



Untersuchungen und Vorschläge für die Testung von Differentialverzerrungsgeräten mit Vorrichtungen zur Korrektur des Einflusses der Geländequerneigung

Werner Marckwardt ¹

¹ *Jenoptik JENA G. m. b. H., Carl-Zeiss-Straße 1, DDR-69 Jena*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **64** (3–4), S. 89–96

1976

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Marckwardt_VGI_197610,  
  Title = {Untersuchungen und Vorschläge für die Testung von  
    Differentialverzerrungsgeräten mit Vorrichtungen zur Korrektur des  
    Einflusses der Geländequerneigung},  
  Author = {Marckwardt, Werner},  
  Journal = {{\0}sterreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und  
    Photogrammetrie},  
  Pages = {89--96},  
  Number = {3--4},  
  Year = {1976},  
  Volume = {64}  
}
```



c) weil der parallel geführte Zeitdienst in Potsdam nur zur Ableitung des Längenunterschiedes und erst nach acht Jahren zur Überprüfung der Tageslänge herangezogen worden ist und

d) weil das Beobachtungsmaterial zu *) ein einmaliges Dokument zur Erhärtung der in *) gemachten Feststellungen gewesen ist.

Aus *) Abb. 4 und 5 geht für die Beobachtungszeit 1944 April 8 bis 1944 Mai 13 eine Schwankung im Ausmaß $dt \approx 2 \text{ msec}/d \approx 0,002^{-3} \text{ sec}/d$ hervor, was in (11) eingesetzt eine tägliche Schwankung der Fliehkraft und damit der Schwerkraft von

$$dFk_{45} = 4,00 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-8} \text{ cm sec}^{-2}/d \quad \dots (12)$$

bewirkt. Daraus ergibt sich in 35 Tagen (April 8 bis Mai 13) eine Schwerkraftänderung ($dt = 70 \text{ msec}$) und mit (11) und (12) ein

$$dFk_{35} = 8 \cdot 10^{-8} \cdot 35 = 280 \cdot 10^{-8} = 2 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ cm sec}^{-2}. \quad \dots (13)$$

Im Intervall Mai 13 bis Mai 30 = 17 Tage ergibt sich aus der Auftragung ein $dt \approx 20 \text{ msec}$ oder ein $dFk_n = 8 \cdot 10^{-7} \text{ cm sec}^{-2}$, aber mit umgekehrten Vorzeichen.

Aus der kurzfristigen und lebhaften Schwankung der Tageslänge in den Monaten 1944 April und Mai wurde die Schwankung der Schwerkraft abgeleitet, welche Beträge annimmt, die an die Gezeitenwirkung der Sonne heranreichen.

Ob die bei der o. a. Längenbestimmung erfaßten Beträge Extremwerte darstellen, kann nicht beurteilt werden, weil ja nur ein einziges Intervall von zwei Monaten parallel mit Potsdam beobachtet worden ist.

Die Sammlung der täglichen Abendwerte der Zeitbestimmungen von hervorragenden Stationen über längere Zeit hin und deren Auswertung in der angegebenen Weise würde die Tagesschwankungen der Rotationsdauer und damit der Schwerkraft ergeben. Damit würde auch der Nachweis erbracht, daß die astronomischen Beobachtungen wesentlich genauer sind als bisher angenommen, und so würden nicht nur dem Zeitdienst an sich, sondern auch den artverwandten Wissenschaften, besonders der Geophysik, erhebliche Fortschritte ermöglicht werden.

Untersuchungen und Vorschläge für die Testung von Differential- entzerrungsgeräten mit Vorrichtungen zur Korrektur des Einflusses der Geländequerneigung

Von *Werner Marckwardt*, Jena

Summary:

Differential rectifiers equipped with devices for correcting the influence of terrain cross slope permit rectification by means of larger slit widths, with image quality improved at the same time. For testing these instruments distortions of artificial test patterns are suitable. Some results will be given which were obtained with the Topocart/Orthophot instrument combination.

1. Einleitung

Die Differentialentzerrung ist gegenwärtig ein verbreitetes Verfahren zur Auswertung von Luftbildern. Die dazu benötigten Gerätesysteme werden ständig weiter

verbessert. Neben Geräten, die das für das Orthophoto benötigte Bilddetail aus dem Meßstrahlengang eines Stereokartiergeräts ausblenden (on-line) gibt es Geräte, die ein Höhenmodell abspeichern und dann mit diesem Speicher eine Entzerrungseinrichtung steuern (off-line). Beide Verfahren bieten eine Reihe von Vorteilen. Ein Gerät, das wahlweise im on- oder off-line-Betrieb arbeiten kann, wird offenbar allen Anforderungen gerecht. Zu diesen Geräten gehört die Kombination Topocart/Orthophot aus Jena. Ein wesentliches Merkmal dieser Gerätekombination wird die Möglichkeit der Einführung einer zusätzlichen Maßstabsänderung und Bilddrehung zur Korrektur des Einflusses der Geländequerneigung sein. Die Einführung derartiger Korrekturen in Abhängigkeit von der Geländeneigung quer zur Abtastrichtung erfordert eine Zwischenspeicherung der Profile zur Gewinnung der Querneigungsinformation. Bei Differentialentzerrungsgeräten mit derartigen Korrekturmöglichkeiten ist deshalb die Informationsgewinnung (profilweises Abtasten des Modells) und die Informationsverarbeitung (Belichten des Orthophotos) entweder zeitlich (off-line) oder räumlich (on-line Anschluß eines dritten Projektors) getrennt.

Die Frage, wie ein derartiges Gerätesystem mit einer Vorrichtung zur Korrektur des Einflusses der Geländequerneigung getestet werden kann, wurde bisher in den Vorschlägen der Arbeitsgruppe II/2 der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie [1] nicht ausreichend betrachtet. Im vorliegenden Aufsatz werden Verfahren beschrieben, die in Verbindung mit dem Gerätesystem Topocart/Orthophot erprobt wurden.

2. Das Gerätesystem Topocart/Orthophot

An ein entsprechend modifiziertes Gerätesystem Topocart/Orthophot kann in Verbindung mit einer automatischen Steuerung ein Querneigungskorrektor angeschlossen werden. Das System wird dann mit digitalen Steuerdaten betrieben, die auf unterschiedlichste Weise gewonnen werden können. Die Steuerdaten bestehen aus Informationen über die Geländehöhe und die Geländequerneigung. Beide Informationen müssen so beschaffen sein, daß sich ein stetiges Querprofil ergibt (Abb. 1). Da ohne Dezentrierung der Spaltblende gearbeitet wird, erfolgt die Berechnung auf der Grundlage von je drei benachbarten Längsprofilen. Das Gelände

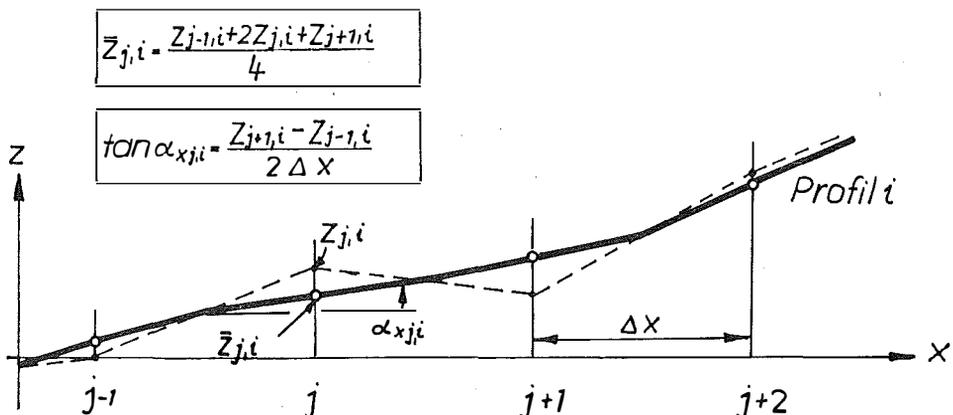


Abb. 1:

Berechnung der stetigen Hilfsfläche (Querprofil)

wird dabei durch Profile beschrieben, die jeweils durch Mittelung zweier gemessener Profile entstehen. So ergibt sich eine günstige Querglättung des Modells und die Korrelation zwischen benachbarten Steuerprofilen nimmt zu. Das bewirkt die Unterdrückung von Abtastfehlern, die ein wenig geübter Operateur verursachen kann. Bei profilweiser Datengewinnung kann so mit größeren Vorschubgeschwindigkeiten gearbeitet werden. Abb. 2 zeigt den Datenfluß, wenn die Digitalsteuereinheit über

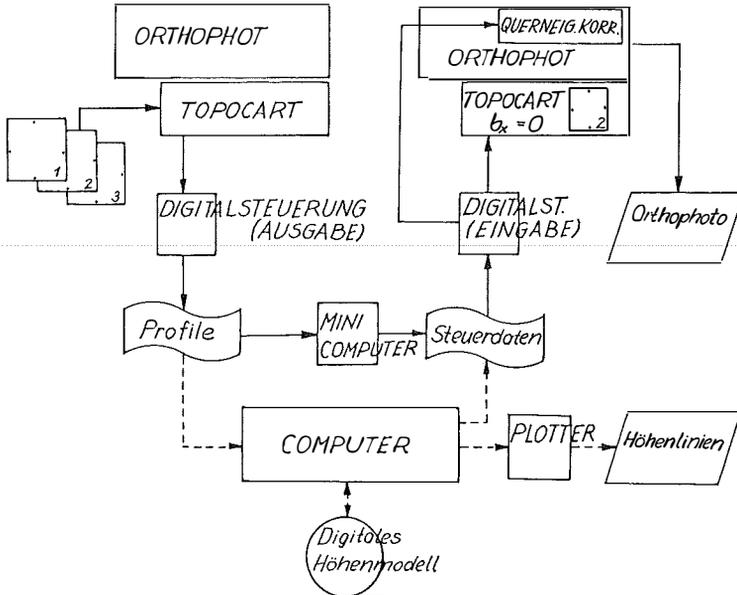


Abb. 2:

Beispiel für den Informationsfluß beim Orthophot mit Querneigungskorrektor

ihren Ausgabekanal zur Datengewinnung benutzt wird. Dieses Verfahren ermöglicht die Erfassung von parallelen Profilen eines Doppelmodells, wobei die Kantung des mittleren Bildes 2 unverändert bleiben muß (Orientierung mit b_y). Die Entzerrung des vollständigen mittleren Bildes erfolgt dann mit $b_x = 0$.

Die digitale Querneigungsinformation wird von der Digitalsteuereinheit in einen analogen Spannungswert umgewandelt und dem Querneigungskorrektor zugeführt. Der Korrektor erhält außerdem Informationen über die Modellkoordinaten, so daß die Neigung des Projektionsstrahls mit der Querneigungsinformation in einem elektronischen Analogrechner zu einem Maßstabskorrekturwert und einem Bildrehwinkel verknüpft werden kann. Zwei Regelkreise zur Maßstabskorrektur und Bildrehung (Schmidt-Prisma im parallelen Strahlengang) realisieren die berechneten Korrekturwerte. Die dadurch erzielte Verbesserung des Differentialentzerrungsverfahrens wirkt sich besonders bei größeren Geländeneigungen (Mittel- und Hochgebirge) günstig aus.

3. Genauigkeitsuntersuchungen auf der Grundlage von Testfeldern

Die bekannteste Methode zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit eines Stereoauswertegeräts besteht in der Auswertung eines Testfeldes mit einer größeren

Anzahl signalisierter Paßpunkte, deren Koordinaten mit großer Genauigkeit bekannt sind. Die Lagekoordinaten dieser Punkte können dann in der Auswertung z. B. mit einem Präzisionskoordinatographen gemessen werden. Über eine Helmert-Transformation ergeben sich mittlere Lagefehler, die anschließend auf die Bildebene bezogen werden können. Die meisten vorhandenen Testfelder haben jedoch den Nachteil, daß sie in relativ ebenen Gebieten angelegt wurden. Sie sind deshalb für die Testung von Querneigungskorrektureinrichtungen wenig geeignet.

Zur Testung des Querneigungskorrektors für das Differentialentzerrungssystem Topocart/Orthophot dienten Entzerrungen des Testfelds Pečny (ČSSR). Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dargestellt. Es zeigt sich, daß durch den off-line Betrieb



Abb. 3:
Mittlere Lagefehler im Orthophoto (Testfeld Pečny, 1:5000)
a) ohne Querneigungskorrektor
b) mit Querneigungskorrektor

ein geringer Genauigkeitsverlust auftritt, der jedoch bei einer bestimmten Spaltbreite durch den Querneigungskorrektor vollständig kompensiert wird. Bei einer weiteren Vergrößerung der Spaltbreite erhält man eine Genauigkeitssteigerung, die vom Geländetyp abhängt (Hochgebirge, Mittelgebirge oder Hügelland). Die Abb. 4a und 4b zeigen Ausschnitte aus Orthophotos vom Testfeld Pečny (Bildmaßstab 1:12000, Modellmaßstab 1:8000, Maßstab des Orthophotos 1:5000).

4. Gitterverzerrungen

4.1. Verzerrungen eines Quadratgitters

Die Aufgabe des Querneigungskorrektors besteht darin, sichtbare Differenzen zwischen benachbarten Streifen zu beseitigen. Der mittlere Lagefehler der Orthophotos wird dabei ebenfalls verringert. Die Differenzen treten immer nur an bestimmten Bildstellen mit größerer Geländequerneigung auf. Die Korrektur dieser störenden Differenzen ermöglicht die Verwendung breiterer Spaltblenden und größerer Bildwinkel.

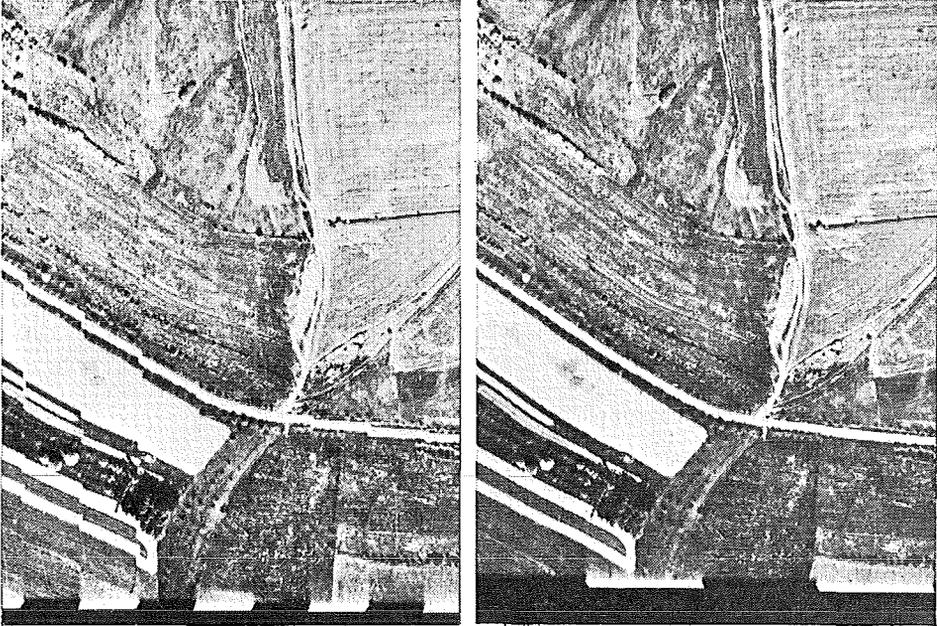


Abb. 4:

Ausschnitte aus Orthophotos (Testfeld Peřny, 1:5000)

- a) ohne Querneigungskorrektor (Spaltbreite 8 mm)
- b) mit Querneigungskorrektor (Spaltbreite 16 mm)

Es bereitet Schwierigkeiten, die Differenzen im Orthophoto zu messen. Durch eine Gitterplatte, die als Deckglasplatte für ein zu entzerrendes Diapositiv verwendet wird, lassen sich die Differenzen, die durch die Geländequerneigung und durch Abtastfehler hervorgerufen werden, besser sichtbar machen. Da beim Einsatz einer Korrekturvorrichtung eine Trennung zwischen Informationsgewinnung und -verarbeitung vorliegt, besteht die Möglichkeit, bei der Entzerrung statt eines Luftbilds nur eine Testfigur zu verwenden (z. B. eine Gitterplatte). Abb. 5 zeigt, wie eine der-

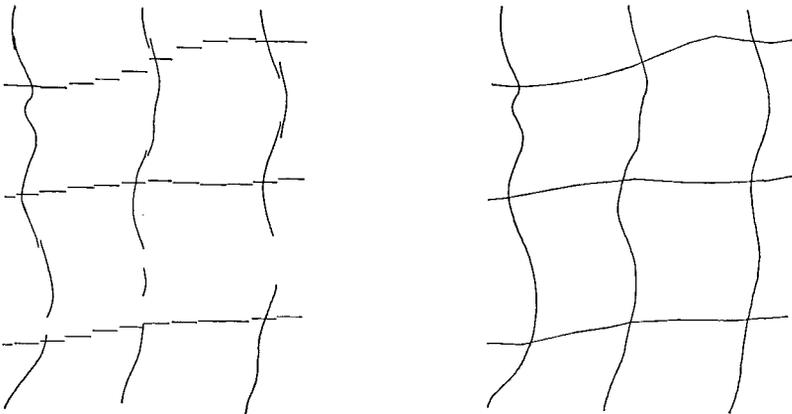


Abb. 5:

Verzerrungen einer Gitterplatte mit Daten eines Hochgebirgsmodells

- a) ohne Querneigungskorrektor
- b) mit Querneigungskorrektor

artige Gitterverzerrung die Wirkung der Querneigungskorrekturvorrichtung widerspiegelt. Verzerrungen von Gitterplatten bieten den Vorteil, daß die Komponenten Maßstabskorrektur und Bilddrehung auf einfache Weise durch Messen von x - und y -Differenzen getrennt werden können. Ein Gerätefehler läßt sich leicht lokalisieren. Ergebnisse von Gitterverzerrungen mit Daten des Testmodells Santander (Hochgebirge, Bildmaßstab 1:36000, Modell- und Kartenmaßstab 1:20000, Flughöhe 5,4 km, maximaler Höhenunterschied im Modell 1,2 km, Spaltbreite 4 mm) sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1

Ergebnisse von Gitterverzerrungen mit Daten des Doppelmodells Santander
(Hochgebirge, 1:20000, Spaltbreite 4 mm)

Querneigungskorrektor	ohne	mit
mittlere y -Differenz	$\pm 0,2$	$\pm 0,04$ mm
maximale y -Differenz	1,2	0,2 mm
maximale radiale Differenz	1,8	0,4 mm

4.2. Radialgitter

Differenzen am Rand der Streifen sind die Folge von radialen Verschiebungen von Punkten im Orthophoto. Die Genauigkeitsstruktur eines Orthophotos läßt sich deshalb besser durch Testfiguren erfassen, die aus konzentrischen Kreisen bestehen ($r' = \text{konstant}$). Derartige Verzerrungen von Radialgittern lassen besonders das Anwachsen der Differenzen bei größeren Bildwinkeln erkennen. Abb. 6 zeigt Aus-

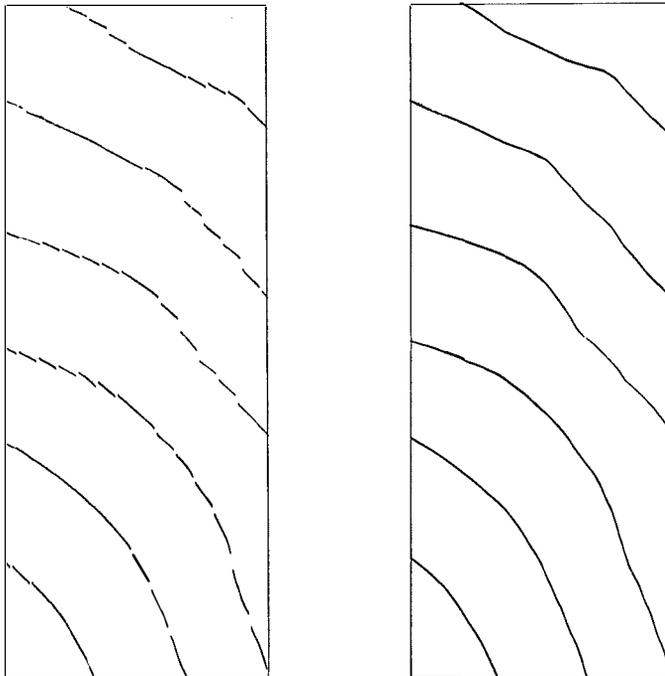


Abb. 6:

Ausschnitte aus einer Radialgitterverzerrung mit Daten des Testfelds Santander (Kolumbien)
a) ohne Querneigungskorrektor b) mit Querneigungskorrektor

schnitte aus Radialgitterverzerrungen mit Daten des Doppelmodells Santander. Zu den abgebildeten Kreisen gehören die Radien $r' = 40, 50, 60, 70, 80$ und 90 mm. Auf Abb. 7 sind die maximalen radialen Differenzen für das Doppelmodell in Abhängigkeit von r' dargestellt.

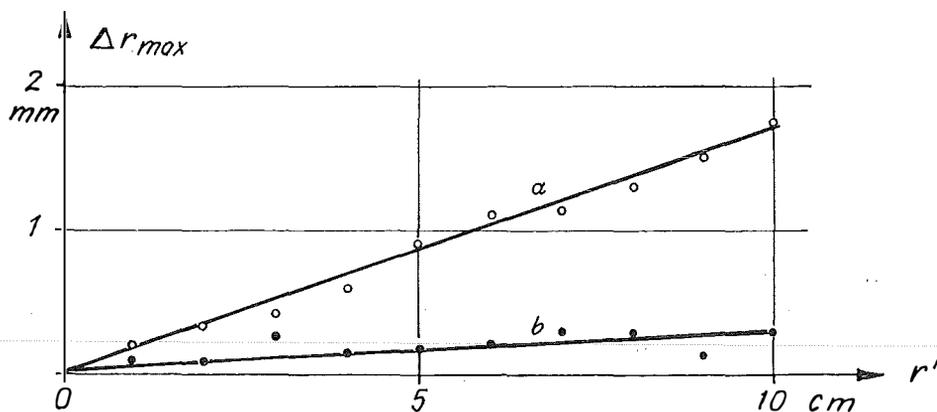


Abb. 7:

Maximale radiale Differenzen der Radialgitterverzerrung mit Daten des Doppelmodells Santander (Vergrößerung Orthophoto : Bild = 1,9, Spaltbreite 4 mm)

- a) ohne Querneigungskorrektor
- b) mit Querneigungskorrektor

4.3. Vergleichende Betrachtungen

Aus Tabelle 1 und Abb. 7 ist zu entnehmen, daß bei Entzerrungen mit Querneigungskorrektur die Differenzen um den Faktor 5...6 kleiner sind als bei Entzerrungen ohne Korrektor. Um diesen Faktor könnte die Spaltbreite vergrößert werden, wobei gleichzeitig die Zahl der möglichen Störstellen (Streifengrenzen) um den gleichen Faktor zurückgeht. Der Vergrößerung der Spaltbreite sind aber noch Grenzen durch die Geländequerkrümmung gesetzt. Die ideale Hilfsfläche, auf die projiziert wird, ist gegenüber dem Geländemodell zu sehr geglättet. Die Genauigkeit geht dadurch bei zu breiten Spaltblenden wieder etwas zurück. Es ist deshalb die Verwendung einer 3fach breiteren Spaltblende zu empfehlen.

4.4. Gleichmäßigkeit der Belichtung

Verzerrungen von Textfiguren, bei denen zusätzlich ein Graufilter, das etwa der mittleren Schwärzung eines Luftbildes entspricht, in den Strahlengang des optischen Bildübertragungssystems gebracht wird, ermöglichen Rückschlüsse auf den Einfluß der Vergrößerungskorrektur auf die Gleichmäßigkeit der Belichtung. Dieser Einfluß wird beim Orthophot durch eine in Abhängigkeit von der Vergrößerung gesteuerte Blende für den größten Teil des zur Verfügung stehenden Bereichs vollständig korrigiert, so daß in diesem Vergrößerungsbereich keine Belichtungsunterschiede in Abhängigkeit von der Geländequerneigung auftreten.

4.5. Künstliche Testmodelle für off-line Geräte

Bei off-line Differentialentzerrungsgeräten besteht die Möglichkeit, Steuerdaten auf verschiedene Weise zu gewinnen. Dadurch könnte statt eines Modells von einem Testgebiet auch ein künstliches mathematisches Modell für Gitterverzerrungen

verwendet werden. Dieses Modell braucht nicht körperlich hergestellt zu werden. Für Einzelprofile liegen Vorschläge vor [2]. Einen weiteren Vorschlag zeigt Abb. 8.

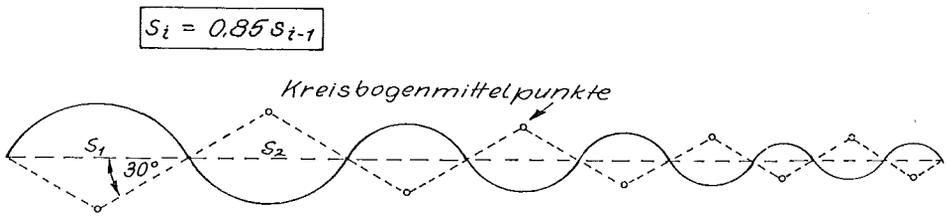


Abb. 8:
Vorschlag für ein künstliches Testprofil

Im einfachsten Fall könnte auch eine Kugelkalotte oder ein Kegelstumpf Grundlage eines künstlichen Modells sein. Derartige mathematische Modelle haben aber wenig Gemeinsames mit einem natürlichen Modell. Das trifft besonders auf die auftretenden Frequenzen zu, die in natürlichen Modellen stets gemischt sind und eine größere Bandbreite haben. Statt eines komplizierten und trotzdem nicht zu verallgemeinernden mathematischen Modells sollten deshalb besser Daten eines geeigneten Testgebiets zur Testung von Differentialenzerrungsgeräten verwendet werden.

5. Zusammenfassung

Vorrichtungen für die Korrektur des Einflusses der Geländequerneigung verbessern die Qualität der Orthophotos und ermöglichen die Verwendung breiterer Spaltblenden. Zur Testung derartiger Geräte sind Verzerrungen von Testfiguren besser geeignet als Entzerrungen von Luftbildern. Für die Verzerrungen sollten jedoch Daten eines natürlichen Testgebiets verwendet werden.

Untersuchungen des Differentialenzerrungssystems Topocart/Orthophot mit Querneigungskorrektor ergaben, daß die Differenzen am Spaltrand um den Faktor 5...6 verringert werden. Besonders in gebirgigen Gebieten ist deshalb eine beträchtliche Steigerung der Arbeitsproduktivität durch den größeren Profilabstand möglich.

Literatur:

- [1] Döhler, M. u. a.: Test-Empfehlungen für Analogauswertegeräte, Komparatoren, Entzerrungsgeräte, Orthoprojektoren, Koordinatographen. ISP Komm. II, AG 2 (Standardtests), Pres. Paper zum XII. ISP-Kongreß Ottawa 1972.
- [2] Makarovic, B.: Dynamic Performance Tests for Profiling Operation. ITC Publication A 51, Enschede 1972.
- [3] Marckwardt, W.: Digitalsteuereinheit und Querneigungskorrektor zum Differentialenzerrungssystem Topocart-Orthophot aus JENA. Vermessungsinformation Heft 33, Seite 23–27, Jena 1976.
- [4] Szangolies, K.; Mark, R.-P.; Marckwardt, W.; Zeth, U.: Die Anwendung der Standardtests für die Prüfung von Auswertegeräten aus JENA, Teil II. Kompendium Photogrammetrie XI, Seite 275–316. Leipzig 1975.
- [5] Szangolies, K.: Zur Wirtschaftlichkeit und Genauigkeit der Herstellung von Orthophotokarten. Vermessungstechnik 21, Heft 7, Seite 253–257. Berlin 1973.