

Jörn Sievers
und
Helga Ruthotto
Institut für Angewandte Geodäsie
Richard-Strauss-Allee 11
D-6000 Frankfurt am Main 70
Federal Republic of Germany

QUALITY ANALYSIS METHODS FOR SPACELAB MISSION FILM SELECTION:

Edge Gradient Analysis

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Vorbereitung des Experiments "Reihenmeßkammer" der 1.SPACELAB-Mission wurden im September 1978 und 1979 Hochbefliegungen in Frankreich ausgeführt. Zur Qualitätsbeurteilung des dabei hergestellten Bildmaterials wurde u.a. auch die Methode der Kantenbildanalyse angewendet. Hierzu werden Ergebnisse mitgeteilt, die sich zunächst noch auf die Auswertung von natürlichen Kanten in dem Bildmaterial von 1978 beziehen.

ABSTRACT

To prepare the experiment "Metric Camera" of the 1st SPACELAB Mission, high-altitude flights were performed in France in September 1978 and in September 1979. In order to judge the quality of the imagery obtained during these flights, the method of Edge Gradient Analysis was, among others, also applied. Authors inform about the results which at present only refer to the evaluation of natural edges on the 1978 imagery.

SOMMAIRE

Pour préparer l'expérimentation "Chambre métrique automatique" de la 1^e mission SPACELAB on a exécuté en France en septembre 1978 et en septembre 1979 des vols à grande altitude. Pour juger la qualité des clichés obtenus par ces vols on a aussi appliqué entre autres la méthode de l'analyse du gradient des bords. Les auteurs présentent des résultats qui ne se réfèrent d'abord que sur la restitution de bords naturels sur les clichés de 1978.

1. EINLEITUNG

Während der 1.SPACELAB-Mission soll auch das erdbeobachtende Experiment "Reihenmeßkammer" mit einer modifizierten Zeiss RMK A 30/23 ausgeführt werden. Ziel eines umfangreichen Vorprogramms ist es u.a., Vorbereitungen zu einer sensitometrisch einwandfrei kontrollierten, photographischen Filmverarbeitung zu treffen, Fragen nach optimalen Aufnahmebedingungen zu klären sowie geeignetes Filmmaterial auszuwählen.

Im September 1978 wurden aus 10.5 km Flughöhe Testaufnahmen mit 14 verschiedenen Filmsorten (1 Farb-Negativ-, 2 Farb-Positiv-, 2 Farbinfrarot-, 1 Schwarzweiß-Infrarot-Negativ- und 8 Schwarzweiß-Negativ-Filme) von einem Testgebiet bei Villefranche sur Cher in Frankreich gemacht. Sechs Auswertestellen in Italien, Frankreich und der Bundesrepublik Deutschland werteten die Bilder nach unterschiedlichen Methoden aus, mit dem Ziel, eine Qualitätsrangfolge der Filme für das SPACELAB-Experiment festzulegen. In dieser Arbeit soll über Ergebnisse mit der Kantenbildanalyse an fünf Schwarzweiß-Filmen berichtet werden.

2. VERFAHREN DER KANTENBILDANALYSE

Mit Hilfe der Kantenbildanalyse (edge gradient analysis) ist die Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) photographischer Systeme sowohl im Labor als auch unter normalen Aufnahmebedingungen möglich. Ein Vorteil gegenüber allen anderen Methoden zur Bestimmung der Bildqualität - wie z.B. die Bestimmung des Auflösungsvermögens anhand von 3-Linien-Tests - ist, daß man unter bestimmten Voraussetzungen nicht an spezielle, künstliche Testfiguren gebunden ist, sondern in der Natur vorhandene, geeignete Objekte verwenden kann. Als sehr nachteilig allerdings erweist sich der große Meß- und Auswerteaufwand. Das Verfahren ist in der Fachliteratur eingehend abgehandelt worden (z.B. Brock 1970, Dainty und Shaw 1974, Frieser 1975, Jones 1967) und soll deshalb hier nur kurz erwähnt werden.

Eine homogene Kontraststufe (= Kante) mit einer Helligkeitsverteilung, die als Sprungfunktion vorauszusetzen ist, wird durch ein photographisches System abgebildet. Dabei tritt aufgrund der Übertragungseigenschaften von Atmosphäre, photographischer Optik, Bildwanderung, Film, photographischer Verarbeitung, usw. im Bild eine Verwaschung auf, die mit einem Mikrodensitometer in Form eines Kantenprofils meßbar ist. Die Ableitung des Profils liefert die Linien-Streu-Funktion (LSF) oder Linien-Verwaschungs-Funktion (line spread function); durch Fouriertransformation der LSF erhält man die MTF.

Jedoch ergeben sich noch einige Probleme, die hier nicht unerwähnt bleiben sollen:

1. Voraussetzung ist zunächst, daß beim Abbildungsprozeß eine "lineare Übertragung" stattgefunden haben muß. Das trifft beim photographischen Abbildungsvorgang in der Regel nicht zu und kann nur durch bestimmte Maßnahmen teilweise berücksichtigt werden. Dazu muß ein Graukeil auf den Film aufbelichtet sein, um sowohl eine Umwandlung der gemessenen Dichtewerte in belichtungsäquivalente Größen zu ermöglichen als auch, um das Mikrodensitometer zu kalibrieren. Leider findet die auch für andere Zwecke sehr nützliche kontrollierte, sensitometrische Filmverarbeitung noch nicht überall Anwendung.
2. Das durch die Filmkörnigkeit verursachte Rauschen muß für die weitere rechnerische Behandlung beseitigt werden und stellt ein nicht unerhebliches Problem dar. Eine Glättung der Meßkurven kann entweder graphisch

oder mit rechnerischen Algorithmen geschehen.

3. Das Auffinden "natürlicher", unpräparierter Kanten in Luftbildern ist eine mühevoll und frustrierende Aufgabe. Kunstbauten, wie Straßen, Hausdächer oder befestigte Flächen, werden in Bildmaßstäben ab etwa 1:15 000 bis 1:25 000 zu klein abgebildet, um als Kante verwendet werden zu können. In kleineren Bildmaßstäben findet man dann fast ausschließlich nur noch Ackerparzellen, die jedoch meistens nicht den Anforderungen an eine ideale Kante genügen.

3. VERSUCHSMATERIAL

Die Untersuchung erstreckte sich auf folgende Filmtypen, die alle mit derselben Zeiss RMK A 30/23 in 10.5 km Flughöhe hergestellt worden waren. Die Befliegungen fanden an vier aufeinanderfolgenden Tagen während einer sehr stabilen Hochdruckwetterlage statt. Aufgrund von meteorologischen Bodenbeobachtungen konnten die atmosphärischen Bedingungen im gesamten Zeitraum als vergleichbar angesehen werden.

Streifen Nr.	Film	Datum	Zeit	Filter	t	Blende	γ
1.4	3411	19.9.79	15.14	B	1/ 500	8.0	2.1
5.6	2402 US	21.9.79	13.34	D	1/1000	5.6	1.6
6.4	3411	23.9.79	12.12	B	1/1000	8.0	2.1
7.3	3414	24.9.79	11.44	-	1/ 250	5.6	1.8
8.3	2645 GB	25.9.79	12.01	D	1/1000	8.0	1.3
8.4	2402 F	25.9.79	12.13	D	1/1000	5.6	1.6

Die Streifen wurden in der Regel mit 80% Längsüberdeckung geflogen, so daß die in Abb.1 wiedergegebenen "natürlichen" Kanten in bis zu fünf oder sechs Bildern abgebildet waren. Abb.2 zeigt die Lage der drei Kanten zueinander.

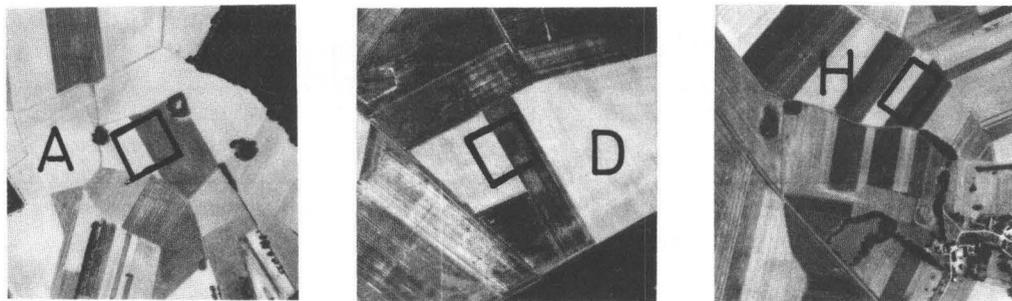


Abb.1: Unpräparierte Ackerflächen, die als "natürliche" Kanten A,D,H für die Kantenbildanalyse verwendet wurden. Vergrößerung 2-fach, Original-Bildmaßstab 1:35 000.

Fig.1: Unprepared agricultural areas used as "natural" edges A,D,H for the Edge Gradient Analysis. Enlargement: 2x, original image scale 1:35000.

Fig.1: Surfaces cultivées non préparées que l'on utilise en tant que bords "naturels" A,D,H pour l'analyse du gradient des bords. Agrandissement 2x, échelle originale du cliché: 1/35 000.

Leider war eine Auswahl anderer Kanten, die günstiger zueinander lagen, nicht möglich. Auch entsprach Kante A nicht ganz den gestellten Anforderungen.

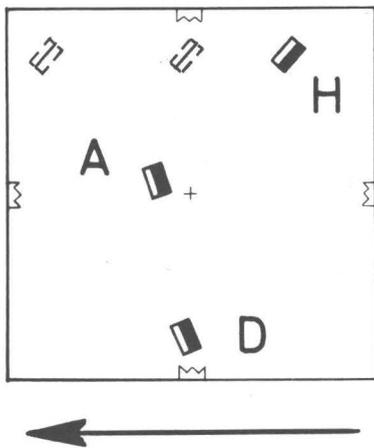


Abb.2: Lage der als Kanten verwendeten Ackerflächen zueinander. Der Pfeil gibt die Flugrichtung an.

Fig.2: Position and orientation of the agricultural areas used as edges. The arrow indicates the flight direction.

Fig.2: Position et orientation des surfaces cultivées utilisées en tant que bords. La flèche indique la direction du vol.

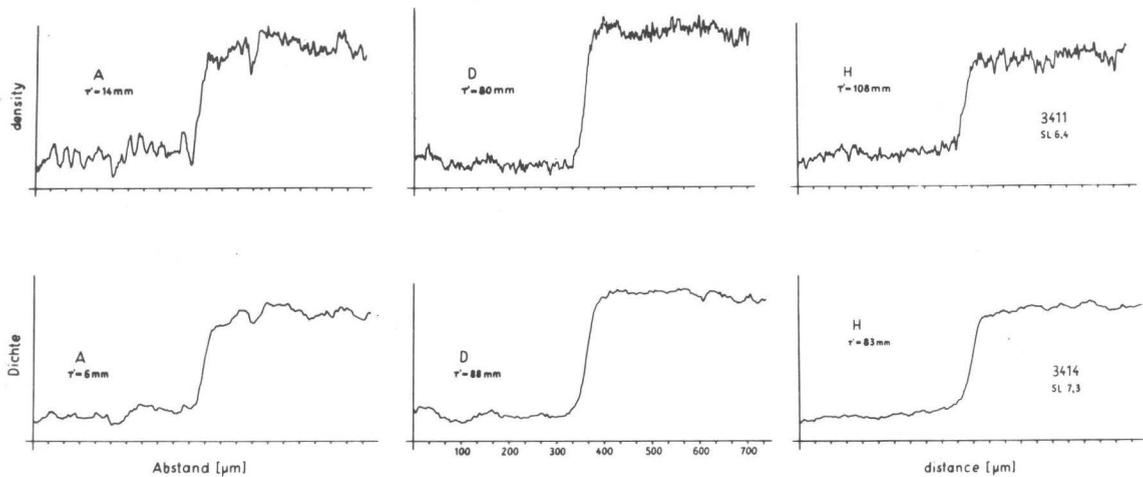


Abb.3: Beispiele von Kantenprofilen, gemessen mit einem Joyce Loeb 3CS-Mikrodensitometer (analog), Spaltbreite/-höhe: 5/500 µm, Objektiv: 10x, Übertragungsverhältnis: 300:1, Referenzgraukeil: $\Delta D = 1.62$. Die Kurven besitzen alle den gleichen Dichtemaßstab, jedoch unterschiedliche Bezugswerte. Belichtungszeit für 3411: 1/1000 s, für 3414: 1/250 s.

Fig.3: Examples of edge profiles measured with a Joyce Loeb 3CS-Microdensitometer (analogue), slit width/height: 5/500 µm, lens: 10x, ratio of transfer: 300:1, reference grey wedge: $\Delta D = 1.62$. All the curves have the same density scale but different reference values. Exposure time for 3411: 1/1000, for 3414: 1/250.

Fig.3: Exemples de profils de bords mesurés avec un Joyce Loeb 3CS-Microdensitomètre (analogique), largeur/hauteur de la fente: 5/500 µm, objectif: 10x, raison de transmission: 300/1, coins gris de référence: $\Delta D = 1.62$. Les courbes possèdent toutes la même échelle de densité, mais des valeurs de référence différentes. Durée d'exposition pour 3411: 1/1000 s, pour 3414: 1/250 s.

Die unterschiedliche Qualität der Kanten A, D, H wird aus Abb.3 deutlich. Des weiteren werden auch die Unterschiede aufgezeigt zwischen einem Film (3411), der mit 1/1000 s belichtet wurde gegenüber einem mit 1/250 s belichteten

Film (3414), in dem auch der glättende Einfluß der Bildwanderung wirksam geworden ist.

4. ERGEBNISSE

Die analog registrierten Meßwerte wurden mit einem Joyce Loebel 3CS-Mikrodensitometer mit folgenden Geräteeinstellungen vorgenommen:

Spaltbreite/-höhe: 5/500 μm (bezogen aufs Bild)

Objektiv: 10x

Übertragungsverhältnis: 300:1

Abtastgeschwindigkeit: langsamste Stufe

Referenzgraukeil: $\Delta D = 1.62$

Dämpfung der Schreibfeder, Ausleuchtung der Probe durch den Kondensator und Fokussierung wurden bei jeder Messung überprüft und neu eingestellt.

Von jeder Kante wurden drei unabhängige Profile gemessen, gemittelt, graphisch geglättet und mittels der Schwärzungskurve in belichtungsäquivalente Werte umgerechnet. Da mit einer Ausnahme alle gemessenen Dichten in den geradlinigen Partien der jeweiligen Schwärzungskurven lagen, konnte die Umrechnung in folgender Form geschehen:

$$D = \gamma \log H, \quad \text{bzw.} \quad H = 10^{D/\gamma},$$

mit D als gemessener Dichte, γ als Gradation und H der Belichtung. Sind die Kantenkontraste nicht größer als $\Delta D \approx 0.5$, so ist ein Fehler aufgrund der o.a. nichtlinearen Beziehung vernachlässigbar (Dainty und Shaw 1974, S. 234). Im vorliegenden Fall lagen die Kontraste mit einer Ausnahme immer zwischen $\Delta D = 0.2$ und 0.5 . Bilden der 1. Ableitung von den umgerechneten Dichtewerten und anschließende Fouriertransformation⁺) führte zur MTF.

Um die Ergebnisse übersichtlicher darstellen zu können, wurden anstelle der vollständigen MTF-Kurven nur die Übertragungsfaktoren einzelner Ortsfrequenzen herausgegriffen und über dem Bildradius r' aufgetragen. In Abb. 4 ist das für die Kante A bei der Ortsfrequenz $R = 10$ lp/mm exemplarisch für alle ausgewerteten Filme einzeln dargestellt, in Abb. 5 für die Kanten A, D, H zusammengefaßt in je einer Graphik.

4.1 Genauigkeitsbetrachtungen

Die Genauigkeit des Verfahrens wird entscheidend von der Qualität der benutzten Kanten beeinflusst. Die besten Ergebnisse erzielt man sicherlich mit speziell vorbereiteten Testfiguren, doch lassen sich dafür, wie z.B. Scott et al. 1963, Gerencsér 1976 und Gliatti 1976 nachweisen, mit etwas eingeschränkter Genauigkeit, auch natürliche Kanten verwenden. Bei dieser Untersuchung kam es in erster Linie auf den Vergleich verschiedener Filmmaterialien an, die unter weitgehend gleichen Bedingungen belichtet worden waren. Deshalb konnten geringe Abweichungen der natürlichen Kanten gegenüber einer idealen in Kauf genommen werden.

Die Unterschiede zwischen idealer und natürlicher Kante (= Abweichung von der Sprungfunktion der Helligkeitsverteilung) ließen sich nachträglich im Gelände nicht mehr feststellen. Jedoch war aufgrund der unabhängigen Messung mehrerer Dichteprofile (in der Regel drei) an jeder Kante eine Aussage über

⁺) Die MTF-Berechnung wurde mit einem ALGOL 60-Programm der Abt. 4 der PTB in Braunschweig ausgeführt.

die Homogenität möglich. Als mittlere quadratische Abweichung ergaben sich nach der Beziehung

$$s = \sqrt{\frac{[m_i^2 m_i^2]}{n}},$$

mit m_i als Standardabweichung, für die Kanten A und D: $s_A = s_D = \pm 0.03$ D und für die Kante H: $s_H = \pm 0.02$ Dichten.

Dem gegenüber war die Reproduzierbarkeit der Mikrodensitometermessung mit $m < \pm 0.005$ D vernachlässigbar klein.

Die Abschätzung der Verfahrensgenauigkeit über das Fehlerfortpflanzungsgesetz war nicht möglich, weil Genauigkeitsangaben über die Kanten nicht gemacht

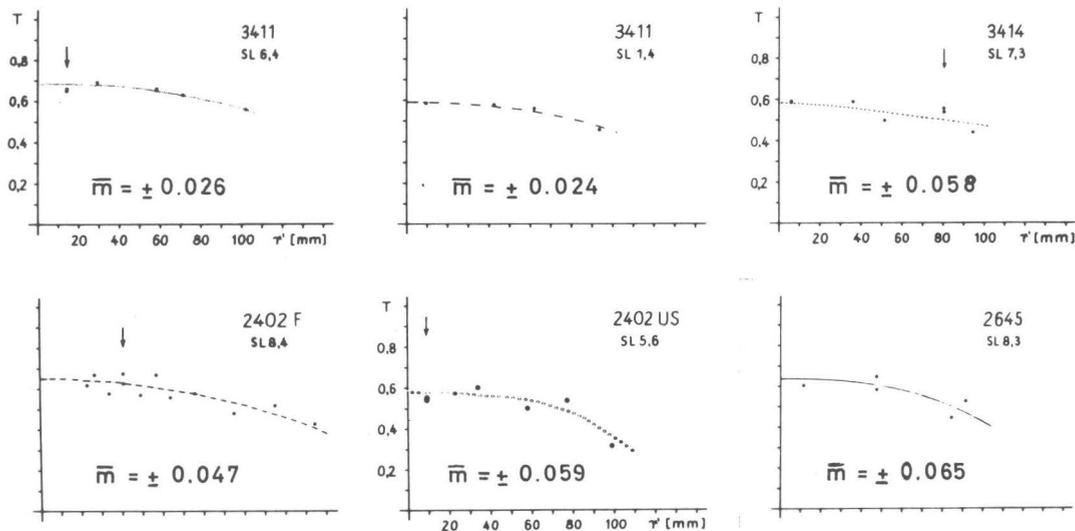


Abb.4: Für die Ortsfrequenz $R = 10$ lp/mm sind die Modulationsübertragungsfaktoren T über dem Bildradius r' aufgetragen. In der Regel konnte bei 80% Längsüberdeckung jede Kante vier- bis sechsmal an verschiedenen Bildorten ausgemessen werden. Der Film 2402 F war mit einem Driftwinkel von 30° geflogen worden. Bei 90% Überdeckung ergaben sich für die Kante A daher 11 Abbildungen. Die Pfeile (\downarrow) bezeichnen Wiederholungsmessungen und -auswertungen. \bar{m} ist der mittlere Fehler einer einzelnen Auswertung.

Fig.4: For the spatial frequency $R = 10$ lp/mm the modulation transfer factors T are graphed as a function of the image radius r' . With an end lap of 80%, each edge could, as a rule, be measured four to six times at different image points. Film 2402 F was exposed with a drift angle of 30° . With an end lap of 90%, we therefore obtained 11 images for edge A. The arrows (\downarrow) indicate the repetition of measurements and evaluations. \bar{m} is the standard deviation of a single evaluation.

Fig.4: Pour la fréquence spatiale $R = 10$ lp/mm les facteurs de transmission T de la modulation sont tracés en relation du rayon r' du cliché. Normalement chaque bord a pu être mesuré quatre à six fois à des points différents du cliché lors d'un recouvrement longitudinal de 80%. Le film 2402 F a été exposé avec un angle de dérive de 30° . A un recouvrement de 90% on a ainsi obtenu 11 images pour le bord A. Les flèches (\downarrow) indiquent les mesures et restitution de répétition. \bar{m} est l'erreur moyenne pour une restitution particulière.

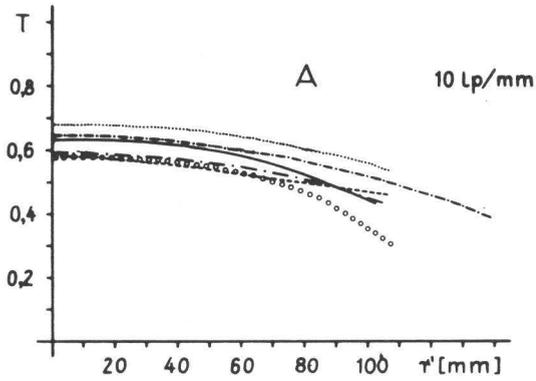


Abb.5: Modulationsübertragungsfaktoren T der Kanten A,D,H bei $R = 10 \text{ lp/mm}$ in Abhängigkeit vom Bildradius r' . Nur für die Kante A lagen Abbildungen mit $r' < 60 \text{ mm}$ vor. Die Streifen 1.4 und 6.4 vom 3411-Film wurden zu unterschiedlichen Tageszeiten (15^{h} und 12^{h}) geflogen. Deshalb wurde Streifen 1.4 zur Bestimmung der Qualitätsrangfolge nicht berücksichtigt.

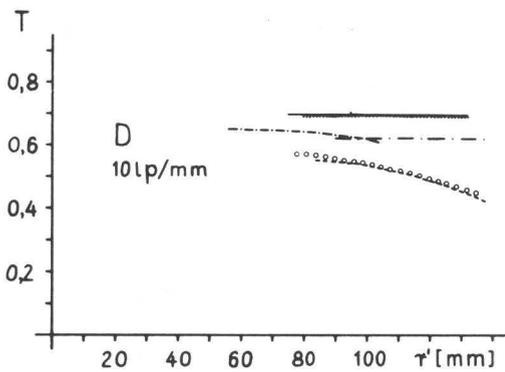


Fig.5: Modulation transfer factors T of the edges A,D,H with $R = 10 \text{ lp/mm}$ as a function of image radius r' . Solely for edge A images with $r' < 60 \text{ mm}$ were available. The strip numbers 1.4 and 6.4 of film 3411 were exposed at different times of the day (15^{h} and 12^{h}). Therefore strip 1.4 was not considered in the determination of the quality order of priority.

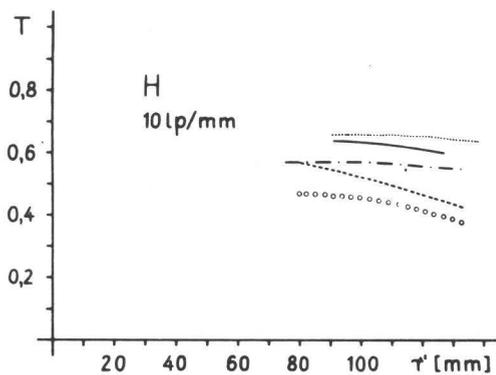


Fig.5: Facteurs de transmission T de la modulation des bords A,D,H avec $R = 10 \text{ lp/mm}$ en fonction du rayon r' du cliché. Des images avec $r' < 60 \text{ mm}$ n'existaient que pour le bord A. La bande No. 1.4 du film 3411 n'a pas été intégrée à la définition de l'ordre de qualité car le vol a été exécuté l'après-midi.

werden konnten. Es wurden daher die in Abb.4 eingetragenen Auswertergebnisse durch Kurvenzüge ausgeglichen, mit der Bedingung $[v] = 0$. Daraus folgten dann nach

$$\bar{m} = \pm \sqrt{\frac{[v \ v]}{n-u}}$$

mit $u = 3$ wegen der nichtlinearen Approximation für die einzelnen Filmtypen, folgende mittleren Fehler einer einzelnen Auswertung

1.4	3411	:	$m = \pm 0.024$	6.4	3411	:	$m = \pm 0.026$
5.6	2402 US	:	$m = \pm 0.059$	8.4	2402 F	:	$m = \pm 0.047$
7.3	3414	:	$m = \pm 0.058$	8.3	2645	:	$m = \pm 0.065$

Eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung der Verfahrensgenauigkeit ergab sich aus neun (zeitlich unabhängigen) Wiederholungsmessungen und -auswertungen am selben Material (2402 US, 2402 F, 3411, 3414). In Abb.4 sind sie mit Pfeilen markiert. Der mittlere Fehler aus Doppelmessungen betrug

$$m = \pm 0.03.$$

Dieser Genauigkeitswert stimmt gut mit den Werten von \bar{m} überein und ist gleichzeitig eine Bestätigung für die Anwendbarkeit der manuellen, graphischen Glättung.

4.2 Interpretation der Ergebnisse

Die in Abb.4 und 5 dargestellten Ergebnisse und ihre mittleren Fehler machen eines deutlich: steht von jedem Filmtyp nur ein Bild zur Verfügung, um die MTF zu bestimmen, so ist wegen der Größe des mittleren Fehlers eine eindeutige Festlegung der Filmrangfolge nicht möglich. Das ändert sich, wenn dieselbe Kante in mehreren Bildern an verschiedenen Bildorten ausgemessen werden kann.

Weiterhin ist festzustellen, daß ein absoluter Vergleich der Ergebnisse zwischen den Kanten A, D, H aus zwei Gründen nicht möglich ist. Zunächst ist die Qualität der Kanten unterschiedlich (Abb.3), was bei der schlechteren Kante A zu niedrigeren Werten von T führt. Zweitens ist die Orientierung der Kanten, bezogen auf den Bildhauptpunkt, zu berücksichtigen. Kante A liegt auf der Achse des Flugstreifen und ändert daher seine Orientierung nicht. Für Kante D und H trifft das nicht zu. In Abb.2 sind für Kante H drei mögliche Bildorte eingezeichnet, die sich bei entsprechender Längsüberdeckung ergeben würden. In der linken Bildecke nimmt Kante H, bezogen auf den Bildhauptpunkt, eine tangentielle Orientierung ein, in der rechten Bildecke eine radiale. D.h. in Kantenabbildungen, die nicht auf der Flugachse liegen, machen sich die Übertragungseigenschaften des Aufnahmeobjektives für radial und tangential orientierte Objekte unterschiedlich bemerkbar.

5. SCHLUSSFOLGERUNG

Von fünf Auswerteverfahren sollte die Kantenbildanalyse als eine Möglichkeit herangezogen werden, um eine Qualitätsrangfolge von Filmsorten zu bestimmen, die 1978 bei Hochbefliegungsversuchen in Frankreich verwendet worden waren. Die Auswertung von fünf Filmtypen ergab nachstehende Rangfolge:

CONCLUSION

The Edge Gradient Analysis should be applied as one of five evaluation methods to determine a quality order of priority of film types used during high altitude flight tests performed in France in 1978. The evaluation of five film types resulted in the following order of priority:

RESUME

Parmi les cinq procédés de restitution l'analyse du gradient des bords se prêterait à définir l'ordre de qualité des sortes de film utilisées en France lors des tests des vols à grande altitude exécutés en 1978. L'évaluation des cinq sortes de film donnait l'ordre de qualité ci-dessous:

Plus X Aerecon 3411 - Plus X Aerographic 2645 (GB) - Plus X Aerographic 2402 (F) - High Definition 3414 - Plus X Aerographic 2402 (US).

LITERATUR

- BROCK,G.C.: Image Evaluation for Aerial Photography, Focal Press, London-New York 1970
- DAINTY,J.C. und R.SHAW: Image Science, Academic Press, London-New York-San Francisco 1974
- FRIESER,H.: Photographische Informationsaufzeichnung, Oldenbourg, München-Wien, Focal, London-New York 1975
- GERENCSEK,M.G.: Automated Edge Gradient Analyse (EGA) for Testing Photogrammetric Systems, 13. IGP-Kongreß, Helsinki 1976
- GLIATTI,E.L.: Modulation Transfer Analysis of Aerial Imagery, 13. IGP-Kongreß, Helsinki 1976
- JONES,A.J.: An Automated Technique for Deriving MTF's from Edge Traces, Photographic Science and Engineering 11 (1967), 102-106
- SCOTT,F., SCOTT,R.M. und R.V.SHACK: The Use of Edge Gradients in Determining Modulation Transfer Functions, Photographic Science and Engineering 7 (1963), 345-349