

Technische Universität München  
K. Schnädelbach / H. Ebner (Hrsg.)

---

# **Ingenieurvermessung 88**

## **Beiträge zum X. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung**

**München, 12.–17.9.1988**

---

### Veranstalter

Prof. Dr. Heinrich Ebner, TU München  
Prof. Dr. Gerhard Eichhorn, TH Darmstadt  
Prof. Dr. Armin Grün, ETH Zürich  
Prof. Dr. Herbert Matthias, ETH Zürich  
Prof. Dr. mult. Karl Rinner, TU Graz  
Prof. Dr. Günther Schelling, TU Graz  
Prof. Dr. Klaus Schnädelbach, TU München

---

### Sonderdruck aus

Band 1 (Dümmlerbuch 7808)

- Instrumente und Datenerfassung
- Auswertesysteme und Interpretation

Band 2 (Dümmlerbuch 7809)

- Hochbau und Anlagenbau
  - Tiefbau und Untertagebau
  - Umwelt- und Bauwerksüberwachung
-

## ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG EINES ANTENNENMESS- UND AUSWERTESYSTEMS

D. FRITSCH, H. KLENNERT, R. REISER

### Zusammenfassung

Zur Formkontrolle von Mikrowellen-Antennensystemen wird ein Antennenmeßgerät vorgestellt, welches horisontfrei in jeder Elevation die polaren Meßelemente zur dreidimensionalen Koordinatenbestimmung ermittelt. Die Zieleinstellung erfolgt semi-automatisch, wohingegen der weitere Datenfluß vollautomatisch abläuft.

Die Datenanalyse umfaßt ausgleichende Rotationsparaboloide und elliptische Paraboloiden, die optimal in Bezug auf das durch das Antennenmeßgerät fixierte Koordinatensystem zu lagern sind.

Neben der Beschreibung des Antennenmeßgeräts und der mathematischen Formulierung des Ausgleichungsproblems demonstriert ein Beispiel die Leistungsfähigkeit dieses speziellen Industriemeß- und Auswertesystems.

### Summary

For the control of parabolic microwave antennas a special measurement equipment has been developed, which observes polar elements for a three-dimensional point determination. The target focussing ensues semi-automatic, whereas the data flow from data acquisition to object reconstruction is fully automated.

To solve the data analysis best-fit paraboloids are used, which can be of circular and elliptical shape respectively.

Besides a detailed description of the measurement equipment and the mathematical formulation of the object reconstruction an example demonstrates the efficiency of this special industrial measurement system.

### Résumé

Pour le contrôle de grandes antennes réfléchissantes un instrument spécial est développé, qui observe dans chaque élévations les éléments de rayonnement pour la détermination des coordonnées dans trois dimensions.

Le pointé se produit semi-automatique, tandis que l'analyse des données est fait exclusivement par ordinateur.

Apart la description de l'instrument et la mathématique du problème d'ajustement un exemple démontre la capacité de ce système industriel.

## 1. Einleitung

Für die Übertragung von Fernseh- oder Hörfunkprogrammen, Telefongesprächen oder Aufnahmen von Wettersatelliten werden Erdefunkstellen mit großen Parabolreflektoren benötigt. Solche Antennen hat die Deutsche Bundespost beispielsweise im oberbayerischen Raisting, in Usingen im Taunus und in Berlin aufgestellt; die Europäische Raumfahrtbehörde ESA betreibt sie bei Michelstadt im Odenwald. Die Durchmesser der Reflektoren betragen 11 - 32 (m).

Eine störungsfreie Satellitenübertragung verlangt hohe mechanische Präzision. Die scheinbar ruhig stehenden Antennen vollziehen jede noch so kleine Satellitenbewegung im Weltraum genau nach, da schon Abweichungen von wenig hundertstel Grad die Sendeleistung drastisch reduzieren.

Der parabolischen Reflektoroberfläche kommt die Aufgabe zu, die erzeugte Sendeleistung auf das 3-4millionenfache zu verstärken. Dieses stellt jedoch höchste Anforderungen an die Justage der Reflektorsegmente (Paneele), die aus Aluminium bestehen und nur wenige Zehntelmillimeter von der theoretisch berechneten Kontur abweichen dürfen.

Da herkömmliche geodätische und photogrammetrische Aufnahmeinstrumente und Auswerteverfahren die gestellten Genauigkeitsanforderungen nur schwer erfüllen können, und zudem die Reflektorgeometrie in der Arbeitsstellung sowie weiteren Neigungen (Elevationen) teilweise nur unter großem Aufwand zu ermitteln ist, sind Sonderentwicklungen notwendig. Dies hat in der Nahbereichsphotogrammetrie zum Einsatz einer speziellen Aufnahmekamera /1/ sowie einer automatischen Datenerfassung geführt /2/, /3/, wobei jedoch nicht in Echtzeit über Aussagen zur Qualität des Reflektors verfügt werden kann. Der Ausbau der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie wird zukünftig auch diesem Aspekt Rechnung tragen /7/, /8/.

Um den Zeitaufwand für die Ausmessung des Reflektors minimal zu halten, da Änderungen der Außentemperatur u.U. zu größeren Verformungen des Reflektors führen können, wurde ein spezielles Antennenmeß- und Auswertesystem entwickelt. Mit diesem ist es zugleich möglich, unmittelbar Justierinformationen abzuleiten. Eine schematisierte Darstellung ist mit der Abb. 1 gegeben.

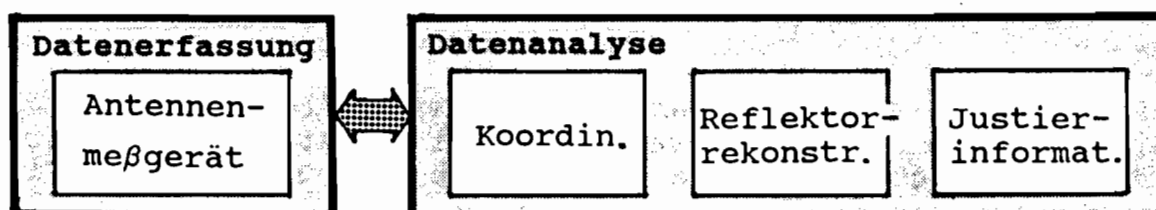


Abb. 1: Meß- und Auswertesystem für parabolische Antennenoberflächen

Die Datenerfassung erfolgt durch ein optisches Meßgerät und wird vermittels einer Schnittstelle dem Auswertesystem, das auf einem Personal Computer implementiert ist, zugeführt. Somit lassen sich vor Ort nach Abschluß der Messungen sofort Aussagen über die Güte der Reflektoroberfläche ableiten.

## 2. Antennenmeßgerät

Zur Festlegung der Sollkontur bei der Justage des Reflektors werden üblicherweise in Zenitstellung mit Nivelliergerät oder Theodolit auf den Panelen durch Sehnen- oder Bogenlängen fixierte Punkte in Sollposition gebracht. Beim Kippen in die Arbeitsstellung treten dann Deformationen auf, die durch Überkorrekturen kompensiert, jedoch im nachhinein nicht mehr kontrolliert werden können.

Für die Anwendung in beliebigen Elevationen wurde deshalb gemeinsam mit der ESA ein erster Prototyp eines Antennenmeßgeräts entwickelt. Dieses Gerät war von 1976 bis 1982 bei der Justage und Abnahme von 8 großen Parabolantennen im Einsatz /9/. Die Weiterentwicklung des Prototyps hat zu dem heutigen Meßgerät geführt (siehe Abb.2), mit dem seit 1983 bisher 15 Großantennen justiert und überprüft wurden.

An einer Basisplatte, die sich auf einem Vierbock kippen und in allen Koordinatenrichtungen verschieben läßt, sind unten Fluchtfernrohre und oben ein Tubus zur Aufnahme von Pentaprismen oder Zusatzeinrichtungen montiert. Der Ablenkwinkel eines Pentagonprisma ist in allen Elevationen konstant, auch wenn das Prisma geringfügig verkippen sollte. Die Höhe des Prismas ist variabel, um unterschiedliche Konturen mit einem Prismensatz vermessen zu können. Mit dem Fluchtfernrohr I betrachtet man über das rotierende Prisma die Fläche, wohingegen Fernrohr II zur Ausrichtung des Meßgeräts dient. Für die Feineinstellung dient ein Handrad, mit dem das Prisma vertikal bewegt werden kann; diese Bewegung wird durch einen Heidenhain-Linearabnehmer inkrementell erfaßt.

Die Daten zur Rotation werden im ersten Meßgang über einen Schrittmotor erhalten, so daß sich als Meßwerte als Azimute bezeichnete Umfangsrichtungen und Höhenablesungen ergeben. Diese übernimmt ein Steuerrechner, z.B. Hewlett Packard HP75C, und speichert sie auf einer Mikrokassette ab.

Die im ersten Meßgang ermittelten Azimute werden in weiteren Durchgängen automatisch angefahren. Der Beobachter setzt dann das Fadenkreuz durch eine differentielle Höhenbewegung des Prismas auf die Zielmarke auf.

Anstelle des Prismas lassen sich ein Längenmeßeinsatz, Zielmarken, eine Autoreflexionseinrichtung und eine Zwangszentrierung für Theodolite einsetzen. Alle Teile des Geräts befinden sich in einem geschlossenen Gehäuse und sind vor äußeren Einwirkungen geschützt; somit kann das Gerät auch längere Zeit in der Antenne eingebaut bleiben.

In der Abb. 3 ist das Antennenmeßgerät im Einsatz dargestellt.

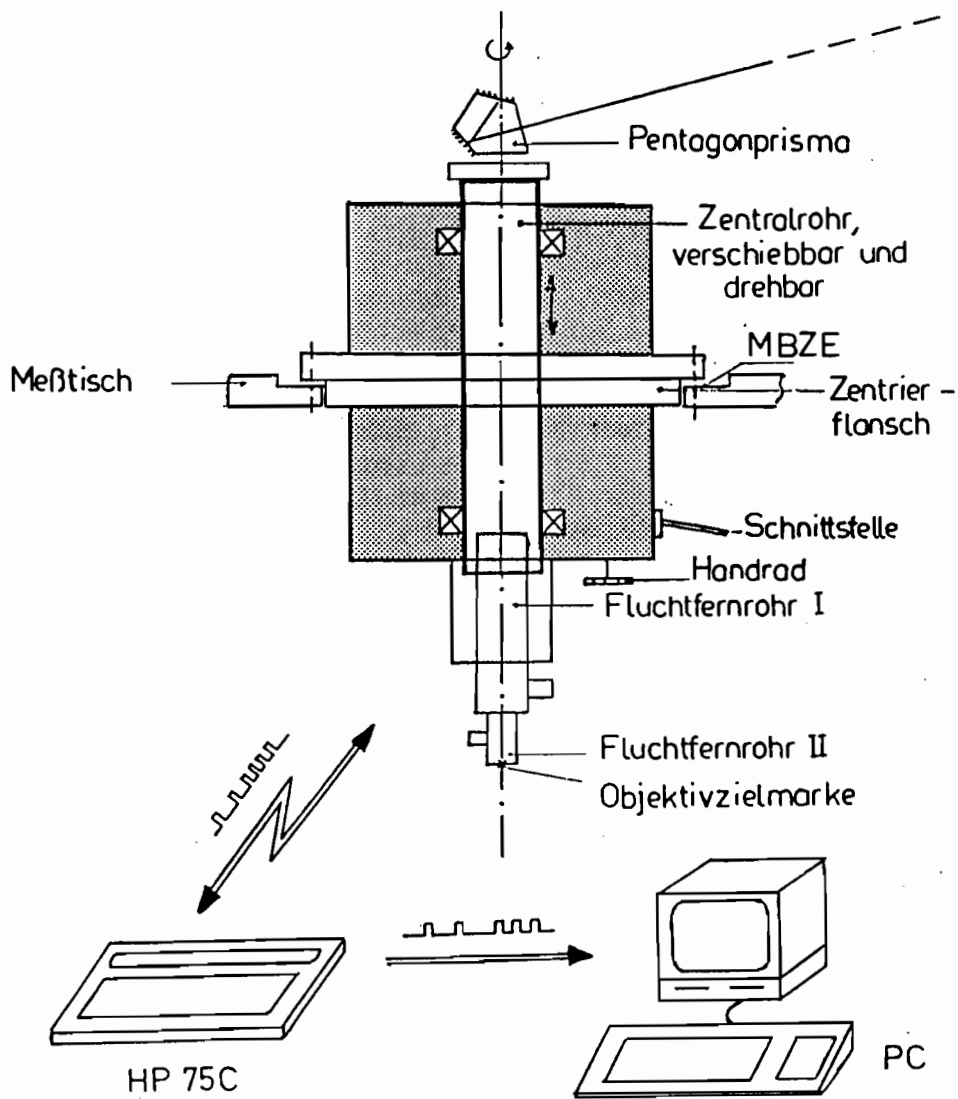


Abb. 2: Aufbau und Peripherie des Antennenmeßgeräts

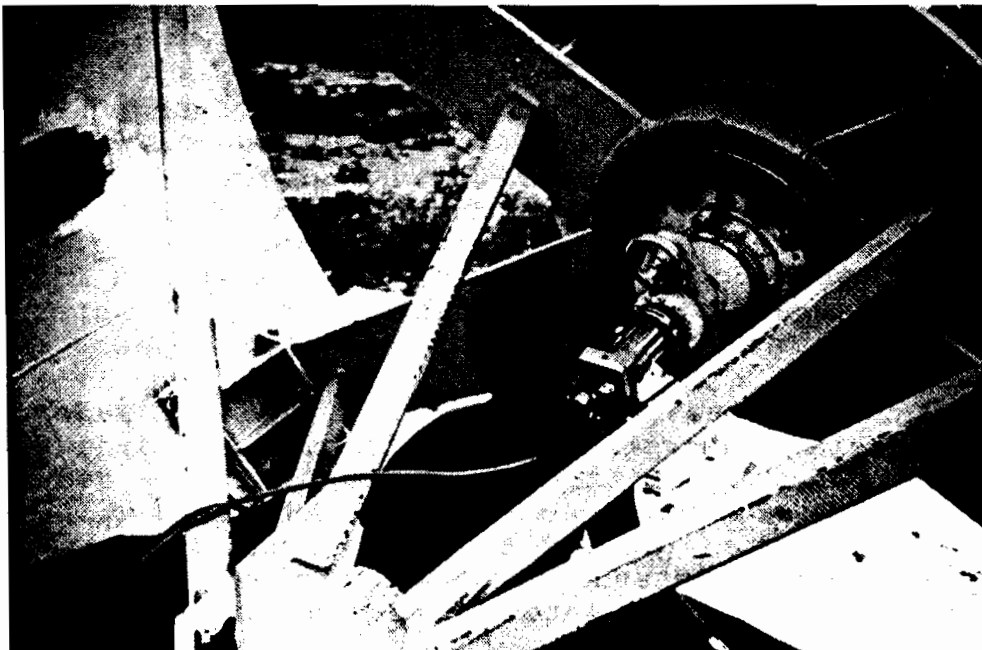
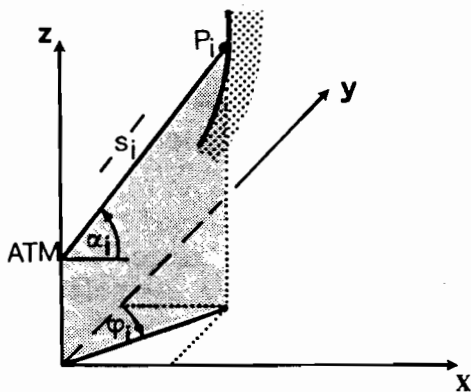


Abb. 3: Antennenmeßgerät im Einsatz

Der Meßvorgang zur Festlegung der Kontrollpunkte innerhalb des Reflektors ist folgendermaßen: Mit Präzisionsstahlband und definierter Zugspannung werden auf der Reflektoroberfläche in Zenitstellung Parallelkreise angerissen, auf die Zielmarken aus Astralit geklebt werden. Die Änderungen der Sehnen- bzw. Bogenlängen zwischen Zenitstellung und Arbeitsstellung sind sehr gering und ggf. zu berücksichtigen. Das Antennenmeßgerät ermittelt zu einer ausgezeichneten Richtung das Azimut sowie die Höhenänderung in Bezug zu einer internen Referenzmarke, so daß für die Koordinierung eines Punktes  $P_i$  die polaren Meßelemente Azimut  $\varphi_i$ , Entfernung  $s_i$  und Höhenwinkel  $\alpha_i$  abzuleiten sind (siehe Abb. 4).



Zur Justage der Kontrollpunkte müssen die Ablagen senkrecht zur Reflektoroberfläche erfaßt werden, was mittels des Auswertesystems möglich ist. Diese Ablagen sind anhand von Meßuhren oder korrespondierenden Schraubengängen zu eliminieren.

Für die Kontrolle bzw. Endabnahme des Reflektors werden neue Sehnen- bzw. Bogenlängen angetragen. Die Meßmarken auf den Panels behalten ihre Lage bei, jedoch sind ihre Ablagen zu den neuen Rissen zu ermitteln und in die Auswertung einzuführen.

Abb. 4: Abgeleitete Meßelemente

Aufgrund der horizontfreien Ermittlung der polaren Meßelemente lassen sich ebenso Deformationen in anderen Elevationen leicht erfassen und den vorgegebenen Verformungen gegenüberstellen.

### 3. Auswertesystem

Das zur Auswertung der Hauptreflektorvermessung eingesetzte Programmpaket ist auf einem Personal Computer von Hewlett Packard Serie 200 implementiert und gliedert sich im wesentlichen in die Komponenten: Koordinaten, Reflektorrekonstruktion sowie Berechnung der Justierelemente. Die Ermittlung eines approximierenden Reflektors (Best-Fit Reflektor) benutzt somit als Ausgangsdaten die  $x, y, z$ -Koordinaten der Kontrollpunkte in einem an das Antennenmeßgerät gebundenen, nach den Antennenachsen ausgerichteten und in Bezug auf diese "festen" Systems (siehe Abb. 5).

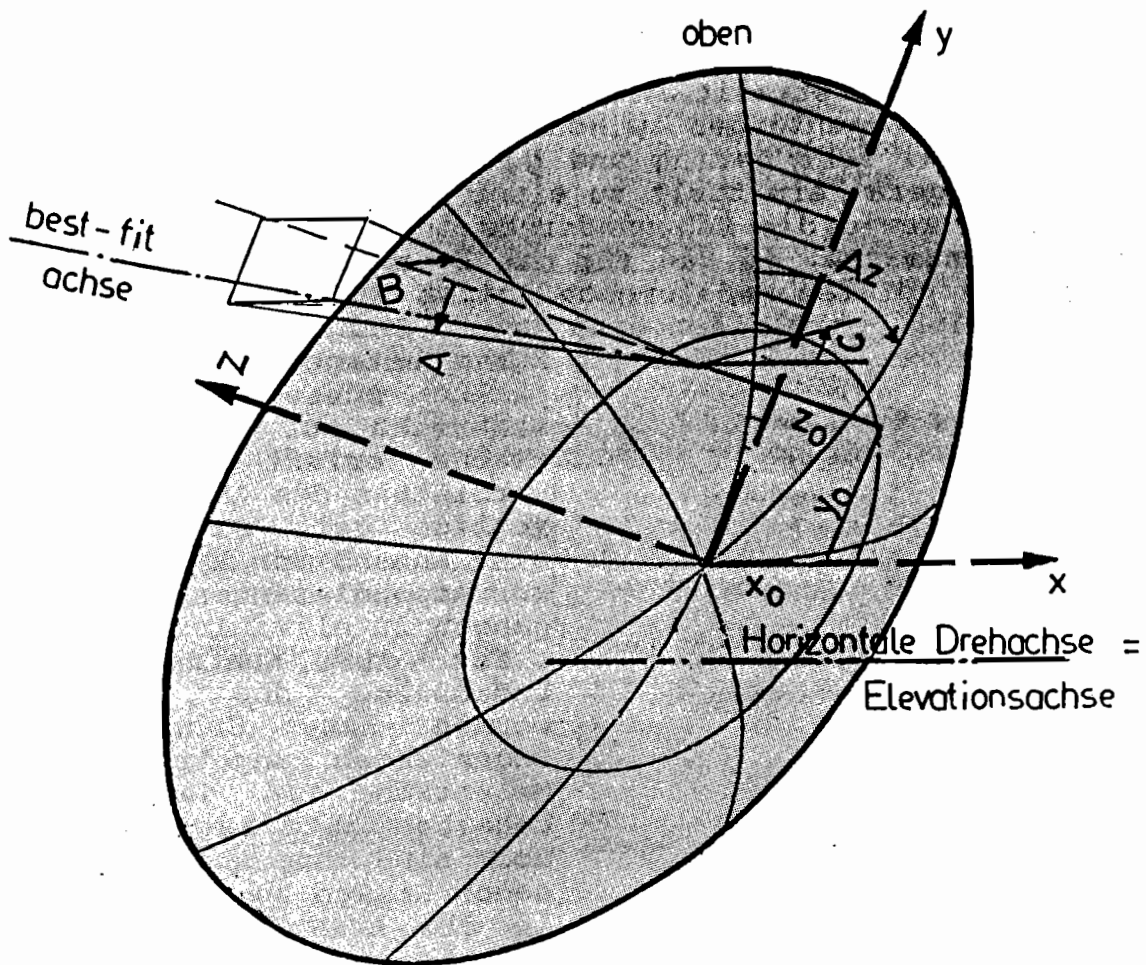


Abb. 5: Lage des Best-Fit Reflektors im Koordinatensystem des Antennenmeßgeräts

In der Abb. 5 bedeuten:

- x-y-z : Koordinatensystem des Antennenmeßgeräts
- Az : "Azimut" im Reflektor
- $x_0, y_0, z_0$  : Translationen des best-fit Scheitelpunktes
- A : Rotation der best-fit Achse um die X-Achse
- B : Rotation der best-fit Achse um die Y-Achse
- C : Rotation der best-fit Achse um die Z-Achse, Richtung der großen Halbachse des elliptischen Modells.

Am Beispiel eines Rotationsparaboloids (Kreismodell) wird die ausgleichungstechnische Handhabung im folgenden aufgezeigt:

Es sei

$$y^2 = 2px = 4fx \quad (1)$$

die Brennweitenformulierung einer Parabel mit  $p/2=f$  als der

Brennweite, d.h. des Abstands des Brennpunktes vom Ursprung des Scheitels. Die Übertragung von (1) in die Fläche mit  $R^2=x^2+y^2$  liefert

$$R^2 = 4fz \quad (2)$$

die ein Rotationsparaboloid in Abhängigkeit von der Brennweite definiert und das im Ursprung des Koordinatensystems gelagert ist. Diese Forderung ist vielfach nicht einzuhalten, so daß (2) verallgemeinert wird in

$$z = z_0 - (x-x_0)\tan B + (y-y_0)\tan A + R^2/4f \quad (3)$$

d.h. das Paraboloid besitzt eine allgemeine Lagerung im  $\mathbb{R}^3$  (vgl. Abb. 5). Die Ermittlung der unbekannt Parameter  $x_0, y_0, z_0$  (Translationen des Scheitels),  $A, B$  (Rotationen des Paraboloids) sowie der Brennweite  $f$  kann dann im Rahmen einer Parameterschätzung erfolgen. Hierzu ist (3) in eine nichtlineare Verbesserungsgleichung umzuschreiben

$$z_i + v z_i = z_0 - (x_i - x_0)\tan B + (y_i - y_0)\tan A + \frac{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}{4f} \quad \forall i=1,2,\dots \quad (4)$$

Die Rotationen (Verkippen)  $A$  und  $B$  sind in (4) von den Translationen  $x_0$  und  $y_0$  nicht separierbar. Hierzu ist (4) in ein anderes Koordinatensystem zu überführen, das eine Separation ermöglicht.

Vermittels der differentiellen Drehmatrix

$$dR = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -dB \\ 0 & 1 & dA \\ dB & -dA & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

ergibt sich der differentiell transformierte Vektor  $x'=dRx$  mit

$$x' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x-x_0) - (z-z_0)dB \\ (y-y_0) + (z-z_0)dA \\ (x-x_0)dB - (y-y_0)dA + (z-z_0) \end{bmatrix} \quad (6)$$

der in (4) eingesetzt wird. Mit den Näherungswerten  $x_{00}=y_{00}=z_{00}=A_0=B_0=0$ ,  $f=f_0$  folgt die Linearisierung

$$l_i + v_i = -\frac{x_i}{2f_0} dx_0 - \frac{y_i}{2f_0} dy_0 + dz_0 + \left[ 1 + \frac{z_i}{2f_0} \right] y_i dA - \left[ 1 + \frac{z_i}{2f_0} \right] x_i dB - \frac{x_i^2 + y_i^2}{4f_0^2} df \quad \forall i=1,2,\dots \quad (7)$$

mit der linearisierten Beobachtung  $l_i = z_i - (x_i^2 + y_i^2)/4f_0$ .



Es sei (7) definiert im Gauß-Markoff-Modell

$$E(l) := l + v = Ax \quad , \quad D(l) = \sigma^2 P^{-1} \quad (8)$$

wobei der Vektor  $x' = [dx_0, dy_0, dz_0, dA, dB, df]^T$  die Formparameter des Rotationsparaboloids wiedergibt. Die Matrix A enthält als Koeffizienten die Linearfaktoren aus (7); E ist der Erwartungswert. Für die Dispersion D genügt in vielen Fällen die Annahme  $P=I$ , so daß die Schätzung der Formparameter nach der Methode der kleinsten Quadrate erfolgen kann durch

$$\|v\|^2 = \min \Rightarrow \hat{x} = (A'A)^{-1} A'l \quad (9)$$

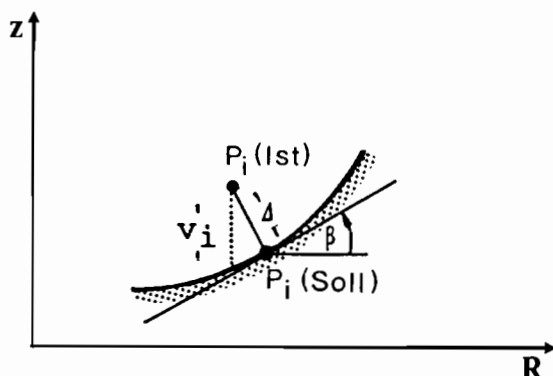
In kritischen Anwendungen ist die Zielfunktion der Methode der kleinsten Quadrate zu ersetzen durch eine Tschebyscheff-Formulierung; die Auswertung von

$$\|v\|^\infty = \min \max_{1 \leq i \leq n} |v_i| \quad (10)$$

ist mittels Komplementaritätsalgorithmen effizient durchzuführen /5/, /6/.

Da (7) aus differentiellen Betrachtungen heraus abgeleitet worden ist, muß (9) bzw. (10) iteriert werden. Die Wechselwirkung von Transformationen und Parameterschätzungen führt dann zu einer optimalen Lagerung von  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  und somit zur zuverlässigen Ermittlung der Formparameter.

Um nun die Ablagen senkrecht zur Reflektoroberfläche zu erhalten, ist nicht  $\|v\|^2$  bzw.  $\|v\|^\infty$  zu minimieren, sondern  $\|\cos\beta v\|^2$  bzw.  $\|\cos\beta v\|^\infty$ . Hierfür wird (7) mit dem Kosinus der Tangentenrichtung multipliziert (siehe Abb. 6).



Diese Ablagen sind somit entlang der Flächennormalen definiert und führen zu optimalen quadratischen Gütemaßen (RMS - Werte).

In den meisten Anwendungen weichen die vorgegebenen Sollkonturen von der Regelfläche eines Paraboloids ab, so daß in (7) noch Modellkorrekturen zu berücksichtigen sind.

Abb. 6: Projektion der Ablagen

Das Auswertesystem stellt neben der Rekonstruktion eines Rotationsparaboloids noch die Ermittlung eines approximierenden elliptischen Paraboloids zur Verfügung. Dadurch ergibt sich die maximale Anzahl der zu schätzenden Parameter zu 8, d.h. der Vektor der unbekannt Formparameter enthält darüberhinaus eine Rotation C sowie die elliptischen Brennweiten  $f_1$  und  $f_2$ .

Durch Modell- und Unbekanntenzeiger kann die Auswahl des

Modells (Rotations- bzw. elliptisches Paraboloid) sowie der unbekannt Parameter gesteuert werden; Statistiken geben Aufschluß über lokale und globale Häufigkeit der Ablagen.

#### 4. Anwendung

Die Anwendung des vorgestellten Antennenmeß- und Auswertesystems wird exemplarisch belegt durch die zuletzt justierte und überprüfte Antenne DFS - Berlin (siehe Abb. 7).

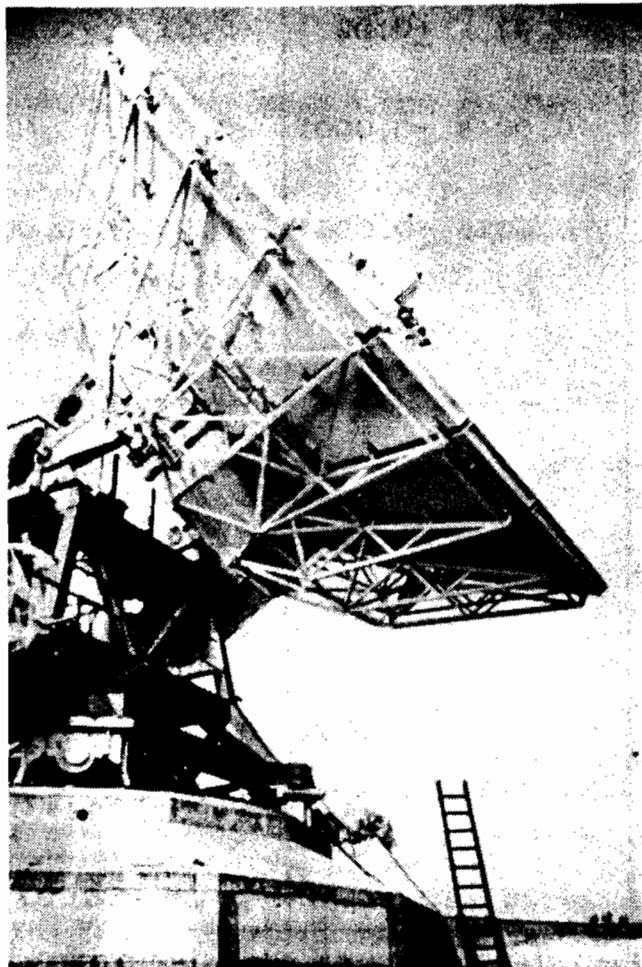


Abb. 7: Nachrichtenantenne DFS - Berlin

Hier war in der Arbeitsstellung von 27 (Grad) Elevation die Reflektoroberfläche zu überprüfen; des weiteren sollten in den Elevationen 0 (Grad) und 45 (Grad) Deformationsuntersuchungen vorgenommen werden.

Die Reflektoroberfläche von ungefähr 16 (m) Durchmesser wurde signalisiert durch 336 Meßpunkte, wobei die inneren zwei Ringe ( $1,0 \text{ m} < r < 2,8 \text{ m}$ ) mit jeweils 24 Punkten und sechs weitere Ringe ( $2,9 \text{ m} < r < 7,7 \text{ m}$ ) mit jeweils 48 Punkten eine weitgehend regelmäßige Diskretisierung gewährleisteten.

Unter der Vorgabe von  $x_0 = y_0 = 0$  ergaben sich für die Arbeitsstellung in 27 (Grad) Elevation die in Tabelle 1 nachgewiesenen Ergebnisse.

Tabelle 1: Auswertungen in 27 (Grad) Elevation

Modell Parameter	Rotations- paraboloid	Elliptisches Paraboloid	Soll- werte
$\hat{z}_0, \hat{\sigma}_{z0}$ (mm)	-0,02 $\pm$ 0,02	-0,02 $\pm$ 0,01	0
$\hat{A}, \hat{\sigma}_A$ (Grad)	+0,0048 $\pm$ 0,0001	+0,0048 $\pm$ 0,0001	0
$\hat{B}, \hat{\sigma}_B$ (Grad)	-0,0025 $\pm$ 0,0001	-0,0025 $\pm$ 0,0001	0
$\hat{C}, \hat{\sigma}_C$ (Grad)	----	+148,7 $\pm$ 6,6	0
$\hat{f}_1, \hat{\sigma}_{f1}$ (mm)		4499,42 $\pm$ 0,05	
	4499,28 $\pm$ 0,04		4499,3
$\hat{f}_2, \hat{\sigma}_{f2}$ (mm)		4499,14 $\pm$ 0,05	
RMS, $\hat{\sigma}_{RMS}$ (mm)	0,139 $\pm$ 0,005	0,135 $\pm$ 0,005	0
$\hat{\sigma}^2$ (mm) <sup>2</sup>	$36,256 \cdot 10^{-6}$	$35,350 \cdot 10^{-6}$	

Der RMS - Wert ist ein Maß für die Güte des Reflektors und berechnet sich aus den Ablagen zu  $RMS = \sqrt{\frac{\sum \cos^2 \beta v}{n}}$ . Eine Abschätzung der Koordinatenbestimmung ergibt einen mittleren Punktlagefehler von  $\hat{\sigma}_{pi} = 0,01$  (mm), der als Maß für die innere Meßgenauigkeit zu interpretieren ist. Die Reproduzierbarkeit der Koordinatenbestimmung (äußere Genauigkeit) ist aus vorangegangenen Projekten zu  $\hat{\sigma}_{pa} \leq 0,05$  (mm) abgeleitet worden und steht in Übereinstimmung mit Genauigkeitsbetrachtungen vermittelt des Fehlerfortpflanzungsgesetzes.

Anhand der statistischen Beurteilung des Auswertesystems wird ebenso ein guter Überblick über die Verteilung der Ablagen erhalten (siehe Abb. 8).

DIE RMS-WERTE DER ABLAGEN FÜR DIE EINZELNEN KREISRINGE UND FÜR KREISRINGGRUPPEN WACHSENDE RADIEN AUS TEIL-VERBESSERUNGSQUADRAT-SUMMEN (MM):

RING 1	RMS = .094	RING 1 BIS 1	.094
RING 2	RMS = .185	RING 1 BIS 2	.147
RING 3	RMS = .141	RING 1 BIS 3	.144
RING 4	RMS = .115	RING 1 BIS 4	.135
RING 5	RMS = .122	RING 1 BIS 5	.132
RING 6	RMS = .125	RING 1 BIS 6	.130
RING 7	RMS = .164	RING 1 BIS 7	.137
RING 8	RMS = .150	RING 1 BIS 8	.139

EMPIRISCHE HÄUFIGKEITSVERTEILUNG ALLER ABLAGEN :

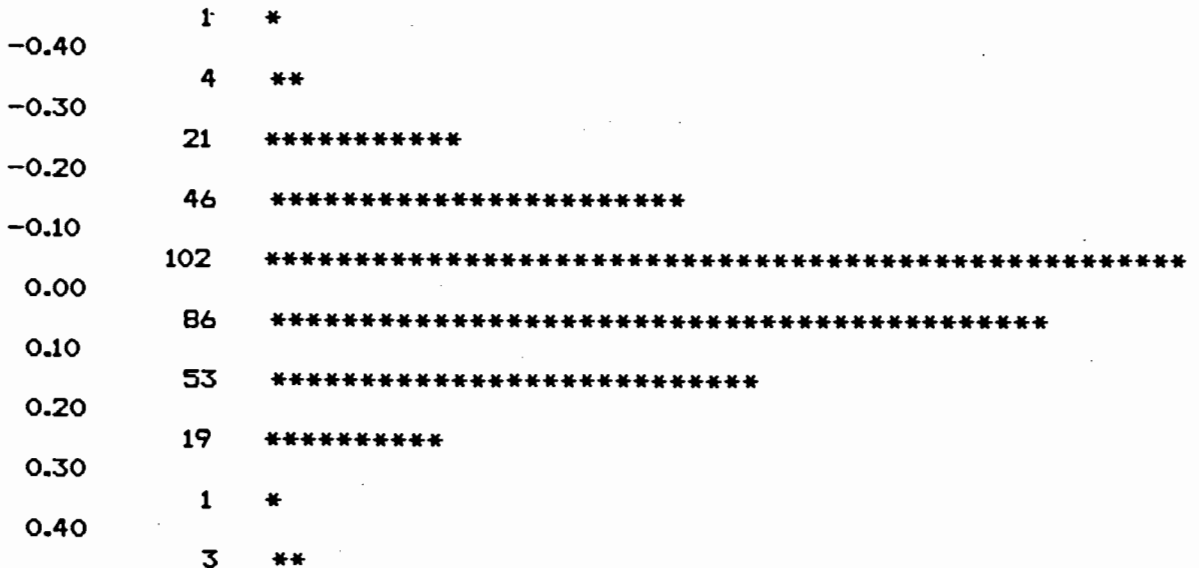


Abb. 8: Beurteilung der Reflektorgüte durch ein approximierendes Rotationsparaboloid

### 5. Schluß und Ausblick

Die Erfahrungen mit dem hier vorgestellten Antennenmeß- und Auswertesystem haben die Genauigkeitserwartungen voll erfüllt und in allen Fällen der Anwendungen stets zu den vorgegebenen Sende- und Empfangsleistungen der Antennen geführt. Das Meßgerät wird ebenso für die Justage der Achsen des Subreflektors eingesetzt, dessen Oberfläche vor dem Einbau in den Hauptreflektor durch geodätische oder photogrammetrische Meß- und Auswerteverfahren überprüft werden kann /4/. Erst das Zusammenwirken des Systems Hauptreflektor - Subreflektor gewährleistet die optimalen Sende- und Empfangseigenschaften der Antenne.

Da es keine Rolle spielt, in welcher Elevation des Reflektors die Messungen durchgeführt werden, eignet sich das Antennenmeßgerät auch zur Nachprüfung schwerkraftabhängiger Verformungen des Paraboloids. Die Kenntnis dieser Verformungen ist wichtig für elektrische Eichmessungen, das Aufsuchen von Satelliten in unterschiedlichen Höhen, als Nachweis der Richtigkeit der statischen Berechnungen sowie die Basis für Verbesserungen an künftigen Antennen.

Eine volle Automatisierung des Antennenmeßgeräts ist durch den Einbau eines CCD - Sensors leicht möglich, so daß durch die Integration von Bildverarbeitungsalgorithmen der Beobachter entlastet wird, und nur zu kritischen Beleuchtungsverhältnissen eingreifen muß. Somit führt die Weiterentwicklung zu einem opto-elektronischen Meßsystem, das ferngesteuert werden kann. Die Antennenvermessung, die wegen den hohen Genauigkeitsanforderungen nur bei günstigen Außenbedingungen (i.d.R. nachts) möglich ist, kann dadurch bei einem maximalen Bedienungskomfort auf ein Mindestmaß an personellem Aufwand reduziert werden.

## 6. Literatur

- /1/ Brown, D.C. (1984): A Large Format, Microprocessor Controlled Film Camera Optimized for Industrial Photogrammetry. Int. Arch. Phot. Rem. Sens., 25, A5, Rio de Janeiro.
- /2/ Fraser, C.S./D.C. Brown (1986): Industrial Photogrammetry: New Developments and Recent Applications. The Photogrammetric Record, 69.
- /3/ Fraser, C.S. (1986): Photogrammetric Measurement of Microwave Antennas. Report No. 86-001, Geodetic Services Inc., Melbourne.
- /4/ Fritsch, D. / H. Klennert / F. Müller, R. Reiser / M. Stephani (1984): Hochpräzise photogrammetrische Vermessung von Industrieobjekten. In: Ingenieurvermessung 84, Hrsg. K. Rinner / G. Schelling / G. Brandstätter, C9, Dümmeler, Bonn.
- /5/ Fritsch, D. (1985): Some Additional Informations on the Capacity of the Linear Complementarity Algorithm. In: Optimization and Design of Geodetic Networks, Ed. E.W. Grafarend / F. Sanso, Springer, Heidelberg, pp. 169-184.
- /6/ Fritsch, D. (1987): On Algorithms Solving the  $L_\infty$  - Approximation in Geometric Modelling. Proceed. ISPRS Intercomm. Conf. Fast Process. Photogr. Data, Interlaken, Inst. Geod., Photogr., ETH Zürich, pp. 142-155, Zürich.
- /7/ Fritsch, D. / G. Strunz (1988): Towards an Automated Data Flow in Digital Close Range Photogrammetry. Int. Arch. Phot. Rem. Sens., 27, B11, pp. V415-V427, Kyoto.
- /8/ Grün, A. (1987): Towards Real - Time Photogrammetry. Photogrammetria, 42, pp. 209-244.
- /9/ Reiser, R. / S. Lauer (1978): Meß- und Auswertemethoden zum Justieren und zur Deformationskontrolle großer Reflektorantennen. II. Int. Symp. Deform. Messungen mit geodätischen Methoden. Univ. Bonn, Bonn.

### Adressen der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. R. Reiser, Fachhochschule Rheinland - Pfalz, Abteilung Mainz I - Fachrichtung Vermessungswesen, Holzstraße 36, D-6500 Mainz 1.

Prof. Dr.-Ing. H. Klennert, Fachhochschule Rheinland-Pfalz, Abteilung Mainz I - Fachrichtung Vermessungswesen, Holzstraße 36, D-6500 Mainz 1.

Dr.-Ing. D. Fritsch, Lehrstuhl für Photogrammetrie, Technische Universität München, Arcisstraße 21, D-8000 München 2.