugt werden, ihre Überprüfung zur Anwendung in der Kartenrevision fördern. Andererseits könnte zumindest in nicht-polaren Gebieten die Ära der Space-Shuttle die Satellitenphotographie begünstigen, sodaß Abtastbilder dort eine verringerte Funktion in der Kartenherstellung hätten.

Die Pläne zur Satellitenstereoabtastung sind derzeit im Fluß. Es scheint hier noch an den geowissenschaftlichen Benutzern zu liegen, dieses Projekt durchzusetzen.

#### 4. RADAR

In veröffentlichten Arbeiten über Radargrammetrie (Leberl, 1976, 1977) wird eine Übersicht der Herstellung von Kartenunterlagen mittels Radarabbildungen gegeben. Daraus geht hervor, daß Flugzeugradar seit 1967 für kleinmaßstäbige Kartierungen schwer zugänglicher Gebiete verwendet wird und auch in Zukunft eine Rolle spielen kann. Überdies wird ab 1978 Satellitenradar zur Verfügung stehen.

Die Radargrammetrie befaßte sich bis etwa 1960 ausschließlich mit dem Rundblickradar (Levine, 1960), das von einem (nahezu) festen Standpunkt ein Funkmeßbild der um den Aufnahmestandpunkt liegenden Objekte erzeugt. Seit 1960 wurde diese Art des Radars für geowissenschaftliche Zwecke gänzlich vom Seitensichtradar (Schrägradar, Seitwärtsradar) abgelöst, da hier eine bessere geometrische und radiometrische Auflösung möglich ist. Gewisse radargrammetrische Arbeiten mit dem Rundblickradar sind derzeit nur mehr in der Erstellung von Unterlagen für das Training von Flugzeugpiloten und Navigatoren im Gange. Es werden hiefür auf Grund von Luftbildern im Computer Radaraufnahmen simuliert (Robinson, 1974). Für die Kartenherstellung hat das Rundblickradar heute keine Bedeutung.

Im folgenden werden einige wesentliche Fakten über die Leistungsfähigkeit des Seitensichtradars zusammenfassend diskutiert. Danach wird auf einige neue Ergebnisse der Vermessung mittels dieser Systeme eingegangen.

##### 4.1 Leistungsfähigkeit des Seitensichtradars

Operationelle Verwendung haben bisher nur der Radarbildplan und daraus abgeleitete Signaturkarten gefunden. Die Stereokartierung und Höhenmessung sind über ein experimentelles Stadium nicht hinausgekommen, da die Genauigkeit gering und der Aufwand doch beträchtlich ist. An dieser Situation dürfte sich auch in der nahen Zukunft nichts ändern.

Sowohl die Lage- wie auch Höhengenaugigkeiten können im günstigsten Fall die Größenordnung des Durchmessers eines Auflösungselementes erreichen, also in

bisherigen Arbeiten etwa  $\pm 10$  m. In operationellen Umständen sind solche Werte nicht zu erreichen, da die notwendige Paßpunktdichte (1 Punkt per  $10 \text{ km}^2$ ) und günstigen Eigenschaften des Objektes (signalisierte Testpunkte in ebenem Gelände) nicht vorliegen. In operationellen Projekten wurden Lagegenauigkeiten von  $\pm 150$  bis  $\pm 700$  m erreicht, wobei die Paßpunktdichte etwa  $1 \text{ Pkt}/5\,000 \text{ km}^2$  bis  $1 \text{ Pkt}/100\,000 \text{ km}^2$  betrug und natürliche Objekte als Paßpunkte verwendet werden mussten.

Der wesentliche Vorteil der Radarkartierung gegenüber der Luftbildmessung ist auch heute noch die Tatsache, daß das Gelände ohne Rücksicht auf das Wetter mit einer Pixelgröße von  $10 \text{ m}$  und einer Leistung von etwa  $20\,000 \text{ km}^2$  pro Stunde aufgenommen und daraufhin entsprechend schnell ein Bildplan erstellt werden kann (halbkontrolliert; wohl mit Paßpunkten und einer Blockausgleichung, jedoch ohne vollständige Entzerrung der Bilder). Der Vorteil der großen Flächenleistung ist im Vergleich mit Satellitenbildern nicht mehr gegeben. Gegenwärtig ist das geometrische Auflösungsvermögen der Radarbilder höher als jenes von Satellitenabtastern. Diese Situation dürfte sich auch in Zukunft nicht rasch ändern; der Auflösung von funkübermittelten Satellitenabstastdaten scheinen aus rechtlichen und politischen Gründen Grenzen von etwa  $20$  bis  $30 \text{ m}$  gesetzt (LANDSAT D, STEREOSAT). Radarsysteme haben gegenwärtig aber schon eine Auflösung von bis zu  $3 \text{ m}$ .

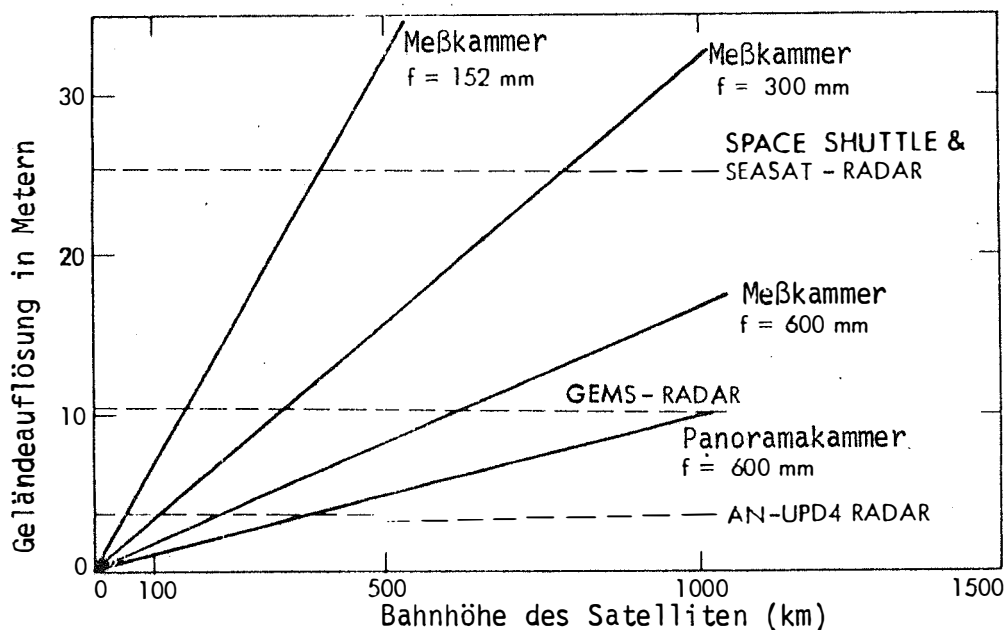


Fig. 4: Vergleich der Geländeauflösung von Meßkammern und Radaraufnahmen als Funktion der Flughöhe.

Figur 4 vergleicht für Radar und Meßkammern die zu erwartende Auflösung. Daraus ist ersichtlich, daß auch die Weltraumphotographie nicht ohne weiteres Aufnahmen liefert, die eine bessere Auflösung als Radar haben. Letzteres System würde seine Rolle zur Kartenherstellung erst dann verlieren, wenn Weltraumphotographie mit hoher Auflösung und zu wirtschaftlich vertretbaren Preisen gewonnen werden kann (vgl. Abschnitt über Weltraumphotographie).

In diesem Zusammenhang ist festzustellen, daß Weltraumphotographie im Rahmen bemannter Raumflüge gewonnen wird, die meist in nahezu äquatorialen Umlaufbahnen geplant werden. Polare Gebiete werden daher von solchen Projekten nicht bedeckt.

Es ist für die Zukunft zu erwarten, daß die geowissenschaftliche Verwendung von Radarbildern weniger auf der großen Flächenleistung pro Zeiteinheit, sondern mehr als jetzt auf den sonstigen Vorteilen von Radar beruhen wird (Empfindlichkeit für Oberflächenrauheit, Eindringen in Objekte, Polarisierung usw.).

#### 4.2 Satellitenradar

Figur 5 vergleicht die Kosten für die Kartierung mittels Flugzeugradar und für ein Satellitenradarsystem (Leberl und Jensen, 1976). Es zeigt sich, daß die Ausgaben bei der Kartierung einer Region wie Brasilien für beide Systeme vergleichbar groß werden,

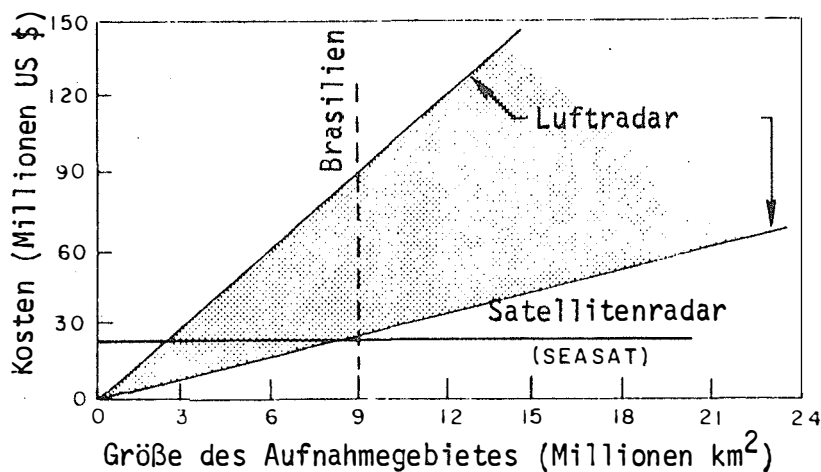


Fig. 5: Kostenvergleich von Satelliten- und Luftradar. Kommerzielle Luftradar aufnahmen kosten etwa US \$ 3.- bis 10.- pro Quadratkilometer. Satellitenradar in SEASAT soll etwa US \$ 20 Millionen kosten (14 Millionen für das Experiment und 6 Millionen für die Rakete, den Start und die Überwachung).

Darüber hinaus kann Satellitenradar einige Vorteile bieten, von denen drei wesentliche herausgegriffen seien:

- a) das aufgenommene Objekt erscheint im Satellitensystem unter einem sehr kleinen Bildfeld, sodaß eine sehr einheitliche Ausleuchtung gewährleistet ist.
- b) Die Aufnahmeleistung wird trotz gleicher Breite des aufgenommenen Objektstreifens noch weiter erhöht (Fluggeschwindigkeit von 30 000 km/h gegen 500 km/h).
- c) Die variablen Kosten für Satellitenradar sind im Vergleich zur Luft-  
radaraufnahme gering. Daher sind dynamische Vorgänge globaler Natur  
(Ozeane, Polareis) nur aus einer Erdumlaufbahn wirtschaftlich zu  
überwachen.

Diese und ähnliche Überlegungen haben zur Verwirklichung des Satellitenradar geführt (geplanter Start Mai 1978). Das wesentliche radargrammetrische Problem, das mit diesen Aufnahmen gelöst werden soll, betrifft das polare Meereseis. Unabhängigkeit des Abbildungsvorganges von Wetter- und Sichtbedingungen sowie von Sonnenlicht ist gerade in polaren Regionen (Polarnacht, Nebel, Bewölkung) besonders wichtig. Das Satellitenradarsystem SEASAT wird in etwa 10 Minuten einen 100 km breiten Geländestreifen von 4 000 km Länge aufnehmen.

#### 4.3 Radarkartierung des Meereseises

Über vorläufige Ergebnisse der Radarkartierung von Meereseis wurde schon berichtet (Leberl u.a. 1975; Leberl, 1976). Dabei wurden einzelne Luft-  
radarbilder derselben Eisschollen zu verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen, mittels Navigationsdaten getrennt in ein geozentrisches System transformiert und aus den Koordinatenunterschieden die Eisbewegung ermittelt. Über die Genauigkeit der Methode konnten mittels Testaufnahmen über Land Aussagen gemacht werden: Im untersuchten Fall wurden Fehler der Triftmessung von etwa  $\pm 200$  m pro Tag festgestellt.

Über ähnliche Projekte in der Sowjetunion berichten Loshchilov und Voyevodin (1972).

Die Arbeiten zur Eistriftmessung im offenen Ozean wurden als Vorbereitung auf das SEASAT-Projekt weitergeführt. Figur 6 zeigt zwei unkontrollierte

Bildindexkarten von arktischen Eisschollen, die im Oktober 1975 im Abstand von zwei Wochen im Rahmen des Arctic Ice Dynamics Joint Experiments (AIDJEX) mittels eines Radars mit synthetischer Apertur (Wellenlänge 25 cm) aufgenommen wurden. Figur 7 ist das Ergebnis der Messung der Eistrift. Hierzu wurden 2 Gruppen identer Bildpunkte in den Radarbildblöcken identifiziert und in einem Komparator<sup>1)</sup> gemessen. Die zwei Punktgruppen sind:

- a) Punkte, die in beiden Bildblöcken sichtbar sind und der Bestimmung der Trift dienen;
- b) Verknüpfungspunkte im Überlapp benachbarter Streifen eines Blocks.

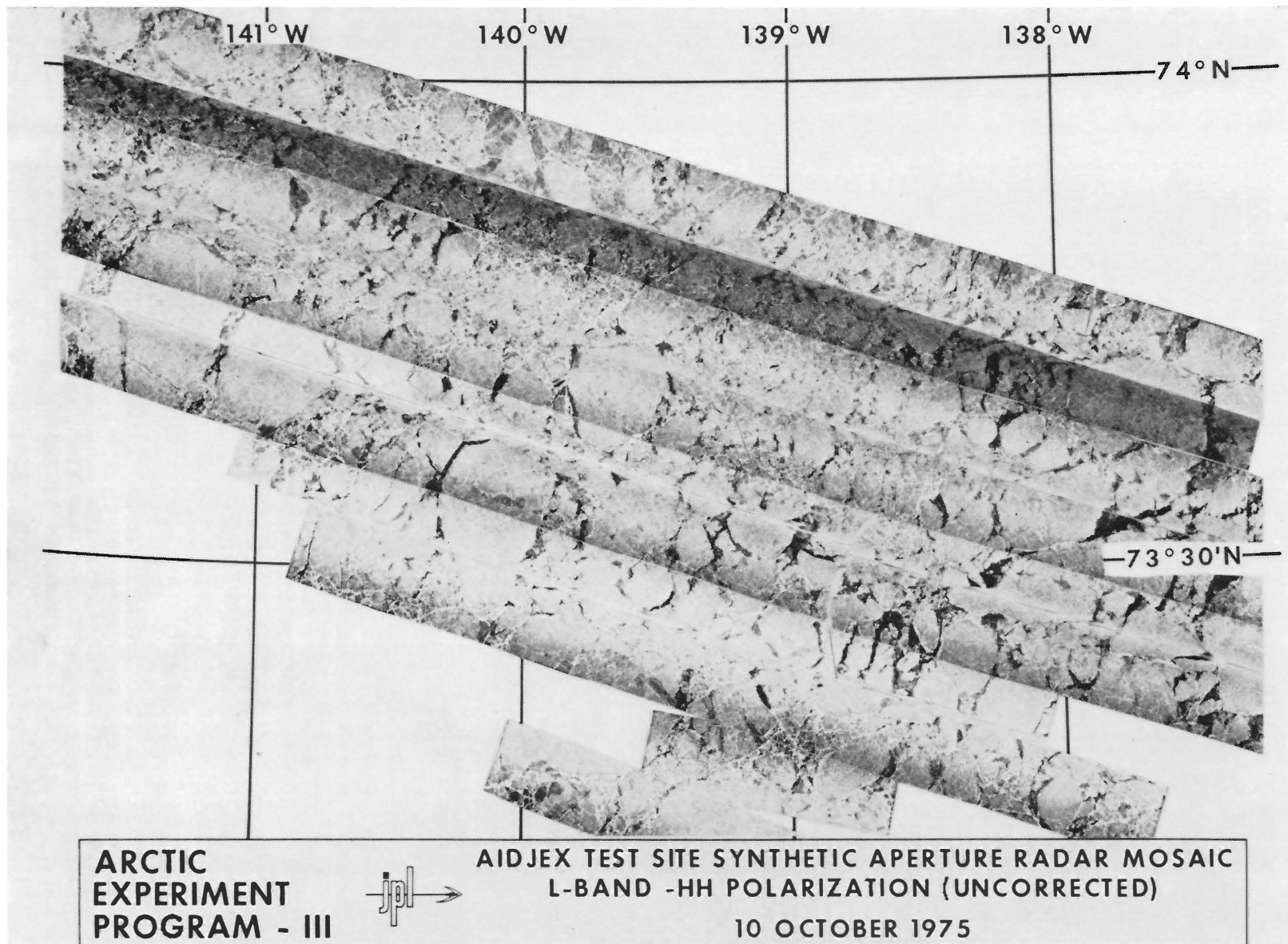
Jeder Streifen wurde erst mittels der Navigationsdaten in ein geodätisches Referenzsystem transformiert. Danach wurden die Bildstreifen jedes Blocks mittels der Verknüpfungspunkte und einem internen Blockausgleich klaffenfrei aneinander angeschlossen. Dies geschah mit der selben Methode, die auch im Radarblickausgleich in Kolumbien (Leberl, 1975) und in West-Virginia (Leberl, Jensen und Kaplan, 1976) verwendet wurde.

Über die absolute Genauigkeit der Methode mittels Radarbildblöcken kann nur eine Aussage getroffen werden, falls unabhängige Vergleichswerte vorliegen. Triftmessungen wurden in Bodenstationen durchgeführt. Allerdings wurden diese Daten bisher noch nicht in eine geeignete Form verarbeitet, sodaß derzeit über die absolute Genauigkeit noch keine Aussage getroffen werden kann. Es ist nur möglich, mittels der Klaffen zwischen benachbarten Bildstreifen einen Eindruck von der relativen Genauigkeit zu erhalten.

Vor der inneren Ausgleichung, also nach der Umbildung jedes individuellen Bildstreifens in das Referenzsystem, treten in den Streifenverknüpfungspunkten im Mittel Klaffen von  $\pm 3$  km auf. Diese sind durch Fehler der aufgezeichneten Navigationsdaten und Beschränkungen in der Identifizierung identer Verknüpfungspunkte verursacht. Die Navigationsdaten sind ungenauer als erwartet. Die Fehler sollen zeitabhängig nach einem empirischen Gesetz mit 1 km pro Flugstunde anwachsen. Da die benachbarten Streifen in einem Abstand von 30 Zeitminuten geflogen wurden, sind die festgestellten Fehler zu groß, um dem empirischen Gesetz zu entsprechen. Die Trägheitsnavigation

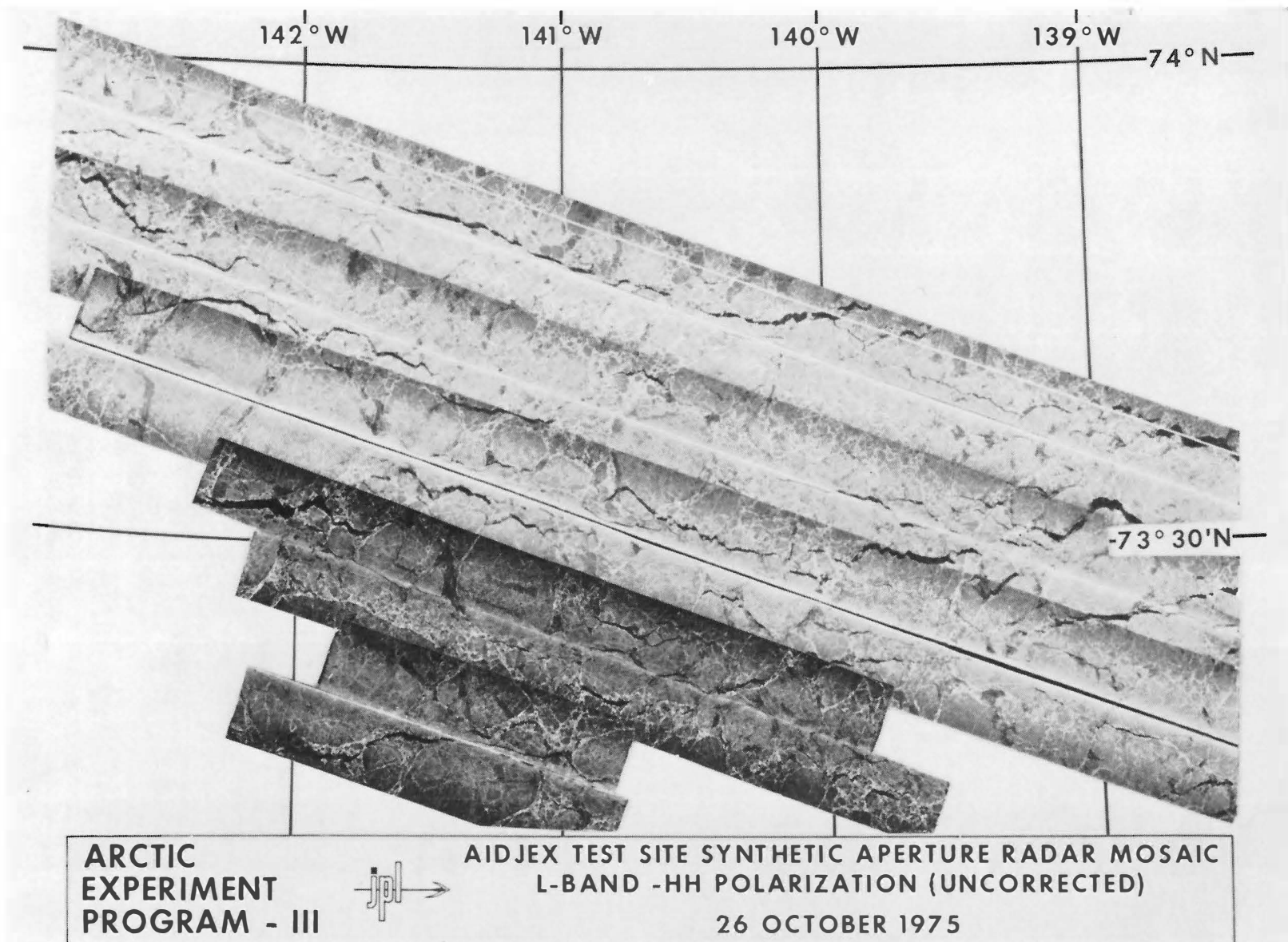
---

<sup>1)</sup> Zeiß-PSK, Observatorium Graz-Lustbühel



Figur 6a: Unkontrollierte Radarbildmosaike aus der Arktik  
(Arctic Ice Dynamics Joint Experiment and NASA-Jet Propulsion Laboratory)





Figur 6b: Unkontrollierte Radarbildmosaike aus der Arktik  
(Arctic Ice Dynamics Joint Experiment and NASA-Jet Propulsion Laboratory)

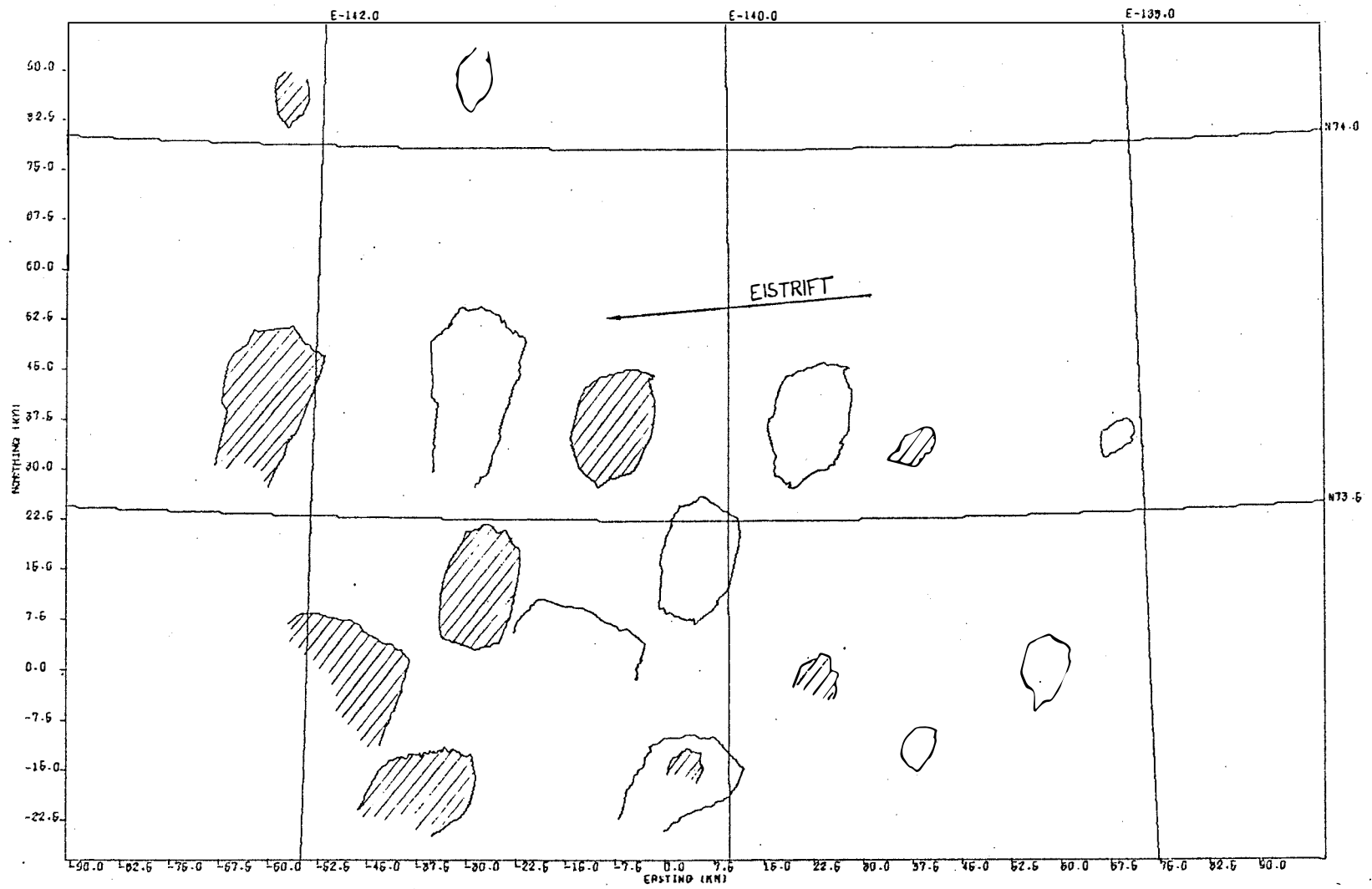


Fig. 7a: Absolute Eistrift ermittelt aus den Radardaten der Fig.6.

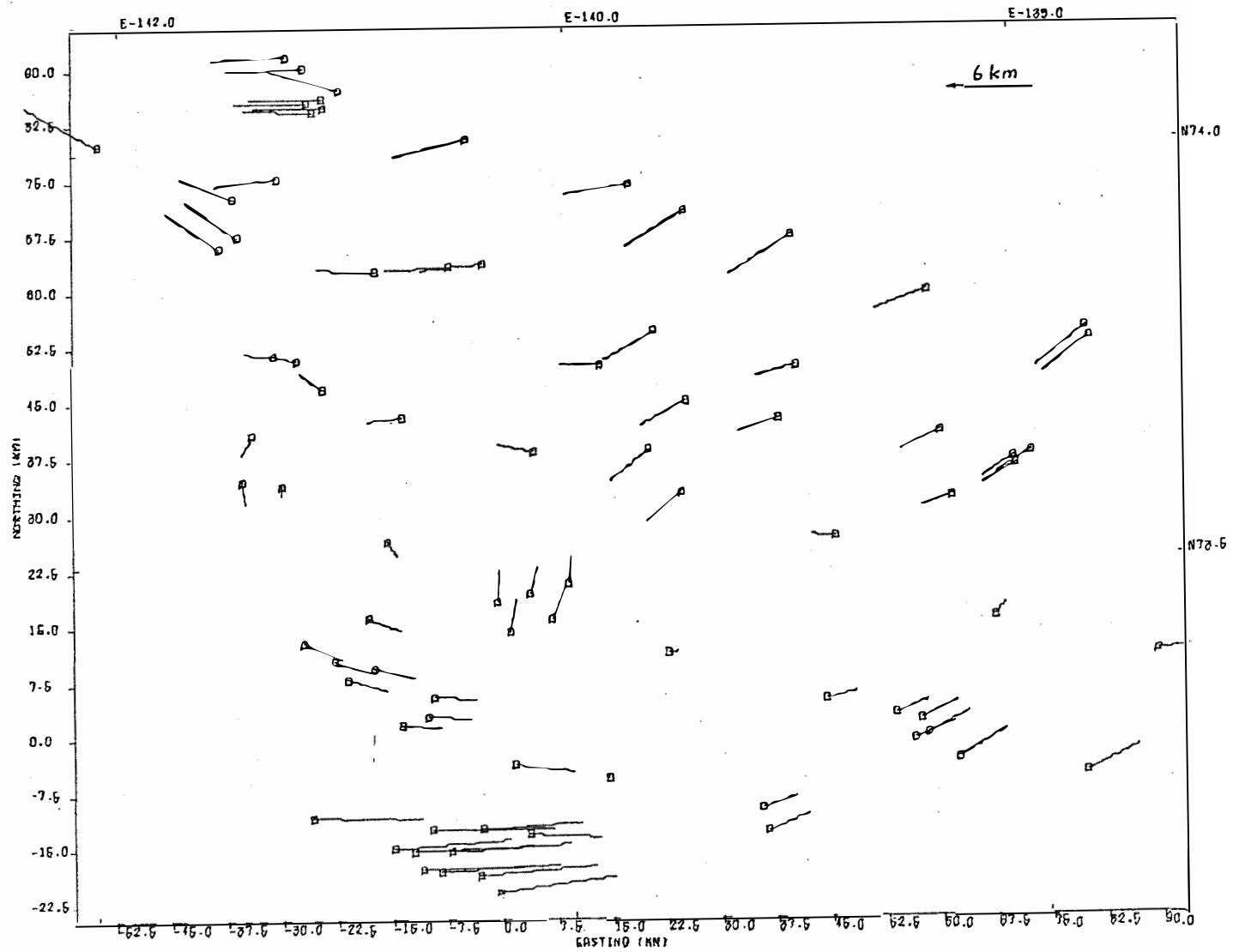


Fig. 7b: Relative Eistrift ermittelt aus den Radardaten der Fig. 6.

scheint jedoch durch die Richtungsumkehr des Flugzeuges bei der Befliegung gestört zu werden.<sup>1)</sup> Diese Erklärung wird dadurch erhärtet, daß auch in anderen Projekten, in denen die Navigation durch eine rechnerische Radarblockausgleichung überprüft werden konnte, größere Navigationsfehler gefunden wurden als dem 1 km/Flugstunde-Gesetz entspräche (vgl. Leberl, 1975, Leberl, Jensen und Kaplan, 1976).

Nach der inneren Ausgleichung ergeben sich Restklaffen zwischen benachbarten Radarstreifen von etwa  $\pm 150$  m. Diese Fehler sind durch unregelmäßige Identifizierungsfehler der Verknüpfungspunkte bedingt.

Die experimentellen Ergebnisse der Eiskartierung zeigen, daß in Zukunft eine operationelle Darstellung der Eistrift mittels überlappenden Radaraufnahmen möglich ist. Operationelle Verfahren müssen so angelegt sein, daß große Gebiete innerhalb kürzester Zeit und im Abstand von nur wenigen Tagen wiederholt kartiert werden können. Hierzu müssen bisher entwickelte Verfahren weiter automatisiert und für einfachen Gebrauch optimalisiert werden.

## 5. SCHLUSS

Die angeführten Überlegungen und Ergebnisse lassen erkennen, daß die Weltraumphotographie in Zukunft sehr wohl eine Rolle für die Herstellung und Revision von Kartenunterlagen (Bild- und Signaturkarten) spielen kann, falls die Fragen der territorialen Hoheit gelöst und kostengünstige Aufnahmeprojekte verwirklicht werden können. In diesem Falle würden die Satellitenabtast-, aber auch Luftradarverfahren, in ihrer Bedeutung für die Kartenherstellung zurückgedrängt werden.

Die Abtastung hat bisher nur eine beschränkte Anwendung zur kleinmaßstäbigen Kartierung (z.B. 1:500 000) in jenen bisher kaum erforschten Gebieten gefunden, wo weder Satelliten- oder Luftphotos noch Radarbilder vorliegen. Eine Verbesserung der Auflösung und Übergang auf Vielfachdetektoren wird diese Anwendungen wohl noch etwas fördern. Wegen der Funkübermittlung der Bilddaten sind jedoch Datenschutzprobleme nur

---

<sup>1)</sup> Persönliche Mitteilung von H. Aubauer und K. Killian nach einem Vortrag über Trägheitsnavigation von H. Aubauer an der T.U. Wien, 1976.

schwer lösbar. Daher wären der Weltraumphotographie wegen des sehr viel einfacheren Datenschutzes größere Möglichkeiten einzuräumen, wenn sich das Modell des "Weltraumtaxi" einmal durchgesetzt hat.

Radar wird sich in Polargebieten und zur Überwachung von schnell verändernden Erscheinungen einen eigenen Anwendungsbereich in der Vermessung erhalten, da die Unabhängigkeit von Wetter und Sonnenlicht sehr wesentliche Vorteile sind, die in anderen Systemen nicht gegeben sind.

In Österreich kann die Weltraumphotographie unter den genannten Voraussetzungen für die Kartenrevision und Orthophotokartierung bedeutungsvoll werden. Für die Abtastung und Radar sind jedoch nur Anwendungen zu erwarten, die außerhalb der Herstellung von Lage- und Höhenkarten liegen,

#### SCHRIFTTUM

- / 1/ ALBERTZ J. (1977); "Vorschläge für eine einheitliche Terminologie in der Fernerkundung", Bildmessung und Luftbildwesen, 45. Jahrg., Heft 4: 119-124.
- / 2/ BÄHR H.P. (1975); "Interpolation and Filtering of ERTS-Imagery", Bildmessung und Luftbildwesen, 43. Jahrgang, Heft 1: 28-29.
- / 3/ BÄHR H.P. (1976); "Geometrische Modelle für Abtasteraufzeichnungen von Erderkundungssatelliten", Bildmessung und Luftbildwesen, 44. Jahrg., Heft 5; 198-202.
- / 4/ BAKER J.R. und E.M. MIKHAIL (1975); "Geometric Analysis and Restitution of Digital Multispectral Scanner Data Arrays", LARS Information Note 052 875, Purdue Univ., USA, 296 S.
- / 5/ BERNSTEIN R. (1976); "Digital Image Processing of Earth Observation Sensor Data", IBM Journal of Research and Development, Jan. 1976; 40-57.
- / 6/ COLVOCORESSES A.P. (1976); "Overall Evaluation of Skylab (EREP) Images for Cartographic Application", Surveying and Mapping, Dec. 1976; 351-360.
- / 7/ DERENYI E.E. und G. KONECNY (1966); "Infrared Scan Geometry", Photogrammetric Eng., Vol. XXXII, No. 1: 113-118.
- / 8/ DERENYI E.E. (1970); "An Exploration Investigation Concerning the Relative Orientation of Continuous Strip Imagery", Techn. Report No. 8, Dept. of Surveying Eng., Univ. of N. Brunswick, Fredericton, Canada: 182 S.

- / 9/ DERENYI E.E. (1974); "Planimetric Accuracy of Infrared Line Scan Imagery", The Canadian Surveyor, Vol.28, No. 3: 247-254.
- /10/ DEROUCHIE W.F. und R. FORREST (1974): "Potential Positioning Accuracy of ERTS-1 MSS Images", Annual Convention of ASP-ACSM, St. Louis, 10.-15. März 1974, 18 S.
- /11/ EBNER H. (1976): "A Mathematical Modell for Digital Rectification of Remote Sensing Data", Komm. III, 13. Kongreß der Int. Ges. für Photogrammetrie, Helsinki.
- /12/ FLEMING E.A. und L.M. SEBERT (1974): "The Use of ERTS-Imagery for Topographic Map Revision", 7<sup>th</sup> Intl. Conf. on Cartography, ICA, April-Mai 1974, Madrid, 5 S.
- /13/ FLEMING E.A. (1976): "Canadian Mapping Use of Landsat Imagery", Proceedings, 10<sup>th</sup> Intl. Symp. on Remote Sensing of Environment, 6.-10.October 1976; 1451-1456.
- /14/ FLEMING E.A. (1976): "The Use of Satellite Photography in the National Topographic Mapping Program of Canada", Presented Paper, Comm. IV, 13. Kongreß der Int. Ges. für Photogrammetrie, Helsinki, 13 S.
- /15/ FLEMING E.A. (1977): "Positioning Off-Shore Features with the Aid of Landsat Imagery", Photogramm.Eng. and Remote Sensing, Vol. XLIII, No. 1; 53-59.
- /16/ FORREST R.B. (1975): "Geometric Correction of ERTS-1 MSS Images", in: Proceedings of the Comm. III Symp. Stuttgart, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe B Nr. 214: 340-357.
- /16/ GUT D. und J. HÖHLE (1977): "High Altitude Photography - Aspects and Results", 43<sup>rd</sup> Annual Meeting of ASP-ACSM, Washington, D.C.
- /17/ JERIE H.G. (1976): "Proposal for a Modification of Line Scanners and Panoramic Cameras for the Acquisition of Stereo Imagery", ITC-Journal, 1976-2: 357-363.
- /18/ KELLER M. (1976): "Analytic Aerotriangulation Utilizing Skylab Earth Terrain Camera (S-190B) Photography", Photogramm. Eng. and Rem.Sensing, Vol. XLII, No. 11; 1375-1383.
- /19/ KONECNY G. (1970): "Metric Problems in Remote Sensing", ITC-Publication Series A, No. 5: 152-177, Delft.
- /20/ KONECNY G. (1972): "Geometrische Probleme der Fernerkundung", Bildmessung und Luftbildwesen, 40. Jahrgang, Heft 4: 162-172.

- /21/ KONECNY G. (1975): "Approach and Status of Geometric Restitution for Remote Sensing Images", Bildmessung und Luftbildwesen, 43. Jahrgang, Heft 1: 2-11.
- /22/ KONECNY G. (1976): "Mathematische Modelle und Verfahren zur geometrischen Auswertung von Zeilenabtaster-Aufnahmen", Bildmessung und Luftbildwesen, 44. Jahrgang, Heft 5: 188-197.
- /23/ KÖLBL O. (1973): "Kombinierte Auswertung von Satelliten- und Luftbildern für die topographische Kartierung", Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 188.
- /24/ KOEMAN C. (1970): "The Impact of Photography from Space on Small Scale and Atlas Cartography", Intl. Yearbook of Cartography, 10: 35-40.
- /25/ KRATKY V. (1974): "Cartographic Accuracy of ERTS-Imagery", Photogramm. Eng., Vol. XI, No. 2: 203-212.
- /26/ LEBERL F. (1970): "Metric Properties of Imagery Produced by Side-Looking Airborne Radar and Infrared Line Scan Systems", ITC-Publication, Series A, No. 50: 125-151, Delft.
- /27/ LEBERL F. (1972 a): "Bemerkungen zu: Ein Zweistrahl-Infrarot-Zeilenabtaster für Stereoskopische Wärmebilder", Bildmessung und Luftbildwesen, 40. Jahrgang: 228-229.
- /28/ LEBERL F. (1972 b): "On Model Formation with Remote Sensing Imagery", Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen, 60. Jahrgang, Nr. 2: 43-61.
- /29/ LEBERL F., T. FARR, L. BRYAN, CH. ELACHI (1975): "Study of Arctic Sea Ice Drift from L-Band Synthetic Aperture Radar Imagery", Proceedings, 42<sup>nd</sup> Annual Convention of ASP, Washington: 597-611.
- /30/ LEBERL F. (1975): "Radargrammetric Point Determination Proradam", Bildmessung und Luftbildwesen, 43. Jahrgang, Heft 1: 11-17.
- /31/ LEBERL F. und J. JENSEN (1976): "Space Shuttle Imaging Radar and its Applicability to Mapping, Charting and Geodesy", in "Applications Review for a Space Program Imaging Radar", ed. by D. Simonett, Santa Barbara Remote Sensing Unit Techn. Report 1, Univ. of California at Santa Barbara, U.S.A.: 27 S.
- /32/ LEBERL F. (1976): "Imaging Radar Applications to Mapping and Charting", Photogrammetria, Vol. 32, No. 3: 75-100.
- /33/ LEBERL F., H. JENSEN und J. KAPLAN (1976): "Side-Looking Radar Mosaicking Experiment", Photogramm. Eng. and Rem. Sensing, Vol. XLII, No. 8: 1035-1042.

- /34/ LEBERL F., (1977); "Satellitenradargrammetrie", erscheint bei der Deutschen Geod.Kommission, Reihe C, 160 S.
- /35/ LEVINE D. (1960); "Radargrammetry", Mc Grew Hill Book Comp., New York
- /36/ LOSHCHILOV V.S. und V.A. VOYEVODIN (1972): "Determining Elements of Drift of the Ice Cover and Movement of the Ice Edge by the Aid of the "Toros" Aircraft Lateral Scan Radar Station", Problemy Artiki i Antartiki, No. 40: 23-30.
- /37/ LORENZ D. (1972): "Ein Zweistrahl-Infrarot-Zeilenabtaster für stereoskopische Wärmebilder", Bildmessung und Luftbildwesen, 40. Jahrgang: 120-122
- /38/ MASRY S.E. (1969): "Analytical Treatment of Stereo Strip Photos", Photogrammetric Eng., Vol. XXXV, No.12; 1255-1262
- /39/ MASRY S.E. und J.G. GIBBONS (1973): "Distortion and Rectification of IR", Photogram. Eng., Vol. XXXIX, No. 8: 845-849
- /40/ MOTT P.G. (1975); "Applications of Satellite Imagery to Small Scale Mapping", Proceedings of ASP-ACSM Fall Convention, Phoenix, Airzona, October 26-31, 1975; 320-337.
- /41/ NEUMAIER K. (1966); "OEEPE Official Publ. No. 2", Inst. f. Angewandte Geodäsie, Frankfurt am Main, 60 S.
- /42/ PETRIE G. (1970); "Some Considerations Regarding Mapping from Earth Satellites", Photogrammetric Record 6 (36) : 590-624.
- /43/ PINKWART E. (1938); "Die Umformung ungleichartiger Koordinaten in der Praxis", Allg. Verm.Nachrichten.
- /44/ ROBINSON R. (1974); "Digital Radar Landmass Simulation", 14.Kongreß der F.I.G., Washington, D.C.
- /45/ SCHUHR W. (1976); "Digitale Entzerrung multispektraler Bilder", Bildmessung und Luftbildwesen, 44. Jahrgang, Heft 5: 202-208.
- /46/ STEWART R.A. (1975); "Mapping from Satellite Photography", Commonwealth Survey Officers Conference, Paper No. K 2.
- /47/ TRINDER J.C. (1975); "Correction of ERTS Multispectral Scanner Image Geometry", Unisurv G., No. 22: 63-80, Australien.
- /48/ TRINDER J.C. und S.U. NASCA (1976): "Tests on the Mapping Application of LANDSAT Imagery", Unisurv G, No. 24: 47-70.
- /49/ WELCH R. (1974); "Skylab-2 Photo Evaluation", Photogramm. Eng., Vol.XL, No. 10: 1221-1224.
- /50/ WONG K. (1975); "Geometric Accuracy of ERTS-1 Imagery", Photogramm. Eng. and Remote Sensing, Vol.XLI, No.5 621-635.



Geowiss. Mitt.

13, 1978, S. 225 - 244

UNDERWATER MAPPING BY SIDE LOOKING SONAR

by

D.J. Bakker and K. Kubik

Address of the authors:

Ing. D.J. Bakker B.Sc. and  
Dr. K. Kubik, Rijkswaterstaat, Dienst Informatieverwerking, Data Processing  
Division, Rijswijk (z.h.), Nijverheidsstraat 1, The Netherlands.

1. INTRODUCTION

In this report a brief discussion is given about the principle of Side Looking Sonar as a tool for underwater detection and mapping device, its application in the "Rijkswaterstaat", and the possibilities for producing "photomaps" of the sea-bottom from its recordings.

2. PRINCIPLE OF THE SIDE LOOKING SONAR

A Side Looking Sonar (S.L.S.) is an underwater reconnaissance and mapping device which consists in principle of a fish with two built-in transducers, a registration unit, a connecting cable between the fish and the registration unit. From the transducers installed in the fish, acoustic pulses are emitted, and the reflections (from the sea-bottom) are received. This is possible within a variable range of ca. 500 m in horizontal sense. The dimensions of the fan-shaped acoustic bundle are chosen in such a way that they amount to ca.  $1.2^{\circ}$  in horizontal projection and in vertical projection to ca.  $20^{\circ}$  (see fig. 1) e.g. ca.  $10^{\circ}$  inclination with the horizontal level. By towing the fish through the water an image is built up, line by line (just as on a Tele-screen). The image build-up occurs with the help of the paper-recorder which is installed on board of the ship.

Maximum reflection is obtained from features perpendicular to the sonar wavefront, while no reflection is obtained from details behind these features (see figure 2). Moreover the structure of the sea-bed will exert an influence on the intensity of the echo received. Rock and gravel will result in a maximum, mud, silt and vegetation in a minimum echo intensity. Depending on the adjustment of the repeating frequency of the pulses, the distance-range is fixed and can be tuned in between 50 m and 500 m respectively with a pulse repeating frequency of 15,0 pulses per second and 1.5 pulses per second.

This becomes 7.5 pulses per second for a distance of 100 m, which is mostly used. This means that with a sailing speed of 4 miles per hour, ca. every 30 cm one scan-line is produced; by fanning out at greater distances an overlap will occur, formed by adjacent scan-lines. The images thus formed (see figure 3) give a topographic (although distorted) image of the sea-bed, with a covering density and covering reach depending on

the sailing speed and the tuned-in range. The above mentioned distortion is a result of the fact that the distance directly measured (time measurement) from the transducer to the sea-bottom (slant range) is determined, instead of the horizontal distance (see figure 4). As yet, the Side Looking Sonar has been used mainly as detecting device. This implies that the above mentioned, and other, distortions are of less importance considering that the tracing effect is not being influenced.

### 3. APPLICATION

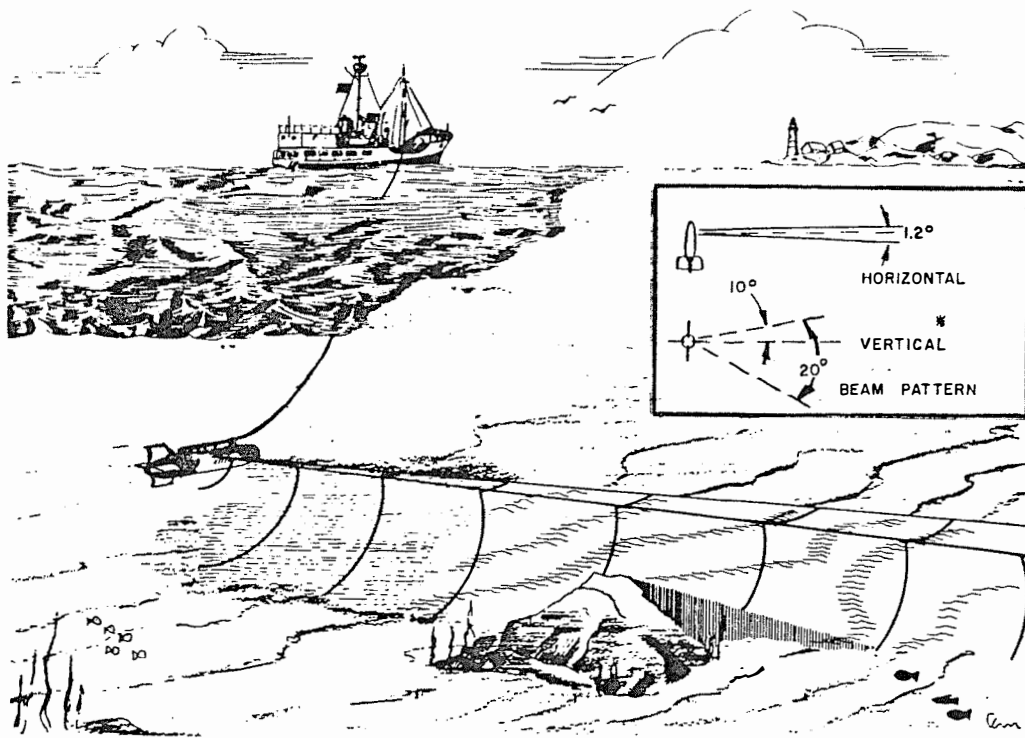
As already stated, Side Looking Sonar has been, up till now, mainly used as detecting instrument in the tracing of phenomena present on the sea-bed. These can have a natural character such as rock-outcrops, sand-ripples, gravel-formation, boulder-formation etc. Next to these natural phenomena, we find, on the sea-bed objects which have been brought there through man's activities, such as shipwrecks, barrels, platforms, anchors (chains), pipe-lines, remnants of drilling activities; last but not least the consequence of dredging-work, sand- and gravel-winning; the influence of fishing equipment on the sea-bottom is clearly recognizable on the sonar images.

After some constructive experience it is clearly possible to recognize the surface geological structure and the occurring natural phenomena (sand, gravel, clay, mud).

The "Rijkswaterstaat" has concentrated the operational application mainly in tracing shipwrecks and pipe-lines. This is on the one hand part of the task to ensure a safe navigation and on the other hand for the regular control of the pipe-lines on the Dutch part of the continental shelf. Figures 5 and 6 may be used as examples of the detection concerned.

Besides the use of Side Looking Sonar as a detector the "Rijkswaterstaat" is investigating the possibilities of applying Side Looking Sonar as a mapping device.

For that purpose the "Rijkswaterstaat" elaborated a test-program with the intention of testing different processing methods as to the production of photographic charts of the sea-bottom.



\* VARIABLE FROM  $10^\circ$  TO  $20^\circ$  DEPRESSION AND FROM  $20^\circ$  TO  $50^\circ$  BEAM WIDTH .

Fig. 1: Sketch of Sonar Beam, Starboard Side (from EG&G, 1970)

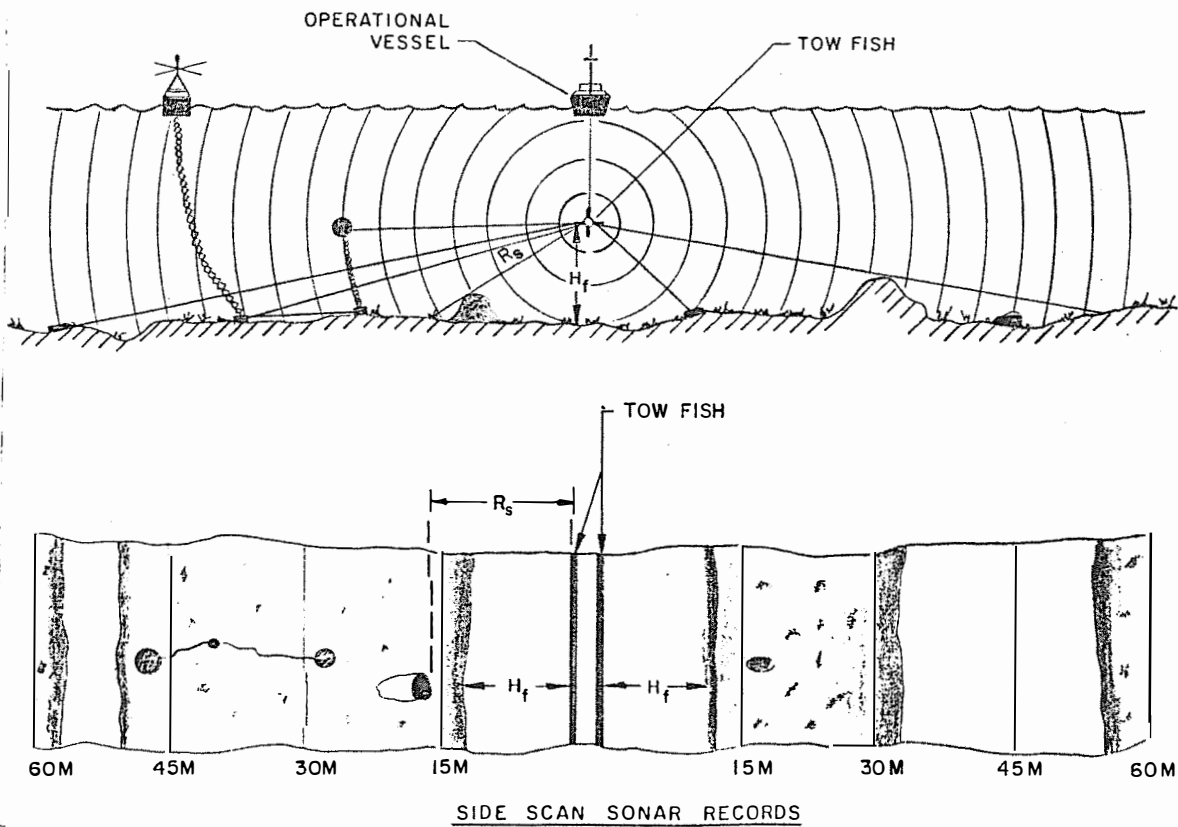


Fig. 2: Typical Side Scan Sonar record illustrating how acoustic pulses from the Side Scan tow fish are converted into Side Scan recordings (from EG&G 1970)

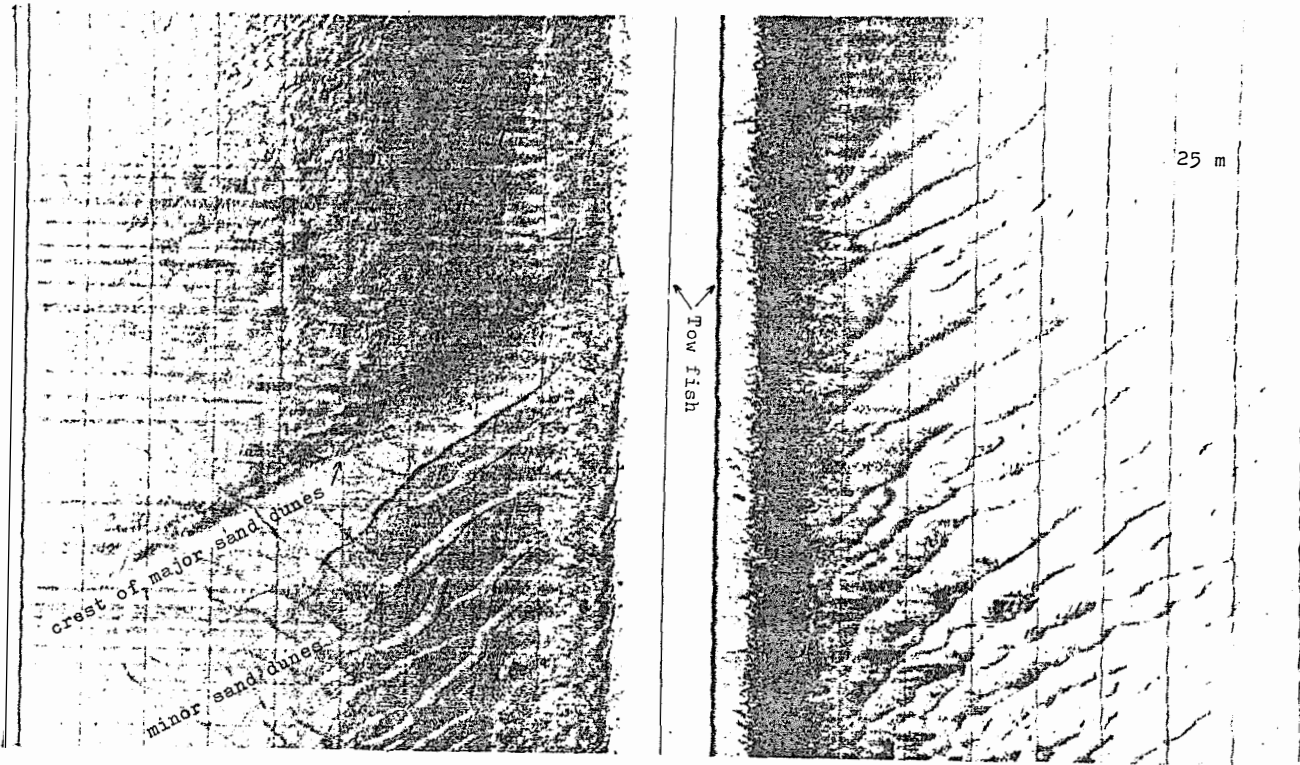


Fig. 3: Typical Side Looking Sonar recording showing sand dunes and position fixes

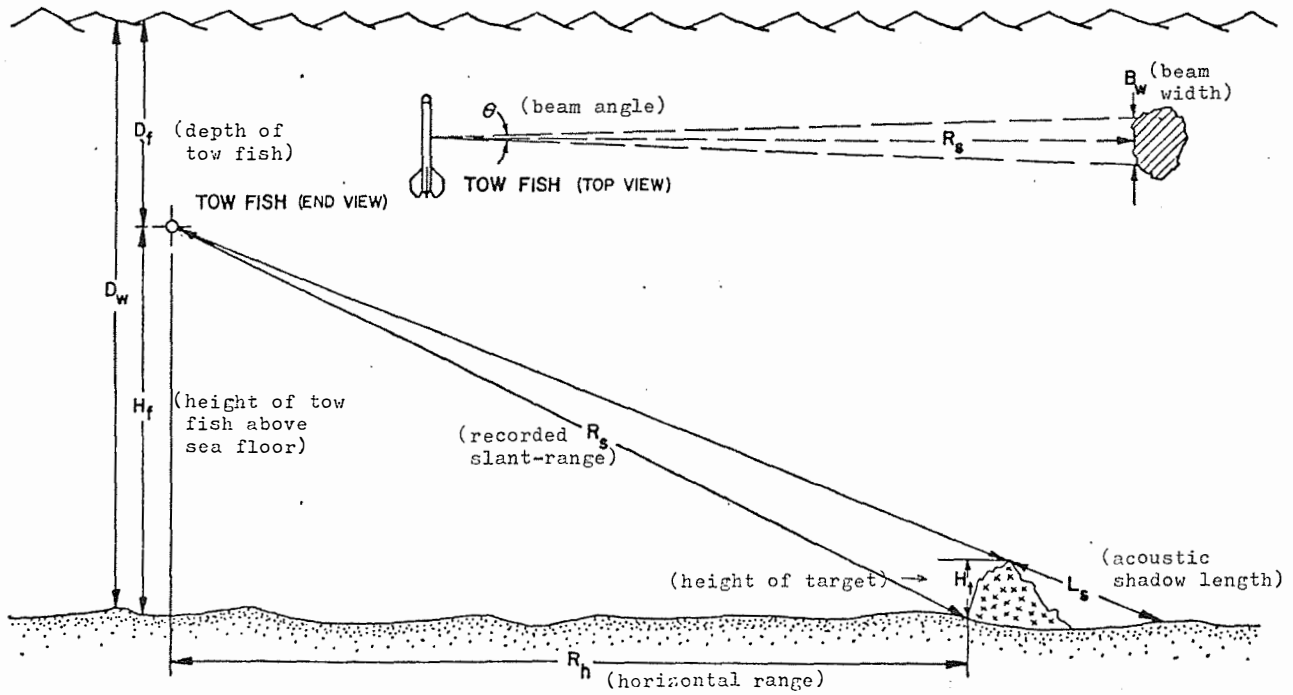


Fig. 4: Geometry of Side Scan Sonar

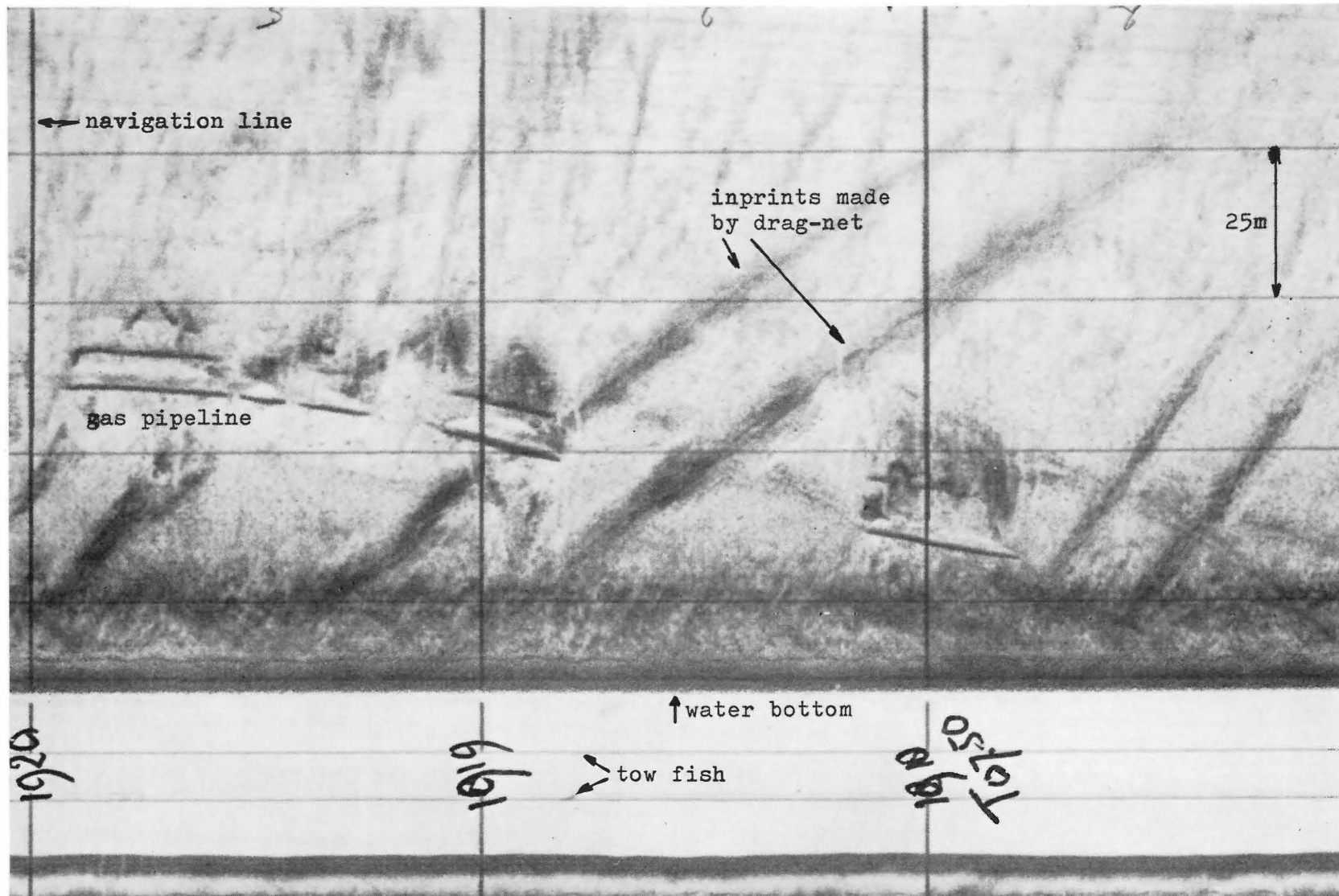


Figure 5: Sonar image of gas pipe-line L10-Uithuizermeden, partly inbedded in sand  
Data taken off Den Helder, the Netherlands

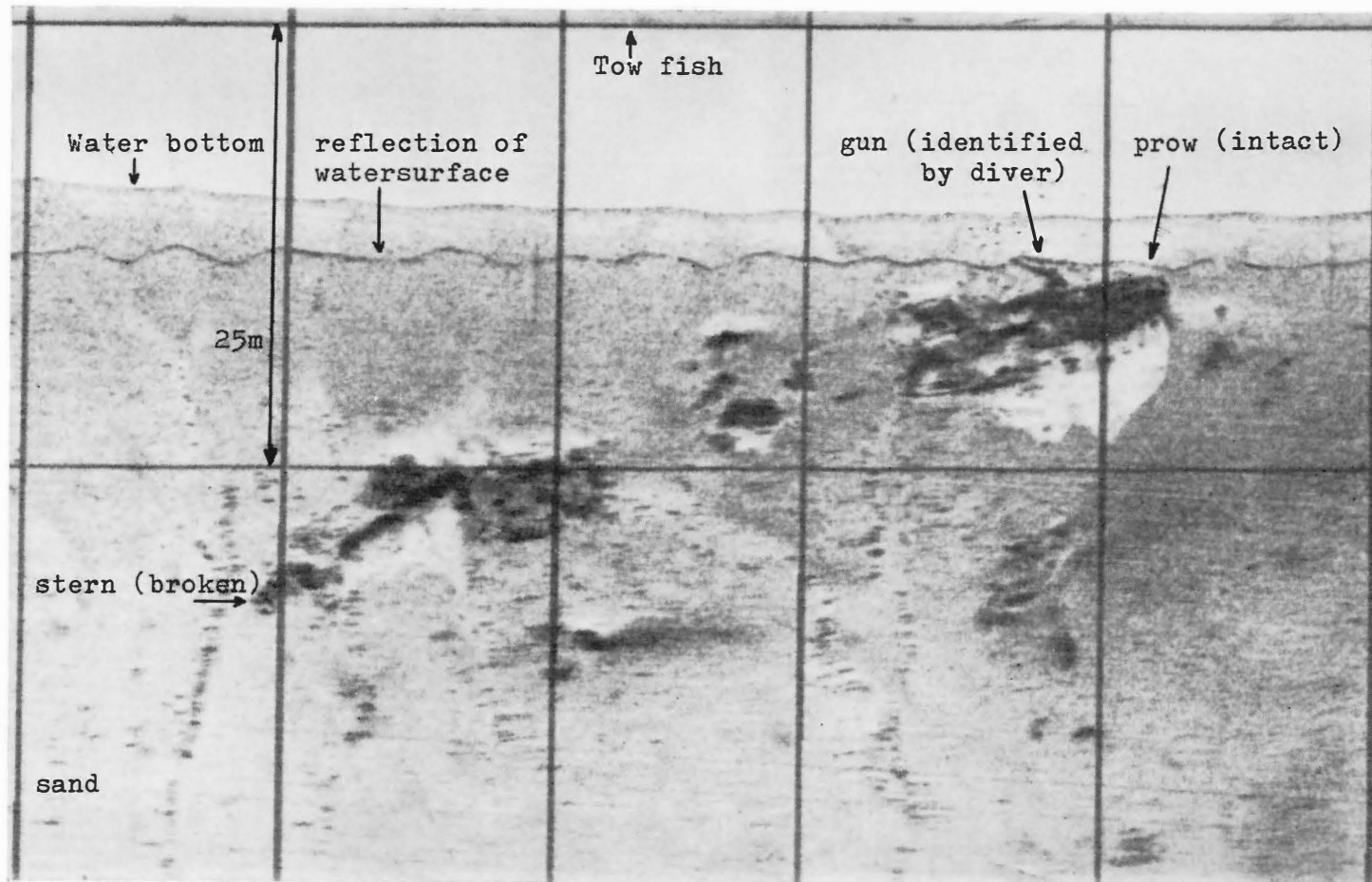


Figure 6: Sonar image of broken wreck of unknown war-ship  
Wreck nr. A 174, position 52°08'N 03.50'E

4. SURVEY MISSION FOR PRODUCTION OF A PHOTO MOSAIC

For the photo mosaic, it is important to have at one's disposal recordings taken with the same azimuth, in view of the interpretation of the chart. The original recordings (or photos of these) with a range of 100 m (height of fish 12 m above sea-floor), seemed only to contain clear image-information between a range of 30 - 80 m. Within this range also a uniform scale distortion may be assumed; the photo scale being three times as large as that in the sailing direction.

To obtain a complete photo mosaic, the lanes have to be sailed at distances equal to half the range or 50 m.

During the test-mission the paper-recorder suffered interference for 5 % of the time.

5. PHOTO MOSAIC OF ORIGINAL RECORDINGS

A photo mosaic has been composed of the original recordings (or photos of these recordings) with an absolute accuracy of 15 m (see figure 7). To obtain this result, the determination of the ship's position to about 0.2 - 0.5 lanes (20 - 50 m) was indispensable. A templet method was applied to adjust the position and orientation of the individual sections of the recordings. The scale of this manually produced photographic chart is 1 : 2 500 in X-direction (sailing direction) and 1 : 820 in Y-direction. A uniform scale in both directions is difficult to obtain exclusively by photographic means.

The composition of the photo mosaic including overlays, depth lines, co-ordinates systems, takes 3 mandays for 1 day survey mission (excluding the photographic work).

6. MAGNETIC TAPE RECORDING OF THE SURVEY MISSION AND THEIR PROCESSING

To obtain a good recording and later a good processing of the survey mission, the signals, in analogue form, are recorded on an instrumentation recorder. The conversion from the analogue to the digital data (the digital tapes form an intermediary result for further processing), as carried out during the test, is not suitable yet for production purposes. For



production, a system is under study in which the tapes are read in a device and are directly processed into the final product (photos or sections of the photo map).

Through the recording of the data on magnetic tape, a simple scale correction of the images in Y-direction becomes possible.

Automatic correction of the position of the ship and fish seems possible, not however, with the appliance mentioned earlier. Not expected yet is a greater accuracy of the photo mosaic than at present obtained by manual assembly, not until a navigation appliance is installed in the fish. This navigation appliance is especially important when using great range.

Different film writers have been tested for the production of photos from the digital-magnetic tapes (amongst others available at "Rijkswaterstaat" and Technical University of Hannover). A cost performance analysis of these instruments is at present under way.

From the photographs obtained from the film writers, photo mosaics can be compiled with the same scale in X- and Y-direction. The accuracy of these mosaics will be comparable to the figures mentioned earlier (15 m accuracy).

## 7. IMAGE ENHANCEMENT

To build a fully automated processing system for the production of photo maps from Side Looking Sonar images, there is co-operation with a number of institutes on the most critical parts of the research. The following aspects are drawing special attention:

- 1) Image quality enhancement:
  - a) the full use of the dynamic range of the output medium;
  - b) corrections in connection with the sensitivity characteristics of the transducer (less contrast differences in scan line direction);
  - c) corrections of the sonar-amplifier settings (less contrast differences in track direction);
  - d) noise filtering.

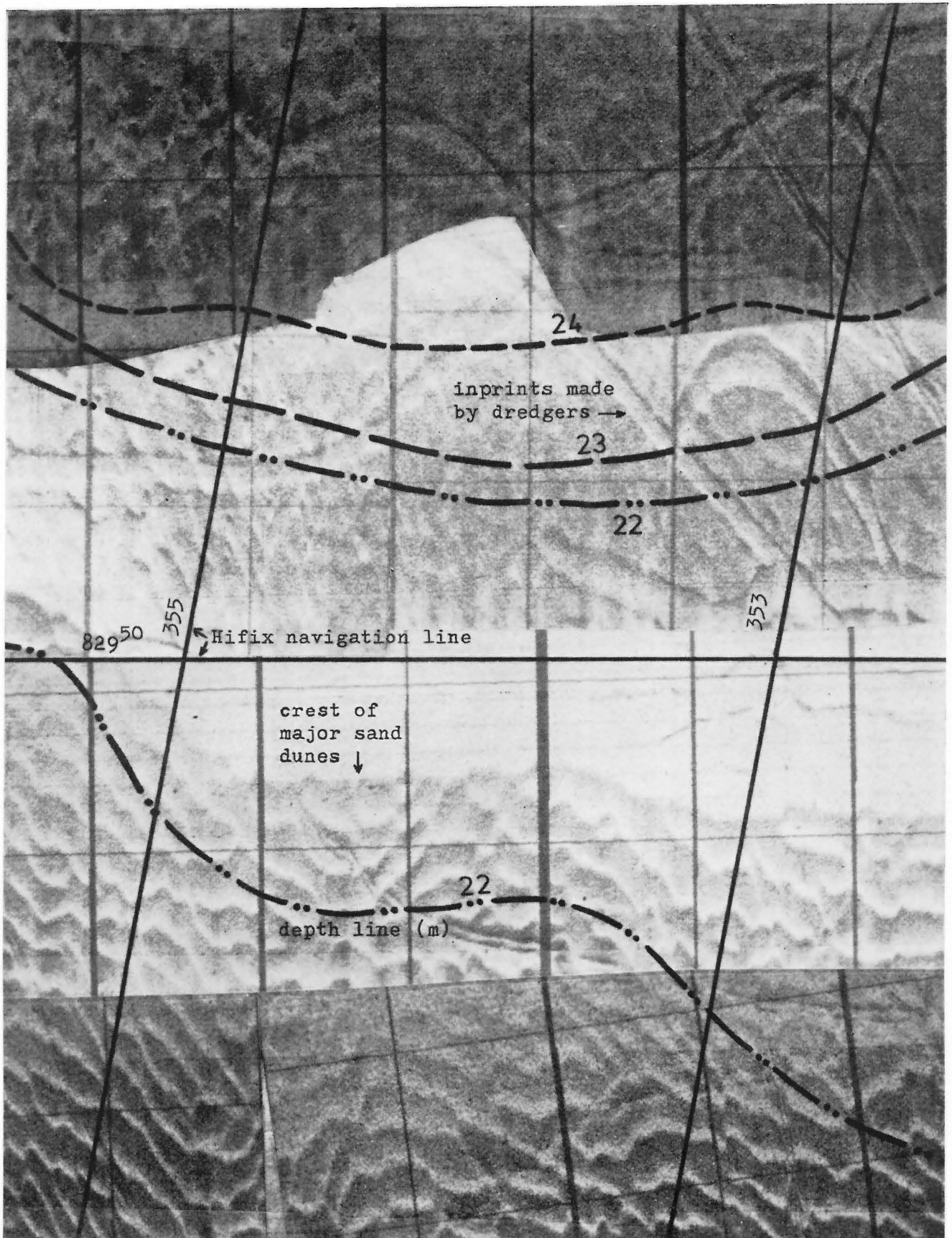


Figure 7: Section of photo mosaic of sea bottom "Zeezandwinningsgebied Scheveningen"  
 Horizontal scale 1 : 2500, vertical scale 1 : 820, accuracy  $\pm 15$  m

- 2) Image geometry enhancement:
  - a) slant-range to ground-range correction;
  - b) fish-track correction.

At the Technical University in Delft, possibilities were investigated to reduce noise by processing analogue magnetic tape recordings with a hybrid computer system. As, added to this, digital techniques were also involved, this method did not give high processing speeds, while the interpretation of the results was difficult owing to the primitive visual output possibilities.

In the field of image quality enhancement, a lot of experience has been acquired in the USA through satellite imagery processing. Many of the techniques developed are also applicable to other kinds of images, i.e. sonar or radiology.

Contracts have been established with the Jet Propulsion Laboratory in Pasadena (Cal.) which are in possession of much hardware, software and know-how in the field of digital image processing.

Figure 8a and 8b show successful results of experiments at Jet Propulsion Laboratory, special attention was paid to minimize contrast differences. The filtering techniques so far used, gave however an amplification of the noise in the image, a problem that is still being studied. Together with the Technical University of Hannover the geometry problems are especially investigated.

Figure 9 gives an example of the slant- to ground-range correction while using a fixed depth for the whole area. Research continues for efficient methods of correcting the images for the fish-track curve.

Generally it may be stated that digital processing of sonar data requires a lot of computer time, because of the enormous amount of information, but will give very promising results.

## 8. CONCLUSION AND OUTLOOK

Side Looking Sonar extends the principles of Photogrammetry and Remote Sensing to underwater survey missions. Some of the basic tools are at

present available for this purpose, however, the recording of the information and its processing needs further improvement to make them suitable for the requirements of a production environment.

The derivation of continuous depth information from the sonogram is one of the future goals. At present experiments are carried out to derive this depth information using the interference pattern obtained from two Side Looking Sonar sensors or using different types of sensors like the Sector Scanning Sonar, which operates similar to the classical sweep radar device and records distance and azimuth of objects.

With the marine environment and its resources in the focus of mankind these survey tools for "underwater photogrammetry" will be perfected in the near future.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The Side Looking Sonar devices are used within various divisions of "Rijkswaterstaat". With respect to the processing of the information, co-operation exists with the Technical Universities of Delft and Hannover, and various organisations in the United States of America.

#### BIBLIOGRAPHY

- / 1/ BERKSON, J.M., CLAY, C.S.: "Transformation of Side Scan Sonar records to a linear display", International Hydrographic Review, June 1973.
- / 2/ CHESTERMAN, W.D., CLYNICK, P.R., STRIDE, A.H.: "An acoustic aid to sea-bed survey", Acoustica, no. 8, 1958.
- / 3/ CHESTERMAN, W.D., ST. QUINTON, J.M.P., CHAN, Y., MATTHEWS, H.R.M.: "Acoustic survey of the sea-floor near Hong Kong", International Hydrographic Review, January 1967.
- / 4/ CHESTERMAN, W.C., HOPKINS, J.C.: "Recent results from an isometric Side Scan Sonar system", Ultrasonic Conference Paper, Bath, 1971.
- / 5/ CHOLET, J., FONTANEL, A., GRAU, G.: "Etude du fond de la mer á l'aide d'un sonar lateral", Presented paper Commission VII, ISP Congress, Lausanne, 1968.
- / 6/ FLEBBE, H.: "Eine Bestandsaufnahme und Studie zum Einsatz eines Side Scan Sonar Gerätes zur flächenhaften Vermessung des Meeresbodens", Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Technische Universität Hannover, 1974.

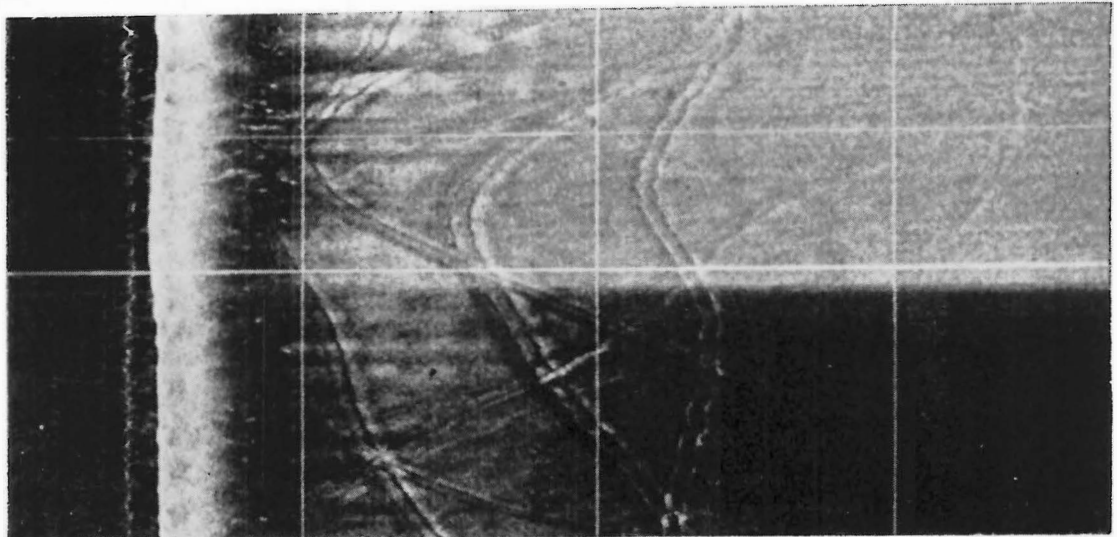


Figure 8a: Original recording of Side Looking Sonar (negative, 100 m range) showing some dredging activity.



Figure 8b: Image of figure 8a after contrast enhancement to obtain uniform contrast throughout the image

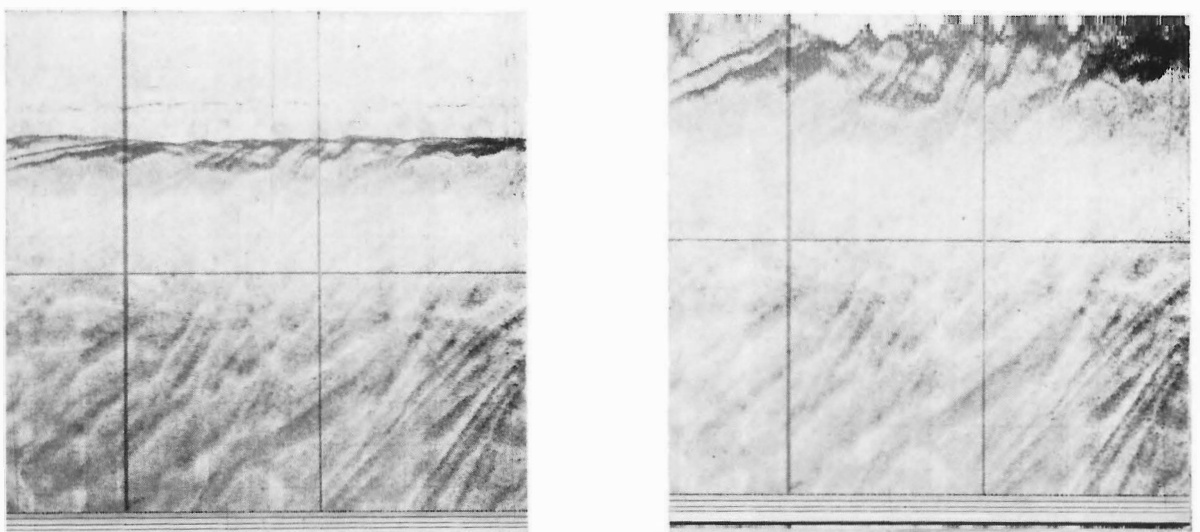


Figure 9: Original recording of Side Looking Sonar (left, 50 m range) and slant- to ground-range corrected version (right)

- / 7/ EG&G: Manual for Mark 1B Side Scan Sonar.
- / 8/ HOPKINS, J.C.: "Cathode Ray Tube display and correction of Side Scan Sonar signals", IERE Conference on Electronic Engineering in Ocean Technology, Swansea, September 1970.
- / 9/ HOPKINS, J.C.: "A note on methods of producing corrected Side Scan Sonar displays", International Hydrographic Review, July 1972.
- /10/ KELLAND, N.C., HOPKINS, J.C.: "Mosaics from high resolution Side Scan Sonar", Offshore Services, October 1972.
- /11/ O'FARRELL, J.T.WINSTON: "Advanced sonar recording techniques using fiber optics", M.T.S. Journal Vol. 5, no. 6, 1971.
- /12/ O'FARRELL, J.T., CLAY, C.S.: "Transformation of Side Scan Sonar records to a linear display", International Hydrographic Review, June 1973.
- /13/ SANDERS, F.H., STEWART, R.W.: "Image interference in calm, near isothermal waters", Canadian Journal of Physics, Vol. 32, 1954.
- /14/ WONG, H.K.: "A note on the application of image interference to bottom contouring", International Hydrographic Review, January 1969.

Bisher erschienen:

- Heft 1 Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen 1970 - 1973, Dezember 1973.
- Heft 2 EGGER-PERDICH-PLACH-WAGENSOMMERER, Taschenrechner HP 45 und HP 65, Programme und Anwendung im Vermessungswesen, 1. Auflage, März 1974, Special Edition in English, Juli 1974, 2. verbesserte Auflage, November 1974.
- Heft 3 Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen 1973 - 1974, September 1974.
- Heft 4 EGGER-PALFINGER-PERDICH-PLACH-WAGENSOMMERER, Tektronix-Tischrechner TEK 31, Programmbibliothek für den Einsatz im Vermessungswesen, November 1974.
- Heft 5 K. LEDERSTEGGER, Die horizontale Isostasie und das isostatische Geoid, Februar 1975.
- Heft 6 F. REICHHART, Katalog von FK4 Horrebow-Paaren für Breiten von + 30° bis + 60°, Oktober 1975.
- Heft 7 Arbeiten aus dem Institut für Höhere Geodäsie, Wien, Dezember 1975.
- Heft 8 Veröffentlichungen des Instituts für Photogrammetrie zum XIII. Internationalen Kongreß für Photogrammetrie in Helsinki 1976, Wien, Juli 1976.
- Heft 9 Veröffentlichung des Instituts für Kartographie und Reproduktionstechnik, W.PILLEWIZER, Felsdarstellung aus Orthophotos, Wien, Juni 1976.
- Heft 10 PERDICH-PLACH-WAGENSOMMERER, Der Einsatz des programmierbaren Taschenrechners Texas Instruments SR-52 mit Drucker PC-100 in der ingenieurgeodätischen Rechentechnik, Wien, Mai 1976.
- Heft 11 Kolloquium der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen 1974 - 1976, November 1976.
- Heft 12 Kartographische Vorträge der Geodätischen Informationstage 1976, Wien, Mai 1977.
- Heft 13 Veröffentlichung des Instituts für Photogrammetrie anlässlich des 80. Geburtstages von Prof. Dr.h.c. K. Neumaier, Wien, Januar 1978.