

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

**Band:** 64 (1966)

**Heft:** 4

**Artikel:** Kalibrierung von Auswertegeräten und Nahaufnahmekammern

**Autor:** Hallert, B.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-220754>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 25.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Kalibrierung von Auswertegeräten und Nahaufnahmekammern\*

B. Hallert, Stockholm 70, Schweden

## Zusammenfassung

Prinzipien von partiellen und vollständigen Kalibrierungen der Zentralprojektion werden behandelt, um die geometrische Qualität der grundlegenden Operationen photogrammetrischer Geräte zu bestimmen. Toleranzen können dann in verschiedenen Hinsichten abgeleitet werden.

## Résumé

On traite de l'étalonnage partiel ou complet de la projection centrale pour déterminer la qualité géométrique des opérations de base des appareils de photogrammétrie. On peut en déduire à divers points de vue des valeurs de tolérance.

## Einleitung

In Schweden ist die Photogrammetrie in lebhafter Entwicklung. Sie zeigt sich vor allem auf dem Gebiet der topographischen Plan- und Kartenherstellung in Maßstäben zwischen 1:400 und 1:100 000, aber auch auf dem Gebiet der nichttopographischen Messungsarbeiten verschiedenster Art. In praktisch allen Fällen sind wir auf ausländische Meßkammern und Auswertegeräte angewiesen, da bis jetzt die schwedische Industrie solche Geräte nicht herstellt. Von entscheidender Bedeutung für die Verwendbarkeit der Resultate sind die Qualitätsverhältnisse der photogrammetrischen Verfahren. Werden von den Auftraggebern Toleranzen für die Meßresultate festgelegt, was leider ziemlich selten vorkommt, so liegt eine der Hauptaufgaben des Photogrammeters darin, Instrumente und Methoden so zu wählen, daß die geforderte Qualität bei niedrigsten Kosten und kleinstem Zeitaufwand erreicht wird.

Dabei spielen die Qualität der Meßbilder und der Auswertegeräte eine ausschlaggebende Rolle, und diese Eigenschaften müssen unter normalen Verhältnissen von Anfang an und zudem von Zeit zu Zeit kontrolliert werden können. Besonders auf dem Gebiet der nichttopographischen Photogrammetrie ist es oft schwierig, die Endresultate der Auswertung durch direkte Kontrollmessungen zu überprüfen, da die Meßobjekte unzugänglich sein können.

Die Auswertegeräte sind im allgemeinen nach der Montage und Montagejustierung von hoher Qualität. Früher oder später aber können sie diese Eigenschaft verlieren. Es sollten ferner Toleranzen für die regelmäßigen und unregelmäßigen Fehler angegeben werden, um zu entscheiden, ob die erhaltenen Resultate der Prüfungen als annehmbar betrach-

\* Der vorliegende Artikel bringt das vom Verfasser überarbeitete Manuskript zu seinem am 31. Januar 1966 im Geodätischen Seminar der ETH gehaltenen Vortrag.

tet werden können oder ob Justierungen oder gar weitere Maßnahmen notwendig sind.

Bei der Prüfung von Projektionsauswertegeräten wird die Qualität der Rekonstruktion eines gegebenen Strahlenbündels unter verschiedenen Voraussetzungen untersucht. Regelmäßige (systematische) Fehler der rekonstruierten Strahlenbündel sollen so gut wie möglich von den unregelmäßigen Fehlern getrennt werden, und die übrigbleibenden unregelmäßigen Fehler sollen in eindeutiger Weise statistisch geschätzt und angegeben werden. Auch die Genauigkeit der Bestimmung der regelmäßigen Fehler soll eindeutig angegeben werden, damit deren Signifikanz untersucht werden kann. Diese Genauigkeit ist wesentlich dafür, ob Korrekturen der regelmäßigen Fehler rechnerisch oder in anderer Weise eingeführt werden sollen oder nicht.

Um diese Fragen möglichst einfach und eindeutig behandeln zu können, hat sich die Methode der kleinsten Quadrate als sehr zweckmäßig und sogar als unentbehrlich erwiesen. Alle unsere Kalibrierungen werden auf diese Methode begründet. Sie wird hier als bekannt vorausgesetzt; vgl. zum Beispiel [1]. Für die Signifikanzprüfungen werden einige Prinzipien der mathematischen Statistik verwendet, die wohl auch als allgemein bekannt vorausgesetzt werden können. Vor allem werden die  $\chi^2$ -,  $F$ - und  $t$ -Verteilungen verwendet. Die Konfidenzschwelle wird im allgemeinen zu 5 % gewählt, wie in einer der Resolutionen der Kommission II am Kongreß von Lissabon der IGP 1964 empfohlen wurde. Da die genannten Verteilungen alle auf der Normalverteilung beruhen, muß deren Vorhandensein geprüft werden; vgl. zum Beispiel [2] und [3].

Ähnliche Prinzipien sind auch bei der Prüfung von Nahaufnahmekammern verwendet worden. Gerade auf diesem Gebiet herrscht seit längerer Zeit ein Mangel an zweckmäßigen modernen Geräten. In jüngster Zeit sind zwar wieder die Stereomeßkammern mit 120- und 40-cm-Basis auf dem Markt erhältlich, doch sind Stereomeßkammern mit kürzerer Basis noch nicht zu finden. Auch für die Röntgenphotogrammetrie sind keine eigentlichen Aufnahmegeräte für Meßzwecke erhältlich. Wenn man solche Geräte konstruieren will, müssen zunächst die perspektivischen Eigenschaften der abbildenden Elemente, das heißt der Objektive für Nahaufnahmen und der Röntgenapparate, geprüft werden. In jüngster Zeit kommen auch Kombinationen von Röntgenbildern mit Televisionsübertragung vor, um schwache Röntgenstrahlen dadurch zu verstärken. Auch solche Kombinationen müssen auf ihre meßtechnischen Eigenschaften geprüft werden. Werden nur die perspektivischen Eigenschaften der abbildenden Elemente geprüft, so kann man von einer *partiellen Kalibrierung* sprechen. Werden aber die meßtechnischen Eigenschaften der Bilder vollständig bestimmt, so liegt die Aufgabe einer *vollständigen Kalibrierung* vor. Mit ihr sollen alle Daten bestimmt werden, die für die vollständige Rekonstruktion der idealen Strahlenbündel zwischen den Punkten des Objektes und dem Projektionszentrum im Moment der Aufnahme notwendig sind. Diese Daten werden bekanntlich unter dem Begriff *innere Orientierung* der Bilder zusammengefaßt.

Die Prinzipien, auf die man sich bei solchen Aufgaben in Schweden stützt, sollen hier zunächst zusammengestellt werden.

### *1. Die grundlegenden projektiven Beziehungen der Photogrammetrie*

Die zwei ersten Operationen der Photogrammetrie sind

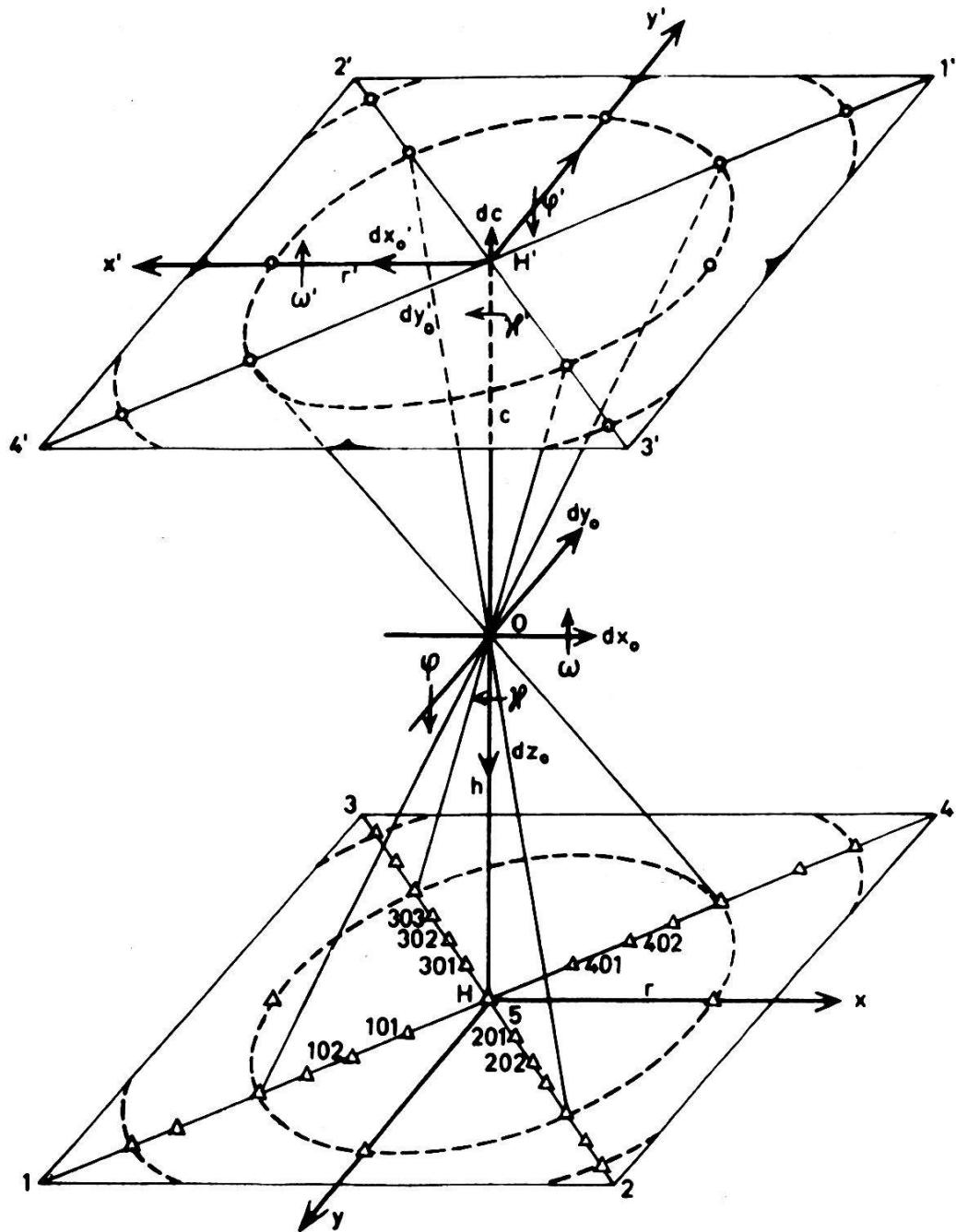
- a) die Abbildung eines Objektes in Zentralprojektion und
- b) die Wiederherstellung der idealen Strahlenbündel der Aufnahmen mit Hilfe der Bildkoordinaten und der Elemente der inneren Orientierung der Bilder.

Die erste grundlegende Voraussetzung für jede photogrammetrische Bearbeitung ist daher die Zentralprojektion und die daraus hervorgehenden projektiven Beziehungen zwischen dreidimensionalen Punkthaufen, ebenen Punktfeldern und Strahlenbündeln. Diese Beziehungen können wie bekannt als lineare, gebrochene Funktionen dargestellt werden, die trigonometrische Ausdrücke enthalten und daher transzendorter Natur sind. Um solche Beziehungen numerisch zu behandeln, sind oft iterative Verfahren notwendig, die umfassende Rechnungen erfordern. Deswegen sind die modernen elektronischen Rechenautomaten gerade hier von entscheidender Bedeutung für die Kalibrierungsverfahren, die auf solche Beziehungen aufgebaut worden sind. Sind Näherungswerte der Orientierungselemente der Zentralprojektionen genügend gut bekannt, so können lineare Differentialformeln für die projektiven Beziehungen verwendet werden, und die Verfahren werden dadurch wesentlich vereinfacht. Bei der Kalibrierung von Nahaufnahmekammern und Auswertegeräten sind im allgemeinen diese Voraussetzungen vorhanden. Es scheint sehr wünschenswert, solche Kalibrierungen numerisch «in einem Guß» nach der Methode der kleinsten Quadrate durchzuführen. Dadurch können die Genauigkeitsverhältnisse der Kalibrierungen eindeutig festgestellt und eventuelle Korrelationen zwischen verschiedenen Parametern entdeckt und berücksichtigt werden.

### *2. Die allgemeinen Voraussetzungen für Kalibrierungen*

Bei jeder Kalibrierung mißt man prinzipiell Elemente, die als gegeben und fehlerfrei anzusehen sind. Bei der Kalibrierung von Kammern und Auswertegeräten werden zweckmäßig bekannte, regelmäßige Punktfelder in der Ebene oder im Raum durch das betreffende System projiziert, und hernach wird die Lage der projizierten Punkte gemessen. Die gemessenen Werte werden mit den entsprechenden gegebenen Daten verglichen, wobei man im allgemeinen auf Widersprüche stößt. Diese Widersprüche werden als indirekt gemessene, regelmäßige und unregelmäßige Fehler des Projektionssystems angesehen. Die Aufgabe liegt zunächst darin, mögliche regelmäßige Fehler in einer Fehlergleichung aufzustellen. Die Fehlergleichung soll also solche Parameter enthalten, die als regelmäßige Fehler der Widersprüche angesehen werden können. Wie immer liegt eine Schwierigkeit darin, richtige Parameter zu finden. Es

gibt mehrere Kriterien, um zu entscheiden, ob die Parameter richtig gewählt worden sind, und vor allem, ob ein neu eingeführter Parameter als signifikant zu betrachten ist. Bei allen Kalibrierungen von Projektions-



*Fig. 1:* Untersuchung der geometrischen Eigenschaften einer Zentralprojektion. Das gegebene Punktfeld  $(x-y)$  wird in das Bild  $(x'-y')$  abgebildet. Durch partielle Kalibrierung können die Elemente der äußeren Orientierung  $(\omega, \varphi, \kappa)$  und die drei Koordinaten des Projektionszentrums  $O$ ), radiale, tangentiale Verzeichnung und Affinität des Bildes mit den zugehörigen Genauigkeiten bestimmt werden. Durch vollständige Kalibrierung sollen auch die Elemente der inneren Orientierung (Lage des Bildhauptpunktes  $H'$  und die Kammerkonstante  $c$ ) bestimmt werden

anordnungen muß man mit wenigstens sechs Parametern rechnen, und zwar sind es diejenigen, die den Elementen der äußeren Orientierung der Strahlenbündel entsprechen (Fig. 1). Eine vollständige Kalibrierung fordert außerdem, daß auch die drei Elemente der inneren Orientierung berücksichtigt werden. Alle Orientierungselemente können Fehler *projektiver Natur* verursachen. Überdies können affine Deformationen der Strahlenbündel vorkommen, was im allgemeinen bedeutet, daß in verschiedenen Richtungen verschiedene Maßstäbe des Bildes auftreten. Auch diese regelmäßigen Fehler sind als projektiv zu betrachten, da ja Affinität eine Art Projektivität ist. Schließlich können *nichtprojektive regelmäßige Fehler* vorkommen, von denen in der Photogrammetrie besonders die radiale Verzeichnung wesentlich ist. Sie kommt in praktisch allen optischen Abbildungssystemen und im allgemeinen auch in mechanischen Projektionssystemen vor, was man wohl nicht erwarten würde. Auch kann sogenannte *tangentielle Verzeichnung*, besonders in optischen Systemen, vorkommen. In gewissen Instrumenten mit mechanischer Projektion, wie zum Beispiel in den Wild-Autographen A 7 und A 8, muß man auch mit den bekannten *Breiten- und Schieffenfehlern* rechnen, die justierbar sind. Es können noch weitere regelmäßige Fehler vorkommen, wie zum Beispiel mangelnde Rechtwinkligkeit der Bildkoordinatensysteme, periodische Spindelfehler der Auswertegeräte usw., die als Parameter in die Fehlergleichungen und Berechnungen einzuführen sind.

Im allgemeinen sind so gute Näherungswerte der Elemente der inneren und äußeren Orientierung und anderer Parameter bekannt, daß lineare Differentialformeln genügen, um die Kalibrierung durchzuführen. Diese Formeln gehören zu den wichtigsten Ausdrücken der Photogrammetrie und werden hier als bekannt vorausgesetzt. Die Differentialformeln werden also zunächst als Fehlergleichungen betrachtet, die, wie schon erwähnt, mit zusätzlichen Gliedern ergänzt werden können. Durch theoretische Erwägungen und praktische Untersuchungen sind weitere für die Kalibrierung zu verwendende Parameter zu bestimmen. Selbstverständlich sind dabei Informationen vom Hersteller der Geräte von größtem Interesse.

## 2.1. Gittermessungen

Für die hier behandelten Kalibrierungen sind Gitternetze auf Glas sehr wesentlich. Die Gitterkoordinaten müssen mit so hoher Genauigkeit bekannt sein, daß sie bei der Kalibrierung als fehlerfrei betrachtet werden können.

Der Stereokomparator Wild Stk 824 im Institut für Photogrammetrie in Stockholm hat eine ausgezeichnete Genauigkeit, die noch nach  $3\frac{1}{2}$  Jahren fast unverändert ist [4]. Das Gerät ist unter anderem für die Bestimmung von Gitterkoordinaten zu Kalibrierungszwecken stark verwendet worden. Die gegebenen Gitterkoordinaten sind auf Grund solcher Messungen mit einem mittleren Fehler von der Größenordnung von  $\pm 1 \mu\text{m}$  behaftet.

### 3. Partielle Kalibrierungen von Projektoren

Ein Glasgitter hoher Genauigkeit wird in einen Projektor genau eingepaßt. Hernach wird die Projektorkonstante gewählt und eingestellt. Alle Winkel der äußeren Orientierung und gegebenenfalls die Basiskomponenten  $by$  und  $bz$  werden nullgestellt. Die  $bx$ -Komponente kann je nach gewünschter Basislage eingestellt werden. In Instrumenten ohne  $by$ - und  $bz$ -Komponenten, wie zum Beispiel Wild A 8, wird die Basis entsprechend dem häufigsten Auswertungsfall eingestellt.

Die projizierten Koordinaten geeigneter Gitterpunkte werden im Gerät bei fester Z-Lage gemessen, oder sie werden auf den Zeichentisch in zum voraus bestimmter Vergrößerung kartiert. Die Koordinaten der kartierten Punkte werden dann in einem gut kalibrierten, rechtwinkligen System zum Beispiel mit einem genauen Koordinatographen gemessen. Jede solche Messung wird mehrere Male wiederholt. Für jeden Punkt wird ein Mittelwert aus den abgelesenen Werten gebildet. Dadurch läßt sich in bekannter Weise die Qualität der Einstellung und Ablesung als eine Standardabweichung einer einzelnen Messung und des Mittelwertes bestimmen. Wie bekannt, kann die Standardabweichung des Mittelwertes durch Wiederholungen und Mittelbildung beliebig klein gemacht werden. Die *Präzision* der Koordinatenmessung kann dadurch ermittelt und eine obere Grenze der Genauigkeit angegeben werden.

Durch zwei vorläufige Translationen werden die beiden Koordinatengruppen auf denselben Punkt, zum Beispiel den Mittelpunkt, bezogen. Dann rechnet man die gemessenen Koordinaten durch eine vorläufige Maßstabtransformation in den Maßstab des Gitters um. Vergleicht man nun die Koordinaten, so erhält man die Koordinatenfehler oder die Widersprüche im Sinne von *gemessen minus gegeben*. Diese Widersprüche werden als lineare Funktionen der regelmäßigen Fehler interpretiert. Man erhält so die *Fehlergleichungen*, die durch einfache Zeichenänderung der Parameter als Korrektionsgleichungen geschrieben werden. Es ist wichtig, daß korrekte Zeichen in die Fehlergleichungen eingeführt werden, um später mechanische Justierungen einzuführen. Im allgemeinen werden bei partiellen Kalibrierungen 8 oder 9 Unbekannte oder Parameter benutzt und bei vollständigen Kalibrierungen 11 oder 12 Parameter.

Man muß über mindestens so viele gemessene Koordinaten oder Widersprüche verfügen, als man Parameter einführt. Doch verwendet man möglichst viele Überbestimmungen, um die Genauigkeitsverhältnisse ermitteln zu können. Um die Überbestimmungen korrekt zu behandeln und das Verfahren zu generalisieren, wird die Methode der kleinsten Quadrate verwendet.

Wenn man im besondern die radiale Verzeichnung bestimmen will, was allgemein sehr wünschenswert ist, und zwar sowohl bei Kammern als auch bei Auswertegeräten, werden die Punktgruppen am besten als kreisförmige Figuren um den Hauptpunkt angelegt und separat behandelt. Die Vergrößerungsunterschiede erlauben dann auf einfache Weise,

eventuelle Verzeichnungserscheinungen zu bestimmen. Aus den Quadratsummen [vv] der übrigbleibenden Fehler können die mittleren Gewichtseinheitsfehler berechnet werden. Eventuelle Variationen der mittleren Gewichtseinheitsfehler mit dem Radius sind immer interessant, da daraus eine mögliche Gewichtsverteilung im Strahlenbündel (Bild) berechnet werden kann. Die Gewichte sind ja umgekehrt proportional zu den Varianzen oder den Quadraten der mittleren Gewichtseinheitsfehler.

Auch die Fehlerfortpflanzung zwischen den grundlegenden Beobachtungen und beliebigen Funktionen kann eindeutig mit Hilfe der speziellen und allgemeinen Fehlerfortpflanzungsgesetze berechnet werden. Wenn dann die Restfehler, aus denen der mittlere Gewichtseinheitsfehler berechnet wurde, genügend normalverteilt sind, können verschiedene aus der Statistik bekannte Teste angesetzt werden, wie zum Beispiel die  $\chi^2$ -, F- und t-Teste. Die Normalverteilung der Restfehler soll deswegen von Zeit zu Zeit ebenfalls getestet werden. Wohl ist gemäß dem zentralen Grenzwertsatz eine solche Verteilung zu erwarten, doch empfehlen sich

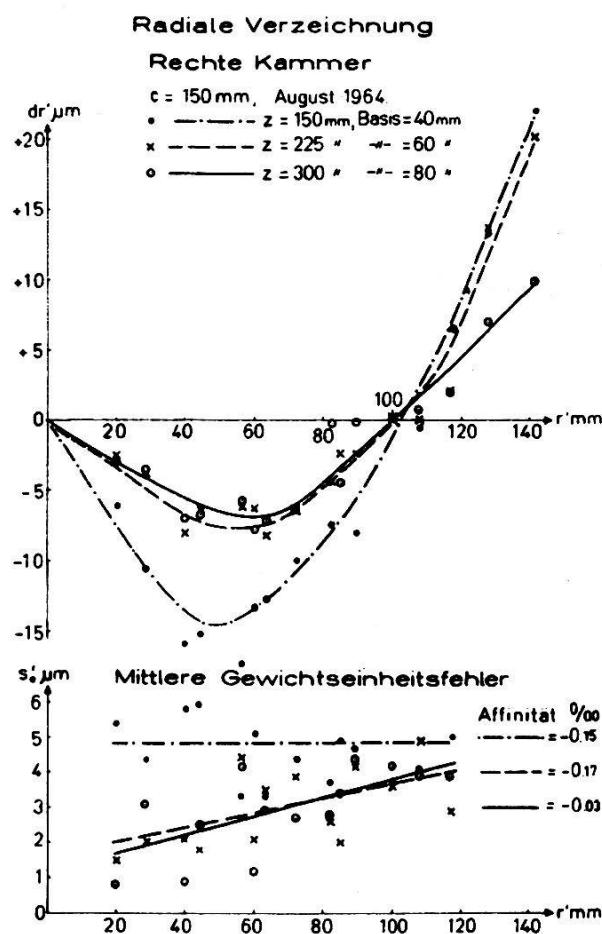


Fig. 2: Resultate von partiellen Kalibrierungen eines Auswertegerätes mit mechanischer Projektion. Die ausgeprägte radiale Verzeichnung variiert mit dem Projektionsabstand. Die mittleren Gewichtseinheitsfehler sind als klein zu bezeichnen. Die linke Kammer zeigte fast genau dieselben Resultate. Das Gerät wurde später umkonstruiert. Alle untersuchten Auswertegeräte mit mechanischer Projektion zeigten eine gewisse radiale Verzeichnung, die wahrscheinlich mit Deformationen zusammenhängt

trotzdem spezielle Untersuchungen. In den Abbildungen 2-4 werden einige Resultate von partiellen Kalibrierungen von Auswertegeräten gezeigt.

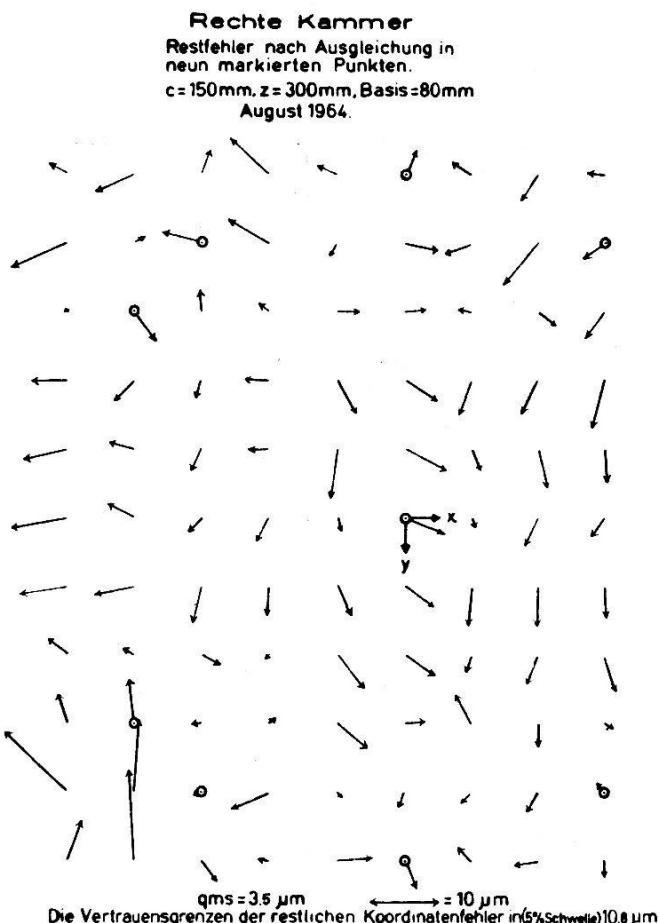


Fig. 3

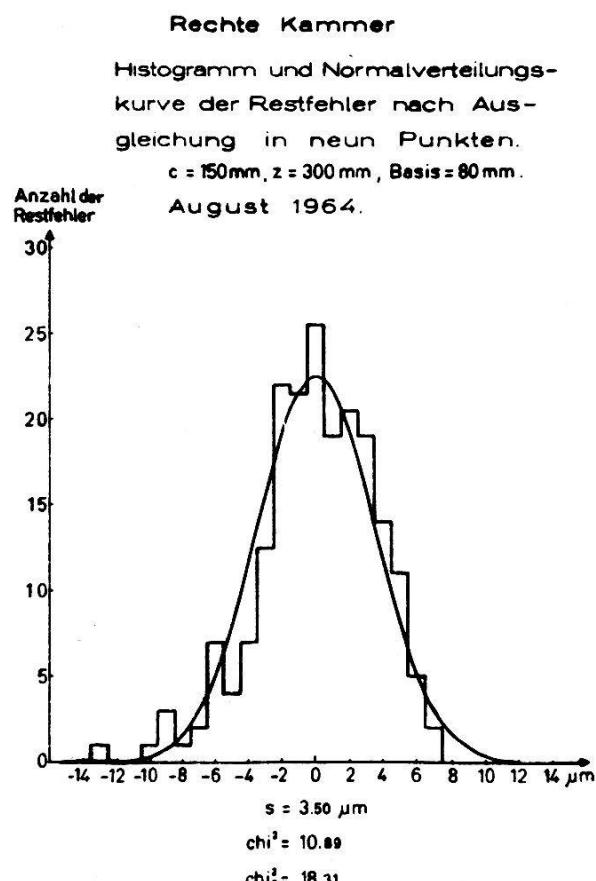


Fig. 4

Fig. 3: Graphische Darstellung der Restfehler der Projektorkoordinaten nach Korrektion der regelmäßigen Fehler. Gewisse Korrelationserscheinungen sind offenbar

Fig. 4: Histogramm und Normalverteilungskurve der Restfehler von Figur 3. Die Hypothese der Normalverteilung kann auf Grund des  $\chi^2$ -Testes akzeptiert werden. Konfidenzschwelle 5%

#### 4. Vollständige Kalibrierungen von Projektoren

Die Messungen werden in drei parallelen Ebenen vorgenommen. Die Abstände zwischen den Ebenen sollen mit hoher Genauigkeit bekannt sein. Ein Absolutabstand vom Projektionszentrum lässt sich wie bekannt eliminieren oder berechnen. Da die Elemente der inneren Orientierung konstant bleiben sollen und die Elemente der äußeren Orientierung mit Ausnahme des Projektionsabstandes konstant sind, können die Korrek-

tionen aller genannten Elemente durch die Ausgleichung bestimmt werden. Eine vollständige Ableitung der Formelsysteme würde hier zu weit führen\*.

Es ist immer zweckmäßig, die Projektionsverhältnisse in den einzelnen Ebenen zunächst durch partielle Kalibrierungen zu prüfen. Dabei werden unter anderem die vorkommenden radialen Verzeichnungsbeträge bestimmt und im Maßstab des Gitters angegeben. Danach kann die vollständige Kalibrierung durch Messungen von ziemlich wenigen Punkten in den drei Ebenen durchgeführt werden. Gemäß einer von *P. Kaasila* vorgeschlagenen Lösung werden in jeder Ebene 9 Punkte gemessen\*. Die Berechnungen erfolgen in Formularen und lassen sich bequem mit elementaren Methoden durchführen. Die Rechnungen sind auch für elektronische Rechenanlagen programmiert worden.

### *5. Kalibrierungen von Nahaufnahmekammern*

Fast genau dieselben Prinzipien, die oben behandelt wurden, können für die Kalibrierungen von Nahaufnahmekammern verwendet werden. Man benutzt genaue ebene Gitternetze von passenden Dimensionen, die mit der betreffenden Kammer aufgenommen werden. Die Bildebene soll parallel zur Gitterebene liegen, und die Kammerachse soll näherungsweise gegen den Mittelpunkt des Gitters gerichtet sein. Die Bildkoordinaten der abgebildeten Punkte werden mit hoher und bekannter Genauigkeit gemessen. Die Berechnungen werden für kreisförmige Kombinationen von Punkten um den Mittelpunkt gemäß den oben behandelten Verfahren durchgeführt. Man erhält die Elemente der äußeren Orientierung des Bildes als Ergebnis der Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Die Maßstabsvariationen werden unmittelbar als radiale Verzeichnungsbeträge erhalten, und die mittleren Gewichtseinheitsfehler zeigen die grundlegende Qualität der Bildkoordinaten. Affine Deformationen können ebenfalls berechnet werden. Auf Grund der Gewichtskoeffizienten und der mittleren Gewichtseinheitsfehler können auf Grund der Fehlerfortpflanzungsgesetze die mittleren Fehler der Elemente der äußeren Orientierung und aller Funktionen von Bildkoordinaten in bekannter Weise berechnet werden. Auch aus diesen Werten können Toleranzen bestimmt werden.

Wird nur ein einzelnes Gitternetz für sich aufgenommen, so ist die Kalibrierung partiell. Durch die Verwendung von drei parallelen Gitternetzen können alle Elemente der inneren und äußeren Orientierung bestimmt werden, und man erhält eine vollständige Kalibrierung. Dreidimensionale Gitternetze können in verschiedener Weise angeordnet werden. Ein einzelnes Gitternetz oder die Kammer können parallel um genau gemessene Beträge verschoben werden, und so werden drei Aufnahmen in demselben Bild gemacht. Die Verschiebungen sollen so gewählt

\* Das Verfahren wird in einem speziellen Aufsatz in dieser Zeitschrift veröffentlicht werden.

werden, daß die drei Bilder mit genügender photographischer Schärfe erhalten werden. Das Kriterium der Schärfe bestimmt die Dimensionen des Objektraumes, die mit der betreffenden Kombination von inneren

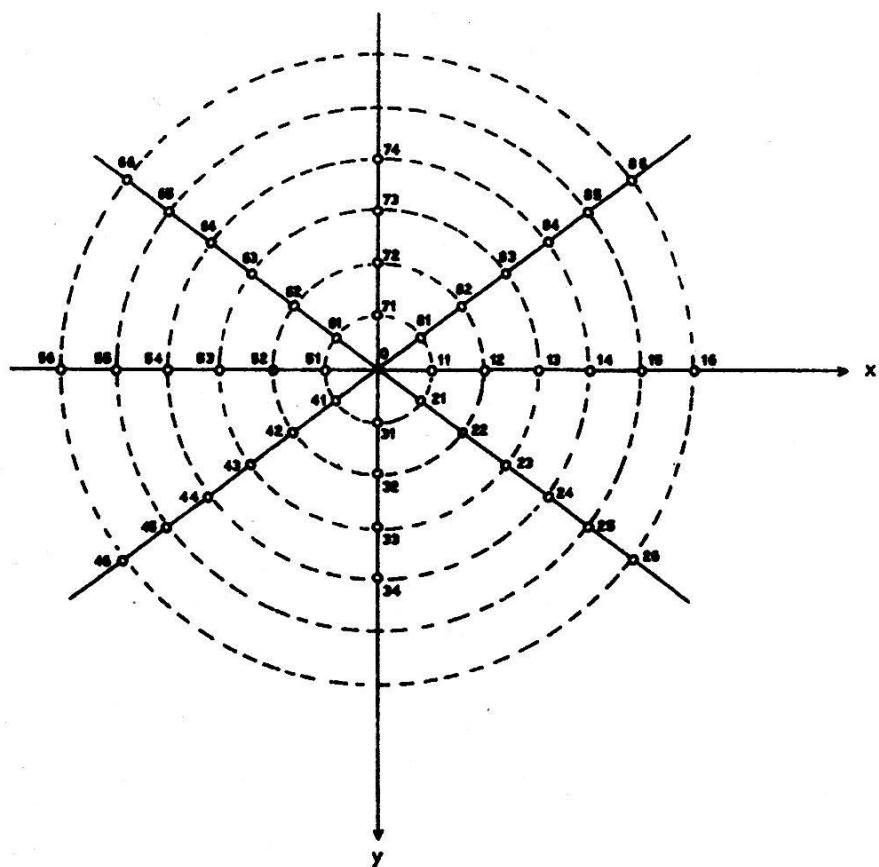


Fig. 5: Probefeld an einer Wand für partielle Kalibrierungen von Nahaufnahmekammern. Die Dimensionen des Feldes sind rund  $5,5 \times 3,5$  m. Die Koordinaten der Punkte sind mit einem mittleren Fehler von 0,1 mm gegeben

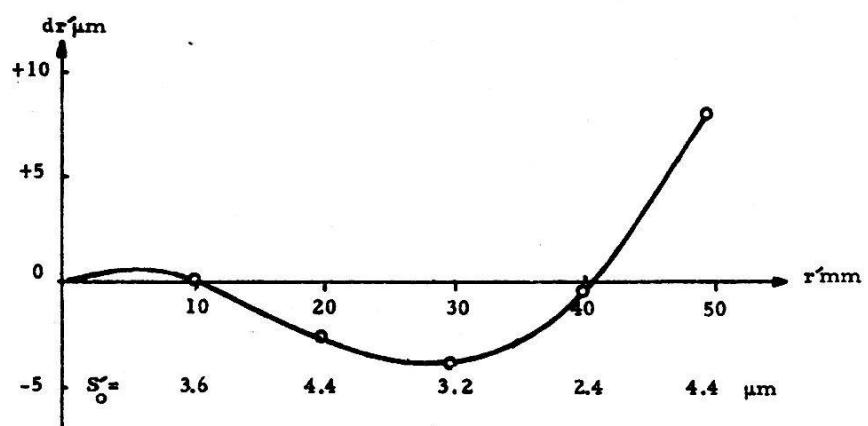


Fig. 6: Radiale Verzeichnung und mittlere Gewichtseinheitsfehler eines Bildes von einer Stereomeßkammer Zeiss SMK 28 113. Linke Kammer, Topogon 1:11, Nr. 97014,  $c = 60,47$  mm. Aufnahmeentfernung 2,8 m

Orientierungselementen aufgenommen werden können. Können die Elemente der inneren Orientierung der Kammer geändert werden (besonders die Kammerkonstante), so ergeben sich mehrere Kombinationen von solchen Elementen. Erfahrungsgemäß können die Verzeichnungsverhältnisse für verschiedene Aufnahmeentfernungen verschieden sein, und es ist immer wünschenswert, die Verzeichnungen separat durch partielle Kalibrierungen festzustellen.

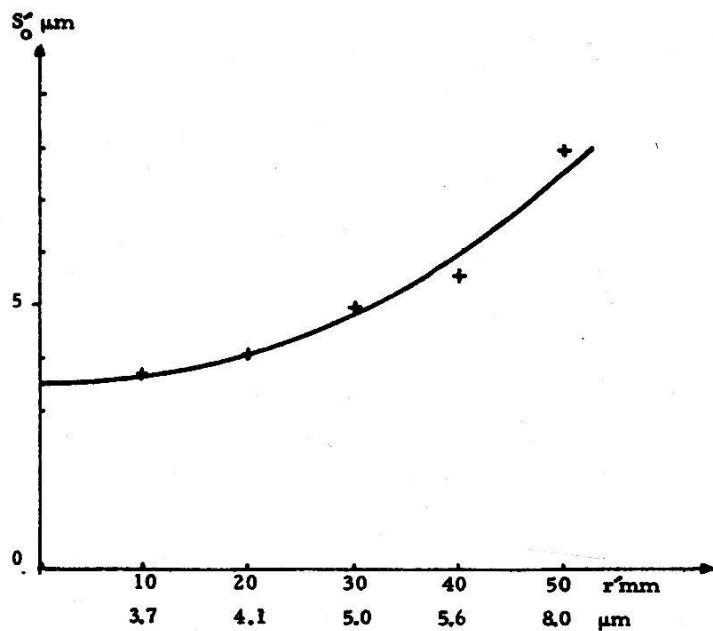


Fig. 7: Zusammenstellung der quadratischen Mittelwerte von mittleren Gewichtseinheitsfehlern der Bildkoordinaten in 5 Nahaufnahmekammern. 7 unabhängige partielle Kalibrierungen. Offenbar ist eine ausgesprochene Gewichtsvariation der Bildkoordinaten mit dem Radius vorhanden. Die Gewichte können als umgekehrt proportional zu den Quadraten der mittleren Gewichtseinheitsfehler berechnet werden

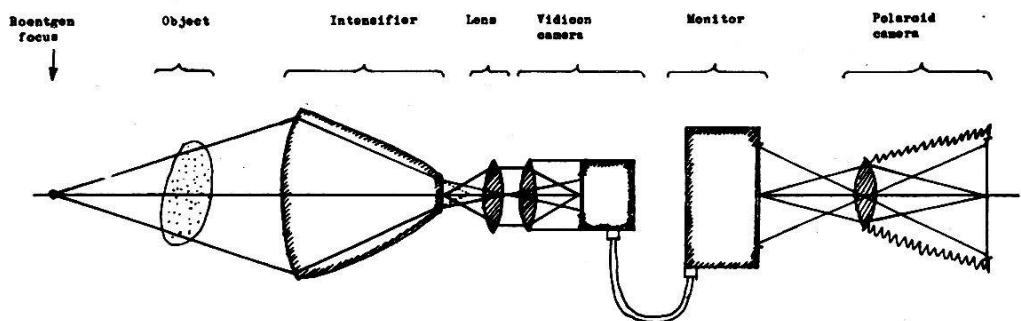


Fig. 8: Abbildungsprinzipien eines Röntgen-Televisionssystems für medizinische Zwecke. Das System ist partiell kalibriert worden. Vgl. Fig. 9

Zahlreiche umfassende partielle Kalibrierungen von verschiedenen Kammern sind durchgeführt worden. In den Abbildungen 6–9 werden einige Resultate gezeigt. Das allgemeine Verfahren der vollständigen Kalibrierung von Nahaufnahmekammern gemäß den hier beschriebenen Verfahren ist von *K. Torlegård* ausgearbeitet worden und wird in einem Aufsatz in dieser Zeitschrift veröffentlicht.

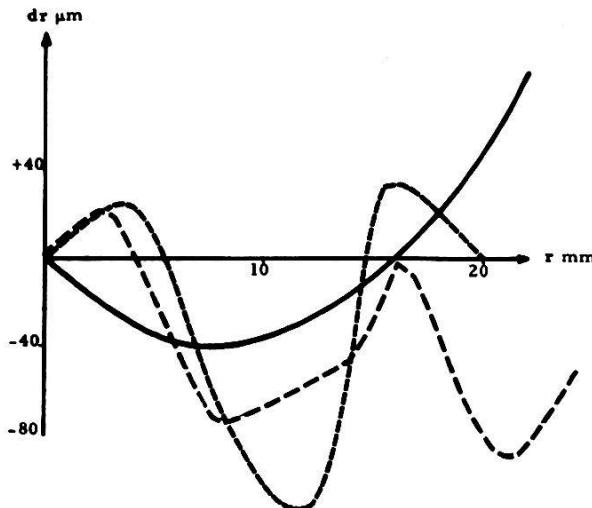


Fig. 9: Radiale Verzeichnung des Systems Abb. 8 (gemäß Torlegård). Voll gezogene Linie: Die Verzeichnung der Polaroidkammer; gestrichelt: Polaroid + Vidicon + Monitor; dicht gestrichelt: die Verzeichnung des ganzen Systems

#### Literatur

- [1] *Hallert, B.*: A New Method for the Determination of the Distortion and the Inner Orientation of Cameras and Projectors. *Photogrammetria* 1954–1955:3.
- [2] *Hallert, B.*: Einige Sätze und Verfahren der mathematischen Statistik von besonderer Bedeutung in der Vermessungstechnik. *Zeitschrift für Vermessungswesen* 1964:5.
- [3] *Hallert, B.*: Tolerances of Photogrammetric Instruments and Methods. *Int. Archiv für Photogrammetrie, Komm. II*, Lissabon 1964.
- [4] *Hallert B.*: Bestimmung der Präzision und Genauigkeit eines Stereokomparators. *Schweiz. Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie*. 1963:9.