

LE V SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE  
PHOTOGRAMMÉTRIE APPLIQUÉE À L'ARCHITECTURE  
ET À LA CONSERVATION

du 9 au 12 octobre 1978  
à l' Hôtel Solaris à Šibenik (Yougoslavie)

Presented Paper:

Paßpunktbestimmung an Fassaden  
durch Bündelblockausgleichung mit Bildern  
von Stereomeßkammern

von

B. Wrobel und E. Kruck  
Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen  
Universität Hannover  
Bundesrepublik Deutschland

Paßpunktbestimmung an Fassaden  
durch Bündelblockausgleichung mit Bildern  
von Stereomeßkammern

von

B. Wrobel und E. Kruck

Zusammenfassung:

Gebäudefassaden in mittelalterlichen Städten mit engen Straßen können oft nicht mit einer Stereoaufnahme erfaßt werden. Bei der Anordnung von mehreren Modellen horizontal oder vertikal sind aufwendige geodätische Paßpunktbestimmungen zur Orientierung dieser Modelle erforderlich. Dies gilt insbesondere, wenn eine Ermittlung von Profilen erfolgen soll. Um den geodätischen Messungsaufwand zu reduzieren, werden die Informationen, die aus der Benutzung von Stereomeßkammern entstehen, voll ausgeschöpft. Die Gleichungen für die Bündellösung sind um die Informationen aus der instrumentellen Verknüpfung je zweier Aufnahmen erweitert. An einem konkreten Fall aus der Stadt Hameln werden Probleme und Genauigkeitseigenschaften untersucht.

Die ersten Ergebnisse zeigen bei stark reduzierter Paßpunktanzahl noch eine gute Stabilität des Netzes.

Point Determination on Building-facades  
Using Bundle Adjustment And Stereometric Cameras

Abstract:

Building-facades in historic towns, which usually have narrow streets, cannot easily be covered by one stereomodel. Blocks of more models require the establishment of more control points which can be a time consuming operation. The above consideration is particularly true when restitution of profiles is required. In order to reduce the number of necessary ground control points the inherent characteristics of stereocameras are used: The instrumental conditions of the stereocameras are imposed in the bundle adjustment.

A practical projekt was carried out in the city of Hameln to test the method used and to investigate its accuracy characteristics. The first results indicate that good net stability can still be obtained with very little ground information.

## 1. Die Stadtbilduntersuchung für die Stadt Hameln unter Beteiligung der Photogrammetrie

In der Nähe von Hannover liegt im Tal des Flusses Weser eine nicht sehr große, aber dafür um so reizvollere Stadt mit einem mittelalterlichen Stadtkern. Sie ist als Stadt in Deutschland recht gut bekannt, etwa als Touristenziel, doch berühmt ist der Ort eigentlich durch die mit ihr untrennbar verknüpfte Sage des "Rattenfängers von Hameln". Das Thema der Sage, textlich aufgezeichnet von den Brüdern Grimm, taucht immer wieder in den deutschen Schul-Lesebüchern auf, aber auch, wie ich hörte, in manchen Sprachbüchern des Auslandes. Dies liegt sicherlich daran, daß die Sage einzigartig ist und zahlreiche Deutungen zuläßt mit interessanten Bezügen zu den "Führungs- und Verführungskünsten" in unserer jüngsten Geschichte bis zur Gegenwart /5/.

Die Altstadt von Hameln ist gut erhalten geblieben trotz der Kriege in der Vergangenheit. Man findet eine Vielzahl von Fachwerkbauten aus den verschiedensten Epochen, auch Steinbauten des Mittelalters und eine Reihe von sehr schönen Exemplaren der sog. Weser-Renaissance.

Was die Kriege oder der Zahn der Zeit kaum zu zerstören vermochten, geriet vor etwa 20 - 25 Jahren plötzlich unter einen sehr starken und meist einseitig kommerziell ausgerichteten Modernisierungsdruck, der die gesamte Altstadt zu entstellen drohte. Die Stadt Hameln begann dem entgegenzuarbeiten, zunächst unzureichend unter zu enger Anwendung des Begriffes Altstadtsanierung, inhaltlich beschränkt und auch örtlich nur auf Teile der Altstadt, vor allem rechtlich nicht ausreichend abgesichert durch eine Gestaltungssatzung. Auf diese Weise konnte etwa der Abriß einiger wertvoller Gebäude nicht verhindert werden.

Die in letzter Zeit allgemein in Europa eingesetzte stärkere Hinwendung zu den Denkmälern und Bauten der Vergangenheit und ihre volle Bejahung schaffte auch in Hameln eine Änderung in der Behandlung der Altstadtprobleme. Sie wird heute auf wesentlich breiterer Basis im konzeptionellen und räumlichen Sinne angesetzt und läßt sich durch die Begriffe der Stadtentwicklung, aufbauend auf einer umfassenden und gründlichen Stadtbildanalyse charakterisieren.

Die Aufgaben und Ziele der Stadtbildanalyse beinhalten in etwa die folgenden Gesichtspunkte: Sie soll die Altstadt ganzheitlich als ein diffe-

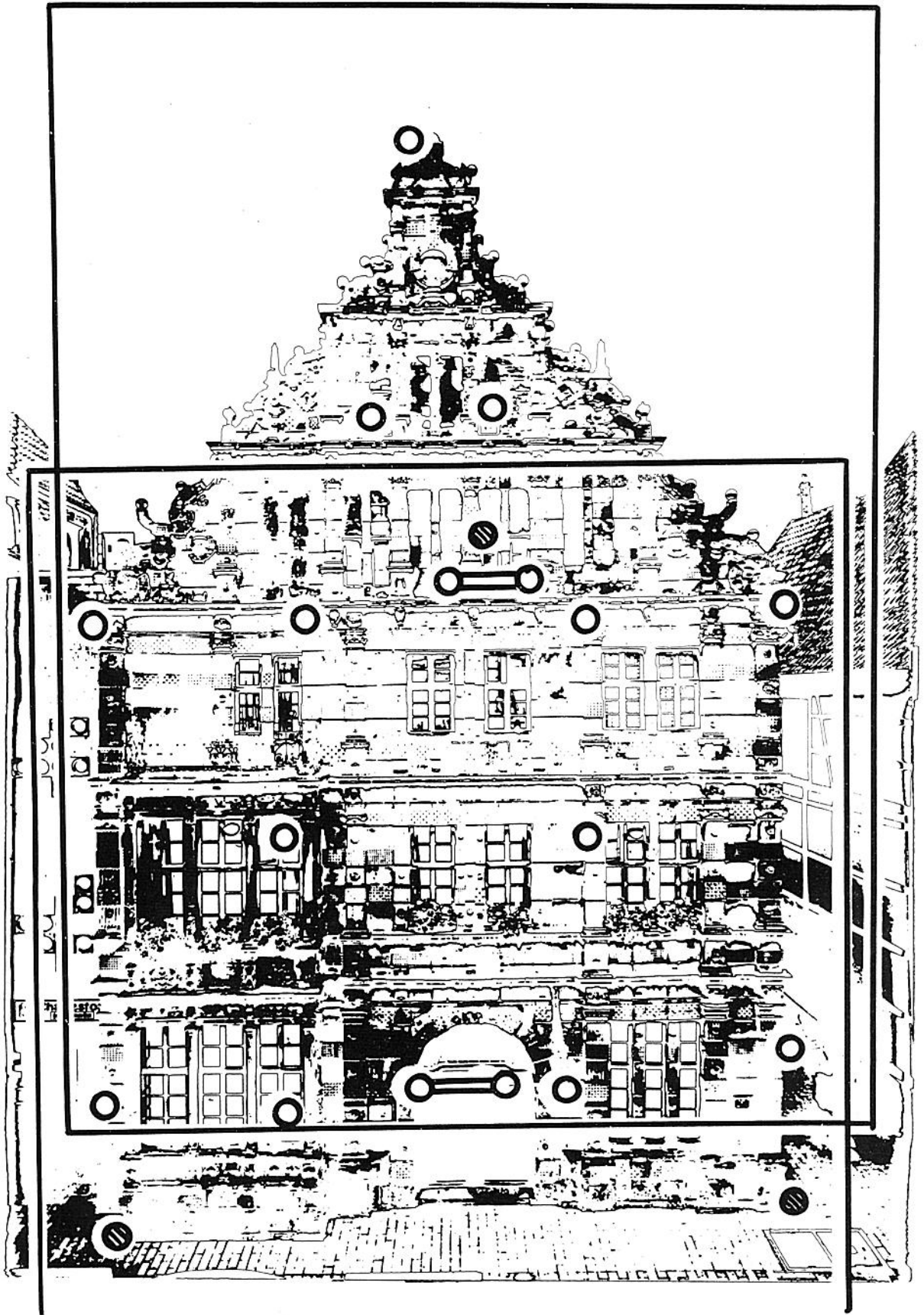
renziertes Ensemble begreifen, die städtebaulich-planerischen Entwicklungsmöglichkeiten analysieren und aufzeigen nach Erfassung und Berücksichtigung von Informationen und Daten über die kunstgeschichtliche, die bauliche, wirtschaftliche, verkehrliche, soziogeographische Substanz der Stadt. Man ist heute der Auffassung, nur bei angemessener Berücksichtigung möglichst aller Interessen kann eine erneuernde Erhaltung des Stadtbildes von allen Bürgern getragen und damit langfristig gesichert werden.

Das Ergebnis der Stadtbildanalyse soll als ein konkretes Hauptziel in den Entwurf einer Gestaltungssatzung münden, mit z. Teil nur sehr engem Spielraum für Veränderungen an den Bauten der Altstadt. Die Stadt gibt sich damit das rechtliche Fundament, mit dem das angestrebte Stadtbild faktisch gesichert und eine sinnvolle Entwicklung in der Zukunft durchgesetzt werden kann.

Die Erarbeitung der Stadtbildanalyse wurde von der Stadt Hameln an drei Institute der Universität Hannover als eine gemeinsame Aufgabe übertragen: das Institut für Bau- und Kunstgeschichte, das Institut für Städtebau, Wohnungswesen und Landesplanung sowie das Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen. Von der Thematik und der Art der Zusammenarbeit gesehen handelt es sich hier um eine Tätigkeit ganz im Sinne der CIPA-Ziele. Die Arbeiten haben gerade erst begonnen. Über konkrete Ergebnisse, vor allem aus der Sicht des Architekten und Bauhistorikers kann z. Zt. noch nichts Definitives ausgesagt werden. Ich bin überzeugt, dies könnten interessante Beiträge für das nächste CIPA-Symposium werden. Hier und heute soll ein rein photogrammetrisches Problem angesprochen werden.

## 2. Ein einheitliches Aufnahme- und Punktbestimmungsverfahren für Entzerrungen und Stereokartierungen

Von der Photogrammetrie erwartet man in diesem Projekt u. a. geometrisch exakte Aussagen über die Dachlandschaft, die Straßenräume und vor allem über die vorhandenen Fassaden. Da das ganze Projekt unter sehr starkem Kostendruck steht, mußten in der Regel Entzerrungen als Darstellungsweise für Fassaden gewählt werden und nur, wenn es die Objektgliederung nicht anders zuließ, auch Stereokartierungen. Man hätte sie in allen Fällen eindeutig vorgezogen, wenn es finanziell möglich gewesen wäre. Wir haben nun ein einheitliches Aufnahmeverfahren für die beiden Auswerteverfahren festgelegt wegen Verfahrensvorteilen und wegen der vollständigeren Dokumentation für evtl. künftige Auswertungen /1/.



*Fig. 1* Verteilung der Punkte und  
Anordnung der Modelle

Die Aufnahme-prozedur basiert in den meisten Fällen auf den Stereomeßkammern ZEISS SMK 40 und SMK 120. Bei breiten Straßen gibt es dabei keine Probleme, wohl aber in den sehr engen Gassen von 5 - 9 Metern Breite mit Objekten von 15 - 20 Meter Höhe. Man benötigt dann pro Auswertobjekt mehrere Modelle in vertikaler und horizontaler Folge. Aus Kostengründen mußte eine aufwendige Paßpunktbestimmung unterbleiben. Wir versuchten daher die Informationen, die durch die starre und sehr genau bekannte Verbindung der zwei Einzelkammern in der Stereomeßeinrichtung gegeben sind, voll auszuschöpfen /6/, /7/. Wir verfolgen dabei das Ziel, mit ganz wenigen, am Objekt selbst gemessenen Strecken oder Punkten auszukommen. Nach Möglichkeit sollen alle für die graphischen Auswertarbeiten erforderlichen Punkte und Einstell-daten /2/ allein aus den Bildern der Stereomeßkammern mit Hilfe eines Computerprogramms abgeleitet werden.

Für den Zusammenschluß der einzelnen Bilder zu einem Bildverband bietet sich eine Bündelblockausgleichung an. Dazu werden geeignete Verknüpfungspunkte in den Bildern ausgewählt. Die absolute Orientierung des Bildverbandes kann durch die Bestimmung von Paßpunkten erfolgen. Dieses Verfahren verlangt jedoch eine flächenhafte Verteilung der Paßpunkte, so daß auch hoch oben am Gebäude Punkte bestimmt werden müssen (Fig. 1). Die Messungen können mit erheblichem Aufwand verbunden sein.

Durch den Einsatz von Stereomeßkammern besteht zwischen der äußeren Orientierung je zweier Aufnahmen ein fester Zusammenhang, der sich durch Bedingungsgleichungen beschreiben läßt /7/. Hiermit erhält man den Maßstab und es ergibt sich ein stabilerer Zusammenhalt der Strahlenbündel als sonst bei Bündelausgleichungen. Weiter lassen sich durch eine Aufnahme am Boden mit horizontierter Basis zusätzliche Informationen gewinnen, die eine weitere Versteifung des Strahlenbündels bewirken.

Erste Versuche mit einem neu entwickelten Ausgleichungsprogramm zeigen, daß bei Berücksichtigung der genannten Zusatzinformationen die Forderung nach einer flächenhaften Verteilung der Paßpunkte aufgegeben werden kann. Die Bestimmung von Paßpunkten hoch oben am Gebäude kann damit entfallen.

### 3. Mathematisches Modell der Bündelausgleichung mit Bildern von Stereomeßkammern

Grundlage für die Formulierung des mathematischen Modells bilden die in Figur 2 dargestellten Koordinatensysteme und Anordnungen der Drehachsen

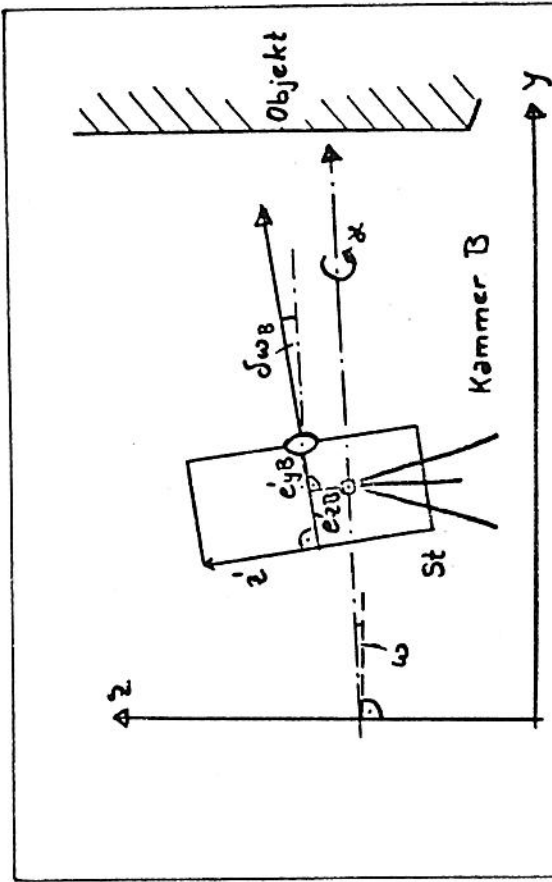


Fig. 2.2 Seitenriß

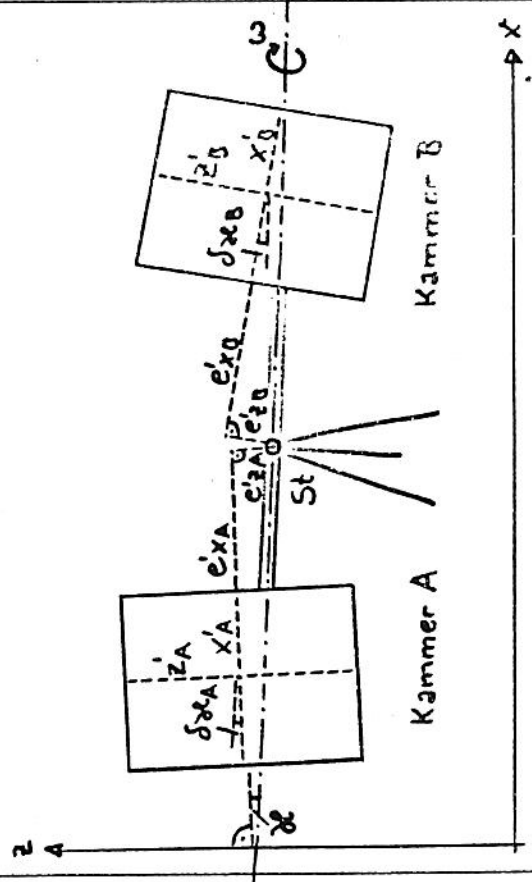


Fig. 2.3 Aufriß

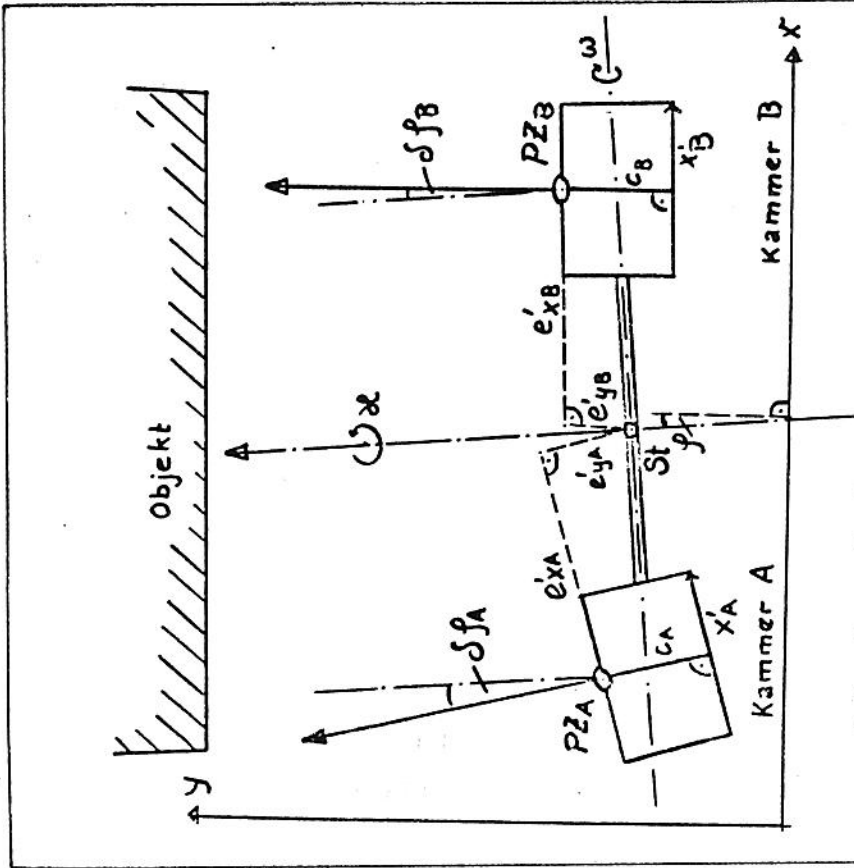


Fig. 2.1 Grundriß

Fig. 2 Verbindung zwischen Objektraum und Bildraum

sowie die Exzentrizitäten zwischen Projektionszentren und Standpunkt einschließlich Justierfehler der Kammern.

Alle vorhandenen Informationen (Messungen und Bedingungen) werden in einem gemeinsamen Ausgleichungsprozeß verarbeitet.

### 3.1 Unbekannte

In der Modellmatrix treten drei Gruppen von Unbekannten auf (Fig. 3.1 und 3.2):

3.1.1 Unbekannte der äußeren Orientierung  $\underline{x}_{pZ}$  u.  $\underline{\varphi}$ .

3.1.2 Kammerbezogene Unbekannte  $\underline{e}'$  und  $\underline{\sigma}$ .

Die inneren Orientierungen der Kammern sind hier zunächst nicht als Unbekannte eingeführt. Die gemessenen Bildkoordinaten werden aufgrund der bekannten Kalibrierungsdaten der Kammern korrigiert.

3.1.3 Koordinaten  $\underline{x}$  der Objektpunkte (Paß- und Verknüpfungspunkte).

Nach Einführung von Näherungswerten erhält man für die nachfolgenden Linearisierungen die Gleichungen (1) bis (4).

### 3.2 Verbesserungsgleichungen

Die Modellmatrix kann bis zu 7 Gruppen von Verbesserungsgleichungen enthalten. Die Auswahl dieser Gruppen wird durch Eingabeparameter gesteuert. Dadurch ist auf einfache Art eine Variation der Modellmatrix möglich.

Im folgenden werden die mathematischen Gleichungen für die einzelnen Gruppen von Informationen gegeben.

3.2.1 Gleichungen für Bildkoordinaten.

Gleichung (5) stellt den bekannten allgemeinen Ansatz für gemessene Bildkoordinaten dar. Bezüglich der Ausgestaltung und Auflösung der Kollinearitätsgleichungen darf auf die Fachliteratur verwiesen werden /3/, /4/.

3.2.2 Koordinaten der Paßpunkte.

Die Gleichung (6) wird durch Einsetzen der Näherungswerte (4) umgeformt in (7). Das Programm ist so gestaltet, daß der Vektor  $\underline{x}_{gem} = (x_{gem}, y_{gem}, z_{gem})^T$  nicht voll besetzt sein muß; es sind alle Kombinationen möglich.

3.2.3 Koordinatenunterschiede.

Auch hier entsteht die endgültige Form (9) durch Einsetzen der Näherungswerte (4) in Gleichung (8). Wie bereits bei den Paßpunkten



Fig. 3 Mathematisches Modell der Bündelausgleichung

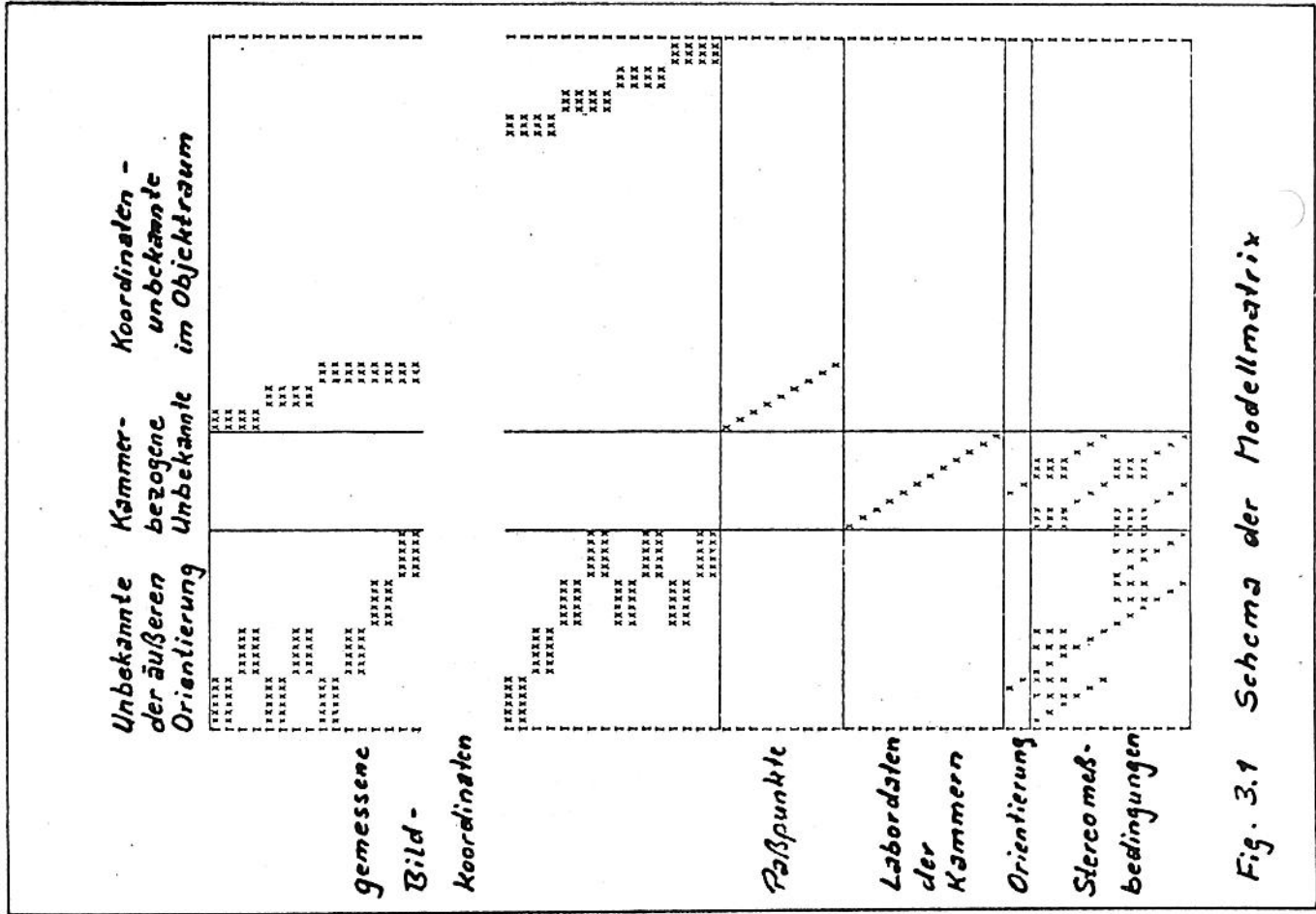


Fig. 3.1 Schema der Modellmatrix

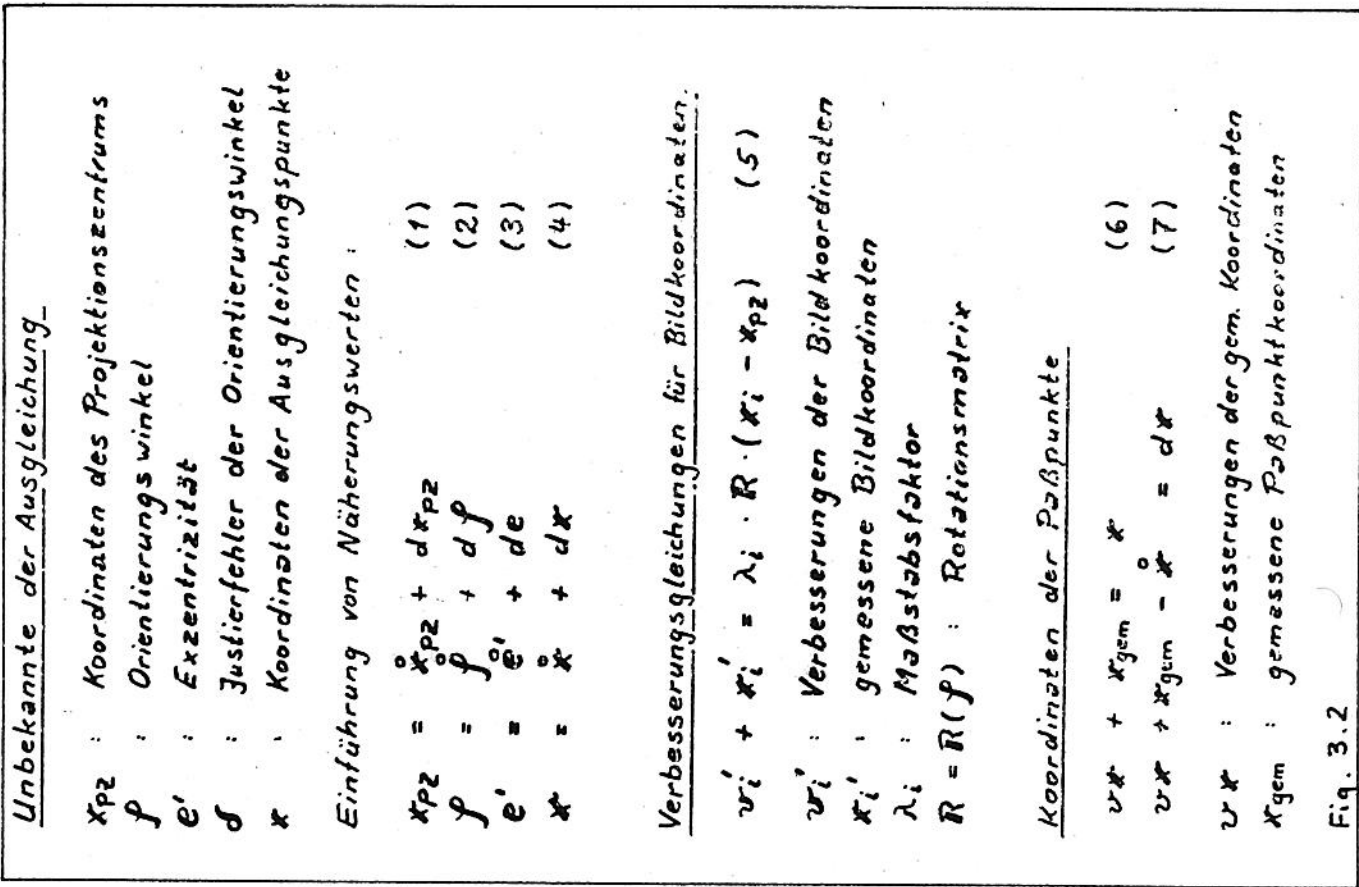


Fig. 3.2

darf der Vektor  $\Delta x_{-ik}$  gem teilweise oder vollständig besetzt sein.

#### 3.2.4 Strecken.

Zur Festigung oder Kontrolle des Maßstabes kann die Berücksichtigung räumlicher Strecken sehr wirksam sein. (12) gibt die Verbesserungsgleichung in linearisierter Form an.

#### 3.2.5 Labordaten der Kammern.

Die genaue Kenntnis der Exzentrizitäten (14) und der Justierfehler der Aufnahmerichtungen (15) ist notwendig, damit durch Stereomeßbedingungen oder gemessene Orientierungen keine Verbiegungen des Modells hervorgerufen werden. Da der Vektor  $\underline{f} = (\delta p, \delta \omega, \delta x)^T$  nur sehr kleine Winkel enthält, kann hier auf die Einführung von Näherungswerten verzichtet werden.

#### 3.2.6 Orientierung auf dem Standpunkt.

Die Gleichungen (16) und (17) stellen eine Verbindung vom Bild- zum Objektraum her. Zur Herleitung der Formeln dient Figur 2. Auch hier können in den Vektoren  $\underline{x}_{St}$  und  $\underline{f}_{St}$  einzelne Elemente fehlen. Die Linearisierung der Gleichung (17) erfolgt durch Einsetzen der Näherungswerte für die einzelnen Unbekannten und Anwenden der Gleichung (18) für die Rotationsmatrix.  $dR$  ist darin eine Matrix mit sehr kleinen Drehungen, in die anstelle der Winkelfunktionen  $\sin$  und  $\cos$  die Winkel selbst bzw. die Werte Eins eingesetzt werden können. Nach dem Ausmultiplizieren werden Glieder 2. Ordnung gestrichen. (20) und (21) zeigen die endgültige Form der Verbesserungsgleichungen.

#### 3.2.7 Stereomeßbedingungen.

Der durch die Konstruktion feste Zusammenhang von Projektionszentren und Aufnahmerichtungen bei Stereomeßkammern erlaubt die Formulierung zweier Bedingungsgleichungen (22) und (23), die unmittelbar aus (16) und (17) hergeleitet werden können.

Ein mathematisch exaktes Modell müßte nun zu Bedingungsgleichungen mit Unbekannten führen; diese wären aber im Ausgleichsprogramm schlecht zu handhaben. Formuliert man die Bedingungsgleichungen als Verbesserungsgleichungen und führt für diese ein hohes Gewicht ein, so sind in der praktischen Anwendung keine anderen Ergebnisse zu erwarten. Daher ist hier dieser Ansatz gewählt.

Die Entwicklung der endgültigen Gleichungen (24) und (25) erfolgt analog zu der in Kapitel 3.2.6 beschriebenen.

Fig. 3 Mathematisches Modell der Bündelausgleichung

Koordinatenunterschiede

$$v_{\Delta X} + \Delta X_{gem} = X_k - X_i \quad (8)$$

$$v_{\Delta X} + \Delta X_{gem} - \dot{X}_k + \dot{X}_i = dX_k - dX_i \quad (9)$$

$v_{\Delta X}$  : Verbesserung für  $\Delta X_{gem}$

$\Delta X_{gem}$  : gemessener Koord.unterschied von  $i$  nach  $k$

Strecken

$$(v_S + S_{gem})^2 = (X_k - X_i)^2 + (Y_k - Y_i)^2 + (Z_k - Z_i)^2 \quad (10)$$

$$(v_S + S_{gem})^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2 \quad (11)$$

$$v_S + S_{gem} - \dot{S} = \frac{\Delta X}{S} \cdot dX_k - \frac{\Delta X}{S} \cdot dX_i + \frac{\Delta Y}{S} \cdot dY_k - \frac{\Delta Y}{S} \cdot dY_i + \frac{\Delta Z}{S} \cdot dZ_k - \frac{\Delta Z}{S} \cdot dZ_i \quad (12)$$

$v_S$  : Verbesserung für  $S_{gem}$

$S_{gem}$  : gemessene Strecke von  $i$  nach  $k$

$\dot{S}$  : aus Näherungskoord. gerechnete Strecke

Labordaten der Kammern

$$v_{e'} + e'_{gem} = e' \quad (13)$$

$$v_{e'} + e'_{gem} - \dot{e}' = de' \quad (14)$$

$$v_{\delta} + \delta_{gem} = \delta \quad (15)$$

$v_{e'}$  : Verbesserungen für  $e'_{gem}$

$v_{\delta}$  : Verbesserungen für  $\delta_{gem}$

$e'_{gem}$  : gemessene Exzentrizität

$\delta_{gem}$  : gemessene Winkeljustierfehler

Fig. 3.3

Orientierung auf dem Standpunkt

$$v_{X_{St}} + X_{St} = X_{Pz,A} + R_A^T \cdot e'_A = X_{Pz,B} + R_B^T \cdot e'_B \quad (16)$$

$$v_{f_{St}} + f_{St} = f_A + \delta_A = f_B + \delta_B \quad (17)$$

$v_{X_{St}}$  : Verbesserungen für  $X_{St}$

$v_{f_{St}}$  : Verbesserungen für  $f_{St}$

$X_{St}$  : gemessene Standpunktskoord.

$f_{St}$  : auf dem St. gemessene Orientierungsw.

$$R = \dot{R} \cdot (E + dR) \quad (18)$$

$$\dot{R}^T \cdot dR^T \cdot \dot{e}' \Rightarrow S \cdot d\beta \quad (19)$$

$$v_{X_{St}} + X_{St} - \dot{X}_{Pz,A} - \dot{R}_A^T \cdot \dot{e}'_A = dX_{Pz,A} + \delta_A \cdot d\beta_A + \dot{R}_A^T \cdot de'_A \quad (20)$$

$$v_{f_{St}} + f_{St} - \dot{f}_A = df_A + \delta_A \quad (21)$$

Stereomeßbedingungen

$$X_{Pz,A} + R_A^T \cdot e'_A = X_{Pz,B} + R_B^T \cdot e'_B \quad (22)$$

$$f_A + \delta_A = f_B + \delta_B \quad (23)$$

$$v_{b_1} - \dot{X}_{Pz,A} + \dot{X}_{Pz,B} - \dot{R}_A^T \cdot \dot{e}'_A + \dot{R}_B^T \cdot \dot{e}'_B = dX_{Pz,A} - dX_{Pz,B} + \dot{R}_A^T \cdot de'_A - \dot{R}_B^T \cdot de'_B + \delta_A \cdot d\beta_A - \delta_B \cdot d\beta_B \quad (24)$$

$$v_{b_2} - \dot{f}_A + \dot{f}_B = df_A - df_B + \delta_A - \delta_B \quad (25)$$

$v_{b_1}$   
 $v_{b_2}$  } Pseudoverbesserungen

Fig. 3.4

#### 4. Testergebnisse der Bündelausgleichung am Beispiel des Rattenfängerhauses in Hameln

Zu dem beschriebenen mathematischen Modell wurde ein Programm in Fortran IV für die CDC-CYBER 76-12 des Regionalen Rechenzentrums Niedersachsen entwickelt. Die Lösung des Gleichungssystems erfolgt dabei durch eine vollständige Inversion. Als Testobjekt diente das historische Rattenfängerhaus in Hameln mit seiner kunstvoll strukturierten Sandsteinfassade aus der Weser-Renaissance (1603).

Zugunsten einer hohen Wirtschaftlichkeit wurde auf eine Signalisierung verzichtet. Für diese Untersuchungen sind 2 Stereoaufnahmen ausgewählt: eine am Boden mit horizontierter Basis ( $\omega = \alpha = 0$ ) und eine aus dem Tragekorb eines Hubwagens aus einer Höhe von 12 Metern. Die Verknüpfung der Modelle geschieht durch 11 Punkte an der Fassade (Figur 1).

Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Umfang der Informationen und die Konfiguration der Modellmatrix sowie über die aktuellen Gewichtsparameter. Durch Variation der Modellmatrix soll nun die Wirksamkeit der gemessenen Orientierungswinkel  $\omega$  und  $\alpha$  und der Stereomeßbedingungen untersucht werden.

Zur Beurteilung der numerischen Auswertung werden folgende Daten herangezogen:

1. Der mittlere Gewichtseinheitsfehler  $m_0$  und die mittleren Koordinatenfehler der Objektpunkte.
2. Die Koordinaten der Objektpunkte im Vergleich untereinander.

Im folgenden werden drei Fälle dargestellt:

1. Klassischer Ansatz nur mit gemessenen Bildkoordinaten (5) und drei Paßpunkten (7).

Zusätzlich (aus rein programmtechnischen Gründen) die Labordaten für die Kammern (14), (15).

2. wie 1. jedoch zusätzlich mit gemessenen Orientierungswinkeln  $\omega$ ,  $\alpha$  (21) und Stereomeßbedingungen (24), (25).

Dieser Ansatz enthält damit die gesamte zur Verfügung stehende Informationsmenge. Das Ergebnis dieser Ausgleichung darf hier als optimal angesehen werden und gilt damit als Sollwert für den Vergleich der Koordinaten der Objektpunkte. Anders als bei Ansatz 1 kommen hier die gemessenen Labordaten der Kammern voll zur Wirkung.

Tab. 1.1 Konfiguration der Modellmatrix

Kammer	SMK 120	
Bildmaßstab	1:200 - 1:250	
Querüberdeckung	~ 60%	
<b>Anzahl der Unbekannten</b>		
Unbek. der äußeren Orient.		24
Kammerbezogene Unbek.		12
Koord. unbek. im Objektraum		48
insgesamt:		<u>84</u>

<b>Anzahl der Gleichungen für</b>		
Bildkoordinaten	:	92
Paßpunktkoordinaten	:	5 → 9
Labordaten der Kammer	:	12
Orientierungswinkel	:	0 → 2
Stereomeßbedingungen	:	0 → 12
insgesamt:	:	<u>113 → 127</u>

Tab. 1.2 Mittlere Fehler a priori für

Bildkoordinaten	$m_{x'} = m_{z'} = 15 \mu\text{m}$
Paßpunktkoordinaten	$m_x = m_y = m_z = 10 \text{ mm}$
Labordaten der Kammer	$\begin{cases} m_{\alpha'} = m_{\beta'} = m_{\gamma'} = 0,1 \text{ mm} \\ m_{\omega} = m_{\omega'} = m_{\phi} = 1 \text{ mgon} \end{cases}$
Orientierungswinkel	$m_{\omega} = m_{\alpha} = 1 \text{ mgon}$
Stereomeßbedingungen	$1/10$ der m.f. für Labordaten

Bildkoordinaten erhalten Gewicht 4

Fig. 4 Mittlere Koordinatenfehler bei Variation der Modellmatrix

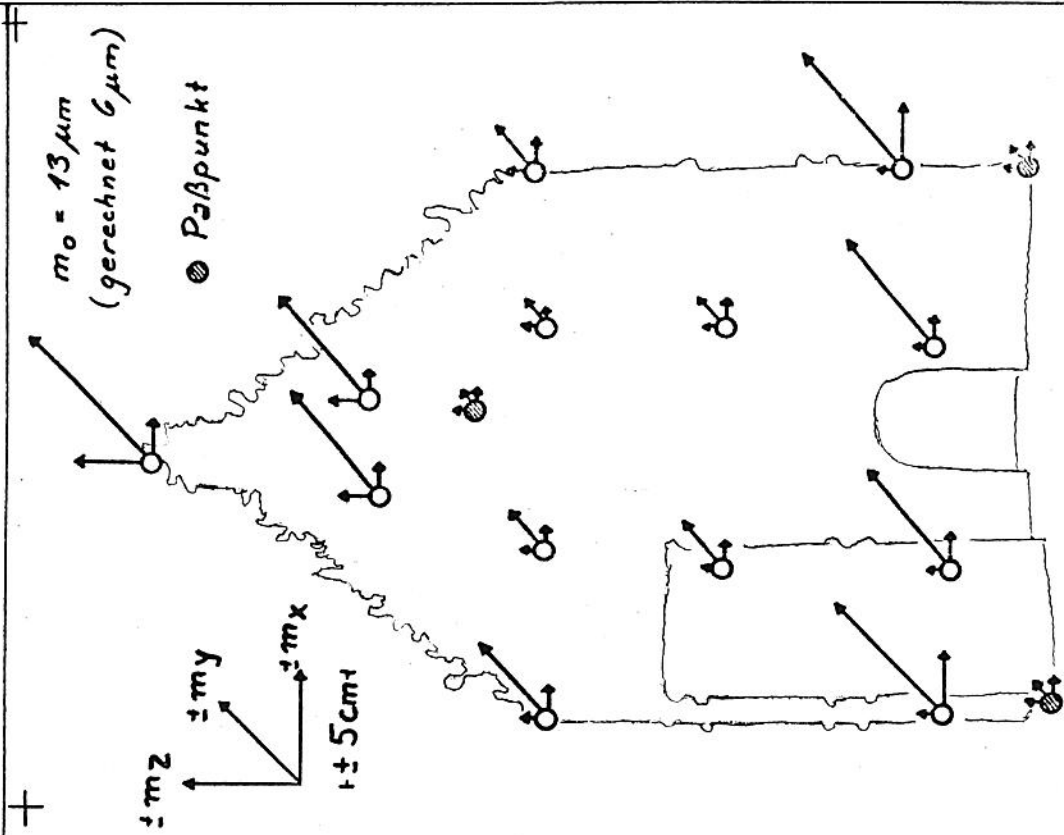


Fig. 4.1 3 Vollpaßpunkte, ohne Stereomeßbedingung, ohne gemessene Orientierung

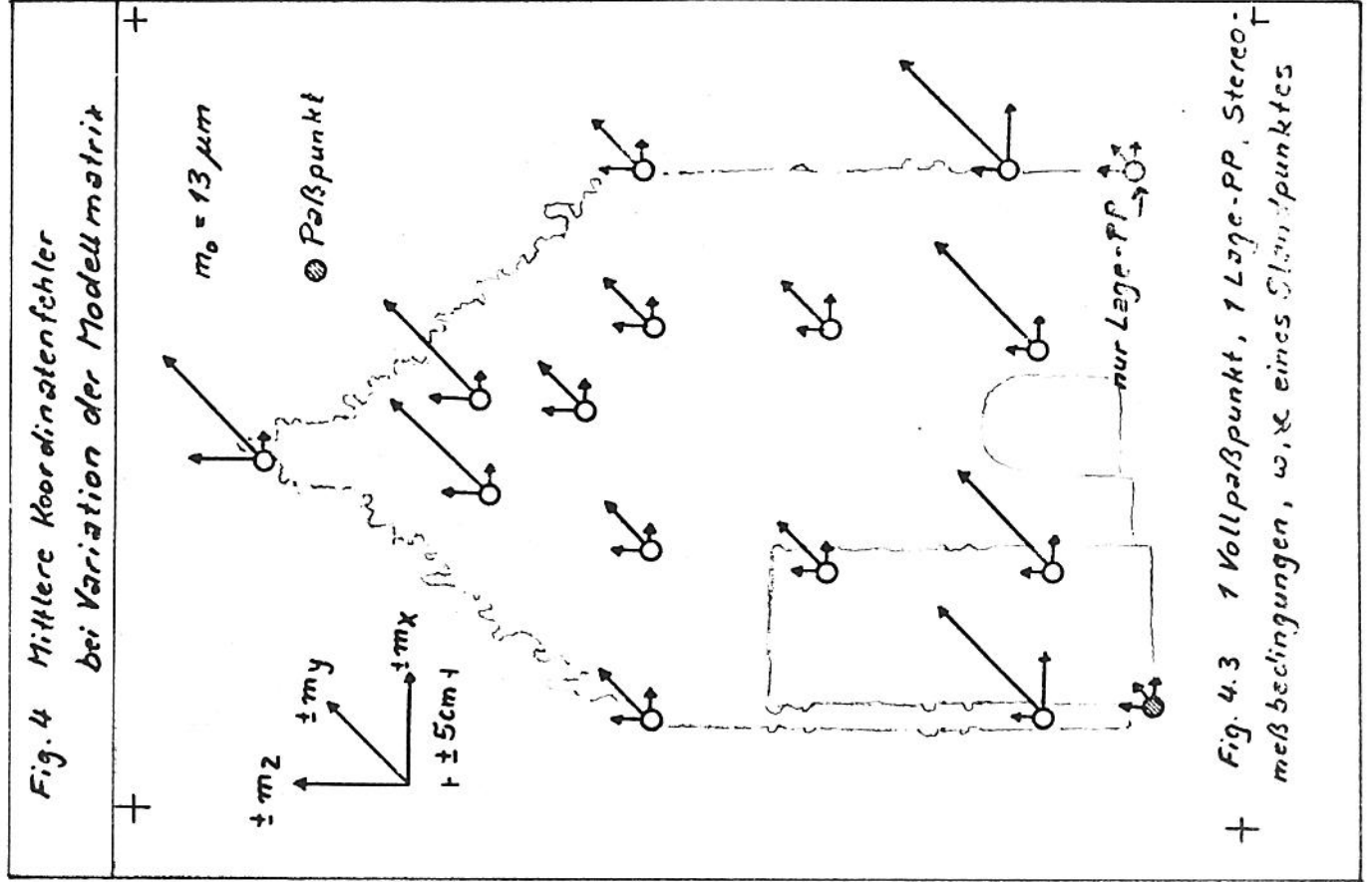
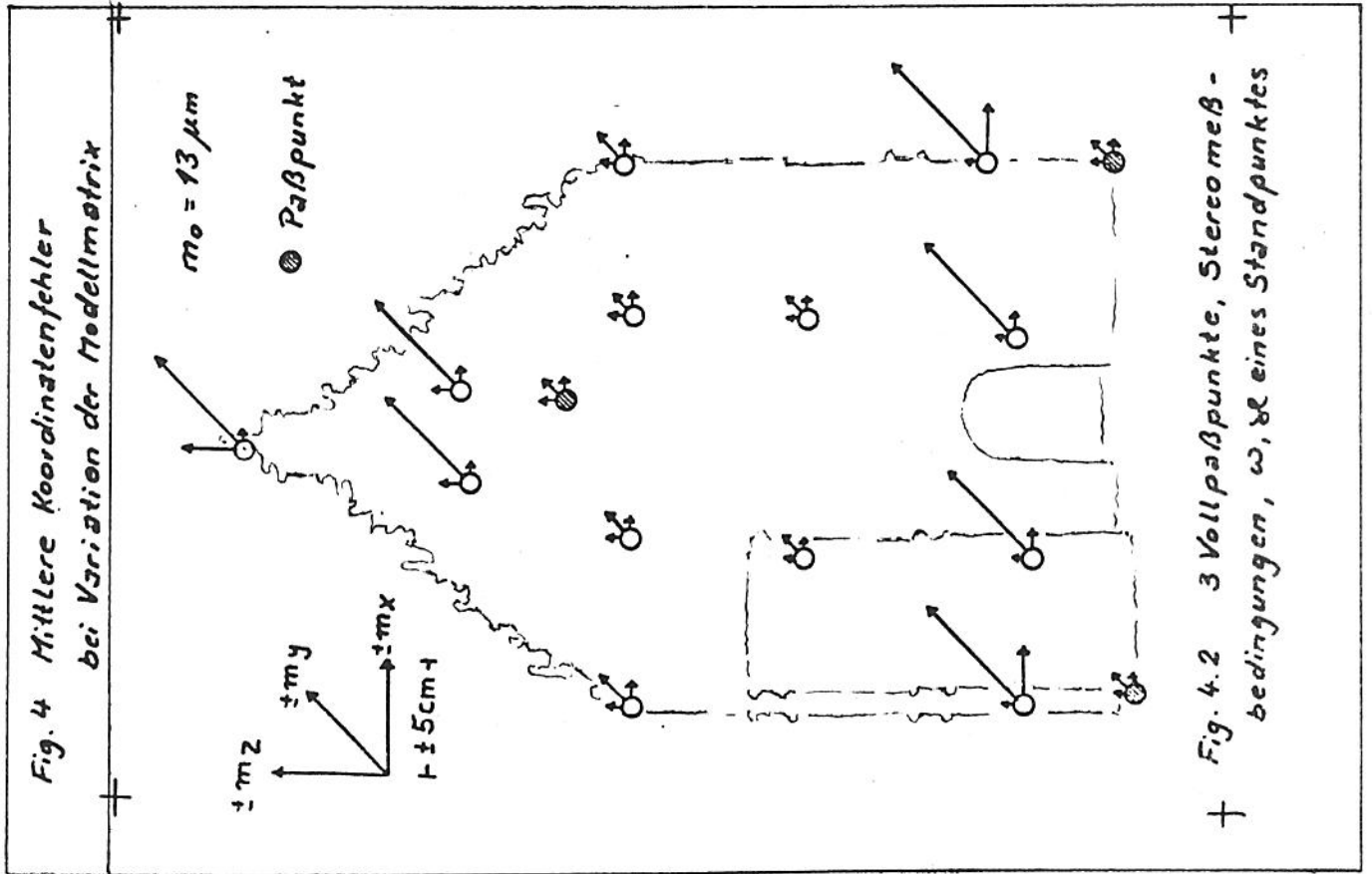


Fig. 5 Koordinatendifferenzen bei Variation der Modellmatrix bezogen auf Fig. 4.2

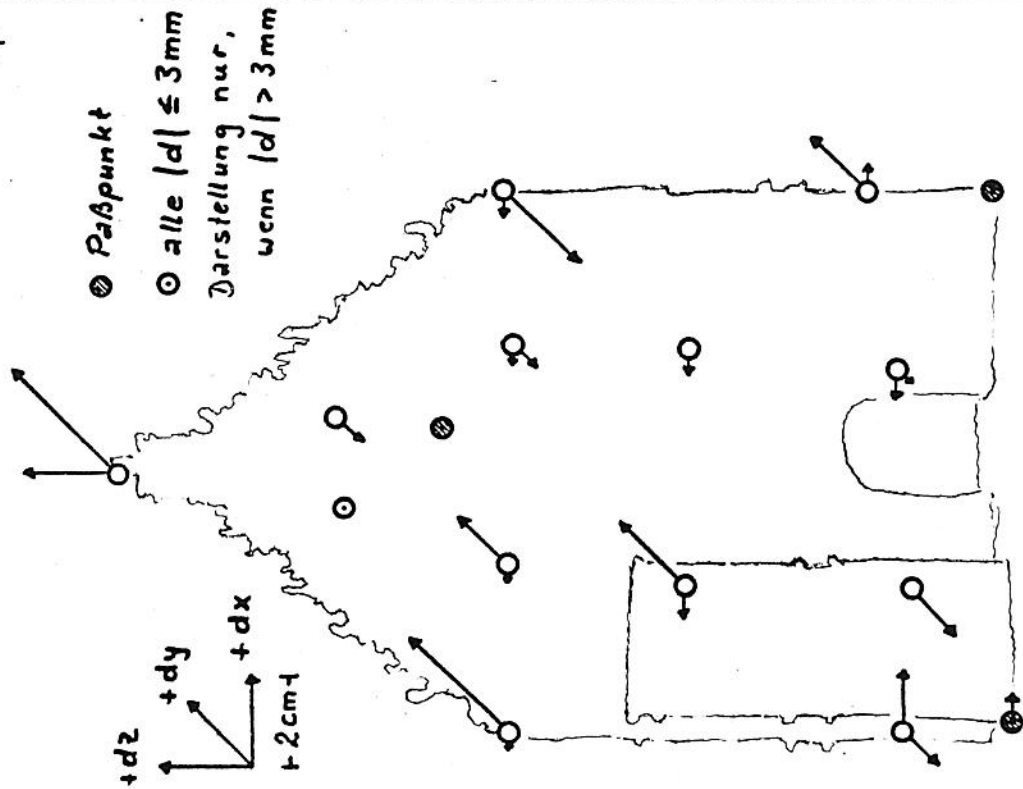


Fig. 5.1 Für Fig. 4.1

Fig. 5 Koordinatendifferenzen bei Variation der Modellmatrix bezogen auf Fig. 4.2

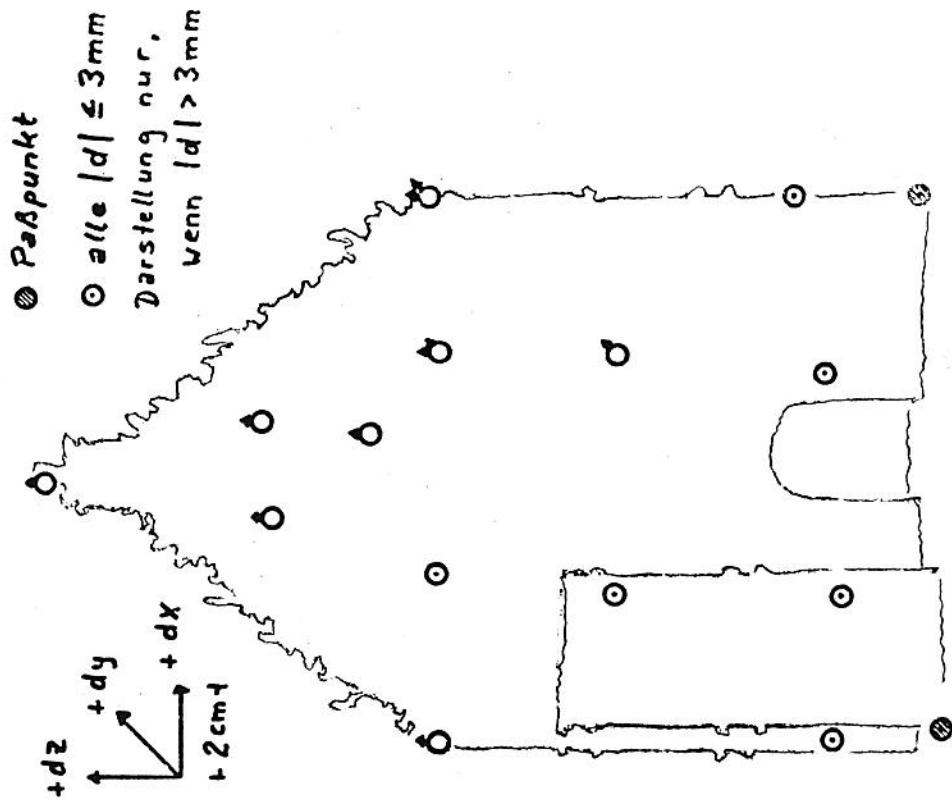


Fig. 5.2 Für Fig. 4.3

3. wie 2. jedoch mit nur einem Vollpaßpunkt und einem Lagepaßpunkt.

Dieser Ansatz soll die Wirkung der gemessenen Orientierung auf den gesamten Bildverband in Verbindung mit den Stereomeßbedingungen zeigen.

Die Ergebnisse der drei verschiedenen Ansätze sind in Figur 4 und 5 zusammengestellt. Der mittlere Gewichtseinheitsfehler  $m_0$  hat sich bei den Ansätzen 2 und 3 gegenüber dem Ansatz 1 verdoppelt. Es ist offensichtlich, daß  $m_0$  realistischer geworden ist, da die Ansprechgenauigkeit der Fassadenpunkte wesentlich schlechter als  $\pm 6 \mu\text{m}$  in der Bildebene ist. Um einen Vergleich der Ergebnisse zu ermöglichen, sind alle Fehlervektoren in Figur 4 auf einen einheitlichen, realistischen Wert von  $m_0 = \pm 13 \mu\text{m}$  bezogen worden; dem Wert entspricht eine Unsicherheit am Objekt von  $\pm 2 \text{ mm}$  bis  $\pm 3 \text{ mm}$ , je nach Bildmaßstab.

Ein Vergleich der Figuren 5.1 und 5.2 zeigt:

Die Stabilität des Netzes leidet durch die Wegnahme der Stereomeßbedingungen und Orientierungswinkel erheblich stärker, als durch die Reduzierung der Paßpunkte.

Insgesamt darf also der Schluß gezogen werden, daß durch Einführung der Stereomeßbedingungen und Orientierungswinkel  $\omega$  und  $\alpha$  auf nur einen Standpunkt bei reduzierter Paßpunktanzahl eine Stabilisierung des Netzes und eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit erreicht wurde.

## 5. Literatur

- /1/ FORAMITTI, H.: Der Wert moderner photogrammetrischer Kulturgüterarchive. CIPA-Symp. Bonn, 1976, ersch. in: Landeskonservator Rheinland, Architektur-Photogrammetrie I, Köln 1976
- /2/ KUPFER, G./MAUELSHAGEN, L./WESTER-EBBINGHAUS, W.: Verfahren zur photogrammetrischen Bestandsaufnahme, dargestellt an ausgewählten Beispielen. CIPA-Symp. Bonn 1976, ersch. in: Landeskonservator Rheinland, Architektur-Photogrammetrie III, Köln 1977
- /3/ SCHUHR, P.: Analytische Auswertung terrestrischer Aufnahmen mit Hilfe von vertikalen und horizontalen Objektmaßstäben. Diss. Wiss. Arb. der Lehrst. f. Geod., Phot., und Kart. an der Uni Hannover Nr. 73, Hannover 1976
- /4/ SCHWIDEFSKY, K./ACKERMANN, F.: Photogrammetrie, 6. Aufl., Stuttgart 1976



- /5/ SPANUTH, H.: Baudenkmäler und historische Stätten in Hameln. Ein Führer durch die Rattenfängerstadt. 5. Aufl., Hameln 1976
- /6/ WROBEL, B.: Photogrammetrische Bestandsaufnahme des Klosters Walkenried im Harz. CIPA-Symp. Bonn 1976, ersch. in: Landeskonservator Rheinland, Architektur-Photogrammetrie II, Köln 1976
- /7/ WROBEL, B./ELLENBECK, H. K.: Terrestrisch-photogrammetrische Punktbestimmung durch Simultanausgleichung gemessener Orientierungsdaten und Bildkoordinaten in der Bündelblockausgleichung. Present. Paper Kongreß der Internat. Gesellschaft f. Photogrammetrie, Helsinki 1976