

Paper-ID: VGI\_196814



## Ein dynamisches Prüfverfahren für Kartiergeräte von B. Makarovic

Peter Waldhäusl <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Technische Hochschule Wien, 1040 Wien, Karlsplatz 13*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **56** (3), S. 107–114

1968

Bib<sub>T</sub>E<sub>X</sub>:

```
@ARTICLE{Waldhaeusl_VGI_196814,  
Title = {Ein dynamisches Pr{\u}fverfahren f{\u}r Kartierger{\a}te von B.  
Makarovic},  
Author = {Waldh{\a}usl, Peter},  
Journal = {{{\0}sterreichische Zeitschrift f{\u}r Vermessungswesen},  
Pages = {107--114},  
Number = {3},  
Year = {1968},  
Volume = {56}  
}
```



[11] Möller, S. G.: Report of the International Controlled Experiment „Reichenbach“ 1962–1964. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe V. Nr. 10/1964.

[12] Höhle, J.: Zur Genauigkeit photogrammetrischer Kartierungen bei flachem Gelände. Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 3/1967.

[13] Seyfert, M.: Zur Anwendung der Aerophotogrammetrie im Ingenieur-Vermessungswesen. Vermessungstechnik, Heft 4/1967.

[14] Sticker, A.-Waldhäusl, P.: Interpretation der vorläufigen Ergebnisse der Versuche der Kommission C der OEEPE aus der Sicht des Zentrums Wien. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 3/1967 – Sonderveröffentlichung OEEPE.

[15] Ahrend, M.: Analyse photogrammetrischer Fehler. Zeiss-Mitteilungen über Fortschritte der technischen Optik, 4. Band, 2. Heft 1966.

[16] Schwidofsky, K.: Zur metrischen Reproduzierbarkeit von Diapositivplatten. Bildmessung und Luftbildwesen 1966, 99–103.

## Ein dynamisches Prüfverfahren für Kartiergeräte

Von Peter Waldhäusl, Wien

Presented Paper, Kommission II, Arbeitsgruppe 2 „Standardtests“, 11. Internationaler Kongreß für Photogrammetrie, Lausanne 1968.

### 1. Leitgedanken

Zur Justierung photogrammetrischer Kartiergeräte werden im allgemeinen Gitterplatten als fehlerfreie Standardeingabe verwendet. Das Ergebnis dieser Justierung ist ein bei punkweisem Auswerten geometrisch hinreichend richtig arbeitendes Gerät. Bei dem in der Praxis auf die geometrische Einpassung eines Modelles folgenden Kartierprozeß wird jedoch nicht punktwise, sondern linienweise, nicht statisch, sondern dynamisch ausgewertet. Zuzufolge der an Spindeln, Kardanen, Zahnrädern und Führungen etc. auftretenden Losen sowie zuzufolge der Elastizitäten des Übertragungssystems werden die durch den Operateur gesteuerten Meßmarkenbewegungen nicht fehlerfrei auf den Zeichenstift übertragen. In Anlehnung an die Theorie der Modulationsübertragung hat B. Makarovič in [1] vorgeschlagen, mit der Meßmarke monokular eine Halbkreisfolge mit abnehmenden Durchmessern („Pseudo-Sinuskurve“) nachzufahren. Der Vergleich der verzerrten Kartierung mit dem Muster gestattet dann die Aufdeckung der Fehlerquellen.

Die Arbeitsgruppe II-2 der ISP hat sich in ihrer ersten Arbeitsperiode 1966 bis 1968 auch mit diesem Verfahren befaßt ([3]–[6]) und legt hiermit ein einfaches Rezept für die Praxis vor, das zu einer möglichst weitgestreuten Erprobung und Verbesserung des Verfahrens führen möge. Ein endgültiges Urteil soll erst nach der kommenden Arbeitsperiode gefällt werden.

### 2. Praktische Durchführung

In die Bildebenenmitte des ersten Projektors wird in Nullstellung die Testscheibe mit den Pseudosinuskurven (Abb. 1) achsparallel eingelegt. Bei kleinster Brennweite

und größtem  $z$ , das heißt bei maximaler Vergrößerung zwischen Bild und Modell ( $V_{\max}$ ), und bei maximaler Vergrößerung zwischen Modell und Kartierung ( $W_{\max}$ ) wird die Pseudosinuslinie in  $x$ -Richtung langsam und sorgfältig mit der Meßmarke

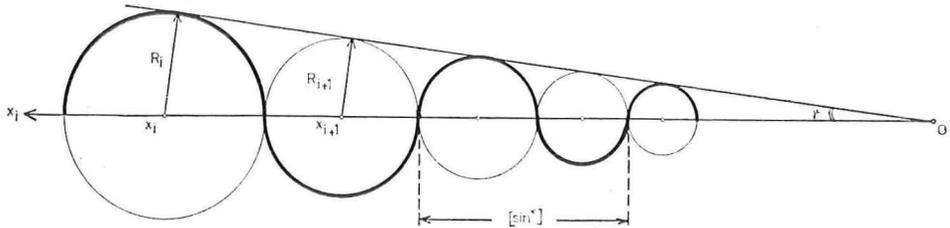


Abb. 1

Pseudosinuskurve nach B. Makarovič

Anfangswerte:  $x_i = v \cdot 30 \text{ mm}$  $R_i = v \cdot 0,5 \text{ mm}$  $v = \text{Vergrößerungsfaktor}$ Kurvenberechnung:  $\sin \gamma = R_i \cdot x_i^{-1}$  $k = \sin \gamma (1 + \sin \gamma)^{-1}$  $R_{i+1} = (x_i - R_i) \cdot k$  $x_{i+1} = x_i - (R_i + R_{i+1})$ Abbruchbedingung:  $R_{ii} < v \cdot 0,02 \text{ mm}$ 

oder einem im Gesichtsfeld erkennbaren Staubkorn monokular nachgefahren. Das Nachfahren soll jedenfalls so langsam erfolgen, daß die Qualität nicht leidet; auf Grund praktischer Versuche — je nach Wellenlänge — zwischen 20 und 7 Sekunden pro Schwingung. Der Auswerter muß Geduld und Verständnis für diese etwas monotone Arbeit mitbringen. Um die den Test störenden persönlichen Einflüsse möglichst auszuschalten, sollen Zusatzokulare verwendet werden. Die Aufzeichnung erfolgt nach Art der Abb. 2 auf sehr fein gekörnter Folie, etwa Gigantol, mit harter Bleistiftmine (8 H). Schichtgravur gibt zwar feinere Linien, beeinflusst jedoch das Ergebnis durch die größeren Widerstände am Zeichenstift. Über jede Testkurve wird ein Protokoll (Abb. 3) geführt, worin auch das optische Auflösungsvermögen, gemessen am kleinsten noch klar unterscheidbaren Halbkreisdurchmesser, eingetragen wird.

Dasselbe erfolgt anschließend in  $y$ -Richtung und diagonal sowie auch mit dem zweiten Projektor. Die allererste Kurve einer Testserie wird von  $1000 \mu\text{m}$  Halbkreisdurchmesser bis über die durch das optische Auflösungsvermögen gegebene Grenze etwas hinaus ausgewertet. Bei den folgenden fünf Kurven genügt es, bei  $400 \mu\text{m}$  zu beginnen.

An Hand der ersten sechs Kurven wird geprüft, ob überhaupt Störungen zu erkennen sind. Bei den kleinen Wellenlängen legt man die Originaltestkurve — der Vergrößerung  $V \cdot W$  entsprechend verschoben — auf die Registrierkurve und schätzt die Abweichungen unter einer zehnfach vergrößernden Lupe abschnittsweise auf  $1/10 \text{ mm}$  genau. Hierbei werden die zufälligen und systematischen Abweichungen gesondert betrachtet. Die großen Wellenlängen werden geprüft, indem man die transparente Registrierkurve mit einer konstruierten Pseudosinuslinie wieder abschnittsweise zur Deckung bringt.

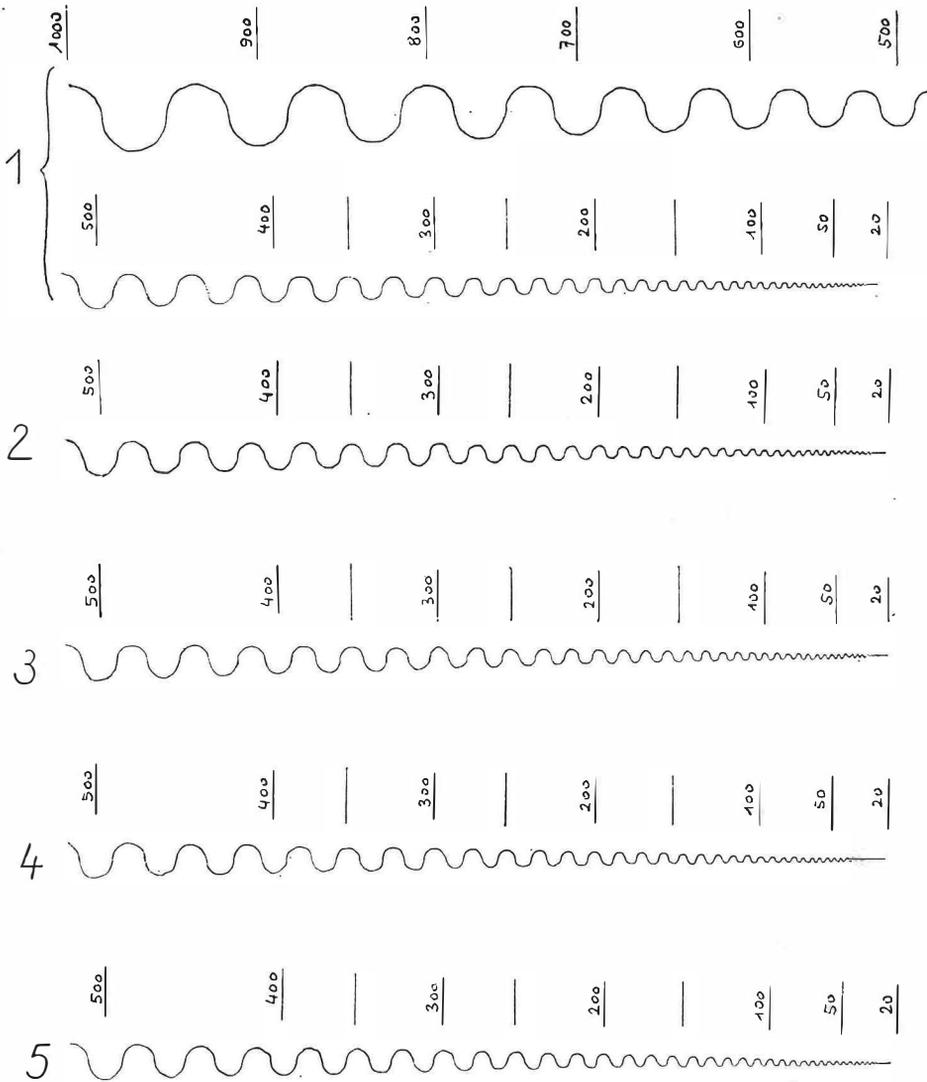


Abb. 2

Beispiel zur Aufzeichnung der Testkurven. Die Reihenfolge der Testkurven entspricht der im Text und in Abb. 3 gegebenen Empfehlung. Die Durchmesserangaben sind in  $\mu\text{m}$  im Bild zu verstehen. ( $2/3$  der natürlichen Größe)

Nur wenn Störungen in einem nicht tolerierbaren Ausmaß vorhanden sind, wird die Testserie fortgesetzt, wobei  $V$  und  $W$  variiert werden, damit der Bereich, in dem die Störung verursacht wird, eingengt werden kann. An beiden Projektoren werden die Kurven in  $x$ - und  $y$ -Richtung etwa ab  $600 \mu\text{m}$  Halbkreisdurchmesser bei  $V_{\min}$  ( $f_{\max}$ ,  $z_{\min}$ ) abgefahren. Anschließend folgt noch je eine Kurve in  $x$ - und  $y$ -Richtung bei  $V_{\max}$  und  $W_{\min}$  ab etwa  $500 \mu\text{m}$ . Danach kann mit der Analyse begonnen werden.

DYNAMISCHER GERÄTETEST NACH B. MAKAROVİČ															
ZENTRUM: _____					OPERATEUR: _____										
GERÄT/ZEICHENEINR.: _____					ASSISTENT: _____										
MESSMARKENGRÖSSE: _____					DATUM: _____										
Test Nr.	Projektor (L,R)	V = m <sub>b</sub> : m <sub>m</sub>	W = m <sub>m</sub> : m <sub>k</sub>	VW = m <sub>b</sub> : m <sub>k</sub>	opt. Vergrößerung	Bildstelle	Auswerterichtung	Tischstelle	Ausw.-Zeit (sec/sin*) von $\frac{20}{7}$ bis	opt. Auflösungsvermögen (µm im Bild)	graph. Auflösungsvermögen am Tisch (µm im Bild)	durchschnittl. stochast. Fehler am Tisch (µm)	detto umgerechnet ins Bild (µm)	durchschn. periodische Fehler am Tisch (µm)	Anmerkungen Befund
0	L	3	4	12	40	○	→	○	$\frac{20}{7}$	40	50	250	20	200	Beispiel
1	L	max	max	max	max	○	→	○	$\frac{20}{7}$						Ganze Kurve
2	L	"	"	"	"	○	↑	○	"						ab 400 µm
3	L	"	"	"	"	○	↗	○	"						"
4	R	"	"	"	"	○	→	○	"						"
5	R	"	"	"	"	○	↑	○	"						"
6	R	"	"	"	"	○	↗	○	"						"
7	L	min	max		max	○	→	○	$\frac{20}{7}$						ab 600 µm
8	L	"	"		"	○	↑	○	"						"
9	R	"	"		"	○	→	○	"						"
10	R	"	"		"	○	↑	○	"						"
11		max	min		"	○	→	○	"						besserer Proj. ab 500 µm
12		"	"		"	○	↑	○	"						"

Abb. 3

Protokoll zum dynamischen Gerätetest. In der ersten Zeile ist ein Beispiel gegeben, in den weiteren Zeilen sind rezeptartig die empfohlenen Geräteeinstellungen für die 12 Testkurven eingetragen (Siehe Text).

### 3. Analyse

Zunächst ist wesentlich, daß man das Funktionsschema des Auswertegerätes genau kennt. Abb. 4 zeigt als Beispiel das eines mechanischen Analogkartiergerätes.

Die strichlierte Linie gibt den Informationsfluß an. Man beachte nun, welche Fehler durch Änderungen von  $V$  und/oder  $W$  beeinflusst werden, und außerdem, wo Antrieb und Schwerkraft ziehen bzw. drücken. Ferner überlege man, wo systematische (reproduzierbare!) Störungen auftreten können und wo stochastische Störungen verursacht werden. Spiel, Reibung, Elastizität, Adhäsion und persönliche Einflüsse (Wahrnehmungs-, Interpretations- und Reaktionsfehler) sind die häufigsten Fehlerursachen.

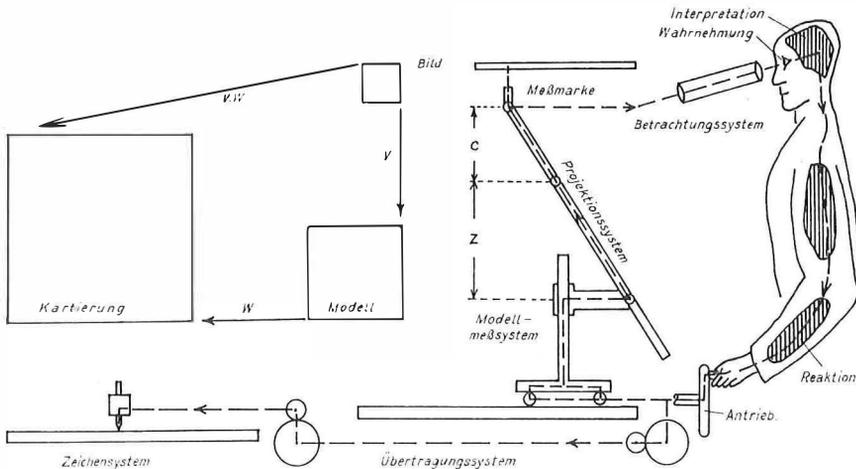


Abb. 4

Schematische Darstellung eines Kartiergerätes. Die strichlierte Linie gibt den Informationsfluß an.  $V$  und  $W$  sind die mit  $c$  und  $z$  bzw. dem Übersetzungsverhältnis der Getriebe variierbaren Vergrößerungsfaktoren.

Abb. 5 zeigt einige charakteristische Fehlerauswirkungen. Nur diese Fehlerbilder sind bisher bei den Versuchen des Verfassers vorgekommen, selbstverständlich in den verschiedensten Überlagerungen. In Abb. 6 wird ein einfaches Beispiel einer Testanalyse gegeben, wobei der Gerätebereich mit der Hauptfehlerursache durch Beurteilung von vier Testkurven eingengt wird.

#### 4. Zeitaufwand

Für die Auswertung von sechs Kurven benötigt der Operateur inklusive der bei einer solchen Arbeit notwendigen Erholungspausen ein bis zwei Stunden. Für die Überprüfung der ersten sechs Kurven ist maximal eine halbe Stunde notwendig, da man nur zu entscheiden hat, ob Fehler anliegen oder nicht. Wenn die Prüfung ergibt, daß alles praktisch hinreichend genau und in Ordnung ist, hat man einige wenige Stunden für das Erlangen der Gewißheit geopfert, mit guten Geräten zu arbeiten. Wenn man den Test periodisch wiederholt, hat man gleichsam ständig den Finger am Puls und weiß Bescheid.

Nur dann, wenn bei den ersten sechs Kurven signifikant erscheinende Störungen in einer Größenordnung auftreten, die man hinsichtlich der beabsichtigten Auswertungen nicht mehr tolerieren kann, wird der Test durch weitere ein bis zwei

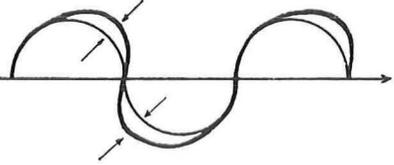
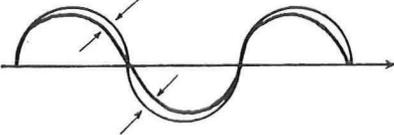
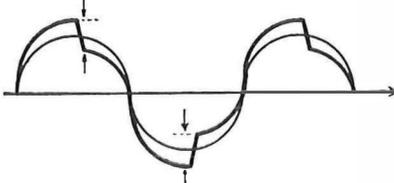
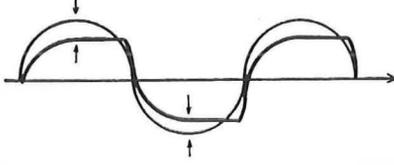
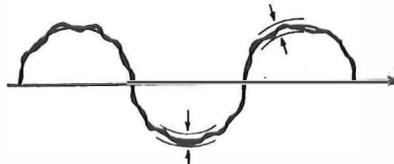
Fehlerbild	Fehlerursache
	<p>Positive Verzeichnung zufolge Elastizitätsfehler. Kritische Richtung: 50° (Zeichenstift schwingt mehr aus als Meßmarke.)</p>
	<p>Negative Verzeichnung zufolge Elastizitätsfehler. Kritische Richtung: 50° (Meßmarke schwingt mehr aus als Zeichenstift.)</p>
	<p>Positive Verzeichnung zufolge Umkehrfehler. (Meßmarke steht, während Zeichenstift weiterbewegt wird.)</p>
	<p>Negative Verzeichnung zufolge Umkehrfehler. (Zeichenstift steht, während Meßmarke weiterbewegt wird.)</p>
	<p>Stochastische Fehler. (Unregelmäßige, nicht reproduzierbare Störungen gleichbleibender Größe.)</p>

Abb. 5

Einige charakteristische Fehlerbilder und ihre Ursachen. Nach [1].

Stunden, mit wiederum sechs Kurven fortgesetzt. Für die Analyse der Aufzeichnungen braucht man dann nochmals ein bis zwei Stunden.

Wenn man die Störungsursache erkannt und beseitigt hat, werden zur Kontrolle, eventuell auch zur Aufdeckung weiterer Fehler, einige der ersten Testkurven wiederholt.

Vorläufig denkt man in der Arbeitsgruppe II-2 der ISP daran, daß man jedes Kartiergerät alle ein bis zwei Jahre mit diesem Verfahren testen sollte. Von der Arbeitsgruppe wird jedoch erst nach dem Vorliegen langjähriger Erfahrungen eine endgültige und offizielle Empfehlung gegeben werden.

### 5. Praktische Erfahrungen

Von zwölf vom Verfasser in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien 1967 geprüften Geräten verschiedener Herkunft und verschiedenen Alters waren jene Geräte, die nicht älter als fünf Jahre waren, frei von Abnutzungsfehlern. Insgesamt konnten folgende Fehler festgestellt werden:\*) Spiel im Projektionssystem (Bildkardan), abgenützte Zahnräder und Kardangelenke

Kurve Nr.	Projektor	Richtung	$V = m_b : m_m$	$W = m_m : m_k$	$V \cdot W$	Charakteristischer Ausschnitt des Kurvenbildes	Aussagen über die Störungsquelle
1	R	4,0	→	4,0	16		Negative Verzeichnung zufolge Lose vorhanden
2	R	1,3	→	4,0	5		unverändert, daher nicht im Bildraum
3	L	1,3	→	4,0	5		beidseitig, daher nicht im Projektionssystem
4	R	4,0	→	1,0	4		fast verschwunden, daher vor Schaltkasten

*Ergebnis:* Verzeichnung zufolge Lose zwischen Antriebskurbel und Getriebe. (Lose vor dem Handradeingriff würde positive Verzeichnung verursachen, wenn, wie hier, die Schwerkrafteinflüsse zu vernachlässigen sind.) Fehler: Spiel der Hook'schen Schlüssel eines alten C 5.

Abb. 6

Beispiel einer Testanalyse.

(Hook'sche Schlüssel), Elastizität eines Pantographen bei Schichtgravur<sup>(x)</sup>, dejustierte Optik,  $x$ -Lose zwischen Handrad und Getriebe (Zahnräder)<sup>(x)</sup>, Lose des Kegelzahnradpaares für den Modellwagenantrieb<sup>(x)</sup>, zu große Reibung zufolge verschmutzter Führungsrollen<sup>(x)</sup>, Pressung zwischen zwei Zahnrädern des Übersetzungsgetriebes<sup>(x)</sup>. Zur Bereinigung der vier zuerst angeführten Fehler mußte ein Firmenmechaniker geholt werden.

\*)Die mit (x) bezeichneten Fehler waren vor dem Test noch nicht bekannt oder noch nicht lokalisiert.

Ein Nebenergebnis war die Erkenntnis, daß dieses Testverfahren auch eine objektive Beurteilung der Operateure ermöglichte. Daraus kann gefolgert werden, daß man die Pseudosinuskurven auch zur Schulung von Auswertern erfolgreich einsetzen kann.

Zur Frage der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wurden eigene Versuchsserien mit verschiedenen und denselben Auswertern vorgenommen. In beiden Fällen waren die Streuungen nicht größer, als es die stochastischen Einflüsse erwarten lassen. Große systematische Fehler, also die gesuchten Störungsursachen, blieben signifikant.

#### Zusammenfassung

Primär soll das dynamische Prüfverfahren von *B. Makarovič* eine Eignungsprüfung für Kartiergeräte mit praktisch vernünftigen Toleranzen sein. Es spricht integral auf alle Fehler an, die den Informationsfluß beim Kartieren stören. Wenn die Toleranzgrenze bei einer ersten Testserie überschritten wird, gestattet eine zielbewußte Testfortsetzung zunächst das Einschränken des Fehlerbereiches. Da als Standardeingabe eine Pseudosinuskurve mit bekannter Gestalt dient, läßt sich aus der Form der systematischen Abweichungen des Ergebnisses von der Sollgestalt auf die Fehlerursache schließen.

#### Résumé

En premier lieu, la méthode d'essai dynamique de *B. Makarovič* sera un examen d'aptitude pour les appareils de restitution. On examine, si des tolérances raisonnables, en pratique, sont dépassées. Cette méthode reagit intégralement à toutes les erreurs qui peuvent se manifester dans la restitution. Si, pendant la première série de tests, les tolérances sont dépassées, l'erreur peut être localisée par une continuation conséquente des tests. Une courbe pseudosinoïdale sert de figure de test. Les déviations systématiques du résultat de la figure de test révèlent l'origine de l'erreur.

#### Summary

Primary the dynamic test method by *B. Makarovič* shall be an aptitude-test for photogrammetric plotters with practically reasonable tolerances. It inclines on all errors troubling the flow of information of the mapping process. If the errors exceed a certain tolerance limit during the first test-series, the test enables the photogrammetrist by means of a purposeful continuation to reduce the array of the possible error. As the standard input is a "pseudo-sine-curve" with known shape, one can conclude the source of error itself from the form of the systematic deviations of the result from the known shape.

#### Literatur:

[1] *Makarovič, B.*, Dynamic Performance of Photogrammetric Plotting Instruments. ITC-Publication A 35, Delft 1965.

[2] *Hempenius, S. A., Makarovič, B., Van der Weele, A. J.*, Techniques for Conducting Comparative Tests of Restitution Instruments. Photogrammetria 1962—64, 234—255.

[3] *Burkhardt, R.*, Standardtests für photogrammetrische Auswertegeräte. Invited Paper Congress Lausanne 1968. Kommission II, Arbeitsgruppe 2.

[4] *Schwidersky, K.*, Überblick über optische und mechanische Fehlerquellen in photogrammetrischen Präzisionsgeräten. B. u. L. 1967, S. 215—224.

[5] *Waldhäusl, P.*, Ein dynamisches Prüfverfahren für Kartiergeräte von *B. Makarovič*. Vortrag anlässlich der 31. Photogrammetrischen Wochen, Karlsruhe 1967.

[6] *Makarovič, B.*, Ein dynamisches Prüfverfahren für Kartiergeräte. Koreferat zu [5]. Karlsruhe 1967.