

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

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

Band: 77 (1979)

Heft: 4

Artikel: Moderne Orthophototechnik

Autor: Kraus, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-229679>

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: 14.04.2026

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

Moderne Orthophototechnik

K. Kraus

Suite aux journées d'information sur le plan d'ensemble organisées à l'EPF de Zurich, l'article ci-dessous décrit les techniques de l'orthophotographie mises en œuvre en Autriche au cours de ces dernières années pour la solution de divers problèmes. Ces techniques comprennent d'abord la digitalisation de la surface du terrain sous forme de profils, de courbes de niveau ou de points isolés répartis de manière quelconque puis la transformation différentielle des photos avec l'appareil Avioplan OR 1 présenté par la Maison Wild au XIIIe Congrès de la SIP à Helsinki. Un tiers de l'exposé traite de la précision obtenue par les différents procédés de réalisation des orthophotos. La dernière partie de l'article présente le programme de calcul SORA-OPS pour la réalisation de stéréoorthophotographies ainsi que la précision atteinte par quelques unes d'entre elles.

1. Vorbemerkungen

Der Bericht Nr. 14 des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich enthält die anlässlich der Informationstagung «Der Übersichtsplan der amtlichen Vermessung – Bedeutung, Erhaltung, Erneuerung» vom 10.–11. Februar 1978 gehaltenen Referate. Darin kommt an einigen Stellen zum Ausdruck, dass vermutlich auch das Orthophoto einen substantiellen Beitrag zu den angeschnittenen Problemen leisten kann.

Vor dem Hintergrund einer mit der Schweiz nicht vergleichbaren kartographischen Ausgangssituation hat das Orthophoto in Österreich inzwischen einen beachtlichen Stellenwert erreicht. Dieser Aufsatz, der die in Österreich angewandte Orthophototechnologie beschreibt, kann trotz der unterschiedlichen Ausgangssituation als Diskussionsbeitrag zu der Informationstagung über den Übersichtsplan angesehen werden.

Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (2)

- verwendet zur Neuherstellung und Nachführung der Österreichischen Karte 1 : 50 000 Orthophotos 1 : 10 000
- bringt die Österreichische Luftbildkarte 1 : 10 000 heraus und
- erneuert die Österreichische Katastralmappe mit Hilfe grossmassstäbiger Orthophotos.

Die einzelnen Bundesländer, die vor allem im Rahmen von Strassenbauprojekten in beachtlichem Umfang topographische Karten 1:5000 herstellen, sind zur Ergänzung und Fortführung dieser Karten an Orthophotos 1:5000 interessiert. Im gleichen Massstab – ausnahmsweise auch in 1:10 000 – lassen staatliche und private Forstbetriebe Orthophotos erzeugen.

Umweltschutzbehörden und Gartenbaufachleute sind der treibende Motor für die Herausgabe von Orthophotokarten 1:2000 bzw. 1:2500 in Stadtgebieten [16]. Die zuletzt genannten Orthophotos und jene für die Forstwirtschaft werden überwiegend in Falschfarbe hergestellt.

Auch die Stereoorthophotographie hat nach Ansicht des Autors die Einführungsphase überschritten. Sie hat zur Entflechtung und Dezentralisierung der Luftbildinterpretation beigetragen. Der Fachfremde kann nämlich sein Interpretationsergebnis direkt im Stereoorthophoto oder auf einer Deckfolie fixieren. Auch der Entwurf topographischer Karten auf der Basis von Stereoorthophotos scheint interessant zu werden [6].

2. Kennzeichen der modernen Orthophototechnik

Der angedeutete Durchbruch der Orthophoto- und Stereoorthophotographie in Österreich wäre auf der Grundlage der klassischen Orthophototechnik nicht möglich gewesen. Die neue Orthophototechnologie, die durch die digitale Steuerung der Umbildung charakterisiert ist, brachte die Verbindung zwischen Orthophotogerät und Universalcomputer. Die Steuerung der Umbildung mit Bildkoordinaten hat weiterhin bewirkt, dass der Zusammenhang zwischen dem (digitalisierten) Geländemodell und dem Bild, aus dem das Orthophoto entstehen soll, künftig im Universalcomputer hergestellt wird. Das Orthophotogerät wurde auf diese Weise ein Offline-Peripheriegerät zu den in grosser Zahl vorhandenen Universalcomputern; die Realisierung verschiedener Varianten der Orthophotoherstellung ist nicht mehr ein optisch-mechanisches Konstruktionsproblem, sondern eine programmtechnische Aufgabe.

Die Digitalisierung der Geländeoberfläche erfolgt in photogrammetrischen Zweibildauswertegeräten, die um einen

Analog-Digital-Wandler und eine Magnetbandstation zu erweitern sind.

- nach der relativen Orientierung in der Form von Profilen oder unregelmässig verteilten Einzelpunkten (Stadt- und Waldgebiet) oder
- nach der absoluten Orientierung in der Form von Höhenlinien.

Auch die Digitalisierung vorhandener Höhenlinienkarten und die terrestrische Geländeaufnahme kommen als Datenerfassungsmethode in Betracht.

Die Datenerfassung, der kostenmässig aufwendigste Teil, bleibt somit in der Hand der photogrammetrischen Abteilungen und privaten Photogrammetriebüros. In Österreich sind inzwischen 10 Analogauswertegeräte – verstreut über das ganze Bundesgebiet – mit den notwendigen Einrichtungen für die digitale Datenerfassung ausgerüstet. Auch die Datenaufbereitung für die digital gesteuerte Orthophotoherstellung könnte – sofern Computer mit mindestens 32 K Worten à 16 bit vorhanden sind – noch an dezentralen Stellen erfolgen. Infolge der hohen Leistungsfähigkeit digital gesteuerter Orthophotogeräte sollte dagegen die eigentliche Umbildung von einer zentralen Stelle übernommen werden. In Österreich betreibt das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen gemeinsam mit dem Institut für Photogrammetrie der TU Wien ein digital gesteuertes Orthophotogerät.

Die folgenden Ausführungen über Orthophoto- und Stereoorthophotographie sind im wesentlichen eine deutschsprachige Ausgabe der Veröffentlichung [8]. Sie sind auf das Orthophotogerät Avioplan OR 1, das die Firma Wild anlässlich des XIII. ISP-Kongresses in Helsinki vorgestellt hat [14], [15], und auf das dazugehörige Softwarepaket SORA (Software für die Offline-Rektifikation mit dem Avioplan), welches das Institut für Photogrammetrie der TU Wien im Auftrag der Fa. Wild entwickelt hat, ausgerichtet. Die Schlussbemerkungen bauen die hier vorgestellte Technologie in eine übergeordnetes topographisches Informationssystem ein.

3. Orthophotographie

3.1 Das Computerprogramm

Das Programm SORA-OP (Orthophoto) führt im wesentlichen folgende Re-

chenschritte aus: Zunächst erfolgt die absolute Orientierung eines Einzelmodelles oder – falls von einem ganzen Bild das Orthophoto erzeugt werden soll – eines Doppelmodelles. Anschliessend werden die Höhen bezüglich eines quadratischen XY-Rasters interpoliert. Das Ergebnis wird als digitales Höhenmodell (DHM) bezeichnet. Zur Interpolation eines Rasterpunktes werden die – in den vier Quadranten liegenden – benachbarten vier bzw. acht Punkte herangezogen. Der Interpolationswert ergibt sich als allgemeines arithmetisches Mittel mit $1/s^2$ als Gewicht. Anstelle des allgemeinen arithmetischen Mittels könnten auch kompliziertere Interpolationsalgorithmen eingesetzt werden, doch haben empirische Untersuchungen ergeben, dass für die Orthophotographie einfache Interpolationsalgorithmen genügen.

Nach Interpolation des DHM werden aus Passpunkten die äussere und – falls Amateuraufnahmen benutzt werden – die innere Orientierung des Bildes bestimmt. Damit liegen die Voraussetzungen für die Transformation des DHM in das Bild vor. Die transformierten Bildkoordinaten werden schliesslich auf Magnetband zur Steuerung des Avioplan OR 1 ausgegeben.

Nähere Details, insbesondere die verschiedenen Varianten der Berechnungen in Abhängigkeit der Struktur der Ausgangsdaten, sind in den Veröffentlichungen [7] und [10] enthalten.

SORA-OP wurde inzwischen weltweit auf etwa 15 verschiedenen Computern installiert. Tabelle 1 enthält für einige

Computer	Kernspeicher	CP bzw. CPU-Zeit (sec)
IBM 370/168	200 K bytes (8 bits)*	68
CDC CYBER 74	29 K Worte (60 bits)	105
IBM 370/158	104 K bytes (8 bits)	135
UNIVAC 1100/22	23 K Worte (36 bits)	214
SEL 32/55	98 K bytes (8 bits)	246
	24 K Worte (32 bits)	–
SIEMENS 7750	199 K Worte (8 bits)*	314
IBM 360/67	220 K bytes (8 bits)*	326
RANK XEROX 530	22 K Worte (16 bits)	–

* ohne Overlay

Tab. 1 Kernspeicherbedarf für SORA-OP und Rechenzeit für ein Orthophoto (Doppelmodell, Format 60x60 cm², 12 000 registrierte Punkte, 5800 berechnete DHM-Punkte, Schlitzlänge im Orthophoto 8 mm)

Computer den Kernspeicherbedarf des Programmes und die CP- bzw. CPU-Zeit für einen Lauf eines typischen Beispiels aus der Praxis. Nach Angabe der Programmbeutzer beträgt der Rechenaufwand für dieses Beispiel 30–120 sFr.

Infolge von groben Fehlern, insbesondere bei den Passpunkten, sind etwa 25% der Berechnungen mit einem korrigierten Datensatz zu wiederholen.

In Beziehung zu den gesamten Herstellungskosten eines Orthophotos (Flug, Aerotriangulation, Datenerfassung, Umbildung am OR 1) betragen die Rechenkosten nur etwa 5%. Besonders

günstige wirtschaftliche Verhältnisse ergeben sich schliesslich, wenn man mit dem einmal berechneten und archivierten DHM aus neuen Bildflügen wiederum Orthophotos herstellt [7], [10].

3.2 Genauigkeit

Die bekannten Genauigkeitsuntersuchungen von Orthophotos (u.a. [3]) gehen – nachdem die klassischen Orthophotogeräte keine andere Wahl erlauben – von der Voraussetzung aus, dass der Abstand P der abgefahrenen Profile und die Schlitzlänge S bei der Umbildung identisch sind. Die auf SORA und dem OR 1 begründete Arbeitstechnik zeichnet sich dadurch aus, dass die Datenerfassung, also die Digitalisierung der Geländeoberfläche, völlig unabhängig von der Differentialumbildung abläuft. Die bisher bekannten Genauigkeitsangaben über Orthophotos sind deshalb in folgender Hinsicht zu erweitern:

- Datenerfassung in Profilen, aber mit einem grösseren oder kleineren Abstand als die Schlitzlänge des Orthophotoprojektors ($S \neq P$),
- Datenerfassung in Höhenlinien

3.2.2 Datenerfassung in Profilen

Otepka und Duschanek [11] haben mit SORA-OP und dem OR 1 den umfangreichen kontrollierten Test «Hirschbach» durchgeführt.* Dabei standen innerhalb eines Doppelmodelles 76 unregelmässig verteilte signalisierte Kontrollpunkte zur Verfügung. Der Höhen-

unterschied beträgt 300 m, die mittlere Geländeneigung 13°.

Entlang eines geradlinigen Längs- bzw. Querprofils gibt es – abgesehen von Kleinformen – durchschnittlich etwa 10 Wendepunkte. Die Zahl der Wendepunkte wird im folgenden zur Charakterisierung der Krümmung des Geländes benutzt (im Fall Hirschbach ist $T=10$). Bildflug: WILD RC 8, $c=153$ mm, Bild-

* Der Autor dankt dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und dem Ingenieurbüro Markowski/Otepka für die Bereitstellung der Ausgangsdaten.

massstab = 1:15 000. Im Vergleich zum Testgebiet Ripon [3] liegen also etwas extremere Gelände- und Aufnahmeverhältnisse vor.

Aus den in [11] enthaltenen Zahlenangaben, die durch weitere Auswertungen ergänzt wurden, und einigen grundsätzlichen Überlegungen ergaben sich für den Fall, dass der Profilabstand P bei der Datenerfassung der Schlitzlänge S entspricht, die in Abbildung 1 festgehaltenen Genauigkeitsgesetze. Der dort angegebene mittlere Fehler $m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$ hängt in erster Linie ab

- vom Profilabstand P der Datenerfassung,
- vom Profilierfehler m_a bei der Datenerfassung, ausgedrückt in Promille der Flughöhe bzw. der Kammerkonstante c, und
- von der Krümmung des Geländes, angegeben als Zahl T der Wendepunkte eines Längs- bzw. Querprofils im Doppelmodell.

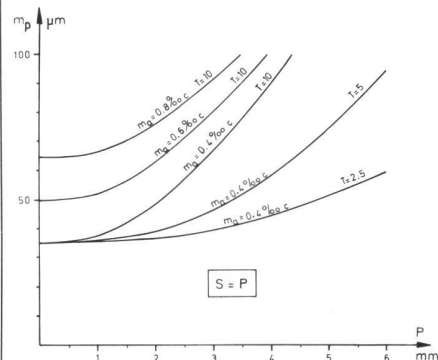


Abb. 1 Mittlerer Fehler m_p des Orthophotos in Abhängigkeit des Profilabstandes P, der Schlitzlänge $S (= P)$, der Geländecharakteristik T und des Profilierfehlers m_a , wobei sich m_p , c, P, S, T und m_a auf das bei der Datenerfassung verwendete Bild beziehen.

Den Profilierfehler m_a kann man durch Profilierung eines typischen kurzen Profilabschnittes in beiden Richtungen bestimmen. Für grobe Abschätzungen gelten in Abhängigkeit der Profilierungsgeschwindigkeit (ausgedrückt im Bild) folgende Extremwerte [9], [12]:

$m_a = 0.4\text{‰}$: Flaches, unbewaldetes und unbebautes Gelände mit einer Profilierungsgeschwindigkeit von 2–3 mm/sec; steiles, unbewaldetes und unbebautes Gelände mit einer Profilierungsgeschwindigkeit von etwa 1 mm/sec.

$m_a = 0.8\text{‰}$: Mittleres, bewaldetes oder bebautes Gelände mit einer Profilierungsgeschwindigkeit von etwa 3 mm/sec; steiles, bewaldetes oder bebautes Gelände mit einer Profilierungsgeschwindigkeit von 1–2 mm/sec.

Zahlenbeispiel:

Bildmaterial für Datenerfassung und Orthophotographie im Massstab 1:30 000, Kammerkonstante $c=150$ mm, Gelände mit $T=10$ Wendepunkten, sorgfältige Profile-

rung des unbewaldeten und unbebauten Geländes mit $m_a = 0,4\%$ c und einem Profilabstand von 2,67 mm im Bild. Abb. 1: $m_p = \pm 60 \mu\text{m}$, das entspricht $\pm 0,18 \text{ mm}$ Orthophoto 1:10 000.

Stellt man mit den gleichen Ausgangsdaten Orthophotos 1:5000 aus dem Bildmassstab 1:15000 ($c = 150 \text{ mm}$) mit einer Schlitzlänge von 16 mm her, beträgt die Genauigkeit $\pm 0,36 \text{ mm}$ im Orthophoto 1:5000 ($= 60 \mu\text{m}$ aus Abb. 1 für $T=10$, $m_a = 0,4\%$ c und $P = 2,67 \text{ mm} \times 6\text{fache Vergrößerung}$).

Nimmt man für das Bildmaterial 1:15000, aus dem die Orthophotos entstehen, anstelle der Kammer $c = 150 \text{ mm}$ eine Kammer $c = 300 \text{ mm}$, verbessert sich die Genauigkeit auf $\pm 0,18 \text{ mm}$ ($= 0,36 \times 150/300$) im Orthophoto 1:5000.

Wählt man die Schlitzlänge S halb so gross wie den Abstand P der Profile bei der Datenerfassung, bekommt man – lediglich durch zusätzlichen Rechenaufwand und längere Zeiten am OR 1 – eine beachtliche Genauigkeitssteigerung, wie man sich durch Vergleich der Kurven in den Abbildungen 1 und 2 überzeugen kann.

Erzeugt man in dem angeführten Zahlenbeispiel die Orthophotos mit einem 8 mm Schlitz aus einem Bildmaterial 1:15000 und $c = 300 \text{ mm}$, beträgt die Genauigkeit $\pm 0,14 \text{ mm}$ im Orthophoto 1:5000 ($= 48 \mu\text{m}$ aus Abb. 2 $\times 6\text{fache Vergrößerung} \times 150/300$).

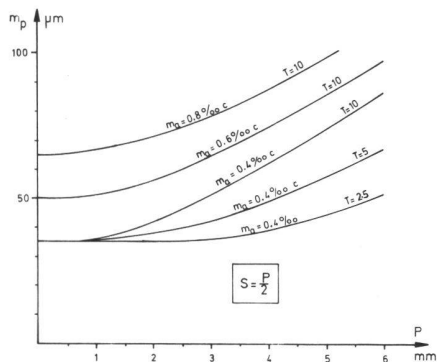


Abb. 2 Mittlerer Fehler m_p des Orthophotos in Abhängigkeit des Profilabstandes P, der Schlitzlänge $S (= P/2)$, der Geländecharakteristik T und des Profilierfehlers m_a , wobei sich m_p , c, P, S, T und m_a auf das bei der Datenerfassung verwendete Bild beziehen.

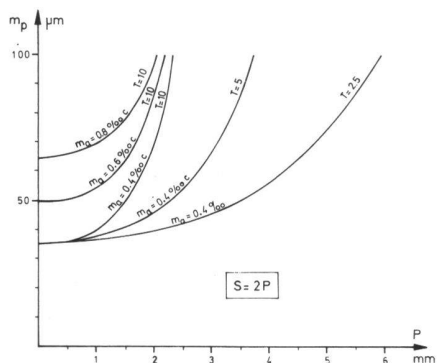


Abb. 3 Mittlerer Fehler m_p des Orthophotos in Abhängigkeit des Profilabstandes P, der Schlitzlänge $S (= 2P)$, der Geländecharakteristik T und des Profilierfehlers m_a , wobei sich m_p , c, P, S, T und m_a auf das bei der Datenerfassung verwendete Bild beziehen.

Schliesslich können aus der Abbildung 3 die Genauigkeiten der Orthophotos für den Fall entnommen werden, dass der Schlitz doppelt so gross als der Abstand der Profile bei der Datenerfassung gewählt wird. Diese Variante tritt dann in der Praxis auf, wenn aus grossmassstäbigen Bildern die Datenerfassung ausgeführt wurde und zu einem späteren Zeitpunkt aus kleinmassstäbigen Bildern Übersichtsorthophotos erzeugt werden. Bei der Anwendung der Abbildungen 1 bis 3 ist unbedingt zu beachten, dass sich die Kammerkonstante c, die Zahl der Wendepunkte T, der Abstand P der abgefahrenen Profile, die Länge S des Schlitzes und die Orthophotogenauigkeit m_p , auf die Bilder beziehen, die für die Datenerfassung verwendet wurden.

3.2.3 Datenerfassung in Höhenlinien

Das Testgebiet «Hirschbach» wurde auch in Höhenlinien mit unterschiedlichen Höhenlinienintervallen ausgewertet und daraus die Orthophotos mit verschiedenen Schlitzlängen hergestellt. Damit wurden – allerdings nur mit verhältnismässig wenig Testergebnissen – die Genauigkeit der Orthophotos in Abhängigkeit des Höhenlinienintervalles I, der Schlitzlänge S, der Zahl T der Wendepunkte entlang eines Profiles und eines neuen Eingangsparameters, des mittleren Höhenfehlers m_h beim Ziehen der Höhenlinien, abgeleitet (Abb. 4 und 5). Der Höhenfehler m_h der Höhenlinien kann durch Ziehen eines typischen Höhenlinienstückes in beiden Richtungen bestimmt werden. Aus den Differenzen im Höhenlinienbild ergibt sich zunächst der Lagefehler der Höhenlinienauswertung, der durch Multiplikation mit $\tan \alpha$ ($\alpha =$ Geländeneigung) in den Höhenfehler m_h umgerechnet werden kann.

Die Faustformel für den Höhenfehler m_h lautet:

$$m_h (\% \text{ c}) = 0,25 + \frac{100}{c} \cdot \tan \bar{\alpha} \quad (1)$$

$\bar{\alpha}$: durchschnittliche Geländeneigung im Stereomodell
c: Kammerkonstante in mm.

Der Höhenfehler m_h wird stark von der Geländeneigung, aber auch – was in der Faustformel nicht zum Ausdruck kommt – vom Bewuchs, der Bebauung usw. beeinflusst.

3.3 Angaben zu hergestellten Orthophotos

Das Institut für Photogrammetrie der TU Wien hat in den letzten Jahren ca. 400 Orthophotos mit SORA-OP und dem OR 1 hergestellt. Vor diesem Hintergrund sind die folgenden Angaben zu verstehen.

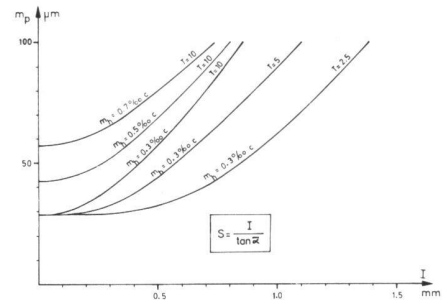


Abb. 4 Mittlerer Fehler m_p des Orthophotos in Abhängigkeit des Höhenlinienintervalles I, der Schlitzlänge S ($= I / \tan \bar{\alpha}$), der Geländecharakteristik T und des Höhenlinienfehlers m_h , wobei sich m_p , c, I, S, T und m_h auf das bei der Datenerfassung verwendete Bild beziehen ($\bar{\alpha}$ ist die durchschnittliche Geländeneigung).

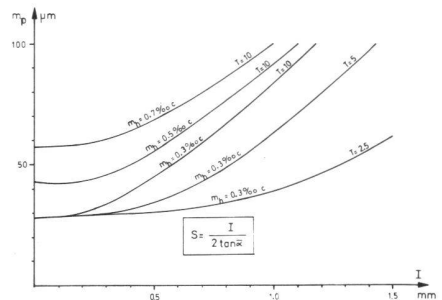


Abb. 5 Mittlerer Fehler m_p des Orthophotos in Abhängigkeit des Höhenlinienintervalles I, der Schlitzlänge S ($= I / [2 \tan \bar{\alpha}]$), der Geländecharakteristik T und des Höhenlinienfehlers m_h , wobei sich m_p , c, I, S, T und m_h auf das bei der Datenerfassung verwendete Bild beziehen ($\bar{\alpha}$ ist die durchschnittliche Geländeneigung).

Herkunft der Ausgangsdaten:

50% Profilieren im relativ orientierten Modell (häufig ohne spezielle Profilier-einrichtung an den Analogauswertegeräten).

30% Höhenliniendigitalisierung im photogrammetrischen Analogauswertegerät und – im kleinen Umfang – auch im analytischen Auswertegerät.

10% Digitalisierung unregelmässig verteilter Einzelpunkte (Stadtgebiet bzw. flaches Gelände) im photogrammetrischen Analogauswertegerät oder im Komparator gleichzeitig mit der Messung der Aerotriangulation.

9% Digitalisierung vorhandener Höhenlinienkarten mit einem Digitizer.

1% Terrestrische Geländeaufnahme.

Für die Profilierung bzw. Höhenlinienauswertung im photogrammetrischen Zweibildauswertegerät benutzt man häufig (älteres) Weitwinkel-Bildmaterial. Das Orthophoto wird dann aus neuem Normal- bzw. Zwischenwinkel-Bildmaterial mit einem doppelt so grossem Bildmassstab erzeugt. Die Vergrößerung vom neueren Flug zum Orthophoto beträgt in diesem Fall meistens 1:3. Wird dagegen das Orthophoto aus den Bildern hergestellt, die auch zur Datener-

fassung herangezogen werden, ist ein Vergrößerungsverhältnis vom Bild zum Orthophoto von 1:4 üblich. In Extremfällen wurden auch schon Vergrößerungen 1:8 praktiziert.

Die Schlitzlänge variiert von 3 mm (extremes Hochgebirge) bis zu 16 mm (Digitalisierung von Einzelpunkten im Stadtgebiet und im flachen Gelände). Die Schlitzlänge wird im allgemeinen bei der profilweisen Datenerfassung etwas kleiner als der Profilabstand und bei der Datenerfassung in Höhenlinien deutlich kleiner als der durchschnittliche Höhenlinienabstand ($=l/\tan \bar{\alpha}$) gewählt.

Im Prinzip sollte – da der OR 1 keine Diskontinuitäten bewältigt – die digitalisierten Geländepunkte eine glatte Oberfläche beschreiben. Beim Profilieren lässt sich das dadurch erreichen, dass der Operateur die Kleinformen und Kunstbauten ignoriert. Auf diese Weise bleibt der gleichmässige Verlauf geometrischer Bildelemente (Strassenbegrenzungen, Eisenbahnen usw.) auch im Orthophoto erhalten.

Unter den etwa 400 hergestellten Orthophotos sind etwa 150 in Falschfarbe und Farbe. Auch multispektrale Hasselblad-Aufnahmen wurden zu Orthophotos umgebildet. Zur Datenerfassung wurden selbstverständlich die Hasselblad-Aufnahmen nicht verwendet.

Von der Möglichkeit, aus dem einmal berechneten DHM die Steuerdaten für Bilder verschiedenen Datums abzuleiten, wird rege Gebrauch gemacht. In einem Fall wurden auf diese Weise sieben Orthophotos vom gleichen Geländeausschnitt hergestellt. Unter diesem Gesichtspunkt gewinnen die Luftbildarchive immer mehr an Bedeutung.

Etwa die Hälfte der Orthophotonegative werden auf reproduktionstechnischem Weg zu Luftbildkarten bzw. durch Rasterung zu lichtpausfähigen Vorlagen verarbeitet. Mit der zweiten Hälfte der Negative werden photographische Kontaktkopien in geringer Auflage gemacht. Vor der Kopie wird aber in die Schwarzweiss- oder Farbnegative das Landeskoordinatensystem graviert (in Wien mit einem Coragraphen DC 2).

4. Stereoorthophotographie

4.1 Programmbeschreibung

Unter Verwendung des für das Orthophoto berechneten DHM können – nur durch zusätzlichen Rechenaufwand – im Avioplan OR 1 auch Stereopartner erzeugt werden. Das Computerprogramm, das sowohl Orthophotos als auch Stereopartner berechnet, trägt die Bezeichnung SORA-OPS.

Als Projektionsarten wurden gewählt:

- Die parallele Schrägprojektion (lineare Projektion)

$$p_x = k \cdot h \quad (2)$$

k = wählbarer Faktor im allgemeinen Basis (B)/Flughöhe (H)

- Die von Collins [4] vorgeschlagene und in [7] für den OR 1 angepasste logarithmische Projektion

$$p_x = B \ln \frac{H}{H-h} \quad (3)$$

Die in den Stereoorthophotos enthaltenen Horizontalparallaxen p_x können somit wie folgt in Geländehöhen h umgerechnet werden:

- lineare Stereoorthophotos

$$h = \frac{p_x}{k} \quad (4)$$

- logarithmische Stereoorthophotos

$$h = H \left(1 - e^{-\frac{p_x}{B}}\right) \quad (5)$$

Die linearen Stereoorthophotos eignen sich nur zum Ausmessen von Geländeformen, die im DHM erfasst sind. Die vom DHM nicht erfassten Details (Gebäude, Bäume, geomorphologische Kleinformen) sind dagegen nach einem anderen mathematischen Bildungsgesetz abgebildet. Diese Details können im logarithmischen Stereoorthophoto gemeinsam mit den Geländegrossformen nach der Beziehung (5) ausgewertet werden.

Da bis jetzt die Hauptanwendung der Stereoorthophotos in der thematischen Interpretation des Bildinhaltes liegt, werden die meisten Stereoorthophotos mit der kostengünstigen linearen Projektion, insbesondere im flachen Gelände mit einer starken Oberhöhung dargestellt. Weitere Einzelheiten zum Programm enthält die Veröffentlichung [8].

Tabelle 2 enthält für zwei verschiedene Computer den notwendigen Kernspeicherbedarf des Programmes und die CP bzw. CPU-Zeit für einen Lauf

eines typischen praktischen Beispiels zur Herstellung eines Orthophotos und der beiden Stereopartner. Der Vergleich mit Tabelle 1, die die Rechenzeiten nur für das Orthophoto enthält, demonstriert, wie kostengünstig mit dem neuen System die Stereopartner hergestellt werden können. Das Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien hat inzwischen etwa 100 Stereopartner produziert.

4.2 Genauigkeit

Theoretische Abhandlungen verschiedener Autoren (u. a. [4]) kamen zu der Schlussfolgerung, dass Stereoorthophotos eine verhältnismässig gute Höhengenaugigkeit haben müssen. Für Stereoorthophotos – hergestellt mit dem modifizierten SFOM-Orthophotokartograph – wurden in [5] erstmals Genauigkeitsangaben für lineare Stereoorthophotos gemacht.

Dem Autor sind aber keine Genauigkeitsuntersuchungen mit logarithmischen Stereoorthophotos bekannt. Mit Sicherheit fehlen bisher Genauigkeitsangaben über die verschiedenartigen Stereophotos, die man mit SORA-OPS und dem OR 1 erzeugen kann.

Für die folgende empirische Genauigkeitsuntersuchung diente wiederum das Testgebiet «Hirsbach» mit den 76 signalisierten Kontrollpunkten. Tabelle 3 enthält die mittleren Fehler des Orthophotos. Die Schlitzlänge betrug 8 mm im Orthophoto 1:5000 (= 2,7 mm im Bild). Der Lagefehler m_p von $\pm 58 \mu\text{m}$ ($= \pm 0,17 \text{ mm}$ im Orthophoto) geht auch aus Abbildung 1 mit $T=10$ und $m_a = 0,4\%$ hervor.

Am Anfang wurde die Genauigkeit der linearen Stereoorthophotos mit $k = B/H$ ermittelt (a, in Tabelle 4). Die Höhengenaugigkeit m_z beträgt $0,48\%$ H. Diese Höhengenaugigkeit hat sich bei den logarithmischen Stereoorthophotos (b, in Tabelle 4) noch deutlich verbessert. Ein ähnlich gutes Ergebnis konnte auch mit linearen Stereoorthophotos erreicht werden, indem man k absichtlich mit 0,6

Computer	Kernspeicher	CP bzw. CPU-Zeit (sec)
CDC Cyber 74	29 K Worte (60 bits)*	134
SEL 32/55	98 K bytes (8 bits) 24 K Worte (32 bits)	390

* ohne Overlay

Tab. 2 Kernspeicherbedarf für SORA-OPS und Rechenzeit für ein Orthophoto (Format 60x60 cm², DHM 8x8 mm²) und für den linken und rechten Stereopartner (lineare Projektion)

Zahl der profilweise reg. Pkte. $\Delta X = 2,7 \text{ mm}$	Zahl der ber. DHM Pkte.	DHM ΔX mm ΔY mm		Zahl der Kontrollpunkte.	m_{x_0} μm	m_{y_0} μm	m_p μm
5730	4970	2.7	2.7	71	40	42	58

Tab. 3 Mittlerer Fehler m_x , m_y und m_p des Orthophotos, wobei sich ΔX , ΔY und die mittleren Fehler auf das Bild beziehen.

Zahl der Partner	Zahl der Kontrollpunkte.	m_{xs} μm	m_{ys} μm	$\sqrt{m_{xo}^2 + m_{xs}^2}$ μm	m_{px} μm	m_z μm	m_2 ‰oH
a) Linearer Stereopartner mit $k = B/H = 1122 m/2752 m = 0,4080$							
1	36	31	41	51	30	74	0,48
b) Logarithmischer Stereopartner mit $B = 1122 m, H = 2752 m$							
2	68	33	43	52	25	46	0,30
c) Linearer Stereopartner mit $k = 0,6$							
1	32	35	41	53	25	40	0,26

Tab. 4 Mittlerer Fehler m_z der Stereorthophotos, wobei sich die Zahlenwerte auf das Bild beziehen.

größer als B/H gewählt hat (c, in Tabelle 4).

Insgesamt ergibt sich eine vorzügliche Höhengenaugigkeit der Stereorthophotos. Der Vergleich mit der Lagegenauigkeit des Orthophotos (m_p in Tabelle 3 mit m_z bei b, und c, der Tabelle 4) gestattet die interessante Feststellung, dass das Stereorthophoto eines der seltenen photogrammetrischen Produkte ist, das eine wesentlich bessere Höhen- als Lagegenauigkeit aufweist.

Die Fähigkeit, die Höhenfehler des DHM im Stereorthophoto weitgehend unschädlich zu machen, konnte dadurch nachgewiesen werden, dass die Höhen der Kontrollpunkte im DHM interpoliert und mit den Sollhöhen verglichen wurden. Es ergab sich ein mittlerer Höhenfehler m_z des DHM von $\pm 0,78\%$ o H [11].

Das Stereorthophoto hat also die 2- bis 3fache bessere Höhengenaugigkeit als das DHM, mit dem das Stereorthophoto hergestellt wird.

Diesen Kompensationseffekt, der auf gleichgerichtete Fehler im Orthophoto und Stereopartner beruht, kann man auch an Hand der 5. und 6. Spalte der Tabelle 4 studieren. Die 6. Spalte enthält die mittleren Fehler m_{px} der gemessenen Parallaxen p_x im Stereorthophoto; die 5. Spalte enthält einen aus der Orthophotogenauigkeit m_{xo} (Tabelle 3) und der Genauigkeit m_{xs} der Stereopartner (3. Spalte der Tabelle 4) nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz – aber unter Vernachlässigung der systematischen Fehleranteile – berechneten mittleren Fehler für die Parallaxen p_x .

5. Schlussbemerkungen

Die Digitalisierung der Höhen des Geländes für die digital gesteuerte Orthophotoherstellung hat in Österreich bereits einen solchen Umfang angenommen, dass sich das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen im Frühjahr 1978 entschlossen hat, das Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien mit der Konzeption und Programmierung einer Geländehöhendatenbank zu beauftragen. Das Programm der Geländehöhendatenbank, das im Frühjahr 1980 in einer ersten Version fertiggestellt sein wird, erlaubt eine

automationsfreundliche Verwaltung und Benutzung der gespeicherten Höheninformationen. Dabei wird der Heterogenität der Ausgangsdaten bezüglich Genauigkeit, Digitalisierungsart, Datendichte usw. Rechnung getragen.

Das am meisten benutzte Peripherieprogramm zur Geländehöhendatenbank wird SORA-OPS sein. Aber auch das Isolinienprogramm SCOP [1], [13] wird an die Geländehöhendatenbank angeschlossen, so dass profilweise erfasste Ausgangsdaten – ergänzt um digitalisierte Geländekanten – in Höhenlinien, beliebige Profile und Linien gleicher Geländeneigung umgerechnet und auf den Zeichenautomaten ausgegeben werden können. Für die höhenlinienweise erfassten Ausgangsdaten ist ein weiteres Programm in Entwicklung, das die Gravur der direkt eingemessenen Höhenlinien an einem elektronisch gesteuerten Zeichenautomaten erlaubt.

Damit steht ein topographisches Informationssystem zur Verfügung, das sich hinsichtlich der dritten Dimension durch einen hohen Automationsgrad und ein hohes Qualitätsniveau auszeichnet. Bezüglich des Grundrisses stützt sich das System auf den Informationsgehalt der Orthophotos, die aber mit Hilfe der Geländehöhendatenbank in kurzen Zeitabständen kostengünstig erneuert werden können.

Mit Hilfe von Deckfolien kann einerseits die topographische Aussagekraft der Orthophotos verbessert und andererseits die Orthophotokarte zum Sammelbecken verschiedener thematischer Informationen werden. Die ebenfalls aus der Geländehöhendatenbank ableitbaren Stereopartner werden die Nachbardisziplinen ermuntern, ihre thematischen Interpretationsergebnisse in das vorgestellte Informationssystem einzubringen. Eventuell werden auch Fachleute benachbarter Disziplinen Programme schreiben, die die gespeicherten Höhen der Datenbank mit ihren, im Laufe der Zeit auch digital vorliegenden Daten verknüpfen.

Das skizzierte topographische Informationssystem ist ein Kompromiss zwischen dem technisch Möglichen und dem wirtschaftlich Vertretbaren. Der notwendige Aufwand für die Entwick-

lung und die praktische Durchführung ist zeitlich und kostenmässig überblickbar. Die Anwender kommen in verhältnismässig kurzer Zeit in den Genuss der neuen Technologie. Das System kann aber auch der Anfang für eine Fortentwicklung in Richtung umfassender digitaler Informationssysteme sein.

Literatur

- [1] E. Assmus: Berücksichtigung von Geländekanten im Stuttgarter Höhenlinienprogramm – Theorie und Ergebnisse. Geowiss. Mitt. TU Wien, Heft 8, 1976.
- [2] J. Bernhard, J. Kovarik, E. Rabenstein, H. Nowakowski: Das Orthophoto im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. EVM-Informationssystem des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen, Nr. 26, Februar 1978.
- [3] T. Blachut, M. van Wijk: Results of the International Orthophoto Experiment 1972–76. Photogrammetric Engineering, 12/1976.
- [4] S. Collins: The Ideal Mechanical Parallax for Stereorthophotos. Canadian Surveyor, 5/1970.
- [5] S. Collins: Production and Accuracy of Simultaneously Scanned Stereo-Orthophotos. Photogrammetric Engineering, 12/1976.
- [6] R. Finsterwalder: Eine Kartierungsmethode unter Zuhilfenahme von Stereorthophotos. Kartogr. Nachr., 5/1977.
- [7] K. Kraus: Anwendungsmöglichkeiten eines digital gesteuerten Differentialumbildegerätes. Geowiss. Mitt. TU Wien, Heft 8, 1976 oder ZfV 3/1977.
- [8] K. Kraus, G. Otepka, J. Loitsch, H. Haitzmann: Digitally Controlled Production of Orthophotos and Stereorthophotos. Presented Paper, Komm. IV, ISP Symposium Ottawa 1978.
- [9] W. Marckwardt: Digital Filtering of Profile Data. Phia 3/1978.
- [10] G. Otepka, J. Loitsch: Ein Programm zur digital gesteuerten Orthophotoproduktion. Geowiss. Mitt. TU Wien, Heft 8, 1976.
- [11] G. Otepka, E. Duschaneck: Empirische Genauigkeitsuntersuchung von Orthophotos. Geowiss. Mitt. TU Wien, Heft 13, 1978.
- [12] H. Schneider: Experimentelle Untersuchungen über den Abtastfehler bei der Orthophotographie. Bildmessung und Luftbildwesen 5/1969.
- [13] W. Stanger: Automatische Herstellung einer Gefällstufenkarte. Société Française de Photogrammetrie, Bulletin Nr. 57, 1975.
- [14] P. Stewardson: Ein neues universelles Orthophotosystem. Vermessung-Photogrammetrie-Kulturtechnik, Fachblatt 2–74.
- [15] P. Stewardson: The Wild Avioplan OR 1 Orthophoto System. Presented Paper, Komm. II, ISP Kongress Helsinki 1976.
- [16] K. Zirm, G. Otepka: Neue Wege der Basisdatenerfassung und -darstellung für einen Umweltkataster, Umweltschutz – Organ der Österreichischen Gesellschaft für Natur- und Umweltschutz, 2/1977.

Adresse des Verfassers:

o. Prof. Dr.-Ing. Karl Kraus, Institut für Photogrammetrie, Technische Universität Wien, Gusshausstrasse 27–29, A-1040 Wien