

Paper-ID: VGI_197219



Digitalisierung von photogrammetrisch erhaltenen Daten

Gottfried Otepka ¹

¹ *Institut für Photogrammetrie an der TH Wien, Karlsplatz 13, A-1040 Wien*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **60** (4), S. 116–130

1972

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Otepka_VGI_197219,  
Title = {Digitalisierung von photogrammetrisch erhaltenen Daten},  
Author = {Otepka, Gottfried},  
Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen},  
Pages = {116--130},  
Number = {4},  
Year = {1972},  
Volume = {60}  
}
```



Mittleres Quadrat der Abweichung in gegebener Richtung

$$(33) \quad m_x^2 = m_y^2 = d^2;$$

Mittleres Quadrat der Abweichung abgesehen von der Richtung

$$(34) \quad M(r^2) = 2 d^2;$$

Wahrscheinlichkeit für die Fehlerellipse

$$(35) \quad P(1) = 1 - e^{-\frac{1}{2}}.$$

Zusammenfassung

Bei Beobachtungen mit normaler Verteilung gilt für die Ergebnisse:

- 1) Die Dichte der simultanen Wahrscheinlichkeit wird durch die Formel von Bravais gegeben.
- 2) Die Linien mit gleicher Dichte der Wahrscheinlichkeit sind Ellipsen und eine davon ist die Streuungsellipse.
- 3) Die Abweichung in beliebiger aber fixierter Richtung hat normale Verteilung.
- 4) Die Quadratwurzel aus dem mittleren Quadrat der Abweichung in beliebiger aber fixierter Richtung wird durch die Fußpunktskurve gegeben und ist der mittlere Koordinatenfehler in dieser Richtung.
- 5) Die Abweichung abgesehen von der Richtung bei Fehlerellipse=Kreis hat Chi-Verteilung.
- 6) Das Quadrat der Abweichung abgesehen von der Richtung bei Fehlerellipse=Kreis hat Chi-Quadrat-Verteilung.
- 7) Die Quadratwurzel aus dem mittleren Quadrat der Abweichung abgesehen von der Richtung heißt konventionell „mittlerer Punktlagefehler“ und hängt in einfacher Weise mit den beiden mittleren Koordinatenfehlern zusammen.
- 8) Die zweidimensionalen Größen, nämlich die Koordinatenpaare, haben keine mittleren Fehler.

Digitalisierung von photogrammetrisch erhaltenen Daten*)

Von *G. Otepka*, Wien

Zusammenfassung:

Die vorliegende Arbeit soll einen Überblick über Methoden, Möglichkeiten und Geräte geben, die heute zur Digitalisierung von photogrammetrischen Auswertungen verfügbar sind. Im Anschluß daran werden Schätzungen über den Umfang der zu digitalisierenden Datenmengen und der dazu notwendigen Speichermedien angegeben, sowie die Gründe für eine Digitalisierung in den verschiedenen Maßstäben erläutert. Den letzten Teil der Ausführungen bilden Anwendungsbeispiele.

1. Einleitung

Photogrammetrische Auswertungen erfolgen normalerweise in 3 Phasen:

1. Interpretation und Auswahl der im Meßbild dargebotenen Informationen

* Überarbeitete Fassung eines Vortrages an der TH Wien am 20. Oktober 1971 im Rahmen der Kolloquien der Assistenten der Studienrichtung Vermessungswesen.

2. metrische Erfassung und Kennzeichnung der ausgewählten Informationen
3. Darstellung der erfaßten Informationen.

Die Automaten und die automatischen Verfahren der ersten Phase befinden sich im Versuchsstadium. Es liegen aber bereits eine Reihe von positiven Ergebnissen vor (z. B. [2] und [8]). Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich nur mit der zweiten und dritten Phase, für die bereits heute Automaten sinnvoll bei der Produktion von photogrammetrischen Auswertungen eingesetzt werden können. Wenn in der Folge von ‚Digitalisieren‘ gesprochen wird, so soll dabei das Messen und Aufzeichnen von Daten verstanden werden. Daten, die man entweder direkt oder indirekt aus Meßbildern, aus bereits vorhandenen Karten und Plänen oder aus sonstigen Unterlagen und Erhebungen erhalten hat und die als Eingabe für entsprechende Datenverarbeitungssysteme und Geräte dienen.

2. Arten von Digitizer

Wie aus dem vorher Gesagten ersichtlich ist, benötigen wir für die Digitalisierung nicht nur die mit einem Auswertegerät direkt gekoppelten ‚photogrammetrischen Digitizer‘, sondern auch die ‚kartographischen Digitizer‘. Letztere kommen bei der Digitalisierung von Orthophotos und bereits vorhandenen Karten, beim Schließen von Auswertelücken, die bei einer photogrammetrischen Auswertung naturgemäß auftreten können, und bei der Ergänzung von Namen, Signaturen, Beschriftungen usw. zum Einsatz.

2.1. Photogrammetrische Digitizer

Die ersten Geräte dieser Art wurden für Einzelpunktauswertungen gebaut, um dabei Ablese- und Aufzeichnungsfehler auszuschalten.

Die Datenmenge war entsprechend klein und als Ausgabemedium genügte eine Schreibmaschine. Die kompatiblen Datenträger waren Lochkarte oder Lochstreifen. Bei diesen elektrisch-mechanischen Systemen, wie es das EK 5, ECOMAT oder COORDIMETER sind, dauert die Registrierung eines Punktes 3—12 Sekunden. Außerdem muß die Meßmarke etwa 0,5 Sekunden nach Auslösung der Registrierung in Ruhe bleiben. Diese Meß- und Registriergeschwindigkeit reichte jedoch aus, da pro Modell nur einige hundert Punkte erfaßt wurden. Dem gegenüber ist für eine kontinuierliche Digitalisierung von Linien eine höhere Leistung der Registriervorrichtung erforderlich. Entsprechend den Meß- bzw. Zeicheneinrichtungen im Modellraum, der für die Digitalisierung benutzt wird, unterscheidet man folgende 3 Typen von Analogstereoauswertegeräten:

1. Geräte mit Kreuzschlittensystemen und Meßspindeln, wie sie die Mehrzahl der Präzisionsauswertegeräte besitzen, z. B. A 7, A 10, Planimat, Topocart, PG 3
2. Geräte mit Kreuzschlitten und Freihandführung, z. B. Santoni Stereosimplex IIc
3. Geräte mit Meßeinrichtungen, die auf einer Bezugsebene, die meist auch Zeichenebene ist, freihändig geführt werden, z. B. B 8, PG 2, Kelsh Plotter.

Als Impulsgeber für photogrammetrische Digitizer werden derzeit ausschließlich Drehmelder verwendet. Das Prinzip dieser Abgreifvorrichtung besteht darin,

die linearen Bewegungen in den Koordinatenrichtungen x , y und z in Drehungen umzuwandeln, die dann auf verschiedene Art gezählt werden können.

Bei den Geräten der Type 1 können die Geber direkt an den Spindeln angebracht werden. Bei den Geräten der beiden anderen Typen hingegen sind zusätzliche, meist recht aufwendige und teure Teile zu installieren, um die oben erwähnten Drehmelder verwenden zu können.

Bei den Geräten der Type 2 werden Zahnstangen an den Kreuzschlittensystemen montiert, in denen dann Ritzel laufen, die den Gebern die notwendigen Impulse liefern.

Bei den Geräten der Type 3 fehlen auch noch die Kreuzschlittensysteme. Hier müssen Präzisionskoordinatographen auf den Bezugsebenen angebracht werden, damit man wie bei Geräten der Type 2 verfahren kann.

2.1.1. Möglichkeiten für andere Meßvorrichtungen bei Analogstereoauswertegeräten

Bei allen Geräten, die mit Spindeln arbeiten, muß gewährleistet sein, daß jede Bewegung der Meßvorrichtung im Modellraum über die Spindeln erfolgt, da an diesen Spindeln die Impulsgeber der Zählwerke sitzen. Beim Orientieren, bei der Modelldurchsicht, bei der Aerotriangulation oder bei Einzelpunktauswertungen sind zwischen den ‚Interessengebieten‘ oft große Wegstrecken zu überbrücken, die man günstiger mit der Freihandführung bewältigt. Durch die Betätigung der Freihandführung geht aber bei allen Geräten dieser Gruppe der Kontakt zu den Impulsgebern verloren. Nur beim PG 3 der Firma Kern wurde dieser Nachteil beseitigt und noch dazu auf höchst einfache Weise. Die Spindeln dieses Gerätes haben so steile Steigungen, daß nach dem ‚Drillbohrerprinzip‘ auch durch Druck und Zug der Freihandführung die Meßvorrichtung bewegt wird, ohne daß dabei die Drehmelder außer Funktion gesetzt werden.

Eine Lösung der Schwierigkeit der Digitalisierung bei den Geräten der Type 2 bestünde vielleicht darin, daß man statt der Drehmelder lineare Digitizer verwenden könnte. Dabei wären die linearen Bewegungen nicht erst in Drehungen zu verwandeln, sondern könnten direkt gemessen werden. Lösungsmöglichkeiten dafür findet man im Stereokomparator von SOM, wo mit Hilfe von ‚moiré-Streifen‘ die Koordinaten gemessen werden. In den Komparatoren des Zyklotrons von CERN werden mittels Drähten die ‚bubble-camber‘-Bilder ausgemessen. Gelingt es linear arbeitende Digitizer herzustellen, so würde die Koordinatenregistrierung unabhängig von den Spindeln und deren Genauigkeit. Zusätzlich würde der Meß- und Zählvorgang durch die Freihandführung nicht unterbrochen.

Für die Geräte der Gruppe 3 erscheint die Verwendung elektronischer Meßmatten- oder Meßgittersysteme, über die die Meßvorrichtung mit dem Sensor läuft, in Zukunft am geeignetsten. Dabei wird beim Überfahren einer Gitterlinie in x - und y -Richtung ein Impuls an ein Zählwerk weitergegeben. Aus diesen Impulsen lassen sich Koordinatenwerte für x und y bestimmen. Nur eine Verbilligung dieser Registriervorrichtung gegenüber den herkömmlichen Systemen mit Koordinatograph und Drehmelder aber rechtfertigt die Verwendung der oben angegebenen Einrichtung.

2.2. Kartographische Digitizer

Die Aufgabe dieser Geräte besteht darin, bereits vorhandene Karten und Pläne, oder Grundrißinformationen aus Orthophotos zu digitalisieren. Eine ausführliche Beschreibung und Gegenüberstellung dieser Geräte wurde von *Christ* publiziert [3]. Nach ihren Funktionsprinzipien kann man dabei 3 Gerätetypen unterscheiden:

2.2.1. Automatische Liniennachfahrgeräte

Auf photo-elektrischem Wege werden bestehende Linien nachgefahren. Gerade und sanfte Krümmungen werden sehr genau erfaßt. Ecken, stark oszillierende Kurven sowie die zu geringen Abstände zwischen zwei Linien bereiten jedoch Schwierigkeiten. In diesen Fällen muß der Operateur die Meßmarke von Hand aus über einen Monitor steuern.

2.2.2. Trommelabtastgeräte

Die zu digitalisierende Karte wird hier auf eine Trommel gespannt und automatisch mit einer farbtrennenden photo-elektrischen Vorrichtung linienweise abgetastet. Die Karte wird dabei als Nullenmatrix angesehen. Wird nun an einer Stelle ein Punkt erkannt, so wird die Null durch eine Eins ersetzt. Für diese Art der Digitalisierung muß eine relativ große Rechenanlage zur Verfügung stehen, damit der Rechner aus den Einsern der Matrix zusammengehörige Linien errechnen und dann vor speichern kann.

2.2.3. Geräte, die von Hand aus gesteuert werden

Hier folgt der Operateur mit der Meßmarke den zu digitalisierenden Linien. Der Vorteil dieser Gerätetypen ist neben Preisgünstigkeit der Umstand, daß für die zu digitalisierenden Unterlagen keine speziellen Vorbereitungen erforderlich sind. Auch im Betrieb sind diese Geräte nicht langsamer als die automatischen, liniennachfahrenden Typen. Für den Photogrammeter ist dieser Typ besonders geeignet, da damit in Karten und Plänen Namen, allfällige Zusatzmessungen und Grundrisse aus Orthophotos digitalisiert werden können.

3. Registrier- und Ausgabeinheiten

Durch die Entwicklung der Elektronik können heute Registriergeräte gebaut werden, die mit hoher Geschwindigkeit Daten erfassen, registrieren und wieder zur Verfügung stellen. Auch bei kontinuierlicher Registrierung wird eine Linie in Einzelpunkte zerlegt. Der Abstand dieser Punkte soll bei 0,1 mm liegen. Die Auswertegeschwindigkeit in Analogstereoauswertegeräten ist bekannt. Sie beträgt ca. 1,5 bis 2,5 mm/sec im Modell. Da wir die Linien ja im Modellraum digitalisieren, ist diese Strecke für unsere Untersuchung interessant. Aus dem geforderten Punktabstand von 0,1 mm und der bekannten Auswertegeschwindigkeit ergeben sich 15 bis 25 Punkte/sec, die zu registrieren sind. Diese Anzahl von Koordinatenpaaren pro Sekunde zu registrieren und wieder zur Verfügung zu stellen, ist heute technisch einfach. Schwieriger ist es jedoch, ein geeignetes Ausgabe- bzw. Speichermedium zu finden.

In Tabelle 1 sind die gebräuchlichen Ausgabemedien samt ihren Geschwindigkeiten in Anzahl der ausgegebenen Koordinatenpaaren pro Sekunde zusammen-

gestellt. Daraus ist zu ersehen, daß nur das Magnetband, bestenfalls noch ein schneller Streifenlocher als Ausgabemedium für eine ‚kontinuierliche‘ Registrierung verwendet werden kann.

Tabelle 1

Geschwindigkeit verschiedener Ausgabemedien

| Ausgabemedium | Anzahl der x -, y -Koordinatenpaare pro Sekunde |
|---|---|
| Fernschreiber (z. B. Friden Flexowriter) | 1 |
| Schreibmaschine (z. B. IBM-Kugelkopf) | 2 |
| Kartenlocher (z. B. IBM 024/026) | 2 |
| Schnelle Streifenlocher (z. B. Facit PE 1500) | 12 |
| Magnetband (z. B. Kennedy 1600) | 30 |

4. Möglichkeiten der Digitalisierung konventioneller Linienauswertungen

Für eine Digitalisierung stehen 3 Möglichkeiten zur Verfügung, die im folgenden behandelt werden:

4.1. Punktweise Registrierung

Der Operateur stellt Einzelpunkte ein und löst die Registrierung aus. Für photogrammetrische Auswertungen war die punktweise Registrierung bis vor kurzem die einzige Möglichkeit.

4.2. Registrierung mit konstantem Wegintervall

Dabei wird auf dem Steuerpult ein Wegintervall zwischen 0,1 und 9,9 mm gewählt. Die Wahl der Streckenlänge bzw. aus welchen Inkrementen sie sich zusammensetzen soll, hängt von der Aufgabe und dem Gelände ab.

4.3. Registrierung mit konstantem Zeitintervall

Ähnlich wie bei der zuletzt besprochenen Methode wird hier über das Steuerpult ein konstantes Zeitintervall, welches zwischen 0,1 und 9,9 sec wählbar ist, eingestellt. Das Zeitintervall wird man entsprechend der Auswertegeschwindigkeit bzw. den Geländebeziehungen wählen.

Diese Art der Registrierung hat den Vorteil, daß bei Linien, die der Auswerter schnell nachfahren kann, relativ weniger Punkte pro Wegstrecke registriert werden, als bei einer Folge von stark gekrümmten Kurven, wo die Auswertegeschwindigkeit naturgemäß sinkt und dadurch diese Kurven durch mehr Punkte definiert werden.

5. Digitalisierung von Orthophotos

Wie schon in 2. erwähnt wurde, wird der Grundriß von Orthophotos mittels kartographischer Digitizer erfaßt.

Bei der Herstellung von Orthophotos unterscheidet man zwei Möglichkeiten:

- 5.1. den on-line-Betrieb
- 5.2. den off-line-Betrieb.

5.1. on-line-Betrieb

Das Gelände wird entlang von Profilen abgefahren und die Orthophotos entstehen direkt in den Zusatzeinrichtungen der Analogstereoauswertegeräte. Die Höheninformation wird entweder als ‚drop-line‘ oder als Tangentensegment der Höhenlinie ausgegeben. Daraus zeichnet man dann die Höhenlinien.

5.2. off-line-Betrieb

Die für die Orthophotoherstellung notwendige Höheninformation kann man beim off-line-Betrieb wieder auf zwei Arten erhalten:

- 5.2.1. durch Abfahren von Profilen
- 5.2.2. durch Abfahren von Höhenlinien.

5.2.1. Abfahren von Profilen

Das Gelände wird wie beim on-line-Betrieb (5.1.) entweder manuell oder automatisch entlang von Profilen abgefahren und die Höheninformationen werden dabei gespeichert, um damit den Orthoprojektor zu steuern. Diese Möglichkeit ist bei der Zeiss-Gerätekombination Speichergerät SG 1 und Orthoprojektor GZ 1 realisiert.

5.2.2. Abfahren von Höhenlinien

An der Realisierung dieses Verfahrens wird gegenwärtig gearbeitet. Die Schichtenlinien werden dabei wie üblich im Auswertegerät nachgefahren und gleichzeitig digitalisiert. Aus diesen Werten kann man durch Interpolation entlang von Profilen die notwendigen Höhen für die Steuerung des Orthoprojektors bestimmen. *Kraus* schlägt dafür die Interpolation nach der Methode der kleinsten Quadrate vor [7]. Der Vorteil dieser Art des off-line-Betriebes besteht darin, daß es für den Auswerter wesentlich weniger anstrengend ist Höhenlinien zu zeichnen als Profilen nachzufahren. Da echte Schichtenlinien außerdem genauer sind als aus Profilen abgeleitete, liegt der Vorteil klar auf der Hand.

6. Schätzung der zu digitalisierenden Datenmenge

6.1. Strichkarten

Während man den gesamten österreichischen Kataster mit seinen rund 12,5 Millionen Grundstücken bereits auf 5 Rollen Magnetband gespeichert im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen vorliegen hat, gibt es für die österreichischen topographischen Karten noch keine Untersuchungen über die Datenmengen, die in diesen Werken dargestellt sind und die gegebenenfalls zu digitalisieren wären.

In den Arbeiten [11], [6] und [15] wurde über derartige Untersuchungen für Strichkartenwerke berichtet. Dabei wurden diese Karten in Testflächen zerlegt und hinsichtlich der dargestellten Linienlänge — wie Höhenlinien, Straßen, Bahnen, Gewässer usw. — und der Anzahl der Einzelpunkte — wie Höhenpunkte und diverse Signaturen — untersucht.

In Tabelle 2 sind die Linienlängen und die Punktzahl pro cm² Kartenfläche, als Ergebnis dieser Untersuchungen, dargestellt.

Tabelle 2

Linienlänge und Punktzahl pro cm² Kartenfläche

| Literaturhinweis | Kartenmaßstab | Linienlänge in cm/cm ² Kartenfläche | Punktzahl pro cm ² Kartenfläche |
|------------------|---------------|--|--|
| [11] | 1: 12 500 | 1,30 bis 10,35 | 0,16 bis 0,007 |
| [6] | 1: 63 360 | 9,45 | 2,3 |
| [15] | 1:200 000 | 12 | 22 |

In Tabelle 3 wurde mit den Werten der Tabelle 2 und den Flächen, die durch diese Karten jeweils gedeckt sind, auf die Gesamtlinielänge in den Kartenwerken extrapoliert.

Tabelle 3

| Kartenmaßstab | Geschätzte Gesamtlinielänge in der Karte in km | durch die Karte gedeckte Gesamtfläche in km ² |
|---------------|--|--|
| 1: 12 500 | 80 | 33 000 |
| 1: 63 360 | 70 | 241 000 |
| 1:200 000 | 11 | 245 000 |

Bei diesen 3 Beispielen handelt es sich um folgende Karten:

6.1.1. Holländische Karte 1:12 500

Diese besteht aus 665 Kartenblättern. Die Linienlänge in cm/cm² Kartenfläche beträgt 1,30 bis 10,35 und die Punktzahl 0,16 bis 0,007 Punkte/cm² Kartenfläche. Das geschätzte Gesamtliniendetail beträgt ca. 80 km.

6.1.2. Britische One Inch Map 1:63 360

Dieses Kartenwerk besteht aus 190 Blättern und seine durchschnittlichen Werte liegen bei 9,45 cm Linienlänge und 2,3 Punkte/cm² Kartenfläche bzw. 70 km als Gesamtliniendetail.

6.1.3. Deutsche Topographische Übersichtskarte 1:200 000

Das Werk umfaßt bekanntlich 45 Blätter. Hier erhielt man 12 cm/cm² und 22 Punkte/cm² und als Gesamtlinielänge 11 km.

6.2. Photokarten

Was die Grundrißdetails betrifft, so gelten dafür die selben Werte wie für die Strichkarten (siehe 6.1.). Man sollte aber dabei nicht übersehen, daß sie auf eine andere Art und Weise entstanden sind. *Howard* schätzt, daß für die untersuchte One Inch Map 60% des Liniendetails Höhenlinien sind [6]. Dieser Prozentsatz hängt natürlich direkt vom Schichtenlinienintervall und vom Gelände ab.

Der Gesamtumfang der Höhen, die beim Abfahren eines Stereomodelles für ein Orthophoto zu digitalisieren sind, ist eine Funktion

- a) der Modellgröße
- b) der Anzahl der Profile
- c) des Registrierintervalles.

Petrie gibt ein Diagramm für die Anzahl der zu registrierenden Höhenpunkte an, welches des Interesses wegen hier nochmals gebracht werden soll (Abb. 1). Die Modellgröße ist dabei ca. 18×40 cm, was sich aus einem üblichen Vergrößerungsfaktor von 2 zwischen Bild- und Orthophoto (oder Modell) und der Verwendung von 23×23 cm-Bildern ergibt.

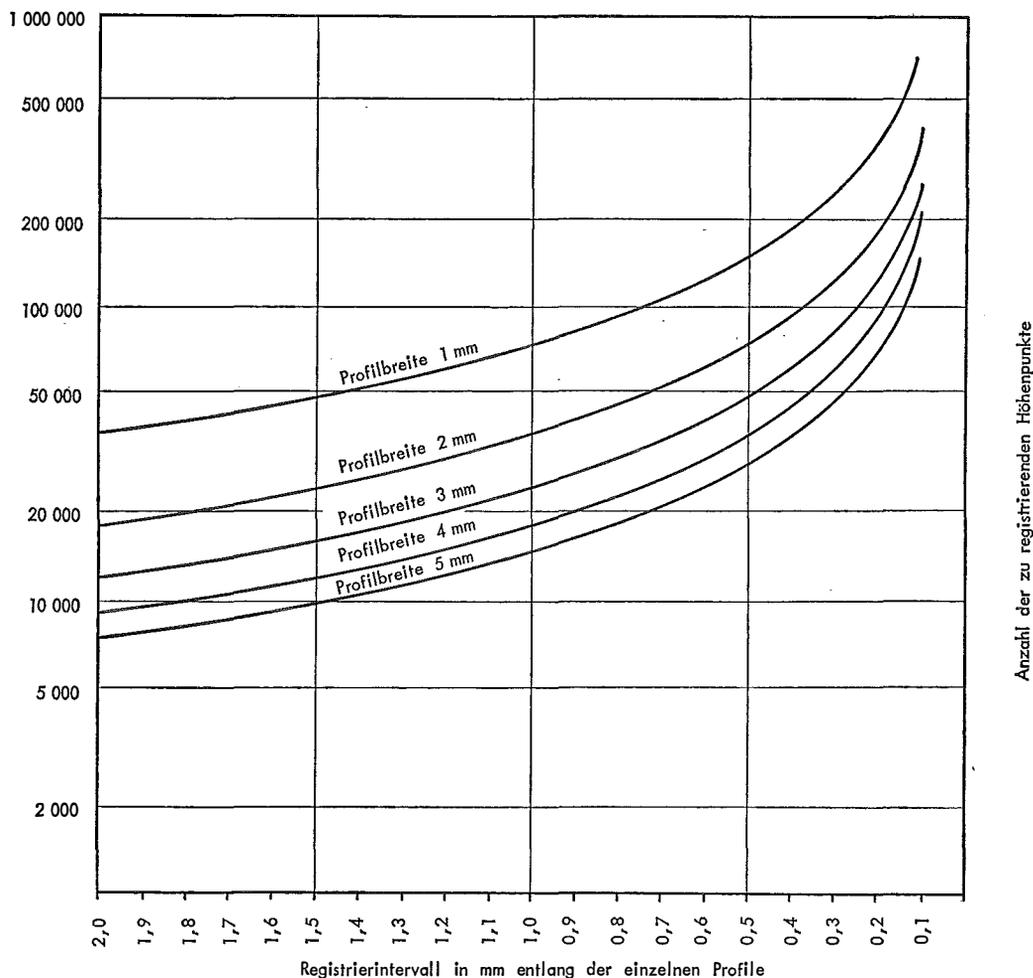


Abb. 1 (übernommen aus [11])

In Abb. 1 ist die Anzahl der zu registrierenden Höhenpunkte für die üblichen Profilbreiten von 1–5 mm und den verschiedenen Registrierintervallen dargestellt.

7. Bedarf an Speichermedien

Drückt man die früher angegebenen Werte bezüglich Grundriß und Höheninformation in Einheiten der Speichermedien aus, so kommt wegen der Registriereschwindigkeit und der Speicherkapazität nur das Magnetband oder die Magnetplatte als Datenträger in Frage.

Legt man den Abschätzungen die Holländische Karte 1:12500 (siehe 6.1.1.) und deren Ergebnisse aus Tabelle 3 sowie das Magnetband als Datenspeicher zugrunde, so ergeben sich bei einem Registrierintervall von 0,1 mm 800 Millionen Punkte, die zu verspeichern sind. Mit den momentan üblichen Magnetbändern und ohne die ‚compression technique‘ kann man bis zu 800 bits pro inch Bandlänge registrieren. Die normale Bandlänge beträgt 360 oder 720 m. Gewöhnlich faßt man die einzelnen Daten in Blöcken zusammen, an deren Enden sich Prüfbits befinden, die beim Lesen der Blöcke durch eine Rechenanlage die Möglichkeit bieten, die Richtigkeit der Interpretation zu kontrollieren. Nach jeder Prüfinformation ist ein Zwischenraum oder ‚gap‘ am Band. Daran schließt der nächste Block an. Zusätzliche Zwischenräume oder ‚gaps‘ gibt es noch am Beginn jedes Bandes und am Ende jedes ‚files‘. Neben den Koordinaten sind aber auch noch Identifizierungsmerkmale und Anweisungen, die über das Steuerpult eingegeben wurden, zu registrieren. Bedingt durch diese Tatsachen kann man auf einem 720 m-Band nur mehr rund 14 Millionen Stellen speichern. Besteht ein Koordinatenpaar x und y aus etwa 10 bytes, so heißt das, daß man 1,4 Millionen Punkte pro Rolle Magnetband speichern kann. Wendet man diese Tatsache auf das Beispiel der Holländischen Karte an, so sind für diese 665 Kartenblätter, bei einem Registrierintervall von 0,1 mm, rund 571 Rollen Magnetband notwendig.

Verwendet man statt der Magnetbänder Lochstreifen als Datenspeicher und läßt alle anderen Werte gleich, so würde man für die Holländische Karte nicht 571 Magnetbänder, sondern rund 90000 Rollen Lochstreifen für die Digitalisierung benötigen.

8. Gründe für die Digitalisierung

Wurden bis jetzt die technischen Möglichkeiten und der Aufwand bei einer Digitalisierung besprochen, so erhebt sich auch die Frage, wozu eigentlich diese Informationen digitalisiert werden sollen. Nur ein Gewinn hinsichtlich Zeit oder Wirtschaftlichkeit rechtfertigt den Aufwand.

8.1. Vorteile bei den photogrammetrischen Arbeiten

Die im folgenden aufgezählten Vorteile gelten sicher nicht für alle Arten von photogrammetrischen Arbeiten und alle Institutionen, die sich mit photogrammetrischen Auswertungen beschäftigen. Es werden sich jedoch zusätzliche Vorteile ergeben, die heute noch gar nicht abzusehen sind.

Unterscheidet man bei den Vorteilen zwischen Kartierungen in

- 8.1.1. großen Maßstäben,
- 8.1.2. kleinen Maßstäben und
- 8.1.3. gemeinsamen Vorteilen,

so können folgende Positiva gegenüber der herkömmlichen graphischen Auswertung angegeben werden:

8.1.1. Große Maßstäbe

- a) Auswertung nur durch den Operateur ohne Assistenz, also Einmannbetrieb.
- b) Die Daten liegen bereits in compatibler Form vor und können z. B. für ein digitales Geländemodell direkt verwendet werden.

c) Steigerung der photogrammetrischen Auswerteleistung durch Einzelpunktregistrierung, d. h. nicht jede auszuwertende Linie muß zur Gänze exakt nachgefahren werden.

8.1.2. Kleine Maßstäbe

Wegfallen der zweifachen Gerägearbeit, da Aerotriangulation und topographische Auswertung gegebenenfalls in einem Arbeitsgang erfolgen können.

8.1.3. Gemeinsame Vorteile für groß- und kleinmaßstäbliche Auswertungen

- a) Fortfallen der absoluten Orientierung bei reiner Grundrißkartierung.
- b) Unabhängigkeit vom Blattschnitt und der Modellbegrenzung.
- c) Freiere Wahl zwischen Bild- und Modellmaßstäben.
- d) Möglichkeit der numerischen Transformation von bereits existierenden Karten und Plänen.
- e) Revisionsmöglichkeit der Daten über aktive Bildschirmgeräte und Neukartierung mittels Automaten.

9. Anwendungsgebiete und Beispiele

9.1. Automatisierung im kartographischen Prozeß

Nur die Digitalisierung der photogrammetrischen Auswertung erlaubt die teilweise Automatisierung des kartographischen Prozesses, der auf die Auswertung folgt. In diesem Stadium der Kartenherstellung ergeben sich immer wieder Verzögerungen, da ein Großteil der Tätigkeit dabei mühselige Handarbeit ist. Mit Hilfe der automatischen Kartiergeräte können heute in wesentlich kürzerer Zeit Karten in beliebigen Maßstäben gezeichnet oder graviert werden. Der größte wirtschaftliche Nutzen auf diesem Gebiet dürfte bei der Erstellung von aus digitalisierten Karten abgeleiteten Folgekarten liegen.

Am Beispiel der Höhenlinien sollen nun die einzelnen Generalisierungsvorgänge bei Folgekarten erläutert und gezeigt werden, welche der Vorgänge mit vernünftigem Aufwand durch einen Computer und automatischer Kartierung durchgeführt werden können und welche Tätigkeiten dem Fachmann vorbehalten bleiben.

9.1.1. Quantitätsumschlag

Der Quantitätsumschlag bei Höhenlinien ist die Veränderung der Strichstärke. Nach *F. Töpfer* erhält man die neue Strichstärke aus der Beziehung

$$n_F = n_A \sqrt{\frac{M_A}{M_F}}$$

wobei n_F die Strichstärke des Folgemaßstabes

n_A die Strichstärke im Ausgangsmaßstab,

M_A und M_F die Ausgangs- bzw. Folgemaßstabszahlen sind.

9.1.2. Auswahl

Auswahl ist die Wahl der Höhenlinien nach der Äquidistanz des Folgemaßstabes.

9.1.3. Vereinfachung

Für die Höhenlinien besteht die Vereinfachung darin, daß die Höhenlinienflexionen im Folgemaßstab entsprechend weggelassen und verändert werden.

9.1.4. Qualitätsumschlag

Darunter versteht man das Hervorheben von fein- oder grobgegliederten Geländeformen.

Für diese 4 Generalisierungseinzelvorgänge kann man mit vernünftigen Aufwand Rechenanlagen benutzen. Für die beiden folgenden Punkte, nämlich

9.1.5. Zusammenfassung und

9.1.6. Verdrängung

aber muß sicher der Mensch weiterhin eingesetzt werden. Bei anderen Kartendetails wird das Verhältnis zwischen automatischer und manueller Generalisierung anders sein. Trotzdem bringt die Automatisierung wirtschaftliche Vorteile. Denkt man nämlich an die Luftbildauswertung, wo bestenfalls 85–90% aller Daten, die in einer Karte dargestellt sind, durch den Auswerter am Autograph direkt gegeben werden können, so bezweifelt doch niemand mehr die Wirtschaftlichkeit der Photogrammetrie, wenn sie richtig eingesetzt wird. Ebenso könnten durch digitalisierte photogrammetrische Auswertungen etwa 50–70% der kartographischen Arbeiten automatisiert werden.

9.2. Beispiel der Digitalisierung eines Modells mit anschließender automatischer Kartierung

Sowohl für groß- als auch für kleinmaßstäbliche Anwendungsgebiete liegen bereits eine Reihe von Arbeiten vor (siehe z. B. *Gut* [4], *van den Hout* [5], *Sowton* [14], *Vitiello*, *Biggin* und *Middleton* [16]), die die Digitalisierung photogrammetrischer Auswertungen und ihre Folgearbeiten behandeln. Bei diesen Arbeiten liegen die Verhältnisse jeweils etwas anders. Am Beispiel eines Versuches über den *Gut* berichtet, sieht man sehr gut, in welcher Form das Problem der Digitalisierung einer photogrammetrischen Auswertung gelöst wird, damit eine Weiterverarbeitung der Daten mittels automatischer Koordinatographen erfolgen kann.

Die bei diesem Beispiel verwendeten Geräte und technischen Details sind in Abb. 2 angegeben. Zu Kontrollzwecken wurde das Modell empirisch mittels dreier Paßpunkte absolut orientiert und die graphische Auswertung erfolgte parallel zur Digitalisierung.

Beispiel Nürens Dorf bei Zürich

| | |
|---|---|
| Luftbildkamera | Wild RC 8, $f = 152, 20 \text{ mm}$ |
| Bildmaßstab | 1:13000 |
| Modellmaßstab | 1: 7500 |
| Auswertegerät | Wild A 8, ausgerüstet mit Digitizern |
| Registriergerät | Wild EK 8 |
| Datenspeicher | Kennedy Incremental 1600, 8-Kanal-Magnetbandaufzeichner |
| Automatisches Kartiergerät | Coradomat KAC-21 mit Magnetbandleser |
| Absolute Orientierung mittels der 3 Paßpunkte (Nummer 214, 230 und 233) | |
| Auswertzeit | 2 Stunden |
| Zeichenzeit des automatischen Kartiergerätes | 16 Minuten |
| Gesamtpunkteanzahl | bei 2400 |

Abb. 2

In Abb. 3 ist eine Klarschrift des Digitalisierungsprotokolles auszugsweise dargestellt.

Der Buchstabe *N* mit Nachzahl ist dabei das Steuerzeichen für den Koordinatographen. Mit Hilfe dieses Codes ist eine Detailtrennung durch den Zeichenautomat

| | | |
|---|--|---------------|
| <i>N</i> 0 0001 <i>G</i> 01 <i>D</i> 02 <i>X</i> 000000 <i>Y</i> 000000* | Ursprung der registrierten Koordinaten | |
| <i>N</i> 0 0001 <i>G</i> 01 <i>D</i> 03 <i>X</i> 004474 <i>Y</i> 003489* | Registrierung des Kontrollpunktes Nr. 214 | |
| <i>N</i> 0 0003 <i>G</i> 01 <i>D</i> 03 <i>X</i> 018895 <i>Y</i> 032653* | Registrierung des Kontrollpunktes Nr. 230 | |
| <i>N</i> 0 0004 <i>G</i> 01 <i>D</i> 03 <i>X</i> 014625 <i>Y</i> 003608*M00 | Registrierung des Kontrollpunktes Nr. 233 und stop | |
| | | |
| <i>N</i> 1 0014 <i>G</i> 01 <i>D</i> 02 <i>X</i> 021328 <i>Y</i> 018274* | } erster Punkt der einen Straßenseite | |
| <i>N</i> 1 0015 <i>G</i> 04 <i>D</i> 05 <i>X</i> 021328 <i>Y</i> 018274* | | |
| <i>N</i> 1 0016 <i>G</i> 04 <i>D</i> 05 <i>X</i> 021328 <i>Y</i> 018274* | } zweiter Punkt der einen Straßenseite | |
| <i>N</i> 1 0017 <i>G</i> 04 <i>D</i> 05 <i>X</i> 021365 <i>Y</i> 018186* | | |
| | | |
| <i>N</i> 1 0097 <i>G</i> 04 <i>D</i> 01 <i>X</i> 003048 <i>Y</i> 004227* | } letzter Punkt der einen Straßenseite | |
| <i>N</i> 1 0098 <i>G</i> 04 <i>D</i> 01 <i>X</i> 003048 <i>Y</i> 004227* | | |
| <i>N</i> 1 0099 <i>G</i> 01 <i>D</i> 02 <i>X</i> 003048 <i>Y</i> 004227* | } erster Punkt der anderen Straßenseite | |
| <i>N</i> 1 0100 <i>G</i> 01 <i>D</i> 02 <i>X</i> 003038 <i>Y</i> 004243* | | |
| <i>N</i> 1 0101 <i>G</i> 04 <i>D</i> 05 <i>X</i> 003038 <i>Y</i> 004243* | | |
| <i>N</i> 1 0102 <i>G</i> 04 <i>D</i> 05 <i>X</i> 003038 <i>Y</i> 004243* | | |
| | | |
| <i>N</i> 2 0505 <i>G</i> 01 <i>D</i> 02 <i>X</i> 020764 <i>Y</i> 014787* | } erster Punkt auf der ersten Höhenlinie | |
| <i>N</i> 2 0506 <i>G</i> 04 <i>D</i> 05 <i>X</i> 020764 <i>Y</i> 014787* | | |
| <i>N</i> 2 0507 <i>G</i> 04 <i>D</i> 05 <i>X</i> 020764 <i>Y</i> 014787* | | |
| | | |
| <i>N</i> 2 0992 <i>G</i> 04 <i>D</i> 01 <i>X</i> 056523 <i>Y</i> 043157* | } letzter Punkt auf der letzten Höhenlinie und stop | |
| <i>N</i> 2 0993 <i>G</i> 04 <i>D</i> 01 <i>X</i> 056523 <i>Y</i> 043157* | | |
| <i>N</i> 2 0994 <i>G</i> 01 <i>D</i> 02 <i>X</i> 056523 <i>Y</i> 043157*M00 | | |
| <i>N</i> 5 0995 <i>G</i> 01 <i>D</i> 01 <i>X</i> 021858 <i>Y</i> 016167* | erster Punkt eines Hauses | |
| <i>N</i> 5 0996 <i>G</i> 01 <i>D</i> 01 <i>X</i> 021872 <i>Y</i> 016182* | zweiter Punkt eines Hauses | |
| | | |
| <i>N</i> 5 1326 <i>G</i> 01 <i>D</i> 02 <i>X</i> 075288 <i>Y</i> 063429*M00 | letzter Punkt des letzten Hauses und stop | |
| | | |
| <i>G</i> 01 lineare Interpolation | <i>N</i> 0 | Punkt |
| <i>G</i> 04 kubische Interpolation | 4 fortlaufende Nummern | |
| <i>D</i> 01 Bleistifthalter senken | <i>N</i> 1 | Straße |
| <i>D</i> 02 Bleistifthalter abheben | <i>N</i> 2 | Höhenlinie |
| <i>D</i> 03 Punkt markieren | <i>N</i> 3 | Gewässerlinie |
| <i>D</i> 05 fortlaufend zeichnen | <i>N</i> 4 | Eisenbahn |
| | <i>N</i> 5 | Gebäude |
| | usw. | |

Abb. 3

jederzeit möglich. Der Buchstabe *G* ist ein Hinweis für den Rechner, die nachfolgenden Punkte entweder durch lineare oder kubische Interpolation zu verbinden, entsprechend der Zahlenkombination nach diesem Buchstaben. Der Schreibkopf des Kartiergerätes wird durch den Buchstaben *D* und die anschließenden Zahlen gesteuert. *X* und *Y*

sind die Modellkoordinaten der einzelnen Punkte. Die Höhenkoordinaten wurden in diesem Beispiel nicht registriert.

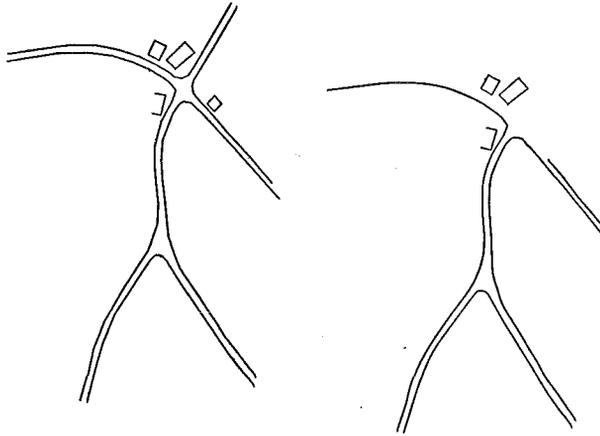


Bild 1

Bild 2

An Hand der Bilder 1 und 2 sieht man den Unterschied zwischen linearer und kubischer Interpolation bei gleicher Anzahl von Stützstellen. Bild 3 zeigt die gesamte automatische Kartierung. Die Höhenlinien wurden dabei mit konstantem Zeitintervall registriert, während Straßen und Häuser durch Einzelpunktregistrierung erfaßt wurden.

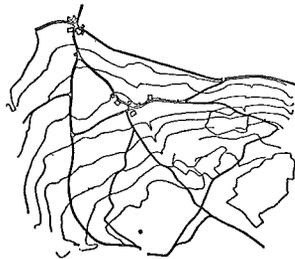


Bild 3

9.3. Entstehung von Datenbanken

Von verschiedensten Stellen werden Datenbanken gefordert, und mit deren Erstellung wurde teilweise auch schon begonnen (z. B. Katasterdatenbank in Österreich). Der Vorteil, den eine solche Einrichtung bringt, ist sicher sehr groß. Nur so wird es in Hinkunft möglich sein, in rascher Form aktuelle Unterlagen für Planungs- und Verwaltungsangelegenheiten bereitzustellen. Diese Unterlagen werden dann auch ausschließlich die gewünschten Informationen enthalten und in jedem Maßstab herstellbar sein. Um solche Datenbanken einrichten zu können, wird man in Zukunft viele photogrammetrische Auswertungen zu digitalisieren haben. Diese Tatsache bedeutet selbstverständlich eine Verteuerung der Auswertung. Betrachtet man diese Angelegenheit jedoch aus nationaler Sicht, so ist die Auswertung mit gleichzeitiger Digitalisierung billiger als wiederholte Auswertungen für verschiedene Zwecke.

9.4. Digitales Geländemodell

Ein sicherlich sehr bedeutendes Anwendungsgebiet von digitalisierten Geländekoordinaten sind die digitalen Geländemodelle (dazu siehe z. B. [9], [12] und [13]), deren Probleme jedoch nicht Gegenstand dieser Ausführungen sind. Hier soll nur ein Überblick über die Entstehungsmöglichkeit von Geländemodellen gegeben werden.

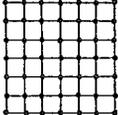
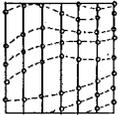
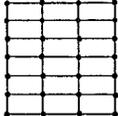
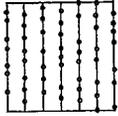
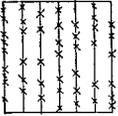
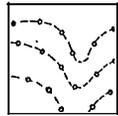
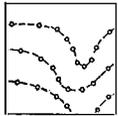
Bekanntlich werden die Punkte solcher Modelle nach folgenden Verteilungen gemessen:

1. regelmäßige Verteilung
2. zufällige Verteilung
3. Messung nach morphologischen Gesichtspunkten.

Auch die verschiedenen Kombinationen dieser 3 Fälle sind möglich.

Schwebel gibt eine Abbildung über die Rasterformen bei der Messung digitaler Geländemodelle an [12]. In Abb. 4 wurden diese Möglichkeiten geändert und erweitert dargestellt.

Rasterformen bei der Messung digitaler Geländemodelle

| Raster | Rasterform | Inkrem.- Auslösung | Raster | Rasterform | Inkrem.- Auslösung |
|---|---|------------------------------|---|---|--|
| Grundrißraster quadratisch |  | Δy (Δx) | Höhenraster |  | Δz |
| Grundrißraster rechteck, -quer rechteck, -längs |  | Δy (Δx) | Grundrißraster und Höhenraster |  | $\Delta y + \Delta z$ ($\Delta x + \Delta z$) |
| Zeit-Raster |  | Δt | Profile mit topographisch ausgewählten Punkten |  | — |
| Höhenlinien |  | $\Delta x + \Delta y$ | Höhenlinien |  | Δt |

• = Grundrißpunkt ◦ = Höhenpunkt

Abb. 4

10. Schluß

Die vorliegende Arbeit versucht aufzuzeigen, wie durch den Einsatz von Automaten und automatischen Verfahren der Produktionsablauf photogrammetrischer Auswertungen bzw. ihrer Folgearbeiten beschleunigt und rationalisiert werden kann und welche Datenmengen dabei zu bewältigen sind.

Das Einführen von Automaten in einen gut eingespielten Produktionsablauf ist immer eine delikate Angelegenheit und bringt eine Reihe zusätzlicher Probleme mit sich. Soll jedoch in Zukunft der Faktor Zeit nicht außer Acht gelassen werden, so wird man immer mehr die Automation zu Gunsten der Mechanisierung in unsere Arbeiten mit einbeziehen müssen.

Literatur

- [1] *Bosman, E., Eckhart, D.*: Unabhängige Einheiten in der digitalen Grundrißkartierung, BUL, 1970.
- [2] *Center, R., Hietanen, E.*: AUTOMATIC PATTERN RECOGNITION, Photogrammetric Engineering, 1971.
- [3] *Christ, F.*: Untersuchung zur Automation der kartographischen Bearbeitung von Landkarten, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Nr. 41, 1969.
- [4] *Gut, D.*: EXPERIMENTS IN MAGNETIC-TAPE DIGITIZING OF PHOTOGRAMMETRIC PLOTS AND IN AUTOMATIC PLOTTING, UNO Seminar on Photogrammetric Techniques, E. T. H. Zürich, 1971.
- [5] *van den Hout, C.*: Digitale Grundrißkartierung in großen Maßstäben, BUL, 1970.
- [6] *Howard, S.*: A CARTOGRAPHIC DATA BANK FOR ORDNANCE SURVEY MAPS, The Cartographical Journal, 1968.
- [7] *Kraus, K.*: Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie, Vortrag in Karlsruhe, 1971.
- [8] *Kritikos, G.*: Einige Verfahren der digitalen Bildverarbeitung, BUL, 1971.
- [9] *Linkwitz, K.*: Digitale Geländemodelle, BUL, 1970.
- [10] *Makarovic, B.*: REVIEW OF MODERN PHOTOGRAMMETRIC MAPPING INSTRUMENTATION, UNO Seminar on Photogrammetric Techniques, E. T. H. Zürich, 1971.
- [11] *Petrie, G.*: PHOTOGRAMMETRIC DIGITIZING: INPUT FOR DATA PROCESSING, International Institute for Aerial Survey and Earth Science (ITC) Delft, 1970.
- [12] *Schwebel, R.*: Neue Instrumente zur Digitalisierung von photogrammetrischen Modellen, BUL, 1971.
- [13] *Silar, F.*: Untersuchungen über Digitale Geländemodelle, Vortrag in Preßburg, 1969.
- [14] *Sowton, M.*: AUTOMATION IN CARTOGRAPHY AT THE ORDNANCE SURVEY USING DIGITAL OUTPUT FROM PLOTTING MACHINE, BUL, 1971.
- [15] *Uhrig, H.*: Untersuchungen zum Datenumfang und Speicherbedarf sowie zur automationsgerechten Gestaltung der Zeichen für die Topographische Übersichtskarte 1:200000, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Nr. 47, 1970.
- [16] *Vitiello, D., Biggin, M., and Middleton G.*: AUTOMATIC COUNTOURING AT THE ARMY MAP SERVICE, Photogrammetric Engineering, 1968.