

## Bemerkungen zu: „Ein Zweistrahl – Infrarot – Zeilenabtaster für stereoskopische Wärmebilder“

Von F. LEBERL, Enschede

In einem Beitrag in BuL 3/1972 wurde von Dr. D. LORENZ ein konvergenter optisch-mechanischer Zeilenabtaster für stereoskopische Wärmebilder beschrieben.

In der photogrammetrischen Literatur sind bisher einige prinzipielle Vorschläge zum Problem der konvergenten Zeilenabtastung gemacht worden, wie aus den Referenzen [1] bis [7] ersichtlich wird. Experimentiert wurde jedoch nur mit zwei gegen die Horizontale geneigten unabhängigen Aufnahmesystemen [6]. Die theoretischen Vorschläge betrafen Geräte mit zwei rotierenden unabhängigen Spiegeln und zwei Detektoren. In [4] wurden zwei prinzipielle Alternativen gegenübergestellt: Erstens die Anordnung von zwei Spiegeln auf einer Rotationsachse, mit der sie einen Winkel  $\neq 45^\circ$  bilden. In diesem Falle bewegen sich die beiden optischen Achsen des Abtastsystemes entlang einer Kegelfläche, deren Achse mit der Drehachse der Spiegel zusammenfällt. Zweitens die Anordnung von 2 Spiegeln auf 2 Rotationsachsen, welche gegeneinander geneigt sind. Die Spiegelflächen schließen mit ihren Drehungsachsen Winkel von  $45^\circ$  ein. In diesem Falle bewegen sich die optischen Achsen des Abtastsystemes in zwei gegeneinander geneigten Ebenen. In [5] wird auf die Möglichkeit hingewiesen, eine Spiegelfläche statt um eine horizontale um eine vertikale Achse zu drehen. Steht der Spiegel in einem Winkel  $\neq 45^\circ$  zur Drehachse, so schneidet die optische Achse die Objektfläche entlang eines Kreises. Auch hiermit ergibt sich die theoretische Möglichkeit zu Konvergentenaufnahmen.

Der Vorschlag von LORENZ unterscheidet sich von den angeführten dadurch, daß die beiden Spiegelflächen nicht unabhängig, sondern auf einem einzigen rotierenden Prisma exzentrisch zur Drehungsachse angebracht sind (siehe Bild 1a). Somit kann auf sehr einfache Weise, ohne weitere Umlenkspiegel, ein einziger Detektor die Strahlung, welche von den beiden Spiegelflächen reflektiert wird, in elektrische Analogsignale umwandeln. Gegen den Vorschlag von LORENZ sind jedoch zwei Einwände anzuführen:

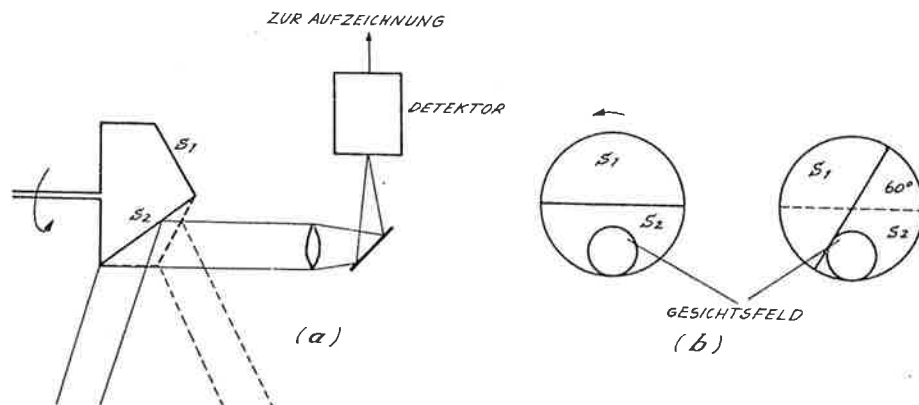


Bild 1 (a) Vorschlag für ein Konvergenzsystem nach LORENZ mit nur einem Detektor. Hier muß berücksichtigt werden, daß das Gesichtsfeld der Optik so klein zu halten ist, daß bei der für die Aufnahme signifikanten Rotation des Prismas (meist etwa bis zu  $60^\circ$  aus der Senkrechten) stets nur Strahlung von einer Spiegelfläche zum Detektor gelangt (b).

1. Da die Winkel, welche die Spiegelflächen mit der Rotationsachse bilden, von  $45^\circ$  abweichen, beschreiben die optischen Achsen notwendigerweise einen Kegelmantel. In der Objektfläche wird daher eine Hyperbel statt einer geraden Linie abgetastet. Dies bedeutet, daß das Basis-Höhen-Ver-

Das kam in den Ausführungen vielleicht nicht deutlich genug zum Ausdruck. Es ging vielmehr darum, die Möglichkeit zu schaffen, durch das Sichtbarmachen von Höhenunterschieden die Übertragung der aus den Wärmebildstreifen zu entnehmenden Meßwerte der vom Boden emittierten Strahlung in Karten oder (Stereo-) Luftbilder zu erleichtern. Diese Aufgabe dürfte auch bei einem verzerrten Stereobild mit einer für praktische Zwecke hinreichenden Genauigkeit möglich sein. Ebenso erscheinen die mechanischen Probleme (Größe des Spiegelprismas) nicht als so schwerwiegend. Für die quantitativen Strahlungsmessungen muß man sowieso einen kleineren Gesichtswinkel wählen als LEBERL und man kommt auch mit einer geringeren räumlichen Auflösung aus. Damit nehmen sowohl der Durchmesser des Spiegelprismas als auch die Umdrehungsgeschwindigkeit kleinere Werte an als bei LEBERL.

Die in dem Vorschlag [1] enthaltene Verwendung nur eines Detektors für beide Abtastrichtungen erscheint dem Verfasser besonders wichtig, und zwar nicht so sehr aus Kostengründen als vielmehr, um bei quantitativen Messungen für beide Strahlen die gleiche Empfindlichkeit zu erhalten.

Abschließend sei noch auf eine Lösung des Problems hingewiesen, einwandfreie stereoskopische Wärmebilder mit einem Detektor bei hinreichend kleinen Spiegeldurchmessern zu erhalten (Bild 1).

Für das dargestellte Beispiel wurde wiederum der Fall von zwei zur Senkrechten symmetrischen Abtastebenen gewählt, die einen Winkel von  $30^\circ$  einschließen. Die beiden  $45^\circ$ -Spiegelprismen SP 1 und SP 2 drehen sich um gegeneinander geneigte Achsen. Sie laufen derart versetzt, daß jeweils eines den Boden abtastet, während das andere nach oben (ins Geräteinnere) gerichtet ist. Der Umlenkspiegel US 2 für das obere Strahlenbündel ist als Flügelscheibe FS ausgebildet. Diese sorgt dafür, daß immer nur die Strahlung des gerade zur Erde gerichteten Spiegels auf den Detektor gelangt. Sie ist als Doppelflügelscheibe ausgebildet (s. Bild 1, rechts) und dreht sich deshalb nur halb so schnell wie die Spiegelprismen.

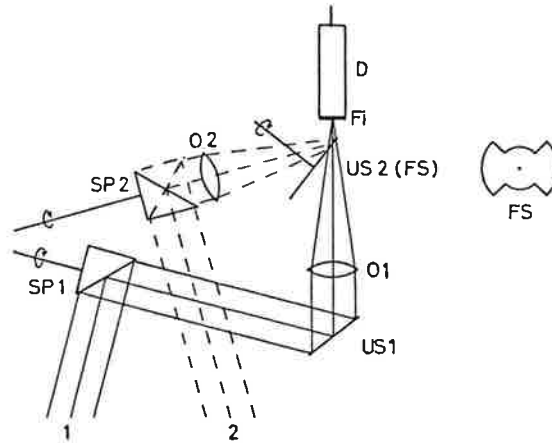


Bild 1 Schemazeichnung eines Zweistrahl-Zeilenabtasters mit gegeneinander geneigten Drehachsen. SP 1, SP 2 = Spiegelprismen 1 und 2, O 1, O 2 = Optik 1 und 2, US 1 = Umlenkspiegel 1, US 2 = Umlenkspiegel 2, als Flügelscheibe FS ausgebildet (s. rechter Bildteil), Fi = Filter, D = Detektor

Bei dieser Konstruktion erhöht sich allerdings der Antriebsaufwand gegenüber dem ursprünglichen Vorschlag [1], da hier statt einem drei Spiegelsysteme mit unterschiedlichen Achsenneigungen synchron laufen müssen. Es läßt sich daher im Augenblick kaum entscheiden, welcher Lösung der Vorzug zu geben ist.

#### Schrifttum

- [1] LORENZ, D.: Ein Zweistrahl-Infrarot-Zeilenabtaster für stereoskopische Wärmebilder. BuL 40, 120-122, 1972.

hältnis für Punkte am Rande des Aufnahmegebietes wesentlich größer ist als in der Mitte. Für die Höhe  $h$  eines Geländepunktes  $P$  ergibt sich somit:

$$h = H(1 - \cos \Omega_p) + \frac{\Delta_p \cdot \cos \Omega_p}{2 \cdot \tan \Phi} \quad (\text{Ableitung in [5]})$$

$H$  ist die Flughöhe,  $\Delta_p$  die Parallaxendifferenz und  $\Omega_p$  der Erhebungswinkel der Visurlinie zum Punkt  $P$ , gemessen von der Vertikalen. Der Winkel  $\Phi$  ist der halbe Konvergenzwinkel des Aufnahmesystems. Der erste Ausdruck stellt eine Aufwölbung des Raummodelles dar, während der zweite zeigt, daß eine konstante Höhe  $h$  mit wachsendem  $\Omega$  eine größere Parallaxendifferenz  $\Delta_p$  erzeugt. Stereoskopische Betrachtung führt daher auf Überhöhungen, welche proportional mit  $1/\cos \Omega$  ansteigen. Während die allgemeine Modellwölbung wohl auf einfache Weise bei elektronischer Bildformung verhindert werden kann, ist dies für die Überhöhungen nicht zutreffend. Dem positiven Aspekt der mit den Überhöhungen zusammenhängenden Verbesserung der Höhenmeßgenauigkeit steht die Schwierigkeit der visuellen Betrachtung und Auswertung gegenüber.

2. Ein mechanischer Nachteil bei der Realisierung des Vorschlags von LORENZ liegt in der notwendigen Dimensionierung des rotierenden Prismas. In Bild 1 (a) und (b) wird angedeutet, daß unter der Voraussetzung eines Gesichtswinkels von  $120^\circ$  (Überweitwinkel) der Durchmesser des Prismas dreimal so groß wie der Durchmesser des Strahlenbündels sein muß, will man einen Intensitätsabfall der aufgefangenen Strahlung mit wachsendem  $\Omega$  vermeiden. Wäre der Durchmesser des optischen Bündels, wie von LORENZ vorgeschlagen, gleich dem halben Querschnitt des Prismas, so käme, außer wenn sich das Prisma in Nullstellung befindet, ein Teil der aufgezeichneten Strahlung von der zweiten Spiegelfläche, die zu diesem Zeitpunkt in das Flugzeuginnere gerichtet ist. Legt man nun für den Durchmesser der zur Reflexion verwendeten Spiegelfläche 10 cm zugrunde, wie dies in gebräuchlichen Wärmeabstern für notwendig erachtet wird, so muß das Prisma einen Durchmesser von 30 cm erhalten! Dies vergrößert die Probleme wesentlich, welche durch die Vibration, Pumpwirkung und beschränkte Festigkeit der rotierenden Teile bei etwa 100 Umdrehungen per Sekunde verursacht werden.

Diese Einwände führen zu dem Schluß, daß für die Lösung des Problems der Konvergentabtastung über den Vorschlag von LORENZ hinausgehende Überlegungen angestellt werden müssen.

#### Schrifttum

- [1] DERENYI, E. E.: Relative Orientation of Continuous Strip Imagery, Diss., University of New Brunswick, Canada, 1970.
- [2] KONECNY, G. & E. E. DERENYI: Infrared Scan Geometry, *Phm. Eng.* 33, 1966.
- [3] KONECNY, G. & E. E. DERENYI: Geometric Considerations for Mapping from Scan Imagery, 4. Symp. on Remote Sensing of the Env., Univ. of Michigan, Ann Arbor, 1966.
- [4] LEBERL, F.: Metric Properties of Imagery Produced by Side-Looking Airborne Radar and Infrared Line-scan Systems, Symp. Komm. IV der IGP, Delft 1970, in ITC-Publ. A 50.
- [5] LEBERL, F.: On Model Formation with Remote Sensing Imagery, Sonderheft der Öst. ZfV aus Anlaß des 12. IGP-Kongresses, Ottawa, 1972.
- [6] TAYLOR, J. I.: Infrared Charting Study, HRB-Singer Inc., 1967.
- [7] LORENZ, D.: Ein Zweistrahl-Infrarot-Zeilenabtaster für stereoskopische Wärmebilder, *BuL* 40, 120-122, 1972.