Zeitschrift: Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF))

Band: 70-F (1972)

Heft: 1

Artikel: Das Stereoorthophotosystem : eine neue Lösung auf dem Gebiet der Kartierung und Photointerpretation

Autor: Blachut, T.J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-224996

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 21.08.2025

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

DK 528.721.221 (084.3 – 213)

Das Stereoorthophotosystem, eine neue Lösung auf dem Gebiete der Kartierung und Photointerpretation

von T. J. Blachut *

Zusammenfassung
Der Verfasser hat sich seit einigen Jahren mit der Entwicklung eines Kartierungssystems beschäftigt, das nicht nur für die verschiedenen klassischen Kartierungsaufgaben, sondern auch für eine Inventur der Naturschätze eines Landes und in der Photointerpretation Anwendung finden kann.
Das vorgeschlagene System basiert auf der Orthophototechnik, benutzt aber anstelle von einzelnen Orthophotos die von S.H. Collins vorgeschlagenen Stereoorthophotos.
Stereoorthophotos erhöhen die Interpretierbarkeit und ermöglichen die dreidimensionale Bearbeitung des Inhaltes der Luftbilder. Im Gegensatz zu den herkömmlichen photogrammetrischen Verfahren eignet sich das vorgeschlagene System für weitgehende Automatisierung, wobei die verbleibenden manuellen Operationen sehr einfach sind.
Die einzigartigen Eigenschaften des Systems machen es für die Anwendung auf dem weiten Gebiet der Erfassung der Naturschätze und in der Photointerpretation besonders geeignet, wo gegenwärtig photogrammetrische Verfahren kaum benutzt werden.

Résumé
L'auteur travaille depuis quelques années au développement d'un système de production de cartes qui, au delà des applications classiques, représente un outil puissant pour effectuer l'inventaire des ressources naturelles d'un pays, ainsi que pour la photo-interprétation.
Le système proposé est basé sur la technique de l'orthophotographie; il n'utilise cependant pas des orthophotos isolées, mais des stéréo-orthophotos d'après S.H. Collins. Les stéréo-orthophotos augmentent les possibilités d'interprétation, et permettent l'exploitation tri-dimensionnelle des prises de vues aériennes. Contrairement aux procédés photogrammétriques usuels, le système se prête à une automation poussée; seules quelques opérations très simples sont à effectuer manuellement.
Les caractéristiques de ce système le prédestinent également à l'inventaire des ressources naturelles ainsi qu'à la photo-interprétation, domaines où les méthodes photogrammétriques ne sont pas courantes à l'heure actuelle.

Einleitung

Die differentielle Entzerrung oder Orthophototechnik stellt eine interessante Neuerung auf dem Gebiet jener technischen Verfahren dar, die für die Entzerrung von Luftaufnahmen angewendet werden. Sie beseitigt die Schwierigkeiten, welche die Herstellung von entzerrten Aufnahmen bisher auf flaches oder nahezu flaches Gelände beschränkten, und ermöglicht es, auch von stark zerklüftetem Gelände entzerrte Bilder herzustellen. Bisher bewirkte die Einführung dieser wesentlich verbesserten Entzerrungstechnik jedoch kaum Änderungen in den Eigenschaften des Endproduktes und bei dessen Benutzung. Die Orthophotos werden noch immer als Einzelbilder des Geländes in ähnlicher Weise benützt, wie dies schon vor vierzig Jahren mit Papierabzügen von Luftbildern geschah. Ein Unterschied besteht möglicherweise, darin, daß wegen der Benutzung komplexerer Bildübertragungssysteme, der Wirkung gewisser dynamischer Faktoren, gelegentlicher Doppelbilder und anderer Ursachen, die Bildqualität der Orthophotos schlechter ist als jene konventionell entzerrter Aufnahmen.
Genaue, durch sorgfältige Montage von Luftbildern hergestellte Photopläne wurden schon vor vierzig Jahren für Karten, insbesondere Katasterkarten, verwendet und teilweise besser ausgenutzt, als dies heute mit Orthophotos in vielen Ländern geschieht. Die Unterschiede in der Herstellung zwischen damals und heute bestehen vor allem in der Verwendung verschiedener Materialien und Methoden.
Aus diesem Grunde muß man, trotz Anerkennung der technischen Verbesserungen in der Herstellung differenziell entzerrter Aufnahmen und der sich daraus ergebenden Vorteile, von einem allgemeineren Standpunkt aus feststellen, daß die Orthophotos als Einzelbilder keine große Neuerung darstellen. Dies wird auch klar, wenn man sich die Art und Weise ihrer Benutzung vergegenwärtigt. Sofern sie nur als zusätzliches Bildmaterial dienen, sind weitere Auswerteschritte nicht nötig. Wenn Orthophotos jedoch als Eingabebildmaterial für komplexere Auswerte- und Interpretationsschritte angesehen werden, dann müssen die Benutzer auf konventionelle photogrammetrische Verfahren, das heißt auf Stereoauswertegeräte, zurückgreifen, um eine zuverlässigere Interpretation, eine genauere kartographische Darstellung von topographischen Gegenständen und eine bessere Höhenauswertung (Höhenkoten und Schichtlinien) zu erhalten. Dies führt zu zerstückelten und oft recht umständlichen Verfahren, die langwierig und unwirtschaftlich sind.
In der Orthophototechnik sind jedoch Möglichkeiten enthalten, die zu neuen, vollständigen und in sich abgeschlossenen Lösungen einer Großzahl von auswertungstechnischen und kartographischen Problemen führen können. Der Autor hat sich mit diesen Möglichkeiten seit 1965 beschäftigt [1, 2]. Doch führte erst ein Vorschlag von S.H. Collins 1967 [3] zu einer zufriedenstellenden Grundlage für ein kartographisches und Photointerpretationssystem, das die in der Orthophototechnik enthaltenen Möglichkeiten voll ausschöpft. Eine ausführliche Beschreibung und Diskussion dieser neuartigen Lösung wurde vom Autor 1971 in der Arbeit «Mapping and Photointerpretation System Based on Stereo-Orthophotos» [4] gegeben, die sowohl vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich (Veröffentlichung Nr. 14) als auch vom National Research Council of Canada (Veröffentlichung Nr. NRC 12281) be-

* Dr. Teodor J. Blachut, Mitglied der Royal Society of Canada, ist Leiter der Abteilung für photogrammetrische Forschung des kanadischen National Research Council (NRC).

Bemerkung der Redaktion
Der vorliegende Artikel soll den Schweizer Leser mit dem Stereoorthophoto und dessen Anwendung vertraut machen. Der Redaktion stand es nicht zu, eine weitgehende sprachliche Bereinigung des etwas übersetzt wirkenden Deutsch vorzunehmen; sie hätte dem Charakter des originellen Manuskripts zu viel Zwang antun müssen. Sie beschränkte sich daher auf kleine sprachliche Korrekturen.

zogen werden kann. Der nachfolgende Artikel wurde auf Anregung von Prof. Dr. F. Kobold geschrieben. Er soll einen größern Leserkreis technischer Fachzeitschriften mit dem neuen Konzept, welches möglicherweise einen großen Einfluß auf das Vermessungswesen haben wird, vertraut machen.

Der konzeptionelle Hintergrund

Das bekannte klassische photogrammetrische Auswerteverfahren ist sicherlich die genaueste und universellste photogrammetrische Methode. Seine wesentlichen Schritte sind:

- die Korrektur der Bildkoordinaten,
- die Erstellung eines relativ und absolut orientierten Geländemodells,
- die stereoskopische Identifizierung von Geländepunkten, die gemessen, registriert oder kartiert werden sollen,
- die numerische oder graphische Auswertung.

Die beiden letztgenannten Schritte sind in der Praxis eine Auswerteoperation, da offensichtlich nur identifizierte Geländepunkte sinnvoll ausgewertet werden können.
Um jedoch höchstmögliche Genauigkeit und Vollständigkeit der Auswertungen zu garantieren, ist das stereoskopische Sehen eine Bedingung sine qua non.
Wir werden nicht nur weiterhin Stereoauswertegeräte benutzen, sondern es ist ziemlich sicher, daß dieses photogrammetrische Verfahren in Zukunft noch intensivere Anwendung finden wird.
Dieses herkömmliche Auswerteverfahren hat jedoch ernsthafte Nachteile. Zunächst einmal können – und das ist bereits eine feststehende Tatsache – konventionelle Karten nicht alle unsere Anforderungen in technischer (kartographischer) und herstellungsmäßiger Hinsicht (Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit) befriedigen. Photokarten geben oft eine wesentlich bessere Darstellung des Geländes und können schneller und billiger als herkömmliche Karten hergestellt werden. Dies ist eine Erwägung von grundsätzlicher Bedeutung, die in vielen Fällen die Anwendung des traditionellen photogrammetrischen Verfahrens a priori ausschließt. Darüber hinaus ist das konventionelle Verfahren mit weiteren schwerwiegenden Nachteilen behaftet:

- Die Stereoauswertegeräte sind komplexe und teure Geräte. Sie werden nicht nur für die «Rekonstruktion des Modells» des Geländes, sondern auch für den zeitraubenden Prozeß der Informationsentnahme benutzt.
- Die Auswertung muß von gut ausgebildeten technischen Angestellten, die teuer und nicht immer verfügbar sind, durchgeführt werden.
- Die üblichen photogrammetrischen Auswerteverfahren sind zu komplex und zu umständlich für die Anwendung in dem sehr großen und sich schnell erweiternden Gebiet all jener Wissenszweige, die auf die Auswertung von Luftbildern angewiesen sind.

Dieser letzte Punkt ist von außerordentlicher Bedeutung. Er wurde aber bisher fast vollkommen übersehen oder zur Seite geschoben, so daß Geographen, Geologen, Landwirte, Förster, Ingenieure aller Art, Verwaltungsleute, Grund- und Bodenmakler und viele andere nicht die geeignetsten photogrammetrischen Auswerteverfahren benutzen. So wurde die Auswertung von Luftbildern im allgemeinen auf die primitivste Informationsentnahme aus Papierabzügen der Luftbilder reduziert, ein technisch unbefriedigendes, rückständiges und in wirtschaftlicher Hinsicht verschwenderisches Vorgehen. Darüber hinaus trägt diese umfangreiche, sich schnell erweiternde Tätigkeit im allgemeinen nichts zur kartographischen Erfassung des Landes bei, die gegenwärtig alle das Gelände, die Umwelteinflüsse und die Auswirkungen der menschlichen Tätigkeit betreffenden Aufzeichnungen einschließt – oder doch einschließen sollte. Diese Tatsache rührt daher, daß Landinventur und Aufzeichnung von Personen, die nicht im topographischen Vermessungswesen tätig sind, hergestellt werden und im allgemeinen vollkommen unabhängig von der eigentlichen kartographischen Erfassung durchgeführt werden.
Ein überzeugendes Beispiel und zugleich der Beweis der vorstehenden Feststellung ist in unserem eigenen Fachgebiet gegeben: Photogrammetrische Methoden werden, von einigen europäischen Ländern abgesehen, oft nicht für Katastervermessungen verwendet. Dieser Tatbestand ist nicht nur das Ergebnis mangelnden photogrammetrischen Fachwissens des im Katasterwesen tätigen Vermessungspersonals, sondern in der Hauptsache dadurch verursacht, daß die herkömmlichen photogrammetrischen Methoden zu komplex und zu teuer und daher keine leistungsfähigen, schnellen, und in der Mehrzahl der Entwicklungsländer – zu denen die große Mehrheit der Nationen zu zählen ist – wirtschaftlich akzeptierbaren Lösungen bieten können. Es verwundert daher nicht, daß einige dieser verzweifelten Vermessungsingenieure (ich beziehe mich hier auf eine jener Resolutionen, die auf der Ersten Panamerikanischen Konferenz über Kataster in Caracas im November 1971 vorgeschlagen wurden) ein Katastersystem auf der Grundlage von Mosaiks *unentzerrter Luftbilder* vorschlagen.
Um diese Situation zu verbessern und um photogrammetrische Methoden einfacher und universeller anwendbar zu machen, scheint mir notwendig, andere als die bereits bekannten photogrammetrischen Verfahren zu entwickeln. Grundsätzlich bietet die Orthophototechnik Möglichkeiten in dieser Hinsicht. Jedoch muß sie, um akzeptierbar zu sein, die grundlegenden Elemente jeder photogrammetrischen Methode, die genau, vollständig und in sich abgeschlossen sein will, enthalten. Sie muß demnach

- die stereoskopische Betrachtung und
- die unbeschränkte Möglichkeit der Messung aller drei Koordinaten jedes beliebigen Geländepunktes, einschließlich natürlicher oder künstlicher Geländedetails,

ermöglichen.

Wie richtig war daher die Bemerkung von Prof. Dr. E. H. Thompson während des kürzlich in Paris durchgeführten Symposiums über die Orthophototechnik, daß wir uns jahrzehntelang mit den Schwierigkeiten, Geländeinformationen aus Luftbildern zu gewinnen und sie darzustellen, abgemüht haben, und plötzlich behaupten einige Personen, die Antwort im ursprünglichen Luftbild (oder in einer entzerrten Kopie desselben) gefunden zu haben.
Da die oben aufgeführten Anforderungen nicht mit der üblichen Orthophototechnik erfüllt werden können, weichen die Benutzer dieser Technik auf herkömmliche Methoden aus. Das heißt, daß nach der Herstellung eines einzelnen Orthophotos tatsächlich Identifizierung, graphische Auswertung und numerische Aufzeichnung von Informationen in

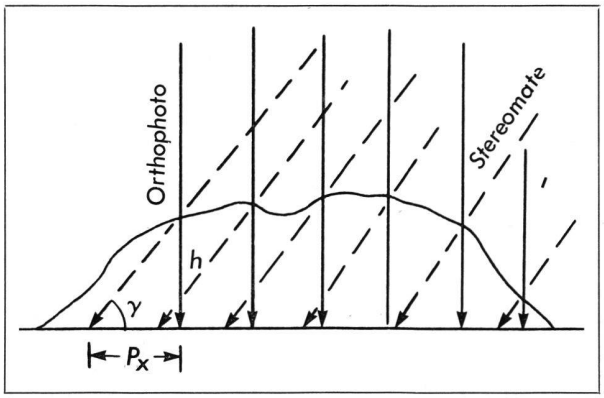


Abb. 1 Geometrische Grundbeziehungen der Stereoorthophotos

einer völlig getrennten und unabhängigen Operation in einem unterschiedlichen Gerätetyp so durchgeführt werden, als würde das Orthophoto gar nicht existieren. Davon abgesehen, daß das Orthophoto als Hintergrund für die Karte dient, ist dieses Verfahren methodisch weder neu noch attraktiv. Obwohl die Auswertung sehr genau sein kann, muß damit gerechnet werden, daß sie nicht mit der entsprechenden photographischen Abbildung im Orthophoto der Lage nach übereinstimmt (und dies ist die Regel). Linien, die zum Beispiel Grundstückgrenzen darstellen, können 0,2–0,3 mm von den tatsächlich im Orthophoto sichtbaren Grenzpunkten entfernt liegen. Solche Differenzen verursachen Verwirrung. Selbst wenn sie nicht schädlich sind, ist doch nicht einzusehen, warum ein komplexes und teures Verfahren ein mehr oder weniger verwirrendes Ergebnis erzielen soll. Ich möchte hier folgendes herausstreichen: Mir scheint, daß die gegenwärtigen stereophotogrammetrischen Auswerteverfahren oder Feldvermessungsmethoden dann angebracht sind, wenn die höchstmögliche numerische Genauigkeit angestrebt wird. In allen anderen kartographischen und Photointerpretationsvorhaben, in denen Genauigkeit und Richtigkeit nicht die einzigen oder nicht die vorherrschenden Anforderungen sind, ist das übliche Verfahren, Orthophotos für die Auswertung mit nichtentzerrten Luftbildern zu kombinieren, nicht hinreichend. Es muß eine klarere, logischere und wirtschaftlichere Lösung gefunden werden.

Das vorgeschlagene System, das auf Stereoorthophotos basiert, ermöglicht solch eine Lösung. Es bietet Schnelligkeit, verbunden mit einer einzigartigen Einfachheit, und die Möglichkeit der Dezentralisierung des eigentlichen Auswertevorganges, was im Hinblick auf den Arbeitsumfang und die Verschiedenheit der benötigten Unterlagen von besonderer Bedeutung ist, insbesondere, wenn man an die Bedürfnisse auch anderer als der eigentlichen Vermessungsdisziplinen denkt.

Stereoorthophotos

Nimmt man an, daß Orthophotos vom linken und vom rechten Bild eines Stereopaares hergestellt würden, dann erhielte man zwei geometrisch identische Bilder der Geländeoberfläche. Lagefehler, die vom eigentlichen Entzerrungsvorgang und bei der Abbildung senkrechter Objekte verursacht werden, seien hier vernachlässigt. Stereoskopische Betrachtung eines solchen Paares von Orthophotos würde ein vollkommen ebenes Gelände auch dann zeigen, wenn das entzerrte Gelände bergig wäre.

Immerhin würde dieses Stereopaar von Orthophotos eine wichtige Eigenschaft besitzen: nach einer einfachen Ausrichtung der beiden Bilder würde ein Modell erhalten werden, in dem keinerlei Vertikalparallaxen in entsprechenden Punkten aufträten – ein Merkmal von außerordentlicher Bedeutung. Die stereoskopische Betrachtung und daher auch Auswertung des Stereopaares wäre sehr einfach.

Um die dreidimensionale Eigenschaft des beobachteten Geländes wieder einzuführen, wäre es notwendig und hinreichend, für jeden Punkt künstliche Horizontalparallaxen proportional zum Höhenunterschied zwischen Punkt und Bezugsfläche einzuführen. Das heißt, alle Punkte eines Orthophotos, zum Beispiel des rechten, müßten in Richtung der x-Achse um den Betrag

$$P_x = c \cdot h \qquad [1]$$

verschoben werden. Die Konstante $c = 1/\tan\gamma$ ist willkürlich gewählt. Geometrisch bedeutet dies, daß das rechte Bild, oder «Stereomate», eine Schrägprojektion des orientierten Modells von einem im Unendlichen gelegenen Projektionszentrum auf eine Bezugsebene ist und daß die Projektionsstrahlen in den entsprechenden xz-Ebenen liegen (Abb. 1).

Das linke Bild bleibt ein nichtmodifiziertes Orthophoto und ist eine Orthogonalprojektion des orientierten Modells auf dieselbe Bezugsebene.

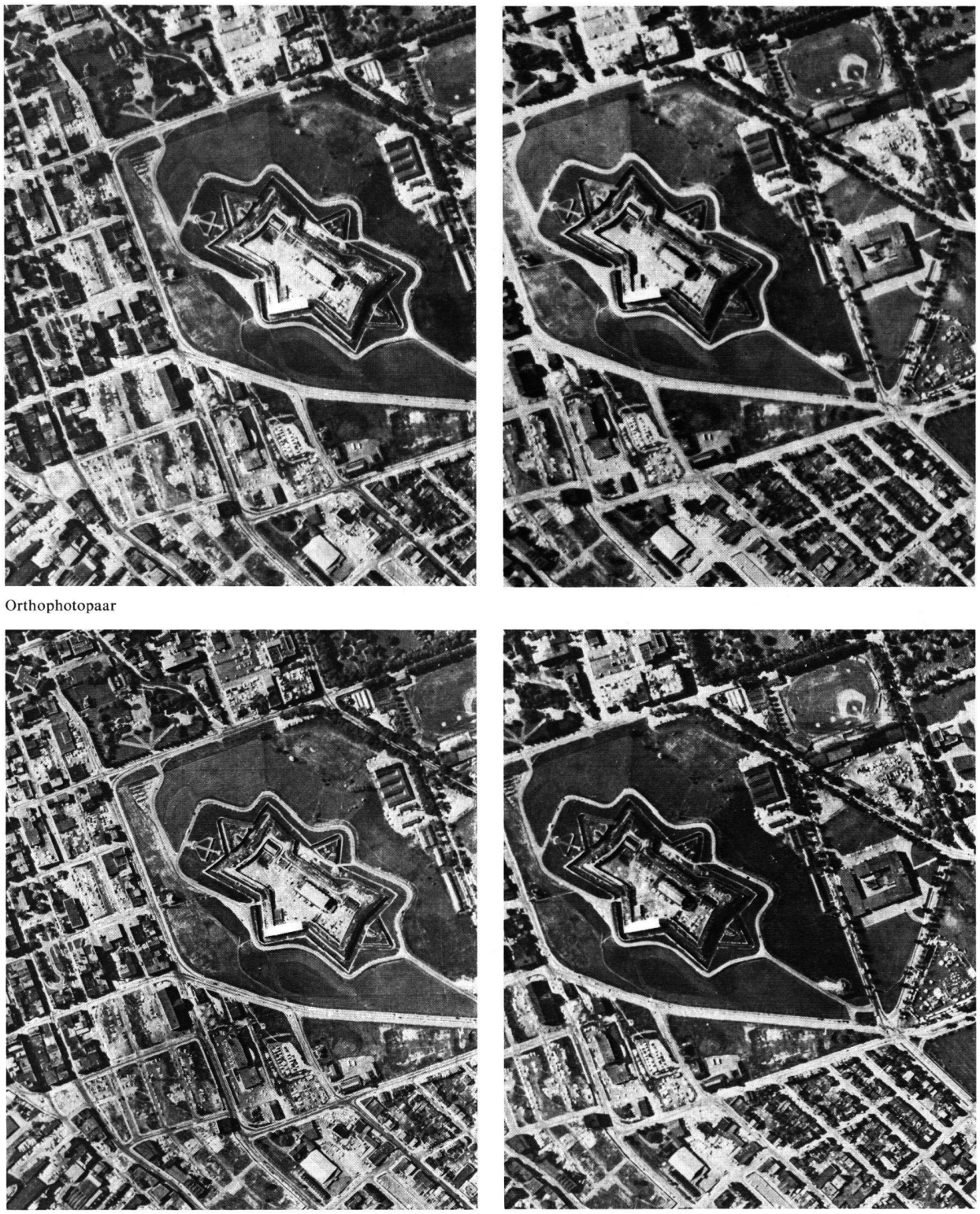
In der praktischen Anwendung müssen jedoch weitere Faktoren berücksichtigt werden, die eine Formulierung der künstlichen Parallaxe in Form einer logarithmischen Funktion erfordern:

$$P_x = \int_{h=0}^{h=h} \frac{B}{H-h}\, dh = B \ln\left(\frac{H}{H-h}\right) \qquad (2)$$

mit B = Länge der Modellbasis,
H = mittlere Projektionshöhe und
h = Höhe über Bezugsebene.

Eine ausführliche Darstellung kann in [4] oder in Collins' ursprünglicher Arbeit [5] gefunden werden. Der Hauptgrund für das Einführen der künstlichen Horizontalparallaxe nach [2] ist der Vorteil, daß künstliche Parallaxen von senkrechten Objekten den natürlichen Parallaxen in den projizierten Aufnahmen gleichgemacht werden können. Weiterhin ermöglicht es diese Form der künstlichen Parallaxe, die die Bildqualität reduzierenden Effekte der Größe des in der differentiellen Entzerrung benutzten Schlitzes und die Höhenfehler beim Abtasten der Profile zu minimalisieren. Beobachtung von Orthophoto und Stereomate unter einem Stereoskop zeigt ein überraschend geschmeidiges räumliches Geländemodell, das den üblichen Vermessungs- und Auswertungsvorgängen unterzogen werden kann.

Das obere Paar der in Abbildung 2 gegebenen Aufnahmen zeigt zwei Orthophotos, das untere Paar ein Orthophoto und ein Stereomate, hergestellt aus den gleichen Aufnahmen. Der Leser möge beide Stereopaare unter einem Stereoskop betrachten und seine eigenen Schlußfolgerungen ziehen. Man kann sagen, daß Stereoorthophotos dem relativ und absolut orientierten Modell in einem Auswertegerät mit annähernd geometrischer Genauigkeit und vergleichbarer optischer Qualität entsprechen. Als wichtigstes und bedeutendstes Merkmal eines Stereoorthophotos ist hervorzuhe-



Orthophotopaar

Abb. 2 Stereoorthotophopaar

ben, daß einander entsprechende Punkte in beiden Teilbildern frei von Vertikalparallaxen sind; demzufolge lassen sie sich zur Orientierung des Modells einfach ausrichten und verbleiben in horizontaler Lage.

Es kann auch nachgewiesen werden [3], daß die Herstellung der Stereoorthophotos einem sehr günstigen Fehlerfortpflanzungsgesetz unterliegt:

$$\Delta p_x = \left(\frac{x}{H - h}\right) (\Delta z_2 - \Delta z_1) \qquad (3)$$

mit:

x = x-Koordinate des Punktes im Orthophoto, mit dessen Nadirpunkt als Koordinatenursprung,

Δz_1 und Δz_2 = Fehler im Abtasten der Profile während der Herstellung von Orthophoto und Stereomate.

Diese Formel, die für differentielle Fehler beim Abtasten der Profile gilt, deutet an, daß die Fehler der Horizontalparallaxe vernachlässigbar sind, wenn die Profile sorgfältig abgetastet werden und wenn Orthophoto und Stereomate

unter der Benutzung der gleichen Profildaten erzeugt werden. Mit anderen Worten, *das Verfahren garantiert stets eine gute Höhengenauigkeit von Stereoorthophotos, wenn die Profilfehler in entsprechenden Punkten beider Bilder gleich sind.* Die Genauigkeit des Profilabtastens ist dann nur noch von zweitrangiger Bedeutung, eine Tatsache, die die instrumentelle Lösung sehr vereinfacht und damit das Verfahren für die praktische Anwendung nahezu aufdrängt.
Die Bedingung, daß Orthophotos und die zugehörigen Stereomates unter Benutzung gleicher Profildaten hergestellt werden müssen, ist sowohl bei direkter Herstellung der Stereoorthophotos als auch bei der späteren Benutzung der gespeicherten Profildaten leicht zu erfüllen. Mit dieser grundsätzlichen Bedingung sind andere Anforderungen verbunden, die im folgenden Abschnitt kurz erläutert werden.

Orthokartograph für die Herstellung von Stereoorthophotos

Für experimentelle Zwecke können Stereoorthophotos an beinahe jedem existierenden Orthophotogerät nach der Einführung einiger kleinerer Modifizierungen hergestellt werden. So wurde auch in den NRC-Laboratorien vorgegangen, wo ein einfacher SFOM-Orthophotograph-693-Tisch Verwendung fand. Es zeigte sich jedoch bald, daß dieses SFOM-Prototypgerät ernsthafte Beschränkungen in instrumenteller und bedienungsmäßiger Hinsicht aufwies. Aus diesem Grunde erdachte der Verfasser den «Orthocartograph» [6], ein Instrument, das weitgehendes Studium und Experimentieren mit Stereoorthophotos ermöglichen und gleichzeitig Aspekte für die Weiterentwicklung von Stereoorthophotogeräten geben soll.

den Korrekturen sind verhältnismäßig einfach und nehmen die folgende Form an:

$$\text{Maßstab} \qquad M = \frac{N}{f}\,(Z + 2\,\omega Y - \Phi X)$$
$$\text{Bilddrehung} \qquad \alpha = \frac{X}{Z}\,\omega \tag{4}$$

Hier bedeuten:

N = Verhältnis zwischen dem Maßstab des Orthophotos und dem Maßstab des Modells im Auswertegerät,

X, Y, Z = Modellkoordinaten des übertragenen Punktes,

ω, Φ = Orientierungswinkel der Luftbilder im Auswertegerät.

Das optische Bildübertragungssystem ist in Abbildung 3 dargestellt. Ich habe zunächst angenommen, daß das Abfahren des Modells von einem Operateur manuell durchgeführt wird. Sollten es die Genauigkeitsanforderungen jedoch erlauben, könnte die Abtastung auch automatisch durch Verbindung der beiden Bildübertragungskanäle mit einer automatischen Bildkorrelationsvorrichtung geschehen. Für diesen Zweck ist ein zusätzlicher Kanal eingeplant.
Die Bildübertragungssysteme und die Trommeln sind lichtdicht abgeschlossen. Daher können das Abfahren des Modells und das Drucken der Orthophotos in einem hellen Raum durchgeführt werden, was den gesamten Arbeitsvorgang wesentlich erleichtert.
Eine ausführliche Beschreibung des Orthocartographen, der sich augenblicklich in der letzten Produktionsstufe befindet,

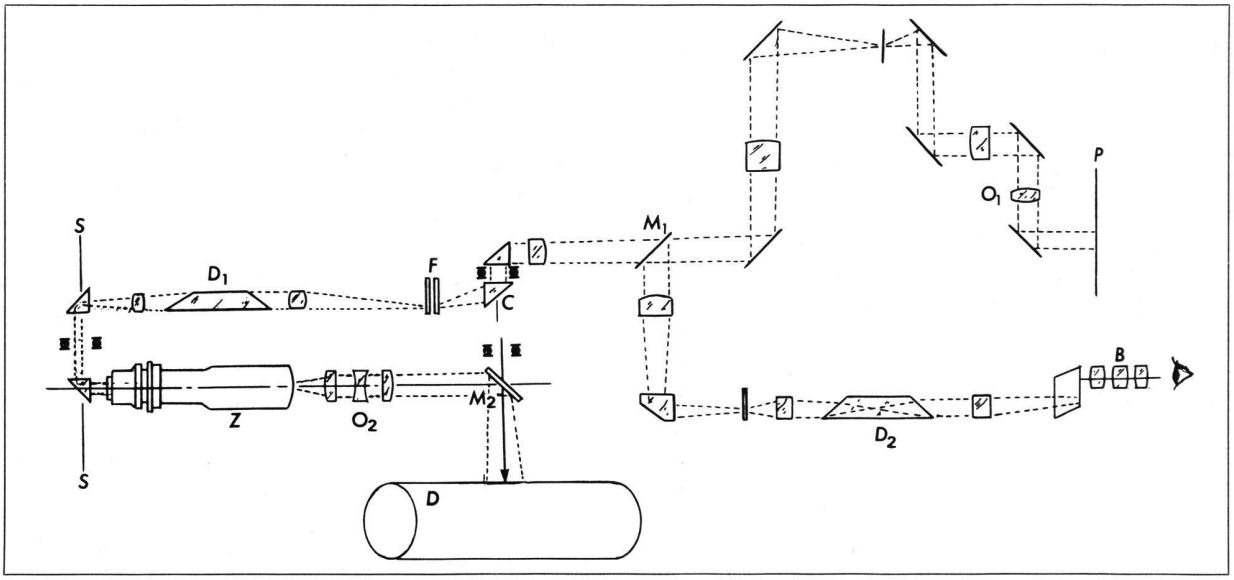


Abb. 3 Optisches Bildübertragungssystem

Wegen praktischer Erwägungen – relative Einfachheit und Dauerhaftigkeit – wurde für den Orthocartographen die mechanische Projektion gewählt. Orthophoto und Stereomate werden gleichzeitig auf zwei Trommeln erzeugt, die sich differentiell, mit sehr genau kontrollierter Umdrehungsgeschwindigkeit, drehen. Die Bilder der beiden Aufnahmen werden durch optische Bildübertragungssysteme, die auch die notwendigen Maßstabs- und Bilddrehungskorrekturen einführen, auf die beiden Trommeln übertragen. Diese bei-

bleibt einer gesonderten Veröffentlichung vorbehalten. Hier soll nur eine Übersicht über die allgemeinen Gerätecharakteristiken gegeben werden:

- gleichzeitige Herstellung von Orthophoto und Stereomate unter Benutzung der gleichen Modell-(Profil-)Information,
- Herstellung der Orthophotos in dem erforderlichen Maßstab (die ursprünglichen Luftbilder können bis zu fünffach vergrößert werden; jedoch könnten noch größere

veränderliche Vergrößerungsverhältnisse eingeführt werden),

- kontinuierlich veränderliche Abtastgeschwindigkeit,
- Möglichkeit zur Herstellung der Orthophotos sowohl in direkter Kopplung als auch über einen Zwischenspeicher,
- Verwendung sowohl von Farb- als auch von Schwarzweißaufnahmen,
- Einsatz des Orthocartographen in einem hellen Raum (nicht etwa in einer Dunkelkammer) und
- Verwendung von Luftbildern mit Brennweiten von 85 mm bis 210 mm.

Nach Anmeldung des vorstehend erwähnten Patentes [6] berichteten zwei Herstellerfirmen photogrammetrischer Geräte, die Wild Heerbrugg AG in der Schweiz und die Officine Galileo in Italien, über die Entwicklung neuer Zusatzgeräte für die Herstellung von Orthophotos zu ihren Autographen A-8 und Stereosimplex. Beide Zusatzgeräte benutzen eine optische Bildübertragung von räumlich orientierten Bildern. Insbesondere die erst kürzlich mitgeteilte Lösung von Galileo könnte sehr leicht für die Herstellung von Stereoorthophotos benutzt werden, da Galileo bereits zwei Übertragungskanäle für Bildausschnitte sowohl der linken als auch der rechten Aufnahme zur Orthophoto-Druckeinrichtung benutzt.

Diese Tatsache wird hier mitgeteilt, um zu zeigen, daß die Herstellung von Stereoorthophotos keine schwierigen instrumentellen Probleme aufwirft. Es sind hiemit auch keine großen Investitionen verbunden. Wenn die instrumentellen Voraussetzungen zur Herstellung von einzelnen Orthophotos vorhanden sind, so können diese Geräte in der Regel mit nur geringem Aufwand für die Herstellung von Stereoorthophotos erweitert werden und damit zu neuen Wegen in der Kartenproduktion führen.

Automatische oder manuelle Gerätebedienung

Die wichtige Frage, wie die neuen Geräte zu bedienen sind, soll hier auch kurz gestreift werden.

Die Entwicklung von Geräten für automatische Bildkorrelation ermöglicht ein automatisches Abtasten von Geländeprofilen an Stereoauswertegeräten. Automatisches Abfahren von Profilen kann wesentlich schneller als manuelles Abfahren erfolgen. Außerdem kann die Geländeinformation, die von einem automatischen Bildkorrelationsgerät mit hoher Geschwindigkeit gesammelt wird, bei differentieller Entzerrung für eine zusätzliche Entzerrung kleiner Bildteile nutzbar gemacht werden. Dadurch können gelegentliche geometrische Fehler von Orthophotos, die aus der Benutzung von bestimmten Schlitzgrößen oder anderer Elementarflächen resultieren, reduziert oder sogar vernachlässigbar klein gehalten werden.

Leider können die automatischen Bildkorrelationsgeräte nicht zwischen der tatsächlichen Geländeoberfläche, die differentiell entzerrt werden soll, und Flächen, die von natürlichen und künstlichen Objekten oberhalb der Geländeoberfläche gebildet werden, unterscheiden. Daher kann die automatische Bildkorrelation eine Entzerrung in eine falsche Ebene bewirken, die zum Beispiel durch Baumkronen oder Gebäude gebildet wird und somit nichtakzeptierbare Lagefehler zur Folge haben. Aus diesem Grunde muß die automatische Profilbestimmung vorerst auf Aufnahmen kleineren Maßstabes beschränkt bleiben, bei denen Fehler, verursacht durch die Abtastung von Baumkronen oder Dächern, die Lagegenauigkeit der Orthophotos nicht wesentlich beeinflussen.

Die genannten Schwierigkeiten eliminieren die automatische Bildkorrelation für die Entzerrung von Aufnahmen größeren Maßstabes. Gerade die Entzerrung dieser Aufnahmen ist jedoch ein Hauptanwendungsgebiet der Orthophototechnik.

Eine grundsätzlich andere Lösung des Problems der sinnvollen Automatisierung in der Herstellung von Orthophotos und Stereomates liegt im sogenannten «Speicher-Mode», das heißt in der Registrierung von Profildaten und der späteren Orthophotoherstellung unter Benutzung dieser gespeicherten Daten. Hierbei werden die Profile manuell an einem geeigneten Stereoauswertegeräte abgefahren und die für die differentielle Entzerrung benötigten Daten in einer geeigneten Form für die spätere Verwendung gespeichert. Es sind verschiedene Varianten dieses Lösungsweges möglich. Einige bieten interessante operationelle Gesichtspunkte.

Das manuelle Abfahren mit direkter Herstellung der Orthophotos ist jedoch nicht weniger attraktiv. Die hiefür benötigten Geräte sind einfacher und daher wesentlich billiger. Solche Geräte können auch von kleineren photogrammetrischen Unternehmen erworben werden, die dadurch eine bessere Kontrolle über den gesamten Vorgang der Luftbildauswertung bekommen. Dies gilt besonders für jene Anwendungen, in denen die Stereoorthophotos ausgiebiger ausgewertet werden müssen. Es sollte außerdem klar sein, daß im manuellen Profilabtasten ohnehin wichtige Automatisierungselemente enthalten sind und daß die Entscheidung über den Umfang der Automatisierung meist mehr von den allgemeinen Voraussetzungen als von rein technischen Gesichtspunkten der benutzten Geräte bestimmt wird. Einen überzeugenden Beweis dieser Tatsache liefert Frankreich, wo bereits eine umfangreiche Produktion mit etwa 50 einfachen Orthophotogeräten läuft.

Die Herstellung von Stereoorthophotos ist mit etwa den gleichen Problemen verbunden wie die von Orthophotos, egal welches Verfahren von den Benutzern bevorzugt wird. Wenn jedoch Stereoorthophotos verfügbar sind, können die Kartenherstellung und die Entnahme von qualitativen und numerischen Daten mit Methoden stattfinden, die sich von den zurzeit benutzten wesentlich unterscheiden.

Stereocompiler

Die Kompliziertheit von Stereoauswertegeräten ist notwendig zur Eliminierung von Vertikalparallaxen in korrespondierenden Punkten eines Stereopaares. Da in einem Paar von Stereoorthophotos jedoch keinerlei Vertikalparallaxen enthalten sind, können Geräte zur Auswertung solcher Stereopaare sehr einfach sein.

Zum Beispiel besteht der erste Prototyp [7] aus einem mit einer Glasplatte bedeckten Tisch, auf dem ein Oberteil in der Form eines Metallkastens ruht (Abb. 4). Dieser Oberteil enthält zwei Bildträger für das Orthophoto und das zugehörige Stereomate. Er ist von drei Füßen unterstützt, die Löcher für das Ausblasen von Luftströmen enthalten. Diese Luftströme formen unter den Füßen Luftkissen von $^{2}/_{100}$ bis $^{3}/_{100}$ mm, die ein praktisch reibungsloses Bewegen des Oberteils ermöglichen, welcher vom Operateur mittels eines am Oberteil angebrachten Hebels bewegt wird.

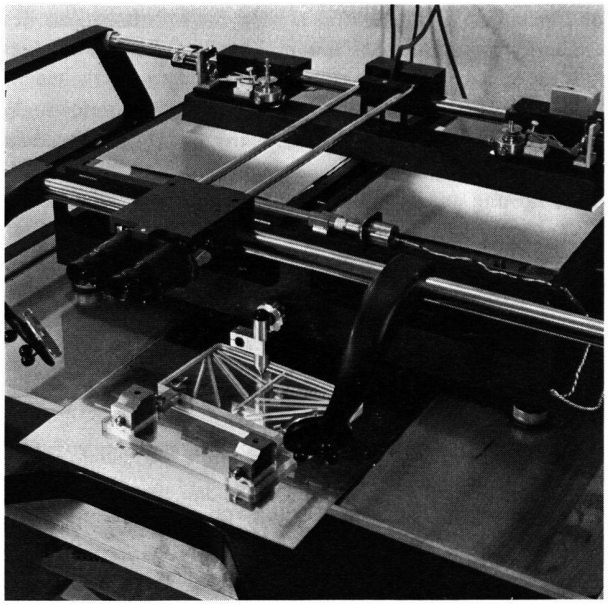


Abb. 4 Stereocompiler

In der Mitte, direkt unterhalb der unteren Oberfläche der Bildträger, ist auf zwei unveränderlich eingebauten transparenten Glasplatten je ein kleiner schwarzer Punkt angebracht, der als Meßmarke dient. Das Beobachtungssystem besteht aus einem starren Spiegelstereoskop und den üblichen Betrachtungsokularen.

Eine über den Bildträgern angebrachte Brücke hält senkrecht über den Meßmarken austauschbare Schreib- und Graviereinsätze. Außerdem trägt die Brücke auch Vorrichtungen zur Bildbeleuchtung.

Beobachtungs- und Schreibsystem sind in unveränderlicher Lage mit dem Tisch verbunden, auf dem sich der die Bildträger unterstützende Oberteil ruhig und reibungslos bewegt. Eine pantographartige Vorrichtung steuert den Oberteil so, daß er sich nicht verkantet. Der rechte Bildträger kann mittels einer Fußscheibe in der x-Richtung verschoben werden. Dies scheint die Höhe der räumlichen Meßmarke um einen Betrag zu ändern, der an einem geeigneten Maßstab abgelesen werden kann.

Auf die Stereoorthophotos wird transparentes oder halbtransparentes Zeichen- oder Graviermaterial aufgelegt. Die tatsächliche Kartierung erfolgt dann auf der Oberseite und kann jederzeit, wenn nötig, korrigiert werden.

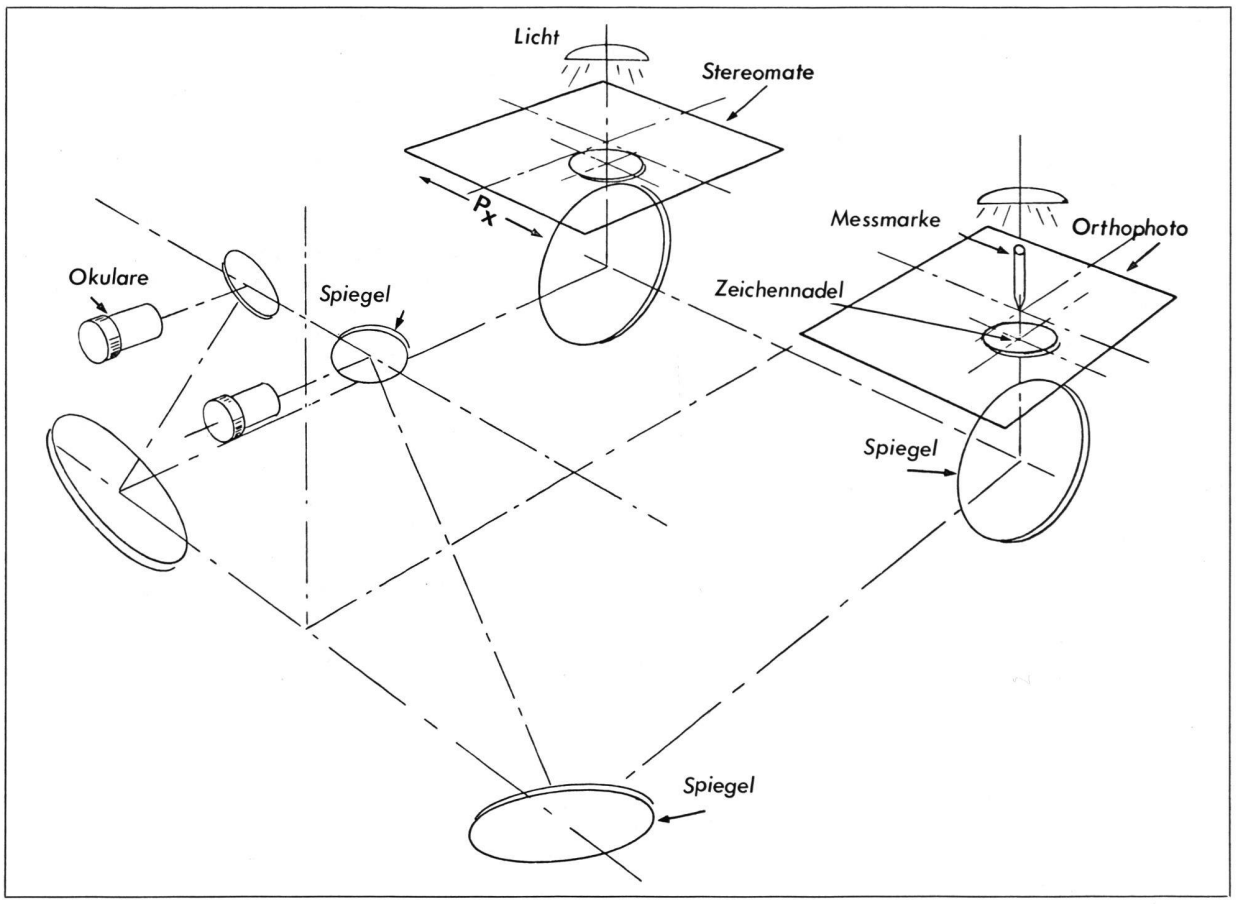
Dieses außerordentlich einfache Instrument kann angesehen werden als:

- ein photogrammetrisches Stereoauswertegerät,
- ein Gerät für Photointerpretierung und als
- ein Zeichentisch.

Der Stereocompiler ist, verglichen mit üblichen Stereoauswertegeräten, durch verschiedene einmalige Eigenschaften ausgezeichnet, von denen die wichtigsten nachfolgend genannt werden:

- Einfaches Verschieben der Stereoorthophotos reicht aus, um ein vertikalparallaxenfreies räumliches Geländemodell zu erhalten.
- Die durchgeführte kartographische Ausarbeitung ist, zusammen mit den Stereoorthophotos, jederzeit in den Beobachtungsokularen sichtbar.

Abb. 5 Beobachtungssystem des Stereocompilers



- Ein Großteil des Bildinhaltes wird sofort in einer für die spätere Reproduktion geeigneten Form graviert.
- Falls notwendig, können das linke und das rechte Bild gleichzeitig kartographisch ausgewertet werden. Die beiden Manuskripte können dann direkt für die Herstellung von dreidimensionalen Karten verwendet werden. Diese für die photogrammetrische Praxis neuartige Art der Auswertung könnte auch eine wichtige Bedeutung als einfache Methode zur Überprüfung der Genauigkeit der graphischen Auswertung erhalten.
  Dieses neuartige Auswerteverfahren, unentbehrlich für die Herstellung echter räumlicher Karten, wird noch ausführlicher besprochen werden.
- Ungelernte Arbeitskräfte können den Stereocompiler bedienen. Allerdings sollte das Bedienungspersonal einige Erfahrung im Erstellen gravierter Manuskripte haben.
- Die einzige Gerätejustierung von Bedeutung ist das Ausrichten von Meßmarken und Zeichen- beziehungsweise Gravierstift.

Die vorstehenden Eigenschaften muß der Stereocompiler besitzen, wenn die breite Masse der Benutzer von Luftbildern das vorgeschlagene Auswerte- und Interpretationssystem akzeptieren soll.
Die mit dem Prototyp des Stereocompilers gewonnenen Erfahrungen haben zum Entwurf eines größeren Modells, des Stereocompilers Mark II, geführt. In diesem können Orthophotos in der für großmaßstabige Auswertung gebräuchlichen Größe ausgewertet werden. Das neue Modell wird auch mit einer genauen Meßvorrichtung für die x-, y- und z-Koordinaten, mit einem elektrischen Antrieb und einer Steuervorrichtung ausgerüstet sein. Eine derartige Steuervorrichtung wurde vom Verfasser schon vor ziemlich langer Zeit entwickelt [8], gewinnt aber möglicherweise jetzt im Hinblick auf das am Stereocompiler direkte Gravieren seine besonders wichtige Anwendung.

Zusatzgeräte [4]

Das Abtasten von Profilen für die Herstellung von Orthophotos eignet sich auch sehr gut für die gleichzeitige Registrierung der Geländedaten oder für eine direkte besondere Kartierung.
Insbesondere kann man

- die Geländeprofile graphisch oder numerisch aufzeichnen,
- die Lage von Höhenschichtlinien in dem Manuskript oder den Stereoorthophotos markieren und
- automatische Geländeschummerung dann durchführen, wenn die Richtung der Profile mit der Richtung der für die Schummerung gewählten Lichtquelle zusammenfällt.

Insbesondere die beiden erstgenannten Möglichkeiten sind für uns recht interessant. In den NRC-Laboratorien ist ein sehr einfaches und praktisches Verfahren zur Markierung der Lage der Höhenschichtlinien durch farbige Punkte entwickelt worden. Im Hinblick auf die Tatsache, daß die Schichtlinien irgendwann im Produktionsablauf graviert werden müssen, ist es jedoch fraglich, ob das Markieren von Höhenpunkten und die rechnerische Ableitung von Höhenschichtlinien aus den aufgezeichneten Profildaten lohnenswert sind, insbesondere, da die Bestimmung der Höhenschichtlinien mit dem Stereocompiler sehr schnell, einfach und genau ist. Darüber hinaus wird die Mikrostruktur des Geländes mittels des Stereocompilers wesentlich besser erfaßt.
Da jedoch auch Gründe für eine nur spärliche und wenig aufdringliche Markierung der Höhenschichtlinien direkt in den Stereoorthophotos sprechen, besteht die Absicht, auch diese Lösung weiter zu untersuchen.

Wahre und dreidimensionale Karten

Vom kartographischen Standpunkt aus sollte eine ideale Karte das Gelände mit seinen Einzelheiten dreidimensional zeigen. Die beliebten Reliefkarten versuchen eine Antwort in dieser Richtung, sie haben jedoch offensichtliche Nachteile:

- schlechte Definition, selbst in der Darstellung von Geländeformen,
- Schwierigkeiten in der Messung von Strecken und Winkeln,
- unhandliche Form, woraus Unbequemlichkeiten für Transport und Lagerung entstehen,
- komplizierter Produktionsvorgang.

Mit der Einführung der Stereoorthophotos ist nun eine einfache Grundlage für eine echte, geometrisch korrekte dreidimensionale Geländedarstellung gegeben. Jene Geländeeinzelheiten, die eine symbolisierte Darstellung erfordern (und solche wird es immer geben), können leicht im Stereocompiler stereoskopisch gezeichnet werden. Das gleiche gilt auch für Schichtlinien. Da jedoch die dreidimensionale stereoskopische Darstellung eine wesentlich bessere Darstellung der Geländeeinzelheiten zur Folge hat, läßt sich der Umfang der anzuwendenden Symbole wesentlich reduzieren. Zieht man dies in Erwägung, so folgt, daß dreidimensionale, in einem in erheblichem Umfange automatisch hergestellte Stereoorthophoto-Karten sehr attraktive photographische Produkte sein dürften.
Derartige Karten können auf flaches Material gedruckt werden. Dieses kann, je nach Darstellung und Drucktechnik, Papier, Film, mit linsenförmigem Material bedecktes Papier usw. sein. Der Verfasser experimentierte unter anderem mit der sogenannten Vectograph-Technik, bei der Orthophotos und zugehöriges Stereomate auf je eine Seite eines speziell beschichteten Films abgebildet wurden. Diese Technik erfordert, wie auch das Anaglyphenverfahren bei der Beobachtung besondere Brillen zur Bildtrennung. Weitere Forschung in dieser Richtung sollte sich vor allem auf die Vermeidung von Brillen zur Bildtrennung und auf die Benutzung von flachem, faltbarem Material konzentrieren.
Diese Forderungen sind zurzeit schwierig zu erfüllen. Allerdings sind echte dreidimensionale Karten auch in ihrer jetzigen Form sehr attraktiv und sollten dort benutzt werden, wo ihre Nachteile von untergeordneter Bedeutung sind, zum Beispiel als Ausstellungs- und Touristenkarten, als An- und Ausflugskarten von Flughäfen, die von den Luftverkehrsüberwachungsorganen benutzt werden; als Karten für besondere Planungszwecke usw. Die Tatsache, daß dreidimensionale Karten in Vectographform mit einem gewöhnlichen Projektor auf eine Leinwand projiziert und dann noch immer stereoskopisch gesehen werden können, dürfte von besonderem Interesse sein. Das bedeutet, daß die Originalkarte klein sein kann und daß verschiedene Personen die Karte gleichzeitig stereoskopisch sehen können, was die

Darstellung und Diskussion verschiedenster Projekte vereinfachen kann.
Bisher sind hier Stereophotokarten diskutiert worden, die offensichtlich von besonderem Interesse sind. Wenn jedoch einige Benutzer der Meinung sein sollten, daß herkömmliche Karten in dreidimensionaler Darstellung (die vor einiger Zeit in Italien und Deutschland in einem sehr komplizierten Vorgang hergestellt wurden) den Vorzug verdienen, so bietet sich im Stereocompiler ein angemessenes und leistungsfähiges Gerät für ihre Produktion an.
Dieses Gebiet ist noch zu neu, so daß es einstweilen unmöglich ist, vorauszusagen, was man als Endergebnis erwarten sollte oder könnte. Es enthält jedoch beachtliche Anwendungsmöglichkeiten.

Landinventur und Photointerpretation

Die Einführung der Stereoorthophototechnik bietet erstmalig die Möglichkeit, eine leistungsfähige, technisch korrekte Methode für eine allgemeine Landinventur und Photointerpretation einzuführen. Bereits in den vorausgehenden Abschnitten wurde erwähnt, daß dieser Anwendungsbereich, der außerhalb der eigentlichen Vermessungstätigkeit und der Kartenherstellung liegt, aber deshalb nicht weniger wichtig und in letzter Zeit in einer stetigen Ausdehnung begriffen ist, bisher ziemlich stark vernachlässigt worden war. Die heute noch dafür verwendeten Methoden sind außerordentlich primitiv und unwirtschaftlich. Als Ergebnis dieser Tatsache muß festgestellt werden, daß die meisten Entwicklungsländer über ihr eigenes Land kaum Kenntnisse besitzen, aber dringend benötigen.
Aber selbst wenn man hier hochentwickelte photogrammetrische Methoden benutzen würde, das heißt wenn man Photointerpretation und Landinventur in herkömmlichen Stereoauswertegeräten durchführen würde, wäre das Verfahren, vom ökonomischen Gesichtspunkt aus betrachtet, alles andere als optimal. Bei vielen Anwendungen kann eine abstrakte kartographische Darstellung mit der Darstellung in einem metrisch korrekten Orthophoto nicht konkurrieren. Darüber hinaus ist eine im Labor erarbeitete Auswertung nur eine der verschiedenen Phasen in der Landinventur. Bei einigen dieser Phasen, insbesondere bei Feldarbeiten, helfen die zurzeit benutzten photogrammetrischen Methoden nur wenig.
Gegenwärtig wird der Großteil der Photointerpretation an nichtentzerrten Luftbildern durchgeführt. Die Ergebnisse werden dann in Karten übertragen. Diese Übertragung ist umständlich und ein sehr großes Hindernis bei der Photointerpretation. Da die Ähnlichkeit zwischen der Geländedarstellung in Luftbild und Karte im allgemeinen gering ist und außerdem oft merkbare geometrische Unterschiede zwischen beiden Produkten bestehen, ist eine Übertragung von Information vom Luftbild zur Karte immer umständlich, langsam und nicht sehr genau.
Bei dem hier vorgeschlagenen System wird die Photointerpretation im Büro unter idealen Bedingungen ausgeführt. Nachdem die Stereoorthophotos in den Stereocompiler eingelegt wurden (was außerordentlich einfach ist), erhält man ein geometrisch korrektes dreidimensionales Geländemodell, in dem alle in den Luftbildern erkennbaren natürlichen und künstlichen Geländeeinzelheiten enthalten sind. Dieses Modell wird dann der üblichen Photointerpretationsanalyse unterzogen. Die Ergebnisse werden mit einer der allgemeinen kartographischen Auswertung vergleichbaren Genauigkeit und Korrektheit dargestellt. Die umständliche manuelle Übertragung der Ergebnisse der Photointerpretation in eine Karte entfällt vollständig, weil die bei der Analyse im Stereocompiler erhaltenen Aufzeichnungen photographisch in ein endgültiges Kartenmanuskript beliebiger Art übertragen werden können.
Oft ist es erforderlich, zusätzlich zur graphischen Darstellung auch andere Werte zu erhalten. Geländekoordinaten können gemessen und registriert, Höhenunterschiede einfach und genau ermittelt werden. Dies bedeutet, daß man genaue und vollständige Datenbanken bei Benützung von einfachen, leicht zu bedienenden Instrumenten erstellen kann.
Verbesserungen bei der Durchführung der für Landinventur jeder Art notwendigen Feldarbeiten durch Einführung des Stereoorthophotosystems ist nicht weniger wichtig.
Auf diesem Gebiete tätige Personen sind sich sehr wohl über Nachteile und Unwirtschaftlichkeit der konventionellen Methoden im klaren. Hoffnungen auf eine Verbesserung waren mit dem Erscheinen der herkömmlichen Orthophotos verbunden. Unglücklicherweise, aber keineswegs überraschend, zeigte sich bald, daß diese Hoffnungen nicht erfüllt werden konnten. Unvermeidliche Vertikalparallaxen zwischen einem Orthophoto und einem vergrößerten, nicht entzerrten Luftbild stören insbesondere im Felde erheblich, wo kein bequemer Tisch und kein Stuhl zur Verfügung stehen. Darüber hinaus verursachen geringe Fehler im Abtasten der Profile, die sich bei der Herstellung von Orthophotos nicht vermeiden lassen, Unstetigkeitsstellen in einem aus Orthophoto und vergrößertem Luftbild gebildeten Modell. Diese verwirrende und gefährliche Erscheinung tritt in sorgfältig hergestellten Stereoorthophotos nicht auf. Jeder beliebige Teil des Stereoorthophotopaares kann außerdem stereoskopisch beobachtet werden, ohne daß dauernd Vertikalparallaxen beseitigt werden müssen.
Diese einmalige und bequeme Eigenschaft veranlaßte den Verfasser, einen sehr einfachen und praktischen Feldtisch für stereoskopische Auswertearbeiten für den Außendienst (Abb. 6) zu entwickeln. Dieser Zeichentisch, an dem ein Taschen- oder Spiegelstereoskop befestigt ist, kann mit einem Tragriemen um den Hals gehängt werden. Es ist wichtig, daß das Stereoskop in dieser Stellung auch dann verbleibt, wenn der Benutzer in Bewegung oder mit anderen Feldarbeiten beschäftigt ist. Damit sind die Stereoorthophotos für stereoskopische Interpretierung und Auswertung jederzeit verfügbar. Zwischen dem Stereoskop und der Zeichenfläche ist viel freier Platz, der bequemes Schreiben und Zeichnen ermöglicht.
Andererseits kann der Photointerpreteur, wenn erforderlich, jederzeit seine Hände frei machen, ohne vorher das Stereoskop zusammenklappen und einpacken zu müssen. Diese zusätzlichen Handgriffe erfordern Zeit, ermüden und sind unter normalen Feldbedingungen sehr lästig, wo Sonnenschein, Wind, Regen, Kälte, Mücken usw. bereits genügend Probleme aufwerfen. Außerdem ist es wichtig, daß das Stereoskop mit einem Griff zusammengelegt oder in eine für das Durchqueren von Gebüsch, für das Ersteigen von Hügeln usw. geeignete Stellung gebracht werden kann.
Die auf dem Feldtisch benutzten Stereoorthophotos sind beliebig aus Papierabzügen der Stereoorthophotos oder der kartographisch überarbeiteten Stereoorthophotos heraus-

geschnitten. Die Übertragung der im Felde auf diesen Photos aufgetragenen Ergebnisse in das endgültige Manuskript kann entweder an einem Leuchttisch oder am Stereocompiler einfach, schnell und genau erfolgen. Die bisher übliche Übertragung durch Schätzung ist damit eliminiert. Es ist vorstellbar, daß auch eine Methode zur photographischen Übertragung entwickelt werden kann.
Die Einführung von einfachen, aber gleichzeitig genauen und wirtschaftlichen Methoden und Geräten für die Land-

Abb. 6 Feldtisch für stereoskopische Auswertung mit einem zusammenlegbaren Stereoskop

inventur- und Photointerpretationsarbeiten sollte den Bemühungen um die kartographische Darstellung eines Landes eine neue anregende Form in einem moderneren Sinne geben.

Ergebnisse der bisherigen experimentellen Arbeiten

Das für die Herstellung der Stereoorthophotos geeignete Gerät, der Orthocartograph, wird, wie bereits erwähnt, voraussichtlich im Frühjahr 1972 zur Verfügung stehen. Die bisherigen Experimente führten wir mit Stereoorthophotos durch, die an in den NRC-Laboratorien zur Verfügung stehenden, für diesen Zweck modifizierten Geräten erstellt wurden. Zunächst wurde ein modifizierter Kelsh-Plotter zusammen mit dem Prototyp des SFOM-Orthophotograph-Tisches 693 benutzt. Später konnte ein verbessertes Modell des SFOM-Gerätes, das für die Herstellung von Stereomates modifiziert worden war, in beschränktem Umfange benutzt werden. Diese Art der Stereoorthophotoherstellung war aus verschiedenen Gründen alles andere als zufriedenstellend; die beiden wichtigsten sind:

- zweimaliges, voneinander unabhängiges Abfahren desselben Modells im Gegensatz zu den Voraussetzungen der Methode,
- geringe, aber feststellbare Schwankungen des Orthophototisches, die von der augenblicklichen Position des Belichtungsschlitzes abhängen. Diese Unstabilität, die bei der Herstellung von einfachen Orthophotos zwar bedeutungslos ist, wirkt sich auf die Genauigkeit der aus den Stereoorthophotos abgeleiteten Höhen aus.

Aus diesem Grunde sind die zurzeit verfügbaren Ergebnisse nicht charakteristisch für jene, die mit einem besseren System erhalten werden sollten. Sie deuten jedoch recht gut an, was man erwarten kann. Die Experimente ermöglichten eine eingehende Untersuchung des Grundkonzeptes und waren unbedingt notwendig für die Durchführung weiterer Untersuchungen und Entwicklungen. Insbesondere ermöglichten sie es, Entscheidungen über die Größe des Stereocompilers Mark II und über dessen zusätzliche Vorrichtungen zu treffen.
Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse und Schlußfolgerungen in knapper Form wiedergegeben.

a) Auswertung am Stereocompiler

Die Auswertevorgänge am Stereocompiler sind sehr einfach und wirksam mit Ausnahme der Darstellung von geometrisch genau definierten Details, die mit Hilfe von Schablonen in einer für direkte Reproduktion geeigneten Form graviert werden. Weitere Experimente werden zurzeit durchgeführt. Der Verfasser glaubt, daß die Einführung einer sich zurzeit im Bau befindlichen einfachen Steuervorrichtung die Leistungsfähigkeit des Stereocompilers in kartographischer Auswertung weiter erhöhen wird.
Eine neue, außerordentliche Eigenschaft ist die gleichzeitige Sichtbarkeit der Zeichenergebnisse und des Stereomodells im Beobachtungssystem. Der Operateur kann die Ergebnisse seiner Arbeit ununterbrochen verfolgen, ohne seine Augen von den Betrachtungsokularen entfernen und seine Stellung ändern zu müssen, wie das bei herkömmlichen Stereoauswertegeräten der Fall ist. Dieses Merkmal ist vor allem kennzeichnend für die Qualität der Arbeit am Stereocompiler, insbesondere für:

- die Schnelligkeit der Auswertung,
- die kontinuierliche und «automatische» Kontrolle der kartographischen Auswertung während ihrer Herstellung und
- die einmalige Vollständigkeit der Auswertung.

Während weitere Informationen im Hinblick auf die Geschwindigkeit der Auswertung erst nach Einführung der Steuervorrichtung erhältlich sein werden, ist die Gültigkeit der beiden anderen genannten Merkmale bereits nachgewiesen. Insbesondere hat sich gezeigt, daß die Vollständigkeit der Auswertung am Stereocompiler einer außerordentlich sorgfältigen und zeitraubenden Auswertung an einem Stereoauswertegerät erster Ordnung entspricht.

b) Kartenrevision

Die Stereoorthophototechnik kann Erleichterungen in der Erneuerung und Laufendhaltung von Karten bringen. Diese Aufgabe ist einer der umständlichsten technischen Vorgänge, mit dem alle kartenherstellenden Dienststellen in der Welt konfrontiert sind. Der offensichtliche Vorteil des Stereoorthophotoverfahrens, verglichen mit üblichen Methoden, liegt in der dem Verfahren innewohnenden Logik und seiner Einfachheit. Die Erneuerung verläuft folgendermaßen:
Neue Stereoorthophotos werden in einem geeigneten Maßstab hergestellt. Dann werden sie in den Stereocompiler eingelegt und mit den vorhandenen Auswertungen überdeckt. Der Auswerter kann nun ohne weitere Vorbereitungen an einer Vervollständigung der Auswertung arbeiten, wobei er nach allen Einzelheiten Ausschau hält, die entweder neu

oder verändert sind und daher entweder gar nicht oder in einer dem jetzigen Zustand nicht entsprechenden Form dargestellt sind. Er führt sofort die notwendigen Korrekturen aus.

Da man bei der kartographischen Bearbeitung gewöhnlich verschiedene Manuskripte für Lage, Höhenschichtlinien, Vegetation, Gewässer usw. benutzt, folgt die Kartenerneuerung dieser natürlichen und allgemein akzeptierten Praxis.

c) Lage- und Höhengenauigkeit

Die Lagegenauigkeit von Stereoorthophotos ist gleich jener gewöhnlicher Orthophotos. Sie hängt von der Herstellungstechnik, der Qualität der benutzten Geräte usw. ab. Umfangreiches Material zu dieser Frage ist bereits verfügbar, und man kann annehmen, daß die in der Praxis erhaltbare Genauigkeit zurzeit in der Größenordnung von 0,1 bis 0,2 mm im Maßstabe des ursprünglichen Orthophotos ist.

Dies ist auch die Genauigkeit, die bei sorgfältiger Auswertung an genauen Stereoauswertegeräten in den Manuskripten erhalten werden kann. Sie sollte für die meisten praktischen Anwendungen hinreichen. Es besteht jedoch kaum Zweifel darüber, daß diese Genauigkeit in den kommenden Jahren noch wesentlich verbessert wird. Einige der Geräte für automatische differentielle Entzerrung liefern bereits bessere Lagefehler als 0,1 mm. Es ist wichtig, sich diese Tatsache zu vergegenwärtigen. Ich bin davon überzeugt, daß in der Produktion von Orthophotos bald Genauigkeiten erzielt werden, wie sie heute für analoge Stereoauswertegeräte typisch sind.

Verschiedene Testergebnisse sind verfügbar, welche die theoretischen Untersuchungen und Voraussagen bezüglich der Genauigkeit der aus Stereoorthophotos abgeleiteten Höhen bestätigen. Es wurde bereits erwähnt, daß die Herstellung von Stereoorthophotos für unsere bisherigen Experimente nicht in Übereinstimmung mit den theoretischen Voraussetzungen stattfand und daher ziemlich schlechte Ergebnisse zu erwarten waren. Tatsächlich erhielt man jedoch überraschend gute Resultate, die die Erwartung von wesentlich besseren Ergebnissen mit den neuen Geräten rechtfertigt. Einige der Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle gegeben.

Bildmaßstab	Maßstab der Orthophotos	Genauigkeit im Maßstab der Orthophotos			Genauigkeit am Grund			Genauigkeit im Bildmaßstab		
		m_x in mm	m_y	m_z	m_x in m	m_y	m_z	m_x in µm	m_y	m_z
1 : 50000	1 : 12500	0,22	0,20	–	2,7	2,5	–	53	50	–
1 : 16000	1 : 4000	0,12	0,18	0,14	0,48	0,73	0,54	30	46	35
1 : 8000	1 : 2000	0,10	0,16	0,22	0,32	0,32	0,40	40	40	50
Vergleichbare Ergebnisse für den Kelsh-Plotter, abgeleitet aus einem internationalen Experiment:										
1 : 50000	1 : 12500	0,10 (0,06–0,13)			1,18 (1,78–1,58)			24 (16–32)		

Abb. 7 Vergleich zwischen am Stereocompiler gezeichneten Höhenschichtlinien mit am A-7 erhaltenen Höhenschichtlinien

Die Aufnahmen im Maßstab 1 : 50000 wurden mit dem ersten Prototyp des SFOM-Gerätes bearbeitet. Dieses Gerät besitzt ernsthafte Mängel, die sich auch auf die Lagegenauigkeit auswirken. Bei den übrigen Experimenten wurde ein neueres Modell des gleichen Typs benutzt, das wesentlich bessere allgemeine Eigenschaften aufwies, aber trotzdem für die Herstellung von Stereoorthophotos alles andere als ideal war. Die gegebenen Fehlerwerte sind mittlere Fehler, abgeleitet aus den Differenzen zwischen der Stereocompilerauswertung und der als fehlerfrei angenommenen Auswertung am A-7.

Ein interessantes Beispiel der vergleichbaren Auswertungen ist in Abbildung 7 gegeben. Die weißen, auf dem Orthophoto sichtbaren Höhenlinien wurden am Stereocompiler erhalten, die schwarz eingedruckten Höhenlinien am A-7. Ein Vergleich zeigt die ausgezeichnete Qualität der am Stereocompiler bestimmten Höhenlinien und weist die Fähigkeit der Berücksichtigung der Mikrostruktur des Geländes nach.

Digitalisierung des Geländes

Es ist offensichtlich auch möglich, die aus den Stereoorthophotos abgeleiteten dreidimensionalen Informationen numerisch zu registrieren [9]. Aus diesem Grunde wird der Stereocompiler Mark II mit einer Registriereinrichtung für X, Y und Z ausgerüstet sein.

Koordinaten und andere numerische Daten werden heutzutage oft benutzt, nicht notwendigerweise zum Erzielen höherer Genauigkeit, sondern wegen der leichteren Handhabung einschließlich der Speicherung, der Verarbeitung und des Wiederauffindens. Die Einrichtung von Datenbanken ganzer Länder für Grundbesitz, Bodeneigenschaften und anderer zu Grund und Boden in Beziehung stehenden Informationen basiert auf der schnellen Aufzeichnung von Koordinaten für Geländepunkte. Vorteile der auf Stereoorthophotos und Stereocompilerauswertungen aufgebauten Lösung sind Einfachheit, Geschwindigkeit, niedrige Kosten und die Möglichkeit, daß Spezialisten aus verschiedenen Fachgebieten an den Arbeiten gleichzeitig teilnehmen können.

Von besonderem Interesse dürfte auch die Vorrichtung zur Aufzeichnung von Profilen entlang jeder beliebigen Linie sein.

Das Stereoorthophotosystem als Basis für die Kartierung von Entwicklungsländern

Es ist nicht meine Absicht, den Eindruck zu erwecken, daß Entwicklungsländer anders – vielleicht weniger sorgfältig – behandelt werden sollen, weil sie unterentwickelt sind. Es sind ganz im Gegenteil Gebiete, die unsere volle und unmittelbare Aufmerksamkeit erfordern, denn sie beherbergen den Großteil der Erdbevölkerung. Der wichtige Unterschied besteht jedoch darin, daß in entwickelten und relativ wohlhabenden Ländern, in denen die Mittel und das technische Wissen im Überschuß vorhanden sind und daher die Vermessungsbedürfnisse, zumindest teilweise, durch Benutzung

Abb. 7 Vergleich zwischen am Stereocompiler und am A-7 ausgeführten Auswertungen

bereits bestehender Einrichtungen befriedigt werden können. Außerdem sind diese Bedürfnisse in diesen Ländern nicht so dringend. Selbst wenn es gewisse Unzulänglichkeiten geben sollte, wären die Auswirkungen auf die entwickelte Ökonomie des Landes kaum drastisch.

Im Gegensatz dazu ist für die Wirtschaftsplanung und die Erschließung in den Entwicklungsländern eine gesunde Ausnutzung der vorhandenen Natur- und Bodenschätze dringend nötig. Diese Länder haben weder die Voraussetzungen noch die Zeit für jene langsamen, komplexen Vermessungs- und Kartenherstellungsmethoden, die jetzt sogar von entwickelten Ländern aufgegeben werden. Die kartographische Erschließung der Entwicklungsländer ist von höchster Dringlichkeit. Karten und Daten über die Benutzung von Grund und Boden müssen schnell, billig und derart erstellt werden, daß die meistens nur spärlich verfügbaren Arbeits-

kräfte voll mitwirken können. Für diese Länder ist die Wahl eines bestimmten Kartierungssystems nicht nur ein Entscheid über verschiedene technische Lösungen. Es ist vielmehr der Entschluß, ob die Kartierung des Landes überhaupt durchgeführt werden kann und daher, im wörtlichen Sinne, vielleicht eine Frage des Überlebens.

Außerdem muß in Erwägung gezogen werden, daß zurzeit eine Evolution in der Auffassung über ein modernes Vermessungsprogramm eines Landes stattfindet. Sind Vermessung und kartographische Erschließung beschränkt auf die geometrische Darstellung der Erdoberfläche, so bilden sie nur einen Teil der allgemeinen Inventur des Landes. Das Bedürfnis nach mehr als den geometrischen Informationen ist heute erkannt. Einige Länder haben bereits aus der neuen Auffassung Schlußfolgerungen gezogen. Ein Beispiel hiefür ist Mexiko, wo die Vermessung direkt dem Präsidenten des Landes unterstellt und in folgende Abteilungen aufgeteilt ist:

- klassische Vermessung und Kartenherstellung,
- Inventur der Natur- und Bodenschätze und
- Planung.

Die Einführung dieser modernen, allgemeinen Inventur des Landes erfordert eine Anpassung der Kartierungsmethoden. Es ist offensichtlich, daß die umfangreichen Bemühungen in dem gesamten Aufgabenbereich derart miteinander koordiniert werden müssen, daß Wiederholungen und überflüssige Arbeiten ausgeschlossen und dafür alle Erhebungen in einem wohldurchdachten, lückenlosen Produktionsprozeß erhalten werden.

Das Stereoorthophotosystem scheint als Grundlage eines modernen Vermessungs- und Landinventurprogrammes, einschließlich eines modernen Katasterprogrammes, besonders geeignet zu sein; nicht nur weil es viele attraktive technische Eigenschaften hat, sondern auch weil es außergewöhnlich anpassungsfähig an die jeweils leistungsfähigsten Produktionsmethoden ist. Es ermöglicht die Zentralisierung jener Produktionsschritte, die kompliziertere Geräte und umfangreiches Wissen erfordern, und ermöglicht gleichzeitig die Dezentralisierung der tatsächlichen Vermessungs- und Inventurarbeiten, die oft, auch in den weniger zugänglichen Landesteilen, Feldarbeit erfordern. Konkreter gesagt, ist es offensichtlich, daß die Produktion der Stereoorthophotos zu jedem wünschenswert erscheinenden Grade zentralisiert werden kann und daher schnellere, komplexere automatische Geräte wirtschaftlich eingesetzt werden können. Daraus folgt, daß die Produktion der Orthophotos in diesem Falle von wenigen spezialisierten Fachkräften überwacht werden könnte.

Andererseits kann die auf diesen Orthophotos basierende Herstellung von topographischen Karten (klassische oder Photokarten), Katasterkarten und anderen Katasterinformationen sowie die Sammlung, Aufzeichnung und kartographische Auswertung von geologischen, landwirtschaftlichen, klimatischen und anderen Daten in dem betreffenden Gebiet durch Arbeitskräfte erfolgen, die mit Vorteil ihre Kenntnisse der lokalen Gegebenheiten nutzbar machen können. Eine umfangreiche Produktion kann sofort beginnen, ohne daß zentrale Institutionen organisiert und Hunderte von technischen Kräften eingestellt werden müssen. Manuskripte verschiedenen Inhaltes können so für die Herstellung von spezialisierten Karten gleichzeitig erstellt werden. Da diese Manuskripte gleichen Maßstab und gleiche Qualität haben, sind sie jederzeit austauschbar und können in jeder beliebigen Kombination für die Kartenherstellung benutzt werden. Wenn es zum Beispiel für die Erstellung eines Katasters notwendig erscheint, können die Koordinaten interessierender Punkte registriert werden, um für eine spätere Verwendung zur Verfügung zu stehen.

Wegen der Einfachheit der Methode und der ihr innewohnenden Produktionsgeschwindigkeit könnten Entwicklungsländer, die oft große, relativ unzugängliche Gebiete einschließen, an die Herstellung von Karten in größeren Maßstäben denken, als dies mit anderen Methoden wirtschaftlich möglich wäre. Das heißt, daß zum Beispiel der Maßstab 1 : 100000 anstelle des Maßstabes 1 : 250000 gewählt werden kann. Karten im Maßstab 1 : 250000 könnten dann ohne großen Sonderaufwand, unverzüglich und vermutlich mit besserer Qualität aus den Karten 1 : 100000 abgeleitet werden.

Schlußbemerkungen

Die Beschränkung des Umfangs dieser Arbeit bedingt eine ziemlich skizzenhafte Darstellung. Der Leser kann sich, wie bereits erwähnt, ausführlicher anhand der auf Anfrage erhältlichen Arbeit [4] über die Möglichkeiten der Stereoorthophotos informieren.

Bei den Vorschlägen verschiedener instrumenteller Lösungen ist sich der Verfasser durchaus der Tatsache bewußt, daß das Gesamtkonzept ein außerordentlich weites Anwendungsgebiet hat, neuartig ist und durchaus Raum läßt für weitere bedeutungsvolle Modifizierungen und Verbesserungen. Einer der Gründe für die Veröffentlichung dieser Arbeit ist es, zu weiterer Forschung und zu Beiträgen zu diesem interessanten Gebiet zu ermuntern.

Anerkennung

Der Verfasser möchte Herrn Prof. Dr. F. Kobold für die Einladung zum Schreiben dieser Arbeit und für seine Hilfe beim Edieren des deutschen Textes danken.

Literatur

[1] *T. J. Blachut,* «Les orthophoto-cartes au Service de l'Urbanisme», Rapport de la Conférence de Photogrammétrie Urbaine, Paris, octobre 1965.

[2] *T. J. Blachut* und *A. J. Smialowski,* «Orthophoto Tracer», U.S. Patent Nr. 3465444.

[3] *S. H. Collins,* «Stereoscopic Orthophoto Maps». The Canadian Surveyor, Vol. 22, 1968.

[4] *T. J. Blachut,* «Mapping and Photointerpretation System Based on Stereo-Orthophotos». Veröffentlichung Nr. 14 des Geodätischen Institutes der ETH, Zürich, und Nr. 12281 des National Research Council of Canada, Division of Physics, Ottawa, 1971.

[5] *S. H. Collins,* «The Ideal Mechanical Parallax for Stereo-Orthophotos». The Canadian Surveyor, December 1970.

[6] *T. J. Blachut* und Mitarbeiter, «Orthocartograph». Kanadisches Patent Nr. 074470, 10. Februar 1970.

[7] *T. J. Blachut* und Mitarbeiter, «Stereocompiler». Kanadisches Patent Nr. 072475, 19. Januar 1970.

[8] *T. J. Blachut* und Mitarbeiter, «Manually operable apparatus for steering an object». Elektrisch: U.S. Patent Nr. 2719254, 1955. Mechanisch: U.S. Patent Nr. 2797579, 1957.

[9] *T. J. Blachut* und *M. C. van Wijk,* «3-D Information from Orthophotos». Photogrammetric Engineering, April 1970.