

Diplomarbeit

Untersuchungen zur kombinierten Ausgleichung geodätischer und
photogrammetrischer Beobachtungen

Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie
Prof. Dr.-Ing. Jörg Albertz

John-Marco Schumann
Soldiner Str. 37
13359 Berlin
Matr.Nr.: 144877
21.04.2000

	Aufgabenstellung	1
1.	Einleitung	2
1.1	Problemstellung	2
1.2	Motivation	3
1.3	Lösungsansatz	3
2.	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Koordinatensystem	4
2.2	Geodätische Beobachtungen	5
2.3	Photogrammetrische Beobachtungen	6
2.4	Ausgleichung	8
2.4.1	Beobachtungsgleichungen und Unbekannte	9
2.4.2	Partielle Ableitungen	10
2.4.2.1	Richtungsbeobachtungen	11
2.4.2.2	Streckenbeobachtungen	11
2.4.2.3	Zenitdistanzbeobachtungen	12
2.4.2.4	Nivellementsbeobachtungen	12
2.4.2.5	Bildkoordinatenbeobachtungen	13
2.4.3	Funktionales Modell	14
2.4.4	Stochastisches Modell	15
2.4.5	Näherungswerte	17
2.4.5.1	Näherungswerte der Koordinaten und Richtungsorientierung aus geodätischen Berechnungen	17
2.4.5.2	Näherungswerte der äußeren Orientierung eines Bildes	17
2.4.5.3	Näherungswerte der Neupunkte aus Bildkoordinaten	18
2.4.6	Aufstellung und Berechnung der Ausgleichung	20
2.5	Freie Netzausgleichung	22
2.6	Zusätzliche Bedingungen	25
2.6.1	Koordinatendifferenzen	26
2.6.2	Gerade im Raum	26
2.6.3	Ebene im Raum	27
2.6.4	Orthogonalität zweier Geraden	27
2.6.5	Gewichtung der Beobachtungen	28
3.	Technische Realisierung in dem Computerprogramm VERTECH	29
3.1	Allgemeiner Programmaufbau / historische Entwicklung	29
3.1.1	Benutzerführung	29
3.1.2	Modul Netzausgleichung	30
3.2	Dateien	30
3.2.1	Eingabedateien	31
3.2.2	Ausgabedateien	32
3.2.3	Projektdatei	32
3.3	Datenfluß / Funktionsweise	33
3.3.1	Koordinatensystem definieren	33
3.3.2	Definition und Eingabe der Feldbücher / Eingabedateien	33

3.3.3	Näherungswerte aus geodätischen Messungen	35
3.3.4	Netzausgleichung	35
3.3.5	Anzeige der Ergebnisse	36
3.3.6	Programmende	37
3.4	Flußdiagramm Modul Netzausgleichung	37
3.4.1	Diagrammbeschreibung	37
3.4.2	Übersichtsdiagramm	38
3.4.3	Flußdiagramm	39
4.	Praktische Anwendung am Beispielprojekt "Brandenburg"	44
4.1	Projektbeschreibung	44
4.2	Meßaufbau / Geometrie	45
4.2.1	Geodätische Beobachtungen	45
4.2.2	Photogrammetrische Beobachtungen	46
4.2.3	Kombinierte Beobachtungen	49
4.3	Auswertung	49
4.3.1	Auswertung geodätische Beobachtungen: 3D - Netzausgleichung	50
4.3.2	Auswertung photogrammetrische Beobachtungen: Bündelblockausgleichung	51
4.3.3	Ergebnisvergleich	51
4.4	Vergleich der kombinierten Ausgleichung zur getrennten Ausgleichung	52
4.4.1	Tabellarischer Vergleich	52
4.4.2	Zusammenfassung	54
5.	Zusammenfassung	55
5.1	Inhalt	55
5.2	Bewertung der kombinierten Ausgleichung	56
5.2.1	Vorteile	56
5.2.2	Nachteile	57
5.3	Anwendungsbereiche	57
5.4	Zukünftige Entwicklung	58
6.	Quellenverzeichnis	59
Anhang		
1	Datensätze des Projektes "Brandenburg"	60
A1	Koordinatenverzeichnisse VERTECH	60
A1.1	Näherungskordinaten aus geodätischen Messungen	60
A1.2	Ausgegliche Koordinaten nach der 3D - Netzausgleichung	60
A1.3	Ausgegliche Koordinaten nach der Bündelblockausgleichung	60
A1.4	Ausgegliche Koordinaten nach der kombinierten Ausgleichung	61
A2	Eingabedateien	61
A2.1	Geodätische Beobachtungen, polare Meßelemente	61
A2.2	Photogrammetrische Beobachtungen, Bildkoordinatenmessung	62
A2.3	Eingabedatei des Programms BETAN/NEPTAN	63
A2.4	Eingabedateien des Programms PICTRAN	65
A3	Ergebnisdateien	66
A3.1	Ergebnisdatei: BETAN/NEPTAN	67
A3.2	Ergebnisdatei: PICTRAN	76
A3.3	Ergebnisdateien: VERTECH	86

A3.3.1	3D - Netzausgleichung "brbter.erg"	86
A3.3.2	Bündelblockausgleichung "brbpho.erg"	87
A3.3.3	Kombinierte Ausgleichung "brbkombi.erg"	89
2	Handbuch zum Programm VERTECH	92
	Inhaltsverzeichnis Handbuch VERTECH	93
		Seite Handbuch
H1.	Startmenü: VerTech	1
H1.1	Menü: Anwendungen der niederen Geodäsie	2
H1.1.1	Menü: 2D / 3D Polaraufnahme	3
H1.1.2	Menü: Freie Stationierung	3
H1.1.3	Menü: Neupunktbestimmung mit FFG	4
H1.1.4	Menü: Vollsatzauswertung	5
H1.1.5	Menü: Polygon / Fläche bestimmen	5
H1.1.6	Menü: Netzausgleichung	6
H1.2	Menü: Photogrammetrie	7
H1.3	Menü: Koordinatentransformationen	8
H1.4	Programmteil: Zusatzberechnungen	9
H1.5	Programmteil: Matrizenrechnung / Ausgleichung	10
H1.5.1	Menü: Matrizenmultiplikation [A*B]	11
H1.5.2	Menü: Inverse [A-1]	11
H1.5.3	Menü: Vermittelnde Ausgleichung	12
H1.6	Menü: Dateiverwaltung	13
H1.6.1	Programmteil: Dateikonvertierungen	14
H2.	Dateibeschreibungen	
H2.1	Dateityp: Projektdatei ".koo"	15
H2.2	Dateityp: Polaraufnahme ".pol"	16
H2.3	Dateityp: Polygonzug ".pgn"	17
H2.4	Dateityp: Nivellementsleifen ".niv"	18
H2.5	Dateityp: Vollsatzmessung ".fri"	19
H2.6	Dateityp: Bildkoordinaten / Orientierungsdatei ".ori"	20
H2.7	Dateityp: Richtungsdatei ".ric"	21
H2.8	Dateityp: Liniendatei ".lin"	22
H2.9	Dateityp: Steuerungsdatei Netzausgleichung ".web"	22
H2.10	Dateityp: Matrizendatei ".mat"	23

Eidesstattliche Erklärung

Die selbständige und eigenhändige Ausfertigung dieser Arbeit versichere ich an Eides statt.

John-Marco Schumann, Berlin, 21. April 2000

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J-M Schumann', written in a cursive style.

Aufgabenstellung zur Diplomarbeit für Herrn JOHN SCHUMANN, Matr.-Nr. 144 877

**Untersuchungen zur kombinierten Ausgleichung
geodätischer und photogrammetrischer Beobachtungen**

Bei vielen photogrammetrischen Projekten dienen geodätische Messungen zur Schaffung eines Bezugssystems. Meist werden die geodätischen Beobachtungen zuerst einer eigenständigen Netzausgleichung unterworfen. Anschließend werden die so berechneten Paßpunkte zur Orientierung der Bilder und eventuell zur Kalibrierung der Kameras in eine Bündelblockausgleichung eingeführt. Theoretisch sind jedoch bei einer kombinierten Ausgleichung Vorteile zu erwarten. Dem stehen praktische Probleme, etwa beim stochastischen Modell, gegenüber.

In Rahmen der Diplomarbeit sollen zunächst die erforderlichen Fehlergleichungen für die möglichen Beobachtungen zusammengestellt werden. Es sind dies neben den unbekannten Orientierungsdaten und Punktkoordinaten vor allem Bildkoordinaten, aber auch Horizontal- und Schrägstrecken, Zenit- und Horizontalwinkel sowie Koordinatendifferenzen. Danach ist ein Programm zur kombinierten Ausgleichung geodätischer und photogrammetrischer Beobachtungen zu implementieren. Das Programm ist zu konzipieren, zu realisieren und zu testen. Programmkonzept und Datenfluß sind detailliert zu erläutern.

Im Rahmen praktischer Untersuchungen sind an Hand eines kleinen, überschaubaren Experimentes die Ergebnisse einer sequentiellen Ausgleichung denen einer kombinierten Ausgleichung gegenüberzustellen. Dabei sind folgende Berechnungen zu betrachten:

- Geodätische Netzausgleichung mit einem kommerziellen Netzausgleichungsprogramm (z.B. Betan/Neptan)
- Geodätische Netzausgleichung mit dem erstellten Programm
- Bündelblockausgleichung mit einem kommerziellen Bündelblockausgleichungsprogramm (z.B. Pictran oder BLUH)
- Bündelblockausgleichung mit dem erstellten Programm
- Kombinierte Ausgleichung mit dem erstellten Programm

Die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Vorgehensweisen und ihrer Ergebnisse sind zu bewerten und zu erläutern.


(Prof. Dr.-Ing. J. ALBERTZ)

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Bei einer photogrammetrischen Aufnahme und der darauf folgenden Auswertung muß als erstes bestimmt werden, in welchem Bezug sich die Aufnahmen befinden. Die Bilder müssen in einem vorher bestehenden Koordinatensystem orientiert werden, um aussagefähige Ergebnisse zu ermöglichen. Das setzt natürlich die Existenz eines Bezugskoordinatensystems voraus. Je nach Anwendungsfall sind die Bilder in ein Landeskoordinatensystem oder in ein speziell für ein bestimmtes Projekt gewähltes lokales Koordinatensystem zu orientieren. Um die Orientierung Bildes zu ermöglichen, müssen Paßpunkte gemessen werden, die bekannte Bezugskoordinaten besitzen und auf dem Bild sichtbar sind. Eine räumliche Auswertung erfordert weiterhin noch mindestens ein weiteres Bild oder einen Bildverband, der eine genügende Anzahl von Verknüpfungspunkten aufweist. Die Auswertung kann einstufig oder zweistufig erfolgen, wobei in dieser Arbeit nur die einstufige Variante zur Anwendung kommt.

Ausgangsposition:	Bildkoordinatensysteme Paßpunkte im Objektkoordinatensystem
Berechnung:	einstufig: - Bündelorientierung zweistufig: - relative Orientierung: Zentralprojektion - absolut Orientierung: Koordinatentransformation
Ergebnis:	Koordinaten im Objektkoordinatensystem

Tab. 1.1: Auswertungsweg

Ist das Objektkoordinatensystem ein lokales Koordinatensystem, das später in ein übergeordnetes Landeskoordinatensystem transformiert werden soll, ist eine weitere Koordinatentransformation nötig. Bei der Architekturphotogrammetrie oder in der Ingenieurvermessung werden in der Regel lokale Koordinatensysteme verwendet, da diese meist wesentlich genauer sind und ein Bezug zum Landeskoordinatensystem nicht nötig ist. Die Schaffung eines lokalen Koordinatensystems bzw. die Einmessung der Paßpunkte in einem Bezugskoordinatensystem erfordert geodätische Messungen. Diese werden in einer Netzausgleichung verarbeitet und liefern den nötigen Bezug. Als nächsten Schritt werden die Bilder in einer Bündelblockausgleichung orientiert und Neupunkte aus den Bildkoordinaten bestimmt.

Diese Auswertung durchläuft also zwei getrennte Ausgleichungen. Die Fehlerwerte der mit der Netzausgleichung ausgewerteten Paßpunkte gehen meist nicht in die Bündelblockausgleichung ein, da die Redundanz für eine Verbesserung der Paßpunkte nicht reicht. Der Bezug der Fehler beider Ausgleichungen geht also verloren, und Genauigkeitsdifferenzen beider Ausgleichungen werden nicht auf die Neupunkte verteilt. Das Ergebnis beinhaltet also nur die Fehlerwerte der Bildauswertung. Sollten unsichere Paßpunkte nach der Netzausgleichung auftreten, gehen diese trotzdem als Festpunkte in die Bündelblockausgleichung ein, das eine Verzerrung des mathematischen Modells zur Folge haben könnte. Die Bündelblockausgleichung könnte divergieren, trotz guter Bilder und Näherungswerte.

In der Praxis führt man als Abhilfe die Paßpunktkoordinaten mit deren Fehlerwerten als Beobachtungen ein, um die Redundanz zu erhalten (Die Paßpunkte werden dann als weitere Unbekannte betrachtet). Meist aber werden die Kovarianzen der aus der vorigen Netzausgleichung ermittelten Kovarianzmatrix der Paßpunktkoordinaten nicht berücksichtigt, so daß dieser Bezug fast immer verloren geht. Weiterhin erscheint dieser Weg auch etwas umständlich. Daher liegt die Idee nahe, eine kombinierte Ausgleichung zu berechnen, in der

geodätische und photogrammetrische Messungen eingehen, da die photogrammetrischen Paßpunkte hier auch Neupunkte sind und nicht als Festpunkte gelten. Sollte das System dann doch divergieren, so läge das entweder an den Messungen, oder an einer ungünstigen Aufnahmekonfiguration, was sich dann aus den Ausgleichungsergebnissen ablesen ließe.

1.2 Motivation

Die technische Umsetzung der Auswertung wird meist mit zwei getrennten Programmen vorgenommen. Ein Programm für die Netzausgleichung der terrestrischen Messungen, und ein Programm für die Bündelblockausgleichung. Beide Programmtypen sind jeweils in den verschiedensten Versionen längst vorhanden und werden erfolgreich eingesetzt (siehe Programme: BETAN/NEPTAN zur Netzausgleichung, BLUH und PICTRAN zur Bündelblockausgleichung). Allerdings hat jedes Programm seine eigene Dateistruktur. Die Dateien müssen meist, wenn keine Import / Exportfunktion vorhanden ist, umgewandelt werden. Da auch die Koordinatenachsen in den Programmen für geodätische Berechnungen anders benannt sind als in den Programmen für photogrammetrische Berechnungen, gibt es hier eine weitere Fehlerquelle bei der Konvertierung.

Sowohl Aufwand, als auch Fehleranfälligkeit der getrennten Ausgleichungen mit verschiedenen Programmen zeigen den Sinn eines Programms, in dem beide Programmodule vereint sind. Als weiteren Vorteil eines Programms mit kombinierter Ausgleichung ist eine einheitliche Benutzerführung zu erwarten. Der Benutzer braucht nur ein Handbuch und sich nur mit einer Programmphilosophie auseinandersetzen. Das Ergebnis sollte auch so aufschlußreich wie möglich sein, das heißt nicht nur die Koordinaten mit deren mittleren Fehlern, sondern auch Kovarianzmatrizen, Vektoren und ähnliche Ausgleichungsergebnisse sowie eine gute Übersichtlichkeit des Rechenweges und der Ergebnisdatei sollte angestrebt werden.

1.3 Lösungsansatz

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich also mit einer kombinierten Netzausgleichung und Bündelblockausgleichung in einem Schritt. Terrestrische Messungen und Bildkoordinatenmessung werden gleichzeitig ausgeglichen. Somit kann auch ein Bezugskoordinatensystem mit gleichzeitiger Bildkoordinatenauswertung geschaffen werden. Das Bezugskoordinatensystem kann sogar als völlig freies Netz ausgeglichen werden, so daß keine Festpunkte nötig sind. Die Paß- und Neupunkte besitzen dann Fehlerwerte, die den gesamten Auswerteablauf beinhalten, und demnach eine höhere Aussagekraft besitzen (Die Paßpunkte gehen hier auch als Unbekannte mit ein und werden nicht als Festpunkte behandelt). Die Methode der kleinsten Quadrate hat zusätzlich noch den Vorteil, daß beliebig viele Messungen in den verschiedensten Formen die günstigste Fehlerverteilung bewirkt.

Als technische Realisierung wurde das Computerprogramm VERTECH entwickelt, in dem sowohl datentechnisch, als auch ausgleichungstechnisch die obigen Vorgaben realisiert wurden. Das Programm kann je nach Beobachtungsdateien die nötige Ausgleichung rechnen, entweder eine Netzausgleichung, oder eine Bündelblockausgleichung, oder beide Ausgleichungen kombiniert. Alle Ergebnisse aus den eingehenden Beobachtungsdateien werden bei der Auswertung einer Koordinatendatei und einer Ergebnisdatei zugeordnet. Der Rechenweg kann grob auf dem Bildschirm verfolgt werden. Die für die Ausgleichung erforderlichen Näherungswerte sind mit den selben Beobachtungsdateien mit klassischen Methoden in VERTECH berechenbar.

Die Realisierung orientiert sich zunächst an der Architekturphotogrammetrie, da in der Ausgleichung terrestrische Rotationswinkel verwendet werden. Allerdings ist es rechnerisch möglich Luftbilder auszuwerten, solange diese in den Rotationswinkeln keine numerischen Instabilitäten aufweisen.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Koordinatensystem

Bevor die theoretischen Grundlagen der Berechnungen im Detail beschrieben werden, ist es erforderlich ein einheitliches Koordinatensystem zu definieren. Die Formeln der geodätischen Berechnungen beruhen auf einem geodätischen Koordinatensystem, das als ebene Annäherung eines Teils der Erdoberfläche definiert ist. Die Grundlage dieses Systems ist ein transversales ellipsoidisches Koordinatensystem, aus dem die Landeskoordinatensysteme hervorgehen. In der Entwicklung dieser Koordinatensysteme wurden die Meridiane als X - Achse bezeichnet. Somit wurden die Bezeichnungen der Koordinatenachsen X, Y gegenüber denen der mathematischen Achsen vertauscht (Vgl. MITTERMAYER, WS 1995/96). In der Photogrammetrie hingegen wurde die mathematische Bezeichnung beibehalten, so daß es bei einer Kombination von Messungen aus verschiedenen Koordinatensystemen zu Veränderungen einiger Rechenformeln führt.

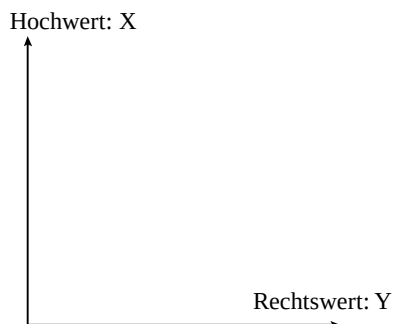


Abb. 2.1-1: geodätisch

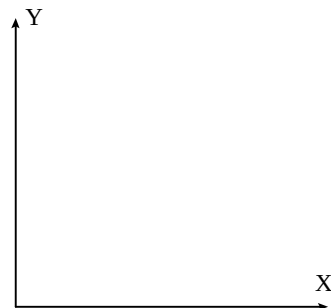


Abb. 2.1-2: photogrammetrisch

Es ist also vorher eine Entscheidung zu treffen, wie die Koordinatenachsen bezeichnet werden. Da es sich in dieser Problemstellung eher um Architekturphotogrammetrie handelt, in der meist ein lokales Koordinatensystem für ein spezielles Projekt definiert wird, ist die Anwendung eines mathematischen / photogrammetrischen Koordinatensystems einfacher. Die Formeln der Photogrammetrie sind wesentlich komplizierter und unüberschaubarer, so daß Verwechslungen der Achsen bei der Verwendung eines geodätischen Koordinatensystems eher vorkommen können. Auch ist hierbei die Anbindung an ein Landeskoordinatensystem primär nicht sinnvoll, da oftmals die gewählten Festpunkte große Spannungen ausweisen. Sollte diese Anbindung doch gewünscht sein, so kann später das lokale Koordinatensystem über homologe Punkte in das Landeskoordinatensystem transformiert werden. Hierbei würden auch Spannungen der Systeme sichtbar werden.

Auswirkungen auf die Rechenformeln der geodätischen Berechnungen:

Die Berechnungen in den vermessungstechnischen Formelsammlungen (Bsp.: nach HÄßLER / WACHSMUTH, 1990) beruhen auf dem geodätischen Koordinatensystem (siehe Abb. 2.1-1). In den folgenden geodätischen Formeln dieser Arbeit werden die Bezeichnungen X und Y miteinander vertauscht.

Folge	Bezeichnung	Zuordnung
1	X	photogrammetrische X - Achse
2	Y	photogrammetrische Y - Achse
3	Z	photogrammetrische Z - Achse

Tab. 2.1: Reihenfolge und Bezeichnungen

2.2 Geodätische Beobachtungen

Die geodätischen Beobachtungen beziehen sich ausschließlich auf Messungen, die mit einem Theodoliten oder einem Nivellier ermittelt wurden. Jeweilige Fehlerkorrekturen, wie z. Bsp. Refraktion, Erdkrümmung, atmosphärische Einflüsse, Additionskonstante, Gerätefehler usw. sind vorher zu bestimmen und auf die Beobachtungen zu reduzieren.

Folgende Beobachtungen gehen in die Berechnung ein:

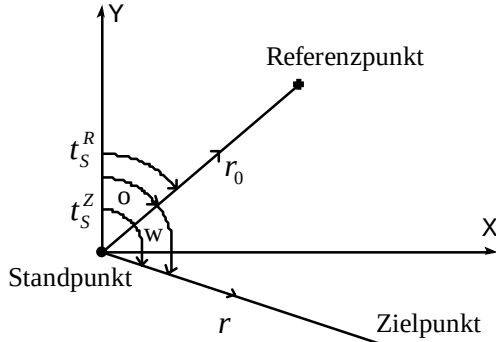
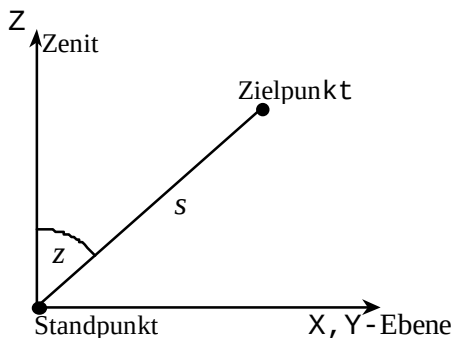
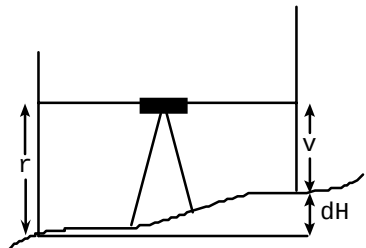
Beobachtung	Bez.	Einheit
Theodolit:		
Reduzierte Richtungen bezogen auf eine Referenzrichtung	$r - r_0$	[gon]
Schrägstrecken: Theodolit - Prisma, Instrumentenhöhen berücksichtigen	s	[m]
Zenitdistanzen: Theodolit - Prisma, Instrumentenhöhen berücksichtigen	z	[gon]
(Instrumentenhöhe: geht nicht in die Ausgleichung als Beobachtung ein)	(is)	[m]
(Prismenhöhe: geht nicht in die Ausgleichung als Beobachtung ein)	(ii)	[m]
Nivellier:		
Höhenunterschiede: Lattenablesungen rück - vor	dH	[m]

Tab.2.2: geodätische Beobachtungen

Anmerkung:

Die Instrumenten bzw. Prismenhöhe geht in die Ausgleichung nur als konstanter Wert ein und wird nicht als Beobachtungsgleichung in die Ausgleichung eingefügt.

Richtungen und Lattenablesungen bringen nur Sinn, wenn es dazu einen Bezugswert gibt. Daher muß bei den Richtungen immer eine Nullrichtung / Referenzrichtung mit angegeben werden, und bei den Lattenablesungen gilt nur der Höhenunterschied ($dH = \text{rück-vor}$) als Beobachtung. Die Fehlerwerte dieser Beobachtungen sind daher als quadratische Summe anzugeben.

Darstellung:	Bezeichnungen / Zusammenhang:
Beobachtungen Theodolit: s, r, z  Abb. 2.2.1-1  Abb. 2.2.1-2	$P_Z(X_Z, Y_Z, Z_Z)$... Zielpunkt $P_S(X_S, Y_S, Z_S)$... Standpunkt $P_R(X_R, Y_R, Z_R)$... Referenzpunkt s Schrägstrecke r Richtung, r_0 Referenzrichtung/Nullrichtung z Zenitdistanz o Orientierung t_S^Z Richtungswinkel: Stand - Zielpunkt t_S^R Richtungswinkel: Stand - Referenzpunkt Mathematischer Zusammenhang: $t_S^R = o = \arctan \frac{X_R - X_S}{Y_R - Y_S}$ $t_S^Z = o + w \quad \text{mit} \quad w = r - r_0$ (2.2.1-1) $X_Z = X_S + s \cdot \sin z \cdot \sin t_S^Z$ $Y_Z = Y_S + s \cdot \sin z \cdot \cos t_S^Z$ $Z_Z = Z_S + s \cdot \cot z + is - ii$ (2.2.1-2)
Beobachtung Nivellier: r, v  Abb. 2.2.1-3	r Lattenablesung rück v Lattenablesung vor dH Höhendifferenz $dH = r - v$ bzw. mit n - Wechsellpunkten $dH = \sum_{id=1}^n r_{id} - \sum_{id=1}^n v_{id}$ (2.2.1-3)

Tab. 2.2.1: Mathematischer Zusammenhang geodätischer Beobachtungen

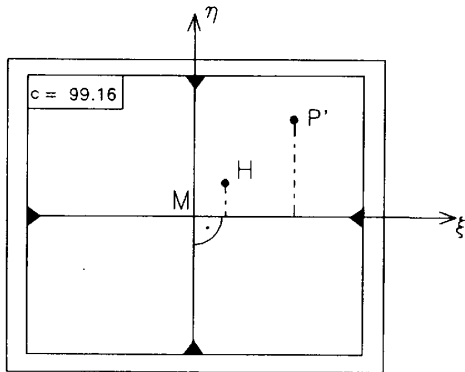
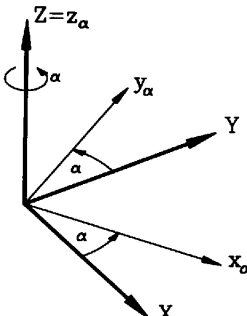
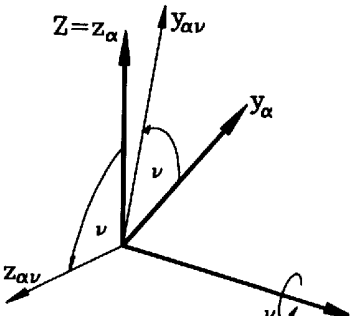
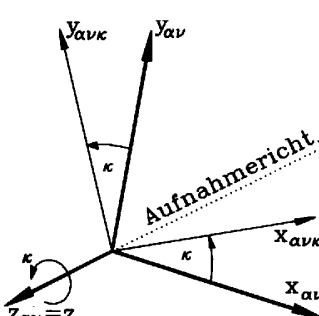
2.3 Photogrammetrische Beobachtungen:

In den mit einer Meßkamera aufgenommenen Photos werden Bildkoordinaten gemessen. Vorhergehend sollte eine Bildkoordinatenbereinigung durchgeführt und die innere Orientierung bestätigt oder bestimmt werden. Sämtliche Reduktionen wie z. Bsp. Refraktion, Erdkrümmung usw. sind wie bei den geodätischen Messungen auch auf die Beobachtungen zu reduzieren. Die Bildstandpunkte müssen nicht eingemessen werden, daß heißt die äußere Orientierung muß nicht genau bekannt sein.

Bei digitalen Bilder ist auf eine Umwandlung des Pixelkoordinatensystems in ein metrisches Koordinatensystem zu achten!

Beobachtung	Bez.	Einheit
Photo:		
Bildkoordinate ξ	ξ	[mm]
Bildkoordinate η	η	[mm]

Tab. 2.3: Photogrammetrische Beobachtungen

Darstellung	Bezeichnungen / Zusammenhang
Beobachtung Photo: ξ, η  Abb. 2.3.1-1 (aus KRAUS, Band 1, 1997, S. 13)	innere Orientierung: c Kamerakonstante [mm] H Bildhauptpunkt: ξ_0, η_0 [mm] M Bildmittelpunkt / Koordinatenursprung Bildkoordinatenmessung: P' Bildpunkt P': ξ, η [mm]
Drehwinkel der äußeren Orientierung:  Abb. 2.3.1-2: Winkel α  Abb. 2.3.1-3: Winkel ν  Abb. 2.3.1-4: Winkel κ	äußere Orientierung, Rotationswinkel terrestrischer Fall: α Primärdrehung: Azimut [gon] ν Sekundärdrehung: Nadirdistanz [gon] κ Tertiärdrehung: Bildverkantung [gon] (aus KRAUS, Band 2, 1996, S.17)

Tab. 2.3.1: Mathematischer Zusammenhang photogrammetrischer Beobachtungen (1 von 2)

Rotationsmatrix Drehwinkel:

$$R_{\alpha\beta\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \cos \beta \sin \kappa & -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \cos \beta \cos \kappa & \sin \alpha \sin \beta \\ \sin \alpha \cos \kappa + \cos \alpha \cos \beta \sin \kappa & -\sin \alpha \sin \kappa + \cos \alpha \cos \beta \cos \kappa & -\cos \alpha \sin \beta \\ \sin \beta \sin \kappa & \sin \beta \cos \kappa & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.3.1-1)$$

Geometrischer Bezug:

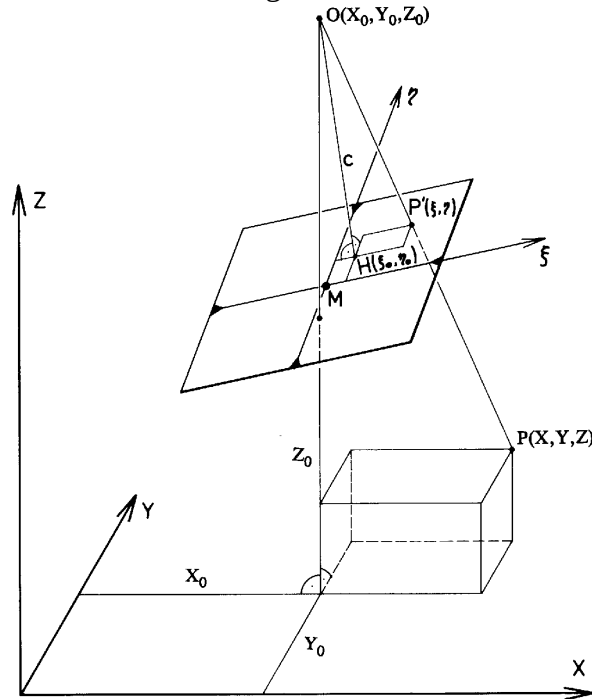


Abb. 2.3.1-5 (aus KRAUS, Band 1, 1997, S. 14)

ξ, η Bildkoordinatensystem
 X, Y, Z Objektkoordinatensystem
 O Projektionszentrum des Photos mit den Koordinaten X_0, Y_0, Z_0

Mathematischer Zusammenhang
(Kollinearitätsbeziehungen):

$$\xi = \xi_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

(2.3.1-2) (aus KRAUS, Band 1, 1997, S. 14)

mit

$$R_{\alpha\beta\kappa} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad \text{siehe Gl. 2.3.1-1}$$

Tab. 2.3.1: Mathematischer Zusammenhang photogrammetrischer Beobachtungen (2 von 2)

2.4 Ausgleichung

Die nun folgende vermittelnde Ausgleichung ist nicht linear und muß mit Hilfe von Näherungswerten der Unbekannten berechnet werden. Da die Näherungswerte der äußeren Orientierung meist nur als grobe Schätzung vorliegen, ist es erforderlich die Ausgleichung in mehreren Iterationsschritten durchlaufen zu lassen, bis ein Abbruchkriterium erreicht ist. Je nach Güte der Meßwerte, der Näherungswerte und der Aufnahmeconfiguration ist eine Konvergenz zu erwarten. Sollte das Ausgleichungssystem divergieren, müssen grobe Fehler oder eine unzureichende Redundanz der Messungen zu einer oder mehreren Unbekannten vorliegen, obwohl die Gesamtredundanz ausreichend ist.

Es ist bei der Planung einer Meßkampagne darauf zu achten, daß die Aufnahmeconfiguration sich in den Messungen überschneidet und keine unabhängigen Einzelaufnahmeconfigurationen innerhalb des Gesamtsystems entstehen. Die Ausgleichung liefert dann zwar bei Konvergenz Ergebnisse, allerdings beinhalten diese dann keine Korrelation zueinander und kann das Gesamtergebn unbeachtet verfälschen. Durch eine Weiterverarbeitung der Ergebnismatrizen bzw. Vektoren der Ausgleichung lassen sich Ergebnisaussagekraft, eventuelle Fehler, die Kontrolliertheit der Messungen usw. ermitteln, worauf in dieser Arbeit allerdings nicht weiter eingegangen wird.

Um diese Ausgleichung zu rechnen, werden folgende Eingangsparameter definiert, deren Aufstellung in den folgenden Kapiteln ausführlich behandelt wird (Vgl. GRÜNDIG, SS 1995).

Funktionalmatrix A: $A = \frac{\partial f(x_0)}{\partial x}$ (2.4-1)	Gewichtsmatrix P: $P = Q_{ll}^{-1} = m_0^2 \cdot C_{ll}^{-1}$ (2.4-2)
Beobachtungsvektor Δl : $\Delta l = l - f(x_0)$ (2.4-3)	mittlerer Gewichtseinheitsfehler vor der Ausgleichung: $m_0 - \text{apriori}$

Tab. 2.4: Eingangsparameter der Ausgleichung

2.4.1 Beobachtungsgleichungen und Unbekannte

Um ein Ausgleichungssystem zu erstellen muß die mathematische Beschreibung zwischen Beobachtungen und Unbekannte umformuliert werden. Während im mathematischen Sinne die Unbekannte aus den Beobachtungen berechnet wird, werden bei der Ausgleichung Beobachtungsgleichungen erstellt, die zusätzlich einen Verbesserungswert (v) beinhalten:

$$l + v = f(x) \quad (2.4.1-1)$$

Beobachtung	Formulierung der Beobachtungsgleichung
Richtung $r - r_0$ (siehe Abb. 2.2.1-1) (siehe Gl. 2.2.1-1)	$w_j = r_j - r_0$ $t_s^{Zi} = o_s + w_j$ $w_j + v_j = \arctan\left(\frac{X_{Zi} - X_s}{Y_{Zi} - Y_s}\right) - o_s \quad (2.4.1-2)$
Schrägstrecke s (siehe Abb. 2.2.1-1)	$s_j + v_j = \sqrt{(X_{Zi} - X_s)^2 + (Y_{Zi} - Y_s)^2 + (Z_{Zi} - Z_s - is + ii)^2} \quad (2.4.1-3)$
Zenitdistanz z (siehe Abb. 2.2.1-2)	$s_h = \sqrt{(X_{Zi} - X_s)^2 + (Y_{Zi} - Y_s)^2} - (\text{Horizontalstrecke})$ $z_j + v_j = \arctan \frac{s_h}{Z_{Zi} - Z_s - is + ii} \quad (2.4.1-4)$
Höhendifferenz dH (siehe Abb. 2.2.1-3)	$Z_v \quad Z - \text{Komponente des Punktes von Ablesung vor}$ $Z_r \quad Z - \text{Komponente des Punktes von Ablesung rück}$ $dH_j + v_j = Z_v - Z_r \quad (2.4.1-5)$
Bildkoordinaten ξ, η (siehe Abb. 2.3.1-1) (siehe Gl. 2.3.1-2)	$Z_x = r_{11}(X_{Zi} - X_0) + r_{21}(Y_{Zi} - Y_0) + r_{31}(Z_{Zi} - Z_0)$ $Z_y = r_{12}(X_{Zi} - X_0) + r_{22}(Y_{Zi} - Y_0) + r_{32}(Z_{Zi} - Z_0) \quad (2.4.1-6)$ $N = r_{13}(X_{Zi} - X_0) + r_{23}(Y_{Zi} - Y_0) + r_{33}(Z_{Zi} - Z_0)$ $\xi_j + v_j = \xi_0 - c \frac{Z_x}{N} \quad (2.4.1-7)$ $\eta_j + v_j = \eta_0 - c \frac{Z_y}{N}$
Indizes:	$i \dots i - \text{ter Zielpunkt bzw. Neupunkt}, \quad j \dots j - \text{te Beobachtung}$

Tab. 2.4.1-1: Beobachtungsgleichungen

Unbekannte	Erklärung
X_i, Y_i, Z_i	Koordinaten eines Punktes Bezeichnungen: X_{zi}, Y_{zi}, Z_{zi} Zielpunkt / Neupunktkoordinaten X_s, Y_s, Z_s Standpunktkoordinaten Z_v, Z_r Höhenkomponenten X_0, Y_0, Z_0 Projektionszentrum eines Photos
o_s	Orientierung der Referenzrichtung des Standpunktes S
$\alpha_k, \nu_k, \kappa_k$	Drehwinkel der Bildebene im Bezug zum Objektkoordinatensystem.
Index: $k \dots$ Anzahl der Bilder	$R_{\alpha_k \nu_k \kappa_k} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (\text{siehe Gl. 2.3.1-1})$

Tab. 2.4.1-2: Unbekannte

Konstanten	Erklärung
ii, is	Prismenhöhe, Instrumentenhöhe
c	Kamerakonstante
ξ_0, η_0	Hauptpunktlage

Tab. 2.4.1-3: Konstanten

Die Unbekannten bestehen also aus Koordinaten, Richtungsorientierungen und Drehwinkel der Bilder. Ausgleichungstechnisch wird bei den Koordinaten nicht mehr unterschieden, welche Bezeichnung diese besitzen. So wird ein Standpunkt genau wie ein Neupunkt oder wie ein Projektionszentrum behandelt.

2.4.2 Partielle Ableitungen

Zur Aufstellung des funktionalen Zusammenhangs in einer Funktionalmatrix A müssen von allen Beobachtungsgleichungen partielle Ableitungen zu den Unbekannten erstellt werden. Dieser Vorgang beinhaltet eine Linearisierung mit Hilfe einer Taylorreihenentwicklung bis zum 1. Grad.

aus Gl. 2.4.1-1: $l + v = f(x) \Rightarrow v = f(x) - l$
mit Näherungswerten x_0 : $x = x_0 + \Delta x \Rightarrow \Delta x = x - x_0$
Linearisierung: $v = f(x_0) + \frac{\partial f(x_0)}{\partial x} \cdot \Delta x - l$ mit $A = \frac{\partial f(x_0)}{\partial x}$ und $-\Delta l = f(x_0) - l$
Fehlergleichungen: $v = A \cdot \Delta x - \Delta l$ (2.4.2-1)
(Vgl. GRÜNDIG, SS 1995)

Tab. 2.4.2: Mathematischer Hintergrund

2.4.2.1 Richtungsbeobachtung

Beobachtung: w_j

Unbekannte: $X_{Zi}, Y_{Zi}, X_S, Y_S, o_S$

Beobachtungsgleichung: $w_j + v_j = \arctan\left(\frac{X_{Zi} - X_S}{Y_{Zi} - Y_S}\right) - o_S$ (siehe Gl. 2.4.1-2)

$$\text{mit: } s_{hi} = (X_{Zi} - X_S)^2 + (Y_{Zi} - Y_S)^2$$

Standpunkt:	$\frac{\partial w_j}{\partial X_S} = \frac{Y_S - Y_{Zi}}{s_{hi}}$	$\frac{\partial w_j}{\partial Y_S} = \frac{X_{Zi} - X_S}{s_{hi}}$
Zielpunkt:	$\frac{\partial w_j}{\partial X_{Zi}} = \frac{Y_{Zi} - Y_S}{s_{hi}}$	$\frac{\partial w_j}{\partial Y_{Zi}} = \frac{X_S - X_{Zi}}{s_{hi}}$
Orientierung:	$\frac{\partial w_j}{\partial o_S} = -1$	

(2.4.2.1)

Tab. 2.4.2.1: partielle Ableitungen der Richtungsbeobachtung

2.4.2.2 Streckenbeobachtung

Beobachtung: s_j

Unbekannte: $X_{Zi}, Y_{Zi}, Z_{Zi}, X_S, Y_S, Z_S$

Beobachtungsgleichung: $s_j + v_j = \sqrt{(X_{Zi} - X_S)^2 + (Y_{Zi} - Y_S)^2 + (Z_{Zi} - Z_S - is + ii)^2}$
(siehe Gl. 2.4.1-3)

$$\text{mit: } s_0 = \sqrt{(X_{Zi} - X_S)^2 + (Y_{Zi} - Y_S)^2 + (Z_{Zi} - Z_S - is + ii)^2}$$

Standpunkt:	$\frac{\partial s_j}{\partial X_S} = \frac{X_S - X_{Zi}}{s_0}$	$\frac{\partial s_j}{\partial Y_S} = \frac{Y_S - Y_{Zi}}{s_0}$	$\frac{\partial s_j}{\partial Z_S} = \frac{Z_S - Z_{Zi} + is - ii}{s_0}$
Zielpunkt:	$\frac{\partial s_j}{\partial X_{Zi}} = \frac{X_{Zi} - X_S}{s_0}$	$\frac{\partial s_j}{\partial Y_{Zi}} = \frac{Y_{Zi} - Y_S}{s_0}$	$\frac{\partial s_j}{\partial Z_{Zi}} = \frac{Z_{Zi} - Z_S + ii - is}{s_0}$

(2.4.2.2)

Tab. 2.4.2.2: partielle Ableitungen der Streckenbeobachtung

2.4.2.3 Zenitdistanzbeobachtungen

Beobachtung: z_j

Unbekannte: $X_{Zi}, Y_{Zi}, Z_{Zi}, X_S, Y_S, Z_S$

Beobachtungsgleichung: $z_j + v_j = \arctan \frac{s_h}{Z_{Zi} - Z_S - is + ii}$ (siehe Gl. 2.4.1-4)

$$\begin{aligned} \text{mit: } s_0 &= \sqrt{(X_{Zi} - X_S)^2 + (Y_{Zi} - Y_S)^2 + (Z_{Zi} - Z_S - is + ii)^2} \\ s_h &= \sqrt{(X_{Zi} - X_S)^2 + (Y_{Zi} - Y_S)^2} \\ dZ &= Z_{Zi} - Z_S - is + ii \end{aligned}$$

Standpunkt:	$\frac{\partial z_j}{\partial X_S} = \frac{dZ(X_S - X_{Zi})}{s_0^2 s_h}$	$\frac{\partial z_j}{\partial Y_S} = \frac{dZ(Y_S - Y_{Zi})}{s_0^2 s_h}$	$\frac{\partial z_j}{\partial Z_S} = \frac{s_h}{s_0^2}$
Zielpunkt:	$\frac{\partial z_j}{\partial X_{Zi}} = \frac{dZ(X_{Zi} - X_S)}{s_0^2 s_h}$	$\frac{\partial z_j}{\partial Y_{Zi}} = \frac{dZ(Y_{Zi} - Y_S)}{s_0^2 s_h}$	$\frac{\partial z_j}{\partial Z_{Zi}} = -\frac{s_h}{s_0^2}$

(2.4.2.3)

Tab. 2.4.2.3: partielle Ableitungen der Zenitdistanzbeobachtungen

2.4.2.4 Nivellementbeobachtungen

Beobachtung: dH_j

Unbekannte: Z_v, Z_r

Beobachtungsgleichung: $dH_j + v_j = Z_v - Z_r$ (siehe Gl. 2.4.1-5)

$$\text{mit: } dH_j = \text{rück}_j - \text{vor}_j$$

Höhe rück:	$\frac{\partial dH_j}{\partial Z_r} = -1$	Höhe vor:	$\frac{\partial dH_j}{\partial Z_v} = 1$
------------	---	-----------	--

(2.4.2.4)

Tab. 2.4.2.4: partielle Ableitungen der Nivellementbeobachtungen

2.4.2.5 Bildkoordinatenbeobachtungen

Beobachtung: ξ_j, η_j

Unbekannte: $X_{Zi}, Y_{Zi}, Z_{Zi}, X_0, Y_0, Z_0, \alpha_k, \nu_k, \kappa_k$

Beobachtungsgleichung: $\xi_j + v_j = \xi_0 - c \frac{Z_x}{N} \quad \eta_j + v_j = \eta_0 - c \frac{Z_y}{N}$ (siehe Gl. 2.4.1-7)

mit:

$$\begin{aligned} Z_x &= r_{11}(X_{Zi} - X_0) + r_{21}(Y_{Zi} - Y_0) + r_{31}(Z_{Zi} - Z_0) \\ Z_y &= r_{12}(X_{Zi} - X_0) + r_{22}(Y_{Zi} - Y_0) + r_{32}(Z_{Zi} - Z_0) \\ N &= r_{13}(X_{Zi} - X_0) + r_{23}(Y_{Zi} - Y_0) + r_{33}(Z_{Zi} - Z_0) \end{aligned} \quad R_{\alpha_k \nu_k \kappa_k} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

(siehe Gl. 2.3.1-1)

Beobachtung ξ_j		
$\frac{\partial \xi_j}{\partial X_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{13}Z_x - r_{11}N)$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial Y_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{23}Z_x - r_{21}N)$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial Z_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{33}Z_x - r_{31}N)$
$\frac{\partial \xi_j}{\partial X_{Zi}} = -\frac{c}{N^2}(Nr_{11} - Z_x r_{13})$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial Y_{Zi}} = -\frac{c}{N^2}(Nr_{21} - Z_x r_{23})$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial Z_{Zi}} = -\frac{c}{N^2}(Nr_{31} - Z_x r_{33})$
$\frac{\partial \xi_j}{\partial \alpha_k} = -\frac{c}{N} \cdot \left\{ (r_{23}(X_{Zi} - X_0) - r_{13}(Y_{Zi} - Y_0)) \cdot \frac{Z_x}{N} + r_{11}(Y_{Zi} - Y_0) - r_{21}(X_{Zi} - X_0) \right\}$		
$\frac{\partial \xi_j}{\partial \nu_k} = \frac{c}{N} \cdot \left\{ (r_{33}(\sin \alpha \cdot (X_{Zi} - X_0) - \cos \alpha \cdot (Y_{Zi} - Y_0)) - \sin \nu \cdot (Z_{Zi} - Z_0)) \cdot \frac{Z_x}{N} - N \sin \kappa \right\}$		
$\frac{\partial \xi_j}{\partial \kappa_k} = -\frac{c}{N} \cdot Z_y$		

(2.4.2.5-1)

Beobachtung η_j		
$\frac{\partial \eta_j}{\partial X_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{13}Z_y - r_{12}N)$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial Y_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{23}Z_y - r_{22}N)$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial Z_0} = -\frac{c}{N^2}(r_{33}Z_y - r_{32}N)$
$\frac{\partial \eta_j}{\partial X_{Zi}} = -\frac{c}{N^2}(Nr_{12} - Z_y r_{13})$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial Y_{Zi}} = -\frac{c}{N^2}(Nr_{22} - Z_y r_{23})$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial Z_{Zi}} = -\frac{c}{N^2}(Nr_{32} - Z_y r_{33})$
$\frac{\partial \eta_j}{\partial \alpha_k} = -\frac{c}{N} \cdot \left\{ (r_{23}(X_{Zi} - X_0) - r_{13}(Y_{Zi} - Y_0)) \cdot \frac{Z_y}{N} + r_{12}(Y_{Zi} - Y_0) - r_{22}(X_{Zi} - X_0) \right\}$		
$\frac{\partial \eta_j}{\partial \nu_k} = \frac{c}{N} \cdot \left\{ (r_{33}(\sin \alpha \cdot (X_{Zi} - X_0) - \cos \alpha \cdot (Y_{Zi} - Y_0)) - \sin \nu \cdot (Z_{Zi} - Z_0)) \cdot \frac{Z_y}{N} - N \cos \kappa \right\}$		
$\frac{\partial \eta_j}{\partial \kappa_k} = \frac{c}{N} \cdot Z_x$		

(2.4.2.5-2)

(nach KRAUS, Band 1, 1997, S. 272; die Winkel wurden selbst abgeleitet)

Tab. 2.4.2.5: partielle Ableitungen der Bildkoordinatenbeobachtungen

2.4.3 Funktionales Modell

Nachdem jetzt alle Beobachtungsgleichungen linearisiert wurden, kann das funktionale Modell in Matrizenform aufgestellt werden:

$$v = A \cdot \Delta x - \Delta l \quad (\text{siehe Gl. 2.4.2-1})$$

Funktionalmatrix: $A = \frac{\partial f(x_0)}{\partial x}$ (nach Gl. 2.4-1)

	X_{Z_i}	Y_{Z_i}	Z_{Z_i}	*	*	*	*	*	*	*	*				
	X_S	Y_S	Z_S	Z_v	Z_r	X_0	Y_0	Z_0	o_S	α_k	v_k	κ_k			
w_j	$\frac{\partial w_j}{\partial X_{Z_i}}$	$\frac{\partial w_j}{\partial Y_{Z_i}}$	0	$\frac{\partial w_j}{\partial X_S}$	$\frac{\partial w_j}{\partial Y_S}$	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0
s_j	$\frac{\partial s_j}{\partial X_{Z_i}}$	$\frac{\partial s_j}{\partial Y_{Z_i}}$	$\frac{\partial s_j}{\partial Z_{Z_i}}$	$\frac{\partial s_j}{\partial X_S}$	$\frac{\partial s_j}{\partial Y_S}$	$\frac{\partial s_j}{\partial Z_S}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
z_j	$\frac{\partial z_j}{\partial X_{Z_i}}$	$\frac{\partial z_j}{\partial Y_{Z_i}}$	$\frac{\partial z_j}{\partial Z_{Z_i}}$	$\frac{\partial z_j}{\partial X_S}$	$\frac{\partial z_j}{\partial Y_S}$	$\frac{\partial z_j}{\partial Z_S}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dH_j	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
ξ_j	$\frac{\partial \xi_j}{\partial X_{Z_i}}$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial Y_{Z_i}}$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial Z_{Z_i}}$	0	0	0	0	0	$\frac{\partial \xi_j}{\partial X_0}$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial Y_0}$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial Z_0}$	0	$\frac{\partial \xi_j}{\partial \alpha_k}$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial v_k}$	$\frac{\partial \xi_j}{\partial \kappa_k}$
η_j	$\frac{\partial \eta_j}{\partial X_{Z_i}}$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial Y_{Z_i}}$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial Z_{Z_i}}$	0	0	0	0	0	$\frac{\partial \eta_j}{\partial X_0}$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial Y_0}$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial Z_0}$	0	$\frac{\partial \eta_j}{\partial \alpha_k}$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial v_k}$	$\frac{\partial \eta_j}{\partial \kappa_k}$

(2.4.3-1)

* - Diese Unbekannten sind nur zur besseren Übersicht extra aufgeführt worden. Ansonsten werden diese auch den Koordinaten $X_{Z_i}, Y_{Z_i}, Z_{Z_i}$ eines veränderten i zugeordnet.

Beispiel:

Neupunkt: $X_{Z_1}, Y_{Z_1}, Z_{Z_1}$, Standpunkt: $X_{Z_2}, Y_{Z_2}, Z_{Z_2}$, Nivellierte Höhen: $Z_{Z_1}, Z_{Z_2} \dots$

Die partiellen Ableitungen werden mit Hilfe von Näherungswerten der Unbekannten berechnet. Diese Näherungswerte müssen demnach vorher ermittelt werden. Wie dies geschieht ist in Kapitel 2.4.5 beschrieben.

Beobachtungsvektor: $-\Delta l = f(x_0) - l$ (2.4.3-2) (nach Gl. 2.4-3)

$f(x_0)$: In den Beobachtungsgleichungen (siehe Gl. 2.4.1-2 bis 2.4.1-7) werden die selben Näherungswerte der Unbekannten eingesetzt und hiermit das Absolutglied $f(x_0)$ ermittelt.	l : Hier werden die jeweiligen Beobachtungen eingefügt: Bildkoordinaten: [mm], Strecken: [m], Winkel im Bogenmaß [bog]
---	---

Tab. 2.4.3: Erstellung des Beobachtungsvektors

Hiermit ist das funktionale Modell aufgestellt. Es ist allerdings darauf zu achten, daß eine ausreichende Redundanz vorliegt ($r = n - u$, n - Beobachtungen, u - Unbekannte, $r > 0$), und daß zu jeder Unbekannten auch mindestens eine Beobachtung zugeordnet wurde, da sonst in der Funktionalmatrix A eine Nullspalte entsteht, die zu einer Singularität in der Normalgleichungsmatrix führt. Auch die Redundanz und das stochastische Modell würde mit einer

Nullspalte verfälscht werden, insoweit die Singularität der Normalgleichungsmatrix rechentechnisch abgefangen würde.

Es ist daher ratsam, das Meßprojekt gründlich zu planen, so daß dieser Fehler nicht auftreten kann. Weiterhin beinhaltet dieses funktionale Modell ausschließlich die Ausgleichung von dreidimensionalen Koordinaten. Ein Lagenetz würde in jeder Z - Koordinate eine Nullspalte erzeugen. Das funktionale Modell wäre auf ein Lagenetz anzupassen, indem alle Unbekannten der Z - Koordinaten aus der Matrix A entfernt würden. Da sich diese Arbeit mit der Kombination von terrestrischen und photogrammetrischen Messungen befaßt, ist der Fall eines reinen Lagenetzes unwahrscheinlich, so daß nur der dreidimensionale Fall berücksichtigt wird.

2.4.4 Stochastisches Modell

Das stochastische Modell beinhaltet die mittleren Fehler der Einzelmessungen und definiert je nach Fehlerwert eine Gewichtung der jeweiligen Beobachtung. Je kleiner der Fehler einer Beobachtung, desto höher wird diese gewichtet. Die Verbesserungen v werden bei der Ausgleichung je nach Gewichtung auf die einzelnen Beobachtungen aufgeteilt. Beobachtungen mit niedriger Genauigkeit wird ein größerer v - Wert zugeordnet als bei Beobachtungen mit höherer Genauigkeit. Bei kombinierten Messungen mit verschiedenen Einheiten entsteht das Problem, daß die Messungen in Ihren Fehlern und hiermit in Ihren Gewichtungen vergleichbar sein müssen. In der Kombination von terrestrischen und photogrammetrischen Messungen entstehen folgende Beobachtungstypen:

Beobachtungstyp	Beob.	Einheit des mittleren Fehlers	Vergleichbare Einheit
Strecken	s, dH	[m]	[m]
Richtungen / Winkel	w, z	[gon]	[Bogenmaß]
Bildkoordinaten	ξ, η	[mm]	[m]

Tab. 2.4.4-1: Einheiten der Beobachtungen

Das vergleichbare Einheitsmaß wurde hier in [m] gewählt. So ergibt sich für die jeweiligen Beobachtungen folgende Umrechnungen der mittleren Fehlerwerte für die Gewichtungsmatrix:

Beobachtungstyp	Einheit	Umrechnung des mittleren Fehlers
Strecken	[m]	keine
Richtungen/Winkel: wkl	[gon]	$m_{wkl(bog)} = m_{wkl(gon)} \cdot \frac{\pi}{200}$
Bildkoordinaten: bk	[mm]	Da dieser mittleren Fehler nur die Meßgenauigkeit im Bild beschreibt, kann nicht einfach von [mm] in [m] umgerechnet werden. Vielmehr ist es hier nötig die Auswirkung des Fehlers in das Objektkoordinatensystem zu übertragen. Mit Hilfe eines Maßstabes, der in Form der Kamerakonstante vorliegt, kann die Umrechnung erfolgen. $m_{bk(m)} = c_k \cdot \frac{m_{bk(mm)}}{1000}$

Tab. 2.4.4-2: Umrechnung der mittleren Fehler

Aufstellung des stochastischen Modells:

$$\text{Gewichtsmatrix: } P = Q_{ll}^{-1} = m_0^2 \cdot C_{ll}^{-1} \quad (\text{siehe Gl. 2.4-2})$$

Kovarianzmatrix C_{ll} :

	w_j	s_j	z_j	dH_j	ξ_j	η_j
w_j	$m_{w_j}^2$	0	0	0	0	0
s_j	0	$m_{s_j}^2$	0	0	0	0
z_j	0	0	$m_{z_j}^2$	0	0	0
dH_j	0	0	0	$m_{dH_j}^2$	0	0
ξ_j	0	0	0	0	$m_{\xi_j}^2$	0
η_j	0	0	0	0	0	$m_{\eta_j}^2$

(2.4.4-1)

Mittlerer Fehler der Winkelbeobachtungen (siehe Gl. 2.2.1-1):

$$w_j = r_j - r_0$$

$$m_{w_j} = \sqrt{m_{r_j}^2 + m_{r_0}^2} = \sqrt{2} \cdot m_r \quad \text{mit} \quad m_r = m_{r_0} = m_{r_j} \quad (2.4.4-2)$$

Mittlerer Fehler der Nivellementbeobachtungen (siehe Gl. 2.2.1-3):

$$dH_j = \sum_{id=1}^n r_{id} - \sum_{id=1}^n v_{id} \quad n \dots \text{Anzahl der Lattenablesungen}$$

$$m_{dH_j} = 2n \cdot \sqrt{m_a} \quad \text{mit} \quad m_a \dots \text{mittlerer Lattenablesefehler}$$

(2.4.4-3)

Die mittleren Fehler der Strecken, Zenitdistanzen und Bildkoordinaten werden nach Berücksichtigung der gewählten Referenzeinheit ohne weitere Berechnung in die Matrix eingetragen.

m_0 – *a priori*:

Dies ist der gewählte mittlere Gewichtseinheitsfehler (Fehlerwert der Gewichtung 1) vor der Ausgleichung.

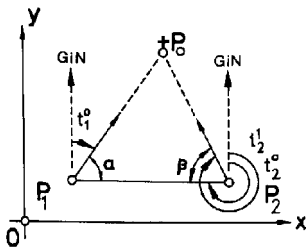
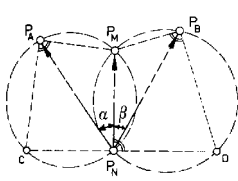
Es ist bei der Bildung des stochastischen Modells zwingend erforderlich, daß alle Beobachtungen einen mittleren Fehlerwert besitzen. Sollte ein mittlerer Fehler Null sein, so würde die Gewichtung auf diese Messung unendlich sein, und die Gewichtsmatrix P wäre nicht bestimmbar. Es ist dann keine Weiterverarbeitung möglich.

Als mittlere Fehler werden in der Regel die Meßgenauigkeiten der verwendeten Geräte eingetragen. Durch Mehrfachmessungen ermittelte Fehlerwerte sind auch verwendbar, allerdings sollten hierbei die Fehlerwerte verschiedener Herkunft nicht vermischt werden. Sollten keine Fehlerwerte vorhanden sein, kann als Schätzung die Gewichtung per Hand bestimmt werden. Das setzt voraus, daß ausreichende Kenntnisse der Meßverfahren und deren Genauigkeitsdimension vorhanden sind.

2.4.5 Näherungswerte

Da diese Ausgleichung ein nichtlineares Problem darstellt, müssen in den partiellen Ableitungen des funktionalen Modells Näherungswerte der Unbekannten eingetragen werden. Demnach müssen diese Näherungswerte vor der Ausgleichung schon vorliegen. Mittels klassischen geodätischen Berechnungen lassen sich die meisten bestimmen.

2.4.5.1 Näherungswerte der Koordinaten und Richtungsorientierung aus geodätischen Berechnungen

Polaraufnahme, Polygonzugberechnung Nivellementscheifen		siehe Gl. 2.2.1-2, Abb. 2.2.1-1, 2.2.1-2 siehe Gl. 2.2.1-3, Abb. 2.2.1-3
Vorwärtsschnitt 	Rückwärtsschnitt 	Diese Möglichkeiten der Berechnung liefern allerdings nur Lagekoordinaten. Die Höhenkomponente kann mittels Nivellement oder Zenitwinkelmessung bestimmt werden. Die Rechenformeln sind der Literatur zu entnehmen. Es gibt noch wesentlich mehr Möglichkeiten der Koordinatenbestimmung, hier sei auf die entsprechende Literatur hingewiesen.
(nach HÄßLER / WACHSMUTH, 1990, S.151, 153)		

Tab. 2.4.5.1: Möglichkeiten der Näherungswertbestimmung von Koordinaten

Richtungsorientierung:

Über den Richtungswinkel $\alpha_s = t_s^R$ (siehe Gl. 2.2.1-1, Abb. 2.2.1-1)

2.4.5.2 Näherungswerte der äußeren Orientierung eines Bildes

Die Näherungswerte des Projektionszentrum X_0, Y_0, Z_0 und der Drehwinkel α, ν, κ (siehe Abb.2.3.1-2 bis 5) sind selten mit mathematischen Methoden direkt zu bestimmen.

Folgende Möglichkeiten der Näherungswernermittlung sind anwendbar:

- Messung der Orientierungswerte während der Aufnahme:

Sollten bei einer Meßkampagne die Messung der Paßpunkte gleichzeitig mit der Aufnahme der Bilder erfolgen, kann der Standpunkt der Bilder vermarktet und eingemessen werden. Die Drehwinkel sind mit Hilfe von Libellen bzw. mit einem Theodoliten zu ermitteln. Die Kamera müßte allerdings hierfür auf einem Stativ montiert werden. Der Aufwand dieser Messung ist allerdings sehr hoch und wird meist nicht so ausgeführt.

- Räumlicher Rückwärtsschnitt:

Sollten in einem Bild mehr als drei gut bestimmte Paßpunkte vorliegen, kann ein räumlicher Rückwärtsschnitt berechnet werden. Es können Einzelbilder als auch ganze Bildverbände gleichzeitig orientiert werden. Je nach Anzahl der Paßpunkte kann auch die innere Orientierung der Meßkamera ermittelt werden. In diesem Fall sind die Näherungswerte optimal für eine folgende Bündelblockausgleichung bestimmt.

- Schätzung der Näherungswerte:

Da aber in den seltensten Fällen genügend Paßpunkte für einen räumlichen Rückwärtsschnitt vorliegen und auch während der Messung die Orientierungswerte nicht direkt gemessen wurden, gibt es meist keine Möglichkeit der eindeutigen Berechnung. Hier können die Näherungswerte nur geschätzt werden. Anhand einer Skizze der Paßpunkte und des Bildausschnittes kann das Projektionszentrum und der Öffnungswinkel graphisch in die Skizze eingepaßt werden. Die Koordinaten des Projektionszentrum und der Wert des Winkels α ist graphisch zu entnehmen. Die Winkel ν und κ können aus dem Bild direkt geschätzt werden. Der Nachteil hieran ist, daß jede ungenaue Schätzung die Näherungswerte der Neupunkte aus den Bildern erheblich beeinflußt, da diese ja aus den Orientierungswerten hervorgehen.

Konvergenzradius:

Durch Ausprobieren mehrerer Abweichungen zu den richtigen Orientierungswerten mit Hilfe des Programms VERTECH konnte ein ungefährer Konvergenzradius ermittelt werden. Da allerdings alle Kombinationen mehrerer Bilder eine genauere Analyse des Konvergenzradiuses erfordert sind die ermittelten Werte trotzdem noch kritisch zu betrachten.

Näherungswert	maximale Abweichung
Projektionszentrum X_0, Y_0, Z_0	1-2 Meter
Winkel α : Azimut linksdrehend	40 gon, Aufnahmerichtung beachten
Winkel ν : Nadirdistanz (horizontal: 100 gon)	50 gon
Winkel κ : Bildverkantung (gerade: 0 gon)	30 gon

Tab. 2.4.5.2: Konvergenzradius

Eine Schätzung der Näherungswerte aus einer Skizze ist also ausreichend genau für die Konvergenz des Ausgleichungssystems. Sollte das Projektionszentrum nicht genauer schätzbar sein, muß iterativ ausprobiert werden. Der Winkel α ist aber trotzdem mit Vorsicht zu betrachten, da die Aufnahmerichtung verwechselt werden kann.

2.4.5.3 Näherungswerte der Neupunkte aus Bildkoordinaten X_z, Y_z, Z_z

Diese Näherungswerte sind nur zu bestimmen, wenn sie mindestens in zwei Bildern sichtbar sind, und Werte oder Näherungswerte für die äußere Orientierung der Bilder vorliegen. Mittels einer separaten Ausgleichung der Bildkoordinaten werden die Näherungswerte bestimmt (nach KRAUS, Band 2, 1996, S. 47).

Kollinearitätsbeziehungen:

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_0 - c \frac{Z_x}{N} \\ \eta &= \eta_0 - c \frac{Z_y}{N} \end{aligned} \quad \text{mit} \quad \xi_0 = \eta_0 = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} 0 &= N\xi - c \cdot Z_x \\ 0 &= N\eta - c \cdot Z_y \end{aligned} \quad (2.4.5.3-1)$$

siehe: Kollinearitätsbeziehungen: Gl. 2.3.1-2, Vereinfachungen Z_x, Z_y, N Gl. 2.4.1-6,

Drehmatrix $R_{\alpha\nu\kappa}$ Gl. 2.3.1-1

Durch Umordnung entstehen folgende Gleichungen: (2.4.5.3-2)

$$\underbrace{(cr_{11} + \xi_{13})X_0 + (cr_{21} + \xi_{23})Y_0 + (cr_{31} + \xi_{33})Z_0 - (cr_{11} + \xi_{13})X_Z + (cr_{21} + \xi_{23})Y_Z + (cr_{31} + \xi_{33})Z_Z = 0}_{\text{Bekannt: Beobachtungen } l_1, l_2} \underbrace{(cr_{12} + \eta_{13})X_0 + (cr_{22} + \eta_{23})Y_0 + (cr_{32} + \eta_{33})Z_0 - (cr_{12} + \eta_{13})X_Z + (cr_{22} + \eta_{23})Y_Z + (cr_{32} + \eta_{33})Z_Z = 0}_{\text{Funktionaler Zusammenhang } A, x}$$

Bekannt: Beobachtungen l_1, l_2

Funktionaler Zusammenhang A, x

Fehlergleichungen der Ausgleichung: $l + v = A \cdot x$ (siehe Gl. 2.4.2-1)

Es wird auf die Interpretation der Verbesserungen v verzichtet, da hier nur der Lösungsvektor von Interesse ist. Auch das stochastische Modell wird auf eine Gewichtungsmatrix $P = E$ vereinfacht. Die Ausgleichung besteht aus einem linearen Problem und benötigt daher keine Näherungswerte.

Funktionalmatrix A :

	X_Z	Y_Z	Z_Z
Bild 1: l_1	$(cr_{11} + \xi_{13})$	$(cr_{21} + \xi_{23})$	$(cr_{31} + \xi_{33})$
Bild 1: l_2	$(cr_{12} + \eta_{13})$	$(cr_{22} + \eta_{23})$	$(cr_{32} + \eta_{33})$
Bild 2: l_1	$(cr_{11} + \xi_{23})$	$(cr_{21} + \xi_{23})$	$(cr_{31} + \xi_{33})$
Bild 2: l_2	$(cr_{12} + \eta_{23})$	$(cr_{22} + \eta_{23})$	$(cr_{32} + \eta_{33})$
.	.	.	.

(2.4.5.3-3)

Gewichtsmatrix: $P = E$ mit $m_0 - \text{a priori} = 1$

Ausgleichung: $x = (A^T P A)^{-1} \cdot (A^T P l)$ mit $P = E \rightarrow x = (A^T A)^{-1} \cdot (A^T l)$ (2.4.5.3-4)

$$\text{Ergebnis / Lösungsvektor: } x = \begin{bmatrix} X_Z \\ Y_Z \\ Z_Z \end{bmatrix}$$

Für jeden Neupunkt, der aus den Bildbeobachtungen resultiert ist diese Ausgleichung durchzuführen. Es ist zu beachten, daß diese Werte auch nur als Näherungswerte verwendet werden können, da deren Bestimmung auf den Näherungswerten der äußeren Orientierung beruht. Sie können erhebliche Differenzen aufweisen, die auch hier die Gesamtausgleichung negativ beeinträchtigen können, indem die Ausgleichung möglicherweise divergent ist.

Alle für die Gesamtausgleichung benötigten Näherungswerte sind jetzt beschrieben und können in die Berechnung der Ausgleichung eingehen. Es ist wichtig diese Punkte auch als Näherungswerte zu bezeichnen, damit diese nicht fälschlicherweise als endgültig koordinierte Punkte verwechselt werden.

Näherungswerte x_0 : $x = x_0 + \Delta x$ (2.4.5-1)

2.4.6 Aufstellung und Berechnung der Ausgleichung

Die Berechnung der Ausgleichung ist lediglich in Form von Matrizenrechnungen darstellbar. Der mathematische Hintergrund ist äußerst umfangreich und kann in dieser Arbeit nicht ausreichend dargestellt werden.

Berechnung der Ausgleichung (Vgl. GRÜNDIG, SS 1995):

Schritt	Gleichung
Fehlergleichungen: Ausgangsposition	$v = A \cdot \Delta x - \Delta l$ (siehe Gl. 2.4.2-1)
Normalgleichungsmatrix: Definition des Ausgleichungssystems	$N = A^T P A$ (2.4.6-1)
Lösungsvektor: Differenzen zu den Näherungswerten	$\Delta x = N^{-1} \cdot A^T P \Delta l$ (2.4.6-2) ($x = x_0 + \Delta x$) (siehe Gl. 2.4.5-1)
Verbesserungen der Beobachtungen: Aufteilung der Verbesserungen auf die jeweiligen Beobachtungen, je nach Gewichtung.	$(v = A \cdot \Delta x - \Delta l)$
Kontrolle der Linearisierung: Nach der Ausgleichung wird der veränderte Lösungsvektor $x = x_0 + \Delta x$ hier eingesetzt.	$A^T P v = 0$ (2.4.6-3)
Schätzung des mittleren Gewichtseinheitsfehlers nach der Ausgleichung: $m_0 - \text{aposteriori}$	$m_0^2 = \frac{v^T P v}{r}, \quad r = n - u$ (2.4.6-4)
Kofaktorenmatrix: gewichtete Fehlermatrix	$Q_{xx} = N^{-1}$ (2.4.6-5)
Kovarianzmatrix: Fehlermatrix des Lösungsvektors Δx	$C_{xx} = m_0^2 \cdot Q_{xx}$ (2.4.6-6)
Matrix A: siehe Gl. 2.4.3-1, Vektor Δl : siehe Gl. 2.4.3-2, Gewichtsmatrix P: siehe Gl. 2.4-2, 2.4.4-1, Näherungswerte x_0 : siehe Gl. 2.4.5-1	

Tab. 2.4.6-1: Ausgleichungsformeln

Um aussagekräftige Ergebnisse zu bekommen muß in der Regel das Ausgleichungssystem mehrfach berechnet / iteriert werden. Der bei der ersten Iteration ermittelte Lösungsvektor wird auf die Näherungswerte addiert. Mit diesen neuen "Näherungswerten" wird die Ausgleichung nochmals berechnet. Dieser Vorgang wird solange wiederholt, bis sich die Werte nicht mehr in einem vorgegebenen Genauigkeitsbereich verändern (Konvergenz), oder die Werte immer größere Differenzen zeigen (Divergenz). Im Fall der Divergenz, müssen grobe Fehler vorliegen, die über den Verbesserungsvektor bestimmten Messungen zugeordnet werden können. Grobe Meßfehler, zu ungenaue Näherungswerte oder eine ungünstige Aufnahmeconfiguration mit geringer Kontrolliertheit können zu einer Divergenz führen. Im

Fall der Konvergenz ist die Lösung erreicht und kann für weitere Berechnungen weiter verwendet werden. Es liegen nun Koordinaten bzw. Werte der äußeren Orientierung der Bilder mit deren mittleren Fehler vor.

Lösungsvektor Δx :

Nach der Ausgleichung entstehen Differenzwerte zu den Näherungen. absoluter Lösungsvektor x: $x = x_0 + \Delta x$ (siehe Gl. 2.4.5-1) *- Diese Unbekannten sind auch hier wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben nur zur besseren Übersicht extra aufgeführt worden. Alle Koordinaten werden bei der Berechnung einem i zugeordnet (X_{Zi}, Y_{Zi}, Z_{Zi}). Bei allen weiteren Darstellungen dieser Arbeit werden diese Elemente nicht mehr weiter aufgeführt.	$\Delta x = \begin{bmatrix} \Delta X_{Zi} \\ \Delta Y_{Zi} \\ \Delta Z_{Zi} \\ (\Delta X_S)^* \\ (\Delta Y_S)^* \\ (\Delta Z_S)^* \\ (\Delta Z_v)^* \\ (\Delta Z_r)^* \\ (\Delta X_0)^* \\ (\Delta Y_0)^* \\ (\Delta Z_0)^* \\ \Delta o_S \\ \Delta \alpha_k \\ \Delta v_k \\ \Delta \kappa_k \end{bmatrix}$
---	--

Tab. 2.4.6.1: Ergebnisvektor

Kovarianzmatrix C_{xx} :

	X_{Zi}	Y_{Zi}	Z_{Zi}	o_S	α_k	v_k	κ_k
X_{Zi}	$m_{X_{Zi}}^2$	$\text{cov}(X_{Zi}, Y_{Zi})$	$\text{cov}(X_{Zi}, Z_{Zi})$	$\text{cov}(X_{Zi}, o_S)$	$\text{cov}(X_{Zi}, \alpha_k)$	$\text{cov}(X_{Zi}, v_k)$	$\text{cov}(X_{Zi}, \kappa_k)$
Y_{Zi}	$\text{cov}(X_{Zi}, Y_{Zi})$	$m_{Y_{Zi}}^2$	$\text{cov}(Y_{Zi}, Z_{Zi})$	$\text{cov}(Y_{Zi}, o_S)$	$\text{cov}(Y_{Zi}, \alpha_k)$	$\text{cov}(Y_{Zi}, v_k)$	$\text{cov}(Y_{Zi}, \kappa_k)$
Z_{Zi}	$\text{cov}(X_{Zi}, Z_{Zi})$	$\text{cov}(Y_{Zi}, Z_{Zi})$	$m_{Z_{Zi}}^2$	$\text{cov}(Z_{Zi}, o_S)$	$\text{cov}(Z_{Zi}, \alpha_k)$	$\text{cov}(Z_{Zi}, v_k)$	$\text{cov}(Z_{Zi}, \kappa_k)$
o_S	$\text{cov}(X_{Zi}, o_S)$	$\text{cov}(Y_{Zi}, o_S)$	$\text{cov}(Z_{Zi}, o_S)$	$m_{o_S}^2$	$\text{cov}(o_S, \alpha_k)$	$\text{cov}(o_S, v_k)$	$\text{cov}(o_S, \kappa_k)$
α_k	$\text{cov}(X_{Zi}, \alpha_k)$	$\text{cov}(Y_{Zi}, \alpha_k)$	$\text{cov}(Z_{Zi}, \alpha_k)$	$\text{cov}(o_S, \alpha_k)$	$m_{\alpha_k}^2$	$\text{cov}(v_k, \alpha_k)$	$\text{cov}(\alpha_k, \kappa_k)$
v_k	$\text{cov}(X_{Zi}, v_k)$	$\text{cov}(Y_{Zi}, v_k)$	$\text{cov}(Z_{Zi}, v_k)$	$\text{cov}(o_S, v_k)$	$\text{cov}(v_k, \alpha_k)$	$m_{v_k}^2$	$\text{cov}(v_k, \kappa_k)$
κ_k	$\text{cov}(X_{Zi}, \kappa_k)$	$\text{cov}(Y_{Zi}, \kappa_k)$	$\text{cov}(Z_{Zi}, \kappa_k)$	$\text{cov}(o_S, \kappa_k)$	$\text{cov}(\alpha_k, \kappa_k)$	$\text{cov}(v_k, \kappa_k)$	$m_{\kappa_k}^2$

(2.4.6.1)

Die mittleren Fehler der Unbekannten sind in den Diagonalelementen dieser Matrix zu finden. Da in den meisten Fällen die Unbekannten miteinander korreliert sind, sind die Werte der Kovarianzen dann nicht Null, das heißt um Fehlerellipsen / Fehlerellipsoide eines Punktes zu erstellen, müssen diese Kovarianzen für diese Berechnung hinzugezogen werden. Weiterhin kann aus den Kovarianzen auch jeweils der Korrelationskoeffizient berechnet werden, um festzustellen, ob eine zu starke Korrelation vorliegt (>95%). Ist dies der Fall, so zeigt das auf eine ungünstige Aufnahmekonfiguration bzw. kann auf unerkannte Fehler im mathematischen Modell hinweisen. Sollten Folgerechnungen mit den nun bestimmten Unbekannten durch-

geführt werden, so ist streng genommen nicht nur der mittlere Fehler, sondern die jeweilige Teilmatrix bei einer Fehlerfortpflanzung bzw. einer weiteren Ausgleichung zu verwenden.

m_0 – *a posteriori* :

Dies ist der berechnete mittlere Gewichtseinheitsfehler (Fehlerwert der Gewichtung 1) nach der Ausgleichung. Mit diesem Wert wird die Kovarianzmatrix C_{xx} aus der Kofaktorenmatrix Q_{xx} bestimmt. Der Vergleich mit dem vor der Ausgleichung gewählten m_0 – *a priori* ermöglicht eine Einschätzung der Richtigkeit des stochastischen Modells. Wenn der Quotient beider Werte etwa den Wert Eins hat, so ist das stochastische Modell realistisch eingeschätzt worden. Sollten die Werte mehr oder weniger voneinander abweichen, heißt das allerdings nicht gleich, daß das stochastische Modell falsch ist. Die ermittelten Ergebnisse haben trotzdem noch ihre volle Aussagekraft und können weiter verwendet werden.

2.5 Freie Netzausgleichung

In einem lokalen Koordinatensystem, das speziell für eine Meßkampagne gewählt wurde, kann mit der Ausgleichung eine unterschiedliche Fehlerverteilung der Punkte im Netz angestrebt werden. Eine einfache Netzausgleichung setzt mindestens zwei Festpunkte eines Lagenetzes bzw. drei Festpunkte eines Raumnetzes voraus, an denen das Netz angeschlossen wird. Das lokale Koordinatensystem wird über diese Punkte definiert. Diese Ausgleichung wird zwangsfreie Ausgleichung genannt.

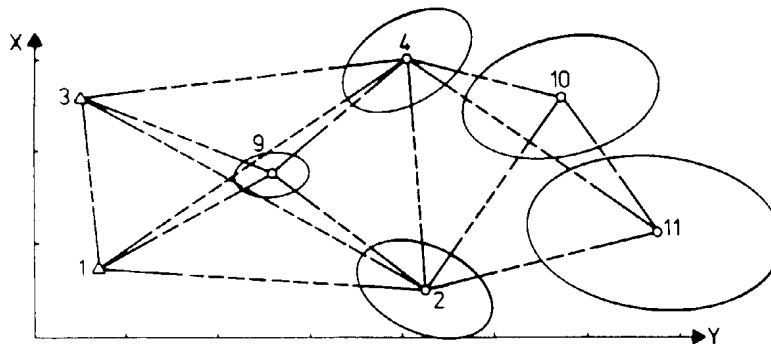


Abb. 2.5-1: zwangsfreie Ausgleichung Lagenetz, Festpunkte 1, 3 (aus PELZER, 1985, S.196)

Nun können weitere Festpunkte das Netz stabilisieren und die Fehler anders verteilen: Die Ausgleichung unter Zwang.

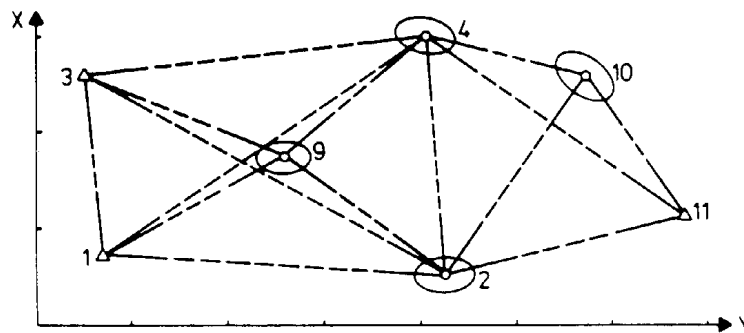


Abb. 2.5-2: Ausgleichung unter Zwang Lagenetz, Festpunkte 1,3,11 (aus PELZER, 1985,S.197)

Alle bisher beschriebenen Ausgleichung setzen die Existenz von fehlerfreien Festpunkten voraus. Zwar ist es möglich bei der Definition eines Koordinatensystems zwei bzw. drei Punkte festzuhalten, allerdings werden die Meßfehler, die bei der Messung dieser Punkte entstehen nicht berücksichtigt. Die mittleren Punktfehler der Neupunkte variieren mit der Anzahl der Messungen des Neupunkts zu dem nächsten Festpunkt. Je mehr Messungen bzw. andere Neupunkte zwischen dem Neupunkt und einem Festpunkt liegen, desto größer ist sein mittlerer Punktfehler.

Es ist also sinnvoll, alle Meßfehler auf alle Punkte gleichsam zu verteilen. Das hat zur Folge, daß die mittleren Fehler aller Punkte im gesamten geringer ausfallen, als bei einer einfachen Ausgleichung, und daß bei einem lokalen Koordinatensystem die Fehlerverteilung realistischer erfolgt, da es keine Spannungen der Festpunkte gibt. Es werden also nur die Fehler der inneren Netzgeometrie auf die Neupunkte verteilt. Diese Ausgleichung wird freie Netzausgleichung genannt.

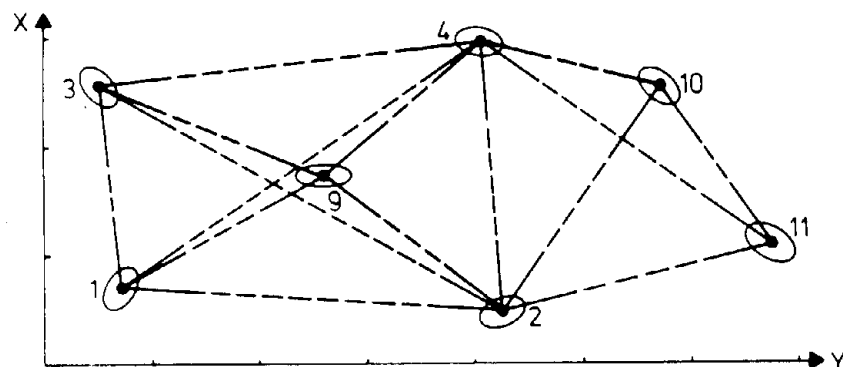


Abb. 2.5-3: freie Netzausgleichung, Gesamtspurminimierung (aus PELZER, 1985, S.196)

Die freie Netzausgleichung erfordert allerdings eine Erweiterung der Formeln der Netzausgleichung aus Kapitel 2.4, da ohne Festpunkte ein Datumsdefekt besteht. Die bei der Ausgleichung entstehende Normalgleichungsmatrix ist singulär, und kann daher nicht auf normalem Wege invertiert werden. Es sind also noch zusätzliche Informationen für diese Ausgleichung nötig. Je nach Datumsdefekt werden jetzt zusätzliche Bedingungsgleichungen in die Ausgleichung eingefügt.

Mathematischer Zusammenhang:

Der komplette mathematische Hintergrund der Gesamtspurminimierung ist in dieser Arbeit nicht komplett darstellbar. Es ist daher auch hier auf die entsprechende Literatur hingewiesen. (Vgl. PELZER, 1985, S. 201 / ILLNER, AVN 1993, S. 157 / MITTERMAYER, ZfV 1972, S.481)

Zusätzliche Bedingungen der freien Netzausgleichung:

$$NG = 0 \quad / \quad Q_{xx}G = 0 \quad / \quad G^T x = 0$$

(2.5-1)

Matrix G: Matrix der Eigenvektoren für d-fachen (Datumsdefekt) Eigenwert $\lambda = 0$.

Matrix G der Eigenvektoren:

Dimen- sion	Netztyp	Art der Beobachtungen	Defekt	freie Datums- parameter	Eigenvektorkomp. G _i des i-ten Punktes		
					Translation	Rotation	Skalierung
f = 1	Höhennetz	Höhenunterschiede	d = 1	1 Translation	1		
f = 2	Lagenetz	Strecken und Azimute	d = 2	Translation in y- und x-Richtung	1 0 0 1		
		Strecken oder Strecken und Richtungen	d = 3	2 Translationen, Rotation um z-Achse	1 0 0 1	-x _i y _i	
		Richtungen, Streckenver- hältnisse oder wie bei d = 3 incl. Maßstabsunbekannte	d = 4	2 Translationen 1 Rotation 1 Skalierung	1 0 0 1	-x _i y _i	y _i x _i
f = 3	Raumnetz	Strecken und Zenitdistanzen oder Strecken und Horizon- talrichtungen oder Strecken und Horizon- talricht. u. Zenitdistanzen	d = 4	Translation in x-, y- und z-Richtung, Rotation um z- Achse	1 0 0 0 1 0 0 0 1	-y _i x _i 0	
		Horizontalrichtungen und Zenitdistanzen oder wie bei d = 4 (f = 3) incl. Maßstabsunbekannte	d = 5	3 Translationen 1 Rotation 1 Skalierung	1 0 0 0 1 0 0 0 1	-y _i x _i 0	x _i y _i z _i
		Strecken	d = 6	3 Translationen Rotation um x-, y- und z-Achse	1 0 0 0 1 0 0 0 1	0 z _i -y _i -z _i 0 x _i y _i -x _i 0	
		wie bei d = 6 incl. Maßstabsunbekannte	d = 7	3 Translationen 3 Rotationen 1 Skalierung	1 0 0 0 1 0 0 0 1	0 z _i -y _i -z _i 0 x _i y _i -x _i 0	x _i y _i z _i

Tab. 2.5: Datumsdefekt (aus ILLNER, AVN Vol. 5/90, 1983, S. 168)

Da es sich in dieser Arbeit um ein Raumnetz handelt und die Messungen unterschiedlicher Art sind muß für die Matrix G ein Datumsdefekt von d=7 angenommen werden. Weiterhin ist jetzt auf die genaue Definition der X, Y - Achse zu achten. Da diese Achsen bei geodätischen Systemen im Vergleich zu photogrammetrischen Koordinatensystemen vertauscht sind, ist darauf zu achten, daß X, Y, Z wieder im photogrammetrischen System gegeben sind.

Die Matrix G lautet also:

$$G = \left[\begin{array}{ccc|ccc|c} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_{Zi} & Y_{Zi} & X_{Zi} \\ 0 & 1 & 0 & Z_{Zi} & 0 & -X_{Zi} & Y_{Zi} \\ 0 & 0 & 1 & -Y_{Zi} & X_{Zi} & 0 & Z_{Zi} \\ \hline 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_{Zi+1} & Y_{Zi+1} & X_{Zi+1} \\ 0 & 1 & 0 & Z_{Zi+1} & 0 & -X_{Zi+1} & Y_{Zi+1} \\ 0 & 0 & 1 & -Y_{Zi+1} & X_{Zi+1} & 0 & Z_{Zi+1} \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{array} \right] \quad (2.5-2)$$

Als Koordinaten $P_{Zi}(X_{Zi}, Y_{Zi}, Z_{Zi})$ werden die vorher ermittelten Näherungswerte (siehe Kapitel 2.4.5) des jeweiligen Punktes eingetragen.

Durch Ränderung der Normalgleichungsmatrix N mit der Matrix G kann die Singularität der Matrix N beseitigt werden. Das Ergebnis ist eine sogenannte Pseudo-Inverse N^+ .

$$\begin{bmatrix} N & G \\ G^T & 0 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} Q_{xx} & G(G^T G)^{-1} \\ (G^T G)^{-1} G^T & 0 \end{bmatrix} \quad (2.5-3)$$

Durch Umformung der Gleichung 2.5-3 nach Q_{xx} erhält man (aus GRÜNDIG, SS 1996):

$$Q_{xx} = (A^T P A + G(G^T G)^{-1} G^T)^{-1} - G(G^T G)^{-1} G^T$$

$$N^+ = Q_{xx} \quad (2.5-4)$$

Nun können alle Matrizen und Vektoren der Ausgleichung mit der Pseudo-Inversen N^+ berechnet werden.

$$\Delta x = N^+ \cdot A^T P \Delta l \quad (2.5-5)$$

$$Q_{xx} = N^+$$

Besonders ist bei der Gesamtpurminimierung auf den mittleren Gewichtseinheitsfehler m_0 – *apriori* zu achten. Hiermit wird der Bewegungsspielraum der Punkte beeinflusst. Je höher dieser Wert, desto mehr Freiheit hat das System und kann zu sehr großen Fehlerellipsen / Fehlerellipsoiden führen. Weiterhin reagiert die freie Netzausgleichung äußerst empfindlich auf fehlerhafte Einflüsse. Hier ist eine nähere Untersuchung erforderlich, um die optimalen Bedingungen einer Gesamtpurminimierung zu finden. Im Rahmen dieser Arbeit wird nur auf die Möglichkeit einer freien Netzausgleichung hingewiesen und keine Untersuchung bzw. Wertung der Ergebnisse vorgenommen.

2.6 Zusätzliche Bedingungen

Die Architekturphotogrammetrie befaßt sich wie der Name schon sagt mit der photogrammetrischen Vermessung von Bauwerken. Da in diesen Bauwerken oftmals einfache geometrische Strukturen vorhanden sind, können diese als Zusatzinformation in Form von zusätzlichen Beobachtungen in die Ausgleichung aufgenommen werden. Dies erhöht die Redundanz und kann die Ausgleichung stabilisieren. Auch kann hiermit die Anzahl der Paßpunkte reduziert werden, die in der Regel nur sehr knapp zur Verfügung stehen.

Folgende geometrische Elemente werden beschrieben:

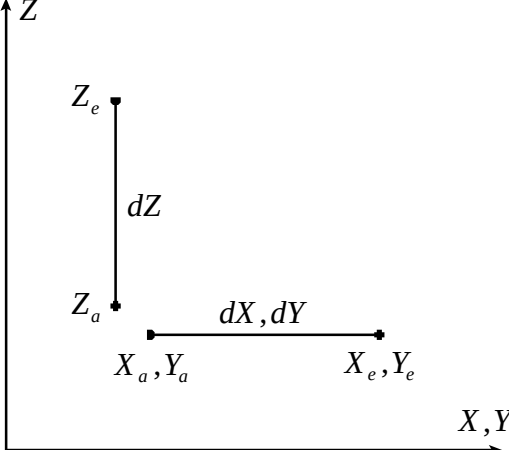
- Koordinatendifferenzen
- Gerade im Raum
- Ebene im Raum
- Orthogonalität zweier Geraden

Anmerkung:

Die folgenden theoretischen Grundlagen beschreiben eine Möglichkeit, um Bedingungen in eine Ausgleichung einzufügen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß es bessere Methoden gibt und es erfolgte auch keine ausführliche Testphase, so daß eine weitere Untersuchung nötig ist.

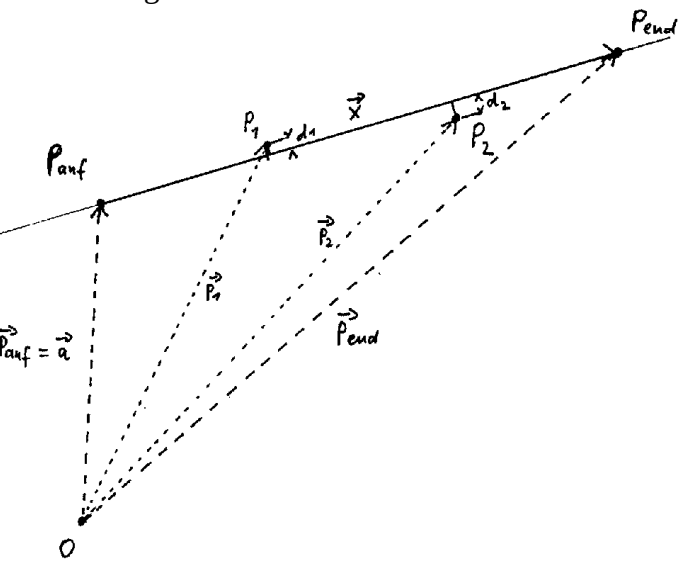
2.6.1 Koordinatendifferenzen

Da die meisten Hausfassaden nahezu in Lotrichtung verlaufen, lassen sich Differenzen in der Z - Achse einfach messen und als Zusatzinformation verwenden. Auch in der X oder Y - Achse sind solche Differenzen oftmals direkt meßbar, da ein lokales Koordinatensystem meist so gewählt wird, daß die Hausfassade auf einer Achse liegt, oder parallel zu dieser Achse verläuft.

Geometrische Darstellung	Bezeichnungen / Zusammenhang
 Abb. 2.6.1	$\begin{aligned} dX &= X_e - X_a \\ dY &= Y_e - Y_a \\ dZ &= Z_e - Z_a \end{aligned} \quad (2.6.1-1)$ <u>Beobachtungsgleichungen:</u> $\begin{aligned} dX_j + v_j &= X_e - X_a \\ dY_j + v_j &= Y_e - Y_a \\ dZ_j + v_j &= Z_e - Z_a \end{aligned} \quad (2.6.1-2)$ <u>Partielle Ableitungen: (2.6.1-3)</u> $\frac{\partial dX_j}{\partial X_e} = \frac{\partial dY_j}{\partial Y_e} = \frac{\partial dZ_j}{\partial Z_e} = 1 \quad \frac{\partial dX_j}{\partial X_a} = \frac{\partial dY_j}{\partial Y_a} = \frac{\partial dZ_j}{\partial Z_a} = -1$
Analog zu der Z - Komponente lassen sich auch die Formeln des Nivellement anwenden (siehe Kapitel 2.2.1).	

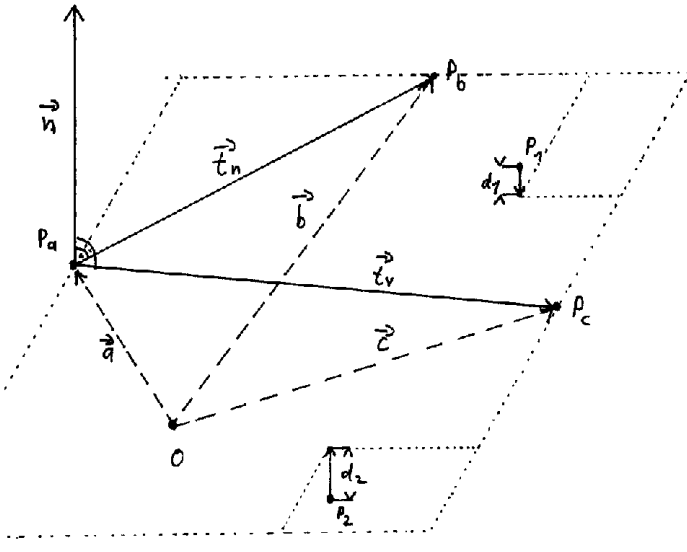
Tab. 2.6.1: Koordinatendifferenzen

2.6.2 Gerade im Raum

Geometrische Darstellung	Bezeichnung / Zusammenhang
Beobachtung: Abstand zur Geraden  Abb. 2.6.2	<u>Geradengleichung:</u> $g: \vec{x} = \vec{a} + t \cdot \vec{b} \quad (2.6.2-1)$ mit: $\vec{a} = \vec{P}_{anf}$ und $\vec{b} = \vec{P}_{end} - \vec{P}_{anf}$ <u>Abstand Gerade - Punkt:</u> $d_j = \frac{ \vec{b} \times (\vec{P}_{zi} - \vec{a}) }{ \vec{b} } \quad \text{Bsp.: } \vec{P}_{zi} \dots \vec{P}_1, \vec{P}_2$ (aus STÖCKER, 1995, S. 384) <u>Beobachtungsgleichung:</u> $0 + v_j = \frac{ \vec{b} \times (\vec{P}_{zi} - \vec{a}) }{ \vec{b} } \quad (2.6.2-2)$
Eine Gerade im Raum wird durch zwei Punkte definiert. Jeder weitere Punkt, der auf der Gerade liegen soll, bildet eine Beobachtung.	

Tab. 2.6.2: Bedingung der Gerade im Raum

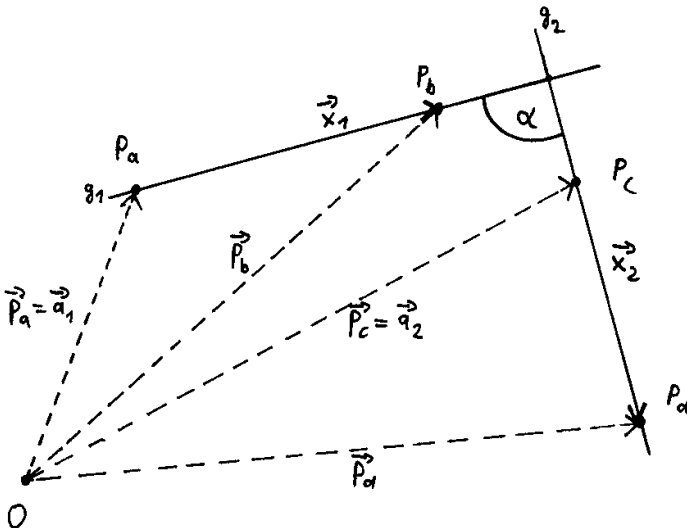
2.6.3 Ebene im Raum

Geometrische Darstellung	Bezeichnung / Zusammenhang
Beobachtung: Abstand zur Ebene  Abb. 2.6.3	<u>Ebenengleichung:</u> $\vec{a} = \vec{P}_a, \quad \vec{c} = \vec{P}_c, \quad \vec{b} = \vec{P}_b$ $\vec{x} = \vec{t}_v = \vec{c} - \vec{a}, \quad \vec{t}_n = \vec{b} - \vec{a}$ $E: D = \vec{n} \cdot \vec{x} \quad (2.6.3-1)$ $\vec{n} = \frac{\vec{t}_n \times \vec{t}_v}{ \vec{t}_n \times \vec{t}_v }, \quad D \text{ .. Abstand von E zu } 0$ <u>Abstand Ebene - Punkt:</u> $d_j = \vec{n} \cdot \vec{P}_{zi} - \vec{n} \cdot \vec{x} \quad \text{Bsp.: } \vec{P}_{zi} \dots \vec{P}_1, \vec{P}_2$ (aus STÖCKER, 1995, S. 386) <u>Beobachtungsgleichung:</u> $0 + v_j = \vec{n} \cdot \vec{P}_{zi} - \vec{n} \cdot \vec{x} \quad (2.6.3-2)$

Eine Ebene wird im Raum mit drei Punkten definiert. Auch hier bildet jeder weitere Punkt, der sich auf der Ebene befinden soll, eine Beobachtung.

Tab. 2.6.3: Bedingung der Ebene im Raum

2.6.4 Orthogonalität zweier Geraden

Geometrische Darstellung	Bezeichnung / Zusammenhang
Beobachtung Schnittwinkel:  Abb. 2.6.4	<u>Geradengleichungen:</u> $g_1: \vec{x}_1 = \vec{a}_1 + t_1 \cdot \vec{b}_1$ $g_2: \vec{x}_2 = \vec{a}_2 + t_2 \cdot \vec{b}_2$ $\vec{a}_1 = \vec{P}_a, \quad \vec{b}_1 = \vec{P}_b - \vec{P}_a$ $\vec{a}_2 = \vec{P}_c, \quad \vec{b}_2 = \vec{P}_d - \vec{P}_c$ <u>Schnittwinkel:</u> $\cos \alpha = \frac{ \vec{b}_1 \cdot \vec{b}_2 }{ \vec{b}_1 \cdot \vec{b}_2 } \quad (2.6.4-1)$ (aus STÖCKER, 1995, S. 384) <u>Beobachtungsgleichung:</u> $\frac{\pi}{2} + v_j = \arccos \frac{ \vec{b}_1 \cdot \vec{b}_2 }{ \vec{b}_1 \cdot \vec{b}_2 } \quad (2.6.4-2)$

Es werden zwei Geraden mit jeweils zwei Punkten definiert. Die Beobachtung beschreibt den Schnittwinkel der Geraden.

Tab. 2.6.4: Orthogonalitätsbedingung

Anmerkungen:

Bei allen zusätzlichen Bedingungen werden für die Punkte P die in Kapitel 2.4.5 ermittelten Näherungswerte verwendet:

$$P_{Zi}(X_{Zi}, Y_{Zi}, Z_{Zi}) \rightarrow \vec{P}_{Zi} = \begin{bmatrix} X_{Zi} \\ Y_{Zi} \\ Z_{Zi} \end{bmatrix} \text{ bzw. } \vec{P}_{anf}, \vec{P}_{end}, \vec{P}_a, \vec{P}_b, \vec{P}_c, \vec{P}_d$$

In den Tabellen 2.6.2 bis 2.6.4 wurden keine partiellen Ableitungen dargestellt, da diese einen erheblichen Umfang haben. Die Beschreibung beschränkt sich lediglich auf einen möglichen Weg, um zusätzlichen Bedingungen in die Ausgleichung einzubinden.

2.6.5 Gewichtung der Beobachtungen

Die Gewichtung der in Kapitel 2.6.1 beschriebenen Koordinatendifferenzen läßt sich wie bei dem in Tabelle 2.4.4-1 beschriebenen Beobachtungstyp Strecke beschreiben, da bei dieser "Streckenmessung" auch ein dazugehöriger mittlerer Fehler ermittelbar ist.

Die zusätzlichen Bedingungen in Kapitel 2.6.2 bis 2.6.4 in Form von Beobachtungen benötigen für das stochastische Modell jedoch fiktive Gewichtungen. Da die Beobachtung eigentlich fehlerfrei sind, müßte ihre Gewichtung Unendlich betragen, damit die Verbesserungen Null werden. Das ist allerdings ausgleichungstechnisch nicht möglich, da der mittlere Fehler dieser Beobachtungen auf Null gesetzt werden müßte, und somit die zugehörige Kovarianzmatrix nicht invertierbar wäre. Es ist hier also ein sehr kleiner Fehler zu verwenden, am besten die maximale technisch mögliche Rechengenauigkeit (Bsp.: maximal 20. Nachkommastelle).

Da dieser Fehlerwert also beliebig wählbar ist, kann per Hand die Gewichtung der Bedingungen individuell beeinflußt werden. Diese geometrischen Elemente sind ja auch nicht unendlich genau gebaut worden, so daß in der Realität Abweichungen bestehen, die bei deren Kenntnis natürlich auch als reale Fehler in die Ausgleichung eingehen können.

3. Technische Realisierung in dem Computerprogramm VERTECH

3.1 Allgemeiner Programmaufbau / historische Entwicklung

Das Programm VERTECH ist ein Programm zur Berechnung und Verwaltung von vermessungstechnischen Projekten. Die ersten Module des Programms entstanden im Jahre 1994, wo die grundsätzliche Benutzerführung, die Dateiverwaltung und die ersten Berechnungen im Bereich der niederen Geodäsie aus Feldbüchern zu einer Koordinatendatei (Projekt) realisiert wurden. Das Programm wurde je nach Bedarf weiterentwickelt, bis alle gängigen Berechnungsmodule der niederen Geodäsie fertiggestellt und getestet waren. Ein weiteres Modul zur Matrizen- und Ausgleichungsrechnung entstand im Jahre 1995 das von dem vermessungstechnischen Teil getrennt entwickelt, und später in das Hauptprogramm eingebunden wurde. Auch hier wurde eine grundsätzliche Dateiverwaltung und Benutzerführung geschaffen. Später folgten Koordinatentransformationen, Photogrammetrische Berechnungen und Datenkonvertierungen.

Da die wichtigsten Berechnungen in diesem Programm zusammengefaßt sind, ist es möglich verschiedene Messungen einem Projekt zuzuordnen. So kann ein Projekt (Koordinatenverzeichnis) Schritt für Schritt aufgebaut und verfeinert werden. Hierbei wird auch auf Eindeutigkeit der Ergebnisse geachtet (Bsp.: keine doppelten Punktnummern). Die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen (soweit möglich) kann entweder auf dem Bildschirm oder in einer Protokolldatei nachgelesen werden.

3.1.1 Benutzerführung

Der Benutzer wird mit verständlichen Formulierungen durch das Programm geführt. Eingaben per Hand sollen auf ein Minimum reduziert werden, damit die Fehlerquelle des Vertippens so gering wie möglich ist. Per Hand eingetragene Koordinaten werden sofort gespeichert und liegen dann für alle Berechnungen vor. Die Steuerung der Koordinaten wird ausschließlich über die Punktnummer vorgenommen, insofern sie vorliegen. Nicht vorliegende Punkte können jederzeit nachgetragen werden. Doppelte Punktnummern werden abgefangen, indem der Benutzer wählen kann, ob der Eintrag dieser Punktnummer überschrieben, verworfen, oder mit einer anderen Punktnummer versehen werden soll. Alle ermittelten Ergebnisse in Form von Koordinaten werden in der Koordinatendatei automatisch gespeichert. Die Koordinatendatei ist jederzeit abrufbar. Nachvollziehbarkeit und Eindeutigkeit werden hiermit gewährleistet. Für sämtliche Eingaben gibt es eine Eingabemaske, in der unmögliche Werte abgefangen werden. Verschiedene Feldbücher können so eingegeben und gespeichert werden. Da allerdings die Eingabe von Feldbüchern über die Eingabemaske etwas umständlich ist, kann diese auch mit einem Texteditor erfolgen, aber ohne der Möglichkeit Fehler abzufangen. Sämtliche Dateien des Programms sind mit einem Texteditor lesbar und können bearbeitet werden. Bei Berechnungen mit wichtigen Zwischenergebnissen, werden diese in eine separate Protokoll-datei oder Ergebnisdatei gespeichert.

Die Benutzerführung ist Menüorientiert, so daß die einzelnen Programmodule direkt vom Programm aufgerufen werden können. Es sind daher keine Einzelmodule als Einzelprogramm startfähig.

Im Anhang 2 findet sich ein Kurzhandbuch des Programms, in dem die Menüs und die Dateien beschrieben werden.

Der Programmablauf durchläuft in den meisten Fällen folgende Stufen:

- Programmaufruf: VERTECH
- (Definition der Projektdatei bzw. default - Vorgabe des Programms)
- Eingabe der Dateien (Feldbücher usw.)
- Aufruf des Programmoduls
- Definition der Eingabedateien (Feldbücher usw.)
- Berechnung / Auswertung
- automatische Speicherung der Ergebnisse
- (Ergebnis anzeigen)
- Programmende

3.1.2 Modul Netzausgleichung

Das Modul "Netzausgleichung" ist aufgrund dieser Aufgabenstellung entstanden und in das Programm VERTECH integriert worden. Die schon bestehende Dateistruktur von VERTECH wurde vollständig genutzt, so daß nur der Rechenalgorithmus und die Ausgabe der Ergebnisse programmiert werden mußte. Als Eingabedateien werden schon bestehende Feldbuchdateien verwendet. Auch die Erstellung von Näherungswerten wurde mit den Modulen der niederen Geodäsie durchgeführt, und die Ergebniskordinaten in die Projektdatei gespeichert. Die Netzausgleichung greift auf die Projektdatei zu, liest die Näherungswerte und die Liste der in einer weiteren Datei gespeicherten Feldbücher und schreibt die Ergebnisse der Koordinaten optional zurück in die Projektdatei. Bei jedem Punkt muß der Benutzer nun entscheiden, ob er den vorher bestimmten Näherungswert behält, oder ihn durch den ausgeglichenen Wert ersetzt. Als weitere Ergebnisse wird eine Ergebnisdatei der Verbesserungen und des Lösungsvektors generiert, und optional alle wichtigen Matrizen der Ausgleichung als Projekt der Matrizenrechnung gespeichert.

Auch gilt die selbe Benutzerführung wie im oben genannten Programmablauf. Bevor die Berechnung starten kann wird allerdings noch mal die Redundanz geprüft. Bei negativer Redundanz wird das Modul sofort beendet. Nach dem Erscheinen des ersten Ergebnisses kann der Benutzer über weitere Iterationen der Ausgleichung entscheiden.

3.2 Dateien

Sämtliche für die Netzausgleichung erforderlichen Daten müssen in Form von verschiedenen Dateien vorher bestimmt und entsprechend formatiert werden. Als Grundlage dienen die Messungen, deren Feldbücher in ein für VERTECH lesbares Format übertragen werden müssen. Das geht momentan leider nur per Hand über die Eingabemaske von VERTECH oder einen Texteditor.

Als nächstes muß das Projekt (Koordinatenverzeichnis) erstellt und die Näherungswerte der Koordinaten bestimmt und darin gespeichert werden. Dies ist mit dem Programm direkt machbar und ratsam. Wenn möglich sollte das Projekt nicht mit dem Texteditor erstellt werden, da die Länge der Zeilen und die Position der Einträge stimmen muß. Sind diese Dateien erstellt, kann die Steuerungsdatei der Netzausgleichung bestimmt werden.

In dieser Datei steht lediglich eine Liste der zu verwendenden Feldbücher. Diese Datei kann mit VERTECH oder mit einem Texteditor erstellt werden.

Als Ergebnis findet man eine Ergebnisdatei und optional eine Matrizendatei vor. Die Koordinaten werden in der Projektdatei gespeichert.

Es gibt also fünf verschiedene Dateitypen:

Dateityp	Datenflußrichtung
Feldbuchdateien	Eingabe
Steuerungsdatei	Eingabe
Projektdatei	Eingabe und Ausgabe
Ergebnisdatei	Ausgabe
(optional) Matrizendatei	Ausgabe

Tab. 3.2: Dateitypen und deren Datenfluß

3.2.1 Eingabedateien

Feldbuchdatei	Extender	Erklärung
Polaraufnahme	pol	In dieser Datei befinden sich polare Meßelemente. Es findet sich ein Feldbuchkopf, die mittleren Fehler der Messungen, der Standpunkt als Punktnummer, der Referenzpunkt der Nullrichtung und schließlich die einzelnen Messungen zu den Neupunkten. Die Polaraufnahme liefert die Beobachtungen s_j, r_j, z_j siehe Abb. 2.2.1-1, 2.2.1-2.
Polygonzug	pgn	In dieser Datei sind die Messungen eines Polygonzuges gespeichert. Nach dem Feldbuchkopf und den mittleren Fehlern sind die Messungen pro Standpunkt mit Rück- und Vorblick aufgeführt. Da ein Polygonzug nur eine andere Art der Polaraufnahme ist, werden auch hier die Beobachtungen s_j, r_j, z_j zu Abb. 2.2.1-1, 2.2.1-2 beschrieben.

Tab. 3.2.1-1: Feldbuchdateien polare Meßelemente

Feldbuchdatei	Extender	Erklärung
Nivellement	niv	Diese Datei beschreibt die Messungen einer Nivellementschiene. Es werden die Lattenablesungen des Rück- und Vorblicks auf einem Stand / Wechsellpunkt eingetragen. Auch diese Datei hat einen Feldbuchkopf und die Angabe des mittleren Lattenablesungsfehlers. Hier sind die Beobachtungen dH_j aus Abb. 2.2.1-3 als Feldbuch eingetragen.
Bild	ori	In dieser Datei werden die innere und äußere Orientierung und die gemessenen Bildkoordinaten der Neu / Paßpunkte gespeichert. Es besteht die Möglichkeit, mehrere Bilder in einer Datei zu speichern, z. Bsp. ein Bildverbund. Genaugenommen ist diese Datei keine Feldbuchdatei. Sie wird als Import eines weiteren Projektes gebildet, da die Ursprungsdatei auch Koordinaten beinhaltet. Die Rotationswinkel sollten im terrestrischen Fall gegeben sein. Beobachtungen siehe Abb. 2.3.1-1

Tab. 3.2.1-2: Feldbuchdateien Nivellement / Bildkoordinaten

Datei	Extender	Erklärung
Liste der Dateinamen	web	Diese Datei beinhaltet lediglich eine Liste der Feldbuchdateien, die als Beobachtungen in die Netzausgleichung eingehen. Die Dateinamen werden untereinander mit einem Texteditor eingetragen. Nicht vorhandene Dateien werden bei der Berechnung übersprungen.

Tab. 3.2.1-3: Steuerungsdatei

Eine genauere Erklärung dieser Dateitypen findet sich im Anhang 2: VERTECH Handbuch.

3.2.2 Ausgabedateien

Datei	Extender	Erklärung
Ergebnis der Ausgleichung	erg	Diese Datei beinhaltet Ausgleichungsergebnisse für die bessere Nachvollziehbarkeit der Ausgleichung, so daß grobe Fehler hier erkannt werden können. Es wird eine Liste der Beobachtungen mit deren Verbesserungen und Kontrolliertheit (EV) generiert. Die Maximalwerte der Verbesserungen je nach Einheit (Meter, Gon, Millimeter) werden extra aufgeführt. Die Ausgleichungsergebnisse (Koordinaten und Orientierungen) werden gespeichert. Auch der Differenz-Lösungsvektor wird den Unbekannten zugeordnet und angezeigt. (Näheres siehe Kapitel 4.4)

Tab. 3.2.2-1: Ergebnisdatei

Datei	Extender	Erklärung
Matrix	mat	Sollte der Anwender am Ende der Berechnung wünschen, die Matrizen der Ausgleichung zu speichern, wird dies in diesem Dateityp erfolgen. In dieser Datei können beliebig viele Matrizen gespeichert und abgerufen werden. Sowohl Speicherung, als auch Abruf sollte in der Regel mit VERTECH erfolgen. (Näheres siehe Anhang 2) Es werden folgende Matrizen / Vektoren der Ausgleichung gespeichert: $A, P, \Delta l, v, \Delta x, C_{xx}$

Tab. 3.2.2-2: Matrizendatei

3.2.3 Projektdatei

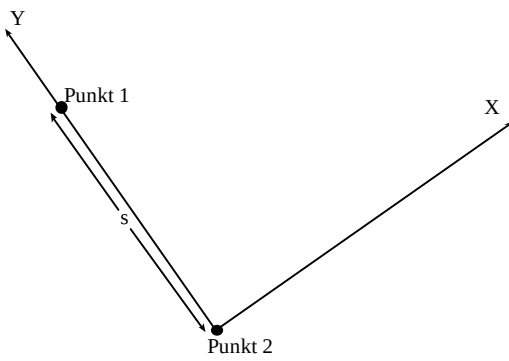
Datei	Extender	Erklärung
Projekt, Koordinatenverzeichnis	koo	Diese Datei beschreibt das Koordinatensystem, und es findet sich darin das Koordinatenverzeichnis des Projektes. Sie ist die Grundlage aller Berechnungen und ist Eingabe- und Ausgabe-Datei zugleich. Sowohl Speicherung, als auch Abruf sollte in der Regel mit VERTECH erfolgen. (Näheres siehe Anhang 2)

Tab. 3.2.3: Projektdatei

3.3 Datenfluß / Funktionsweise

3.3.1 Koordinatensystem definieren

Als erstes wird mit dem VERTECH das "Projekt" definiert. Der Kopf der Projektdatei (Typ: koo) wird mit Hilfe einer Auswahl ermittelt. Bestimmt wird die Bezeichnung des Koordinatensystems und optional dessen zu Grunde liegende Parameter. Die Definition eines lokalen Koordinatensystems erfordert mindestens zwei Festpunkte mit Lotrichtung oder drei Festpunkte. Da bei terrestrischen Messungen die Lotrichtung vorhanden ist, werden zwei Punkte zur Definition verwendet.

lokales Koordinatensystem:  Abb. 3.3.1	Typ des Koordinatensystems: kartesisch Bezeichnung: lokales Koordinatensystem Beispiel: Punkt 2: erster Standpunkt Punkt 1: erster Referenzpunkt $t_2^1 = 0 \text{ gon}$ Maßstab: über gemessene Strecke s in [m] Koordinaten: Punkt 1: $P_1(X, Y, Z) = P_1(0, s, 0)$ Punkt 2: $P_2(X, Y, Z) = P_2(0, 0, 0)$
--	---

Tab. 3.3.1: lokales Koordinatensystem

Das nun definierte Koordinatensystem gilt als Grundlage jeglicher weiterer Berechnungen und bekommt einen Projektnamen. Sämtliche Bearbeitungen werden nun in diesem Projekt erfolgen.

Sollte ein Projekt in einem bestehendem Koordinatensystem bearbeitet werden ist nur der entsprechende Projektname einzugeben, da das Koordinatensystem ja schon vorher definiert wurde. Es ist allerdings auf die richtige Identifikation der Punkte zu achten.

3.3.2 Definition und Eingabe der Feldbücher / Eingabedateien

Feldbücher:

Die in einem Meßprojekt entstehenden Feldbücher müssen entweder über die Eingabemaske von VERTECH oder mit einem Texteditor in ein von VERTECH lesbares Format übertragen werden. Das geht leider noch nicht automatisch als Datenimport und muß per Hand vorgenommen werden. Die in den Feldbüchern verwendeten Punktnummern der Festpunkte müssen mit denen der im Projekt vorliegenden Punkte übereinstimmen. Eine richtige Identifikation der Punkte ist nötig, da sämtliche Berechnungen über die Punktnummer erfolgen. Die Punktnummern der Neupunkte können frei vergeben werden, es sind aber keine Buchstaben erlaubt. Verschiedene Messungen werden auch verschiedenen Feldbüchern zugeordnet (Dateitypen siehe Kapitel 3.2.1).

von	nach
Eingabe per Hand	Feldbuchdateien: Polaraufnahme: pol Polygonzug: pgn Nivellement. niv

Tab. 3.3.2-1: Datenfluß Feldbucherstellung

Bildkoordinaten:

Die Bildkoordinatenmessung erfolgt entweder analog mit einem Komparator und wird nach einer Bildkoordinatenbereinigung als Textdatei per Hand gespeichert oder digital durch Scannen des Bildes, insofern dieses nicht digital vorliegt, und Messung der Bildkoordinaten mit einer Bildbearbeitungssoftware.

Als Grundlage für eine in VERTECH verarbeitbare Bildkoordinatenliste dient eine Textdatei.

Ablauf:	Datenfluß:
1. Bildkoordinatenmessung (Bsp. siehe Programm IMDIS) und Speicherung der Daten als Textdatei. 2. Definition eines Pixelkoordinatensystems in VERTECH mit gleichzeitigem Import: IMDIS-Datei: bko,pko → Import → VERTECH Projektdatei: koo 3. Erstellung der Bildkoordinatendatei mit Orientierungswerten: ori 3.1 Eingabe per Hand der inneren Orientierung 3.2 Eingabe per Hand der äußeren Orientierung (Näherungswerte aus einer Skizze...) 3.3 Import der Bildkoordinaten aus der Projektdatei: koo 3.3.1 Umrechnung vom Pixelkoordinatensystem in ein metrisches Koordinatensystem unter Angabe des Umrechnungsfaktors: [Pixel] → [mm] (optional) 3.3.2 Konvertierung der Koordinatenachsen über den Bildhauptpunkt (optional): Bildkoordinaten → mathematische Koordinaten. 4. Speicherung aller Werte in der Bildkoordinatendatei: ori	IMDIS → Text: bko bko → VERTECH: koo Handeingabe → ori Handeingabe → ori koo → ori

Tab. 3.3.2-2: Ablauf der Dateierstellung ori

Steuerungsdatei:

von:	nach:
Eingabe per Hand: Liste der Beobachtungsdateien	Steuerungsdatei: web

Tab. 3.3.2-3: Datenfluß der Steuerungsdatei web

3.3.3 Näherungswerte aus geodätischen Messungen

Mit den Modulen "Anwendungen der niederen Geodäsie" werden die vorher erstellten Feldbuchdateien (pol, pgn, niv) verarbeitet und Koordinaten der Neupunkte als Näherungswerte bestimmt. Bei dieser Berechnung braucht keine Fehlerrechnung durchgeführt zu werden, da der mittlere Punktfehler von Näherungswerten ohne Interesse ist.

Der genaue Programmaufruf und die Erklärungen der Berechnungsmodule finden sich im Handbuch, Anhang 2.

Feldbuch	Modul	Ergebnis
pol	"Polaraufnahme", "Vorwärtsschnitt" Datei: pol $\leftrightarrow$ Festpunktkoordinaten aus koo $\rightarrow$ Neupunkte: koo	koo
pgn	"Polygonzug" Datei: pgn $\leftrightarrow$ Festpunktkoordinaten aus koo $\rightarrow$ Neupunkte: koo	koo
niv	"Nivellierschleifen" Datei: niv ($\leftrightarrow$ Referenzhöhe aus koo, oder Handeingabe) $\rightarrow$ Höhen der Neupunkte: koo, Auswertung / Verprobung der Nivellierschleife in niv. Liegen die Neupunkte noch nicht vor, wird nur die berechnete Höhe gespeichert. Die Lagekoordinaten bleiben Null.	niv, koo
per Hand	"Rückwärtsschnitt", "Vorwärtsschnitt", "polar angehängter Punkt" Handeingabe $\leftrightarrow$ Festpunktkoordinaten aus koo $\rightarrow$ Neupunkte: koo	koo

Tab. 3.3.3: Datenfluß der Näherungswertbestimmung

3.3.4 Netzausgleichung

Nach starten des Moduls "Netzausgleichung" muß die Steuerungsdatei (web) eingegeben werden. Die in dieser Datei definierte Liste der Feldbücher wird hintereinander abgearbeitet. Nicht vorhandene Feldbücher werden übersprungen. Jetzt zählt das Programm wie viele Beobachtungen in den Feldbüchern zu finden sind, wie viele und welche Unbekannten vorliegen und ob zu den Unbekannten in Form von Koordinaten Näherungswerte im Projekt (koo) gespeichert sind. Liegen mindestens zwei Bilder in Form von Bildkoordinatendateien (ori) vor, werden die dort gespeicherten Näherungswerte der äußeren Orientierung zur Berechnung von Näherungswerten der Neupunkte aus Bildkoordinaten verwendet. Ist die nun ermittelte Redundanz positiv und liegen alle benötigten Näherungswerte vor, kann die Berechnung gestartet werden. Die Liste der Feldbücher wird nochmals abgearbeitet und liefert mit den Näherungswerten die Daten für die Matrizen / Vektoren der Ausgleichung.

Das erste Ausgleichungsergebnis wird angezeigt mit der Auswahl weitere Iterationen einzeln bzw. automatisch bis zum Erreichen einer [mm] Genauigkeit zu berechnen oder der Beendigung des Programms mit entsprechender Ergebnisspeicherung. Die ausgeglichenen Koordinaten werden mit deren mittleren Fehlern in die Projektdatei (koo) gespeichert. Hierbei schlägt das Programm vor die vorher ermittelten Näherungswerte mit den neuen Werten zu ersetzen, zu verwerfen oder mit einer anderen Punktnummer zu speichern. Automatisch wird eine Ergebnisdatei angelegt und optional die Speicherung der Matrizen der Ausgleichung ermöglicht (erg, mat: siehe Kapitel 3.2.2). Die Ergebnisse können auf verschiedene Weise aufgerufen und angesehen werden.

Schritt	lesen	schreiben
Steuerungsdatei: web - Ermittlung der Redundanz und Existenz von Näherungswerten.	web → pol, pgn, niv, ori, koo	
Existenz von mindestens zwei Bildern: ori - Berechnung und Speicherung der Näherungswerte aus Bildkoordinaten. - Speicherung der Näherungswerte der äußeren Orientierungen	web → ori	Näherungswerte: Koordinaten: koo Orientierung: erg
Ausgleichung berechnen: web - Einlesen der Beobachtungen und der Näherungswerte der Koordinaten - Ausgleichungsberechnung erfolgt im Hauptspeicher, keine Dateien.	web → pol pgn niv ori ↔ koo	Einzelbeobachtungen: erg (Hauptspeicher)
Ergebnis: erg, mat, koo - Schreiben der ausgeglichenen Koordinaten und Richtungsorientierung - Schreiben der Ergebnisdatei - Schreiben der Matrizen der Ausgleichung	(Hauptspeicher)	Verbesserungen: erg Lösungsvektor Δx : erg Koordinaten: koo, erg Richtungsorientierung: erg Matrizen: mat
Existenz von mindestens zwei Bildern: ori - Schreiben der ausgeglichenen äußeren Orientierung		Orientierungen: erg

Tab. 3.3.4: Datenfluß der Netzausgleichung

3.3.5 Anzeige der Ergebnisse

Die Ergebnisse liegen in Form von Textdateien vor und können alle mit einem Texteditor gelesen und angeschaut werden. Es kann allerdings vorkommen, daß es Matrizen in der mat - Datei gibt, die für einen Texteditor zu groß sind. In diesem Fall kann die Matrizendatei mit VERTECH gelesen werden.

Datei	Anzeige mit:
koo	Texteditor: Sehen und Drucken möglich VERTECH: nur Sehen möglich, Seitenweiser Aufbau mit Erklärungszeile
erg	Texteditor: Sehen und Drucken möglich
mat	Texteditor: Sehen und Drucken möglich, große Matrizen sind möglicherweise abgeschnitten und nicht komplett abrufbar. VERTECH: nur Sehen möglich, Matrix als Ausschnitt sichtbar, aber komplett durch beliebige Verschiebung des Ausschnitts lesbar.

Tab. 3.3.5: Möglichkeiten der Ergebnisanzeige

3.3.6 Programmende

Sollten keine weiteren Berechnungen erfolgen, kann das Programm beendet werden. Der letzte bearbeitete Projektdatei- und Matrizendateiname wird in der Präferenz - Datei (prf) als Default Projekt gespeichert. Beim einem weiteren Start des Programms wird dieses Projekt automatisch vorgegeben. So können Berechnungen zu ein und demselben Projekt über mehrere Aufrufe des Programms automatisch zugeordnet werden, ohne jedesmal ein neues (oder altes) Projekt definieren zu müssen.

Ein vorzeitiger, ungewollter Abbruch des Programms hat keine negativen Auswirkungen auf das Projekt. Die Projektdatei (koo) wird nur bei direktem Zugriff geöffnet und danach sofort wieder geschlossen, so daß der Anwender keinen Datenverlust zu befürchten hat, wenn das Programm unsachgemäß beendet wird.

3.4 Flußdiagramm Modul Netzausgleichung

3.4.1 Diagrammbeschreibungen

Das Übersichtsdiagramm (Abb. 3.4.2) beschreibt auf einer Seite den Ablauf des Moduls der kombinierten Netzausgleichung. Es werden keine Variablen bzw. programmtechnische Einzelheiten beschrieben.

Das Flußdiagramm (Abb. 3.4.3-1 bis 5) beschreibt detaillierter die kombinierte Netzausgleichung, beschränkt sich aber nur auf ihren groben Ablauf. Der Datenfluß der Dateien und die in Blöcken zusammengefaßten komplexen Berechnungen vor allen der der Ausgleichungsberechnungen sind ausschließlich als Ablauf skizziert. Es sind keine genauen programmtechnischen Elemente im einzelnen dem Diagramm entnehmbar.

Die Dateierstellungen der Beobachtungen und des Projektes werden als vorhergehenden Schritt vorausgesetzt. Wie im Abschnitt "Dateien" beschrieben sind die in dem Diagramm befindlichen Abkürzungen "koo, pgn, pol, niv, ori, mat, erg, web" als Eingabe- bzw. Ausgabedateien zu verstehen.

3.4.2 Übersichtsdiagramm

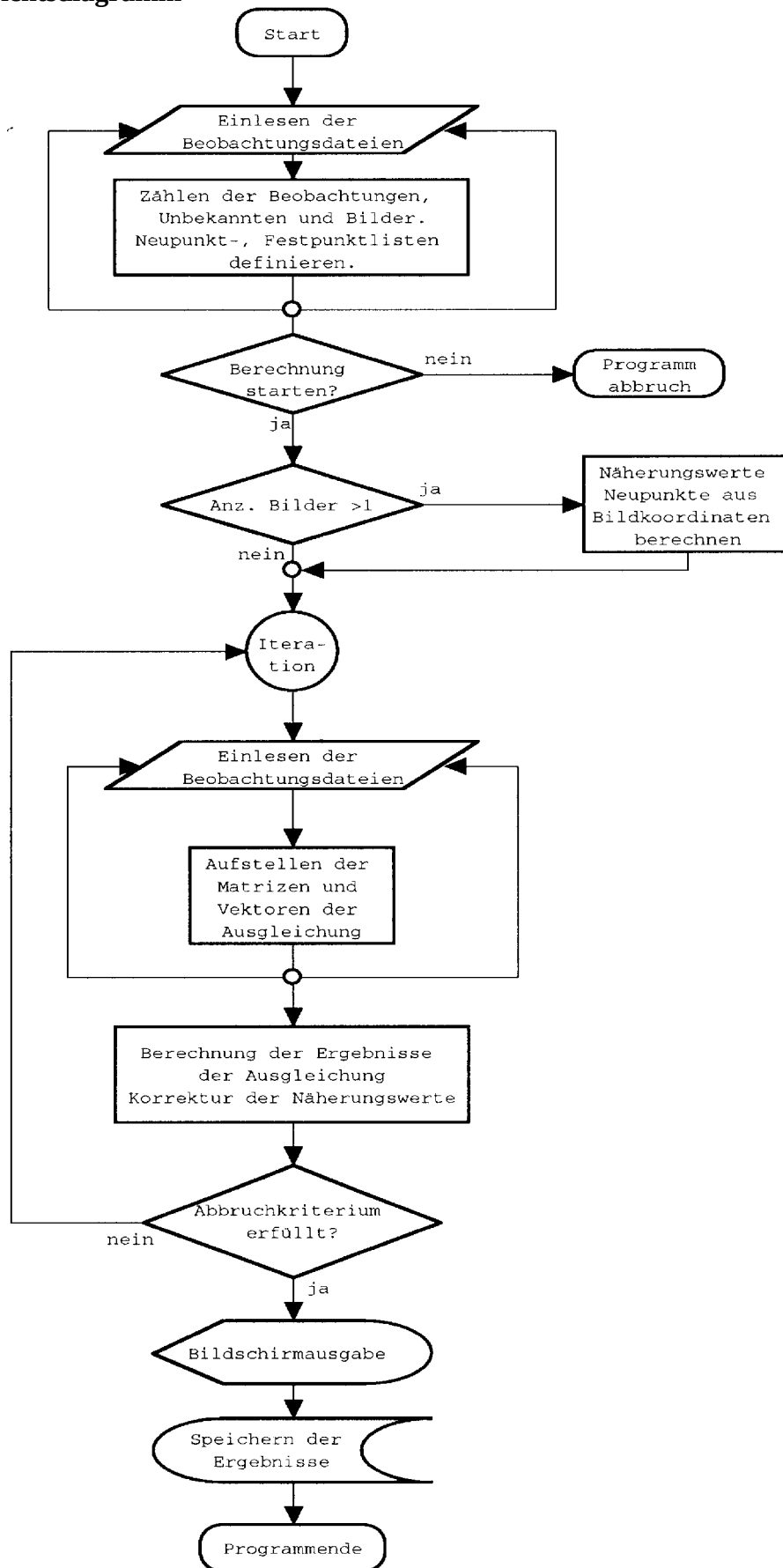


Abb. 3.4.2: Übersichtsdiagramm

3.4.3 Flußdiagramm

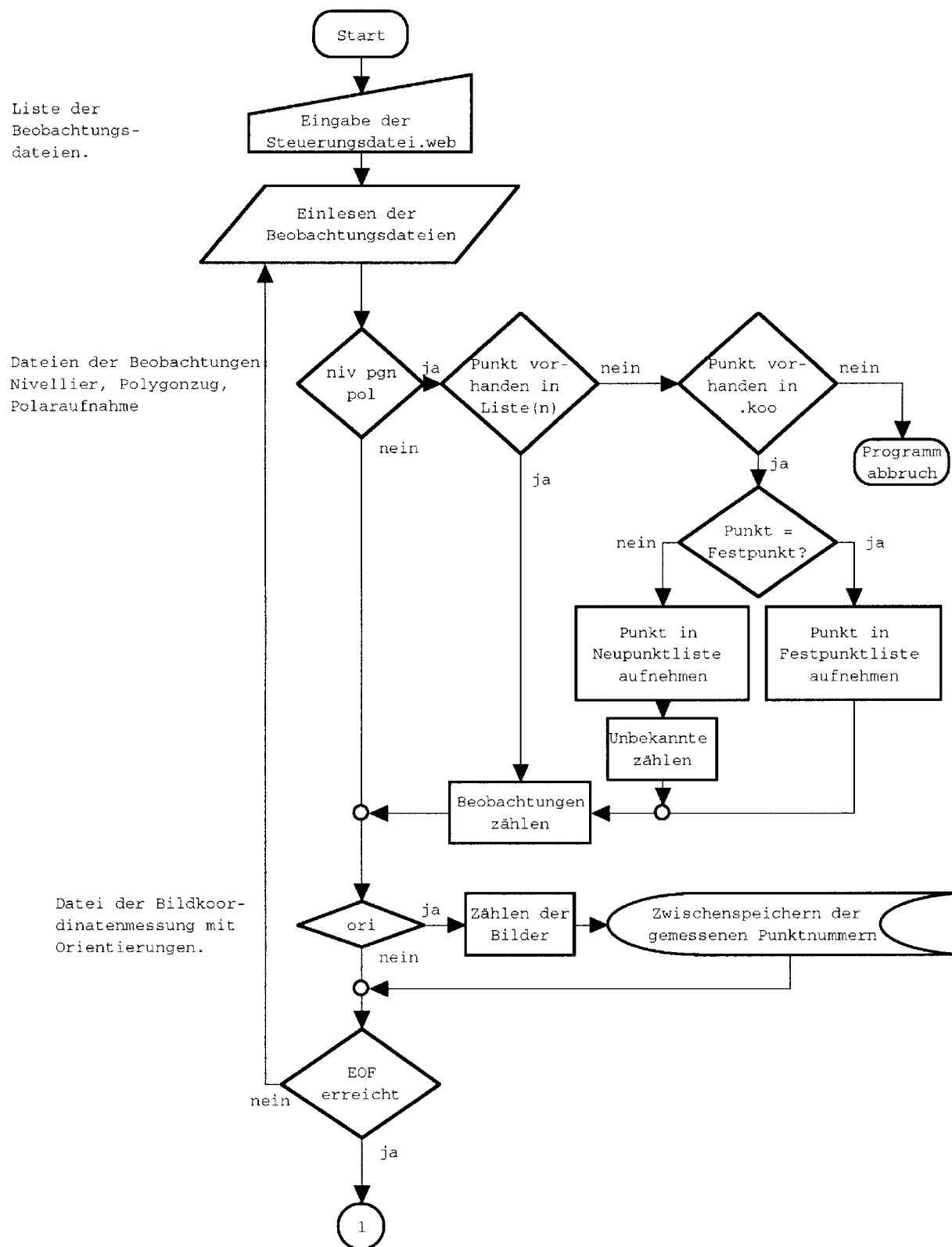


Abb. 3.4.3-1: Flußdiagramm 1 von 5

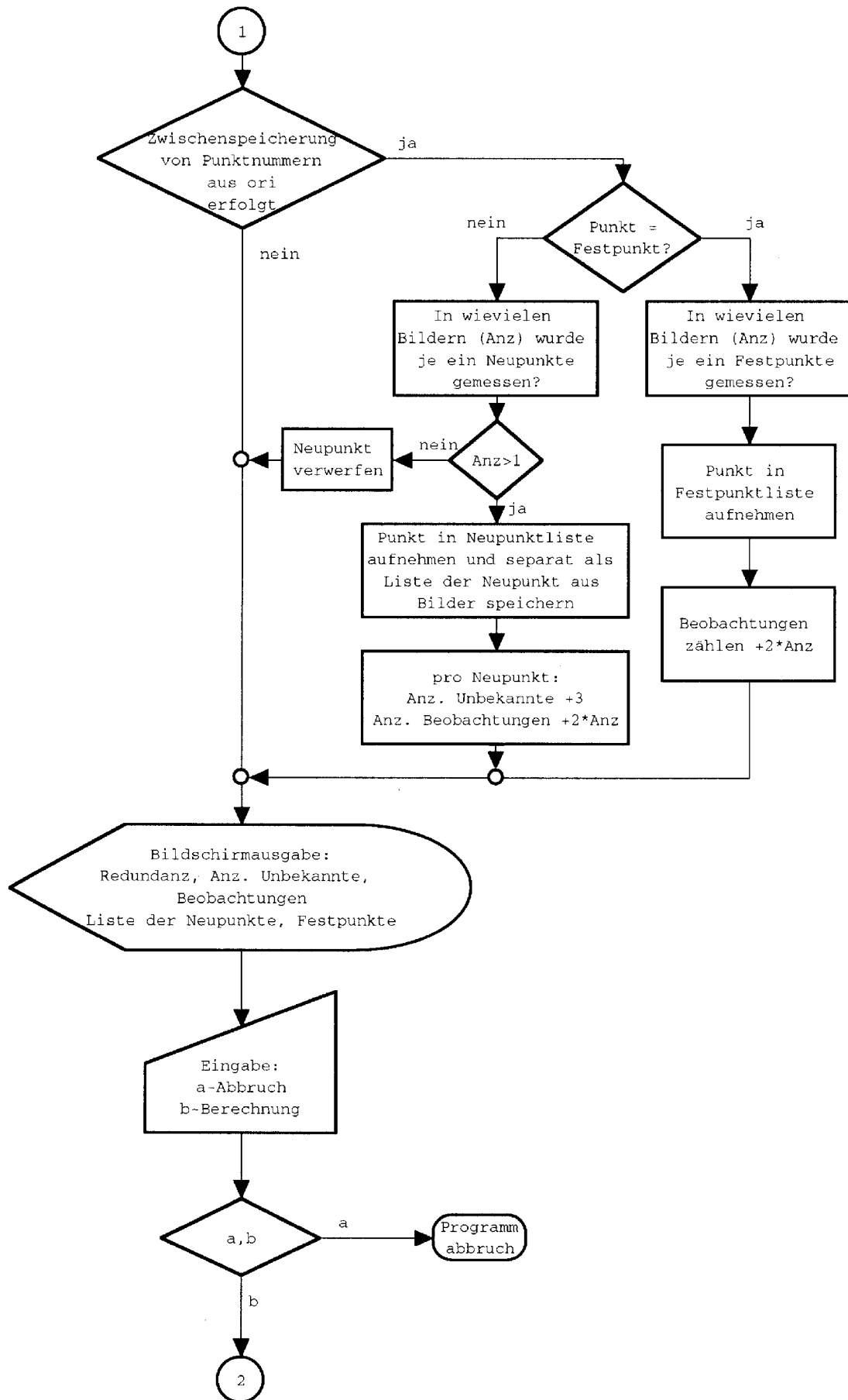


Abb. 3.4.3-2: Flußdiagramm 2 von 5

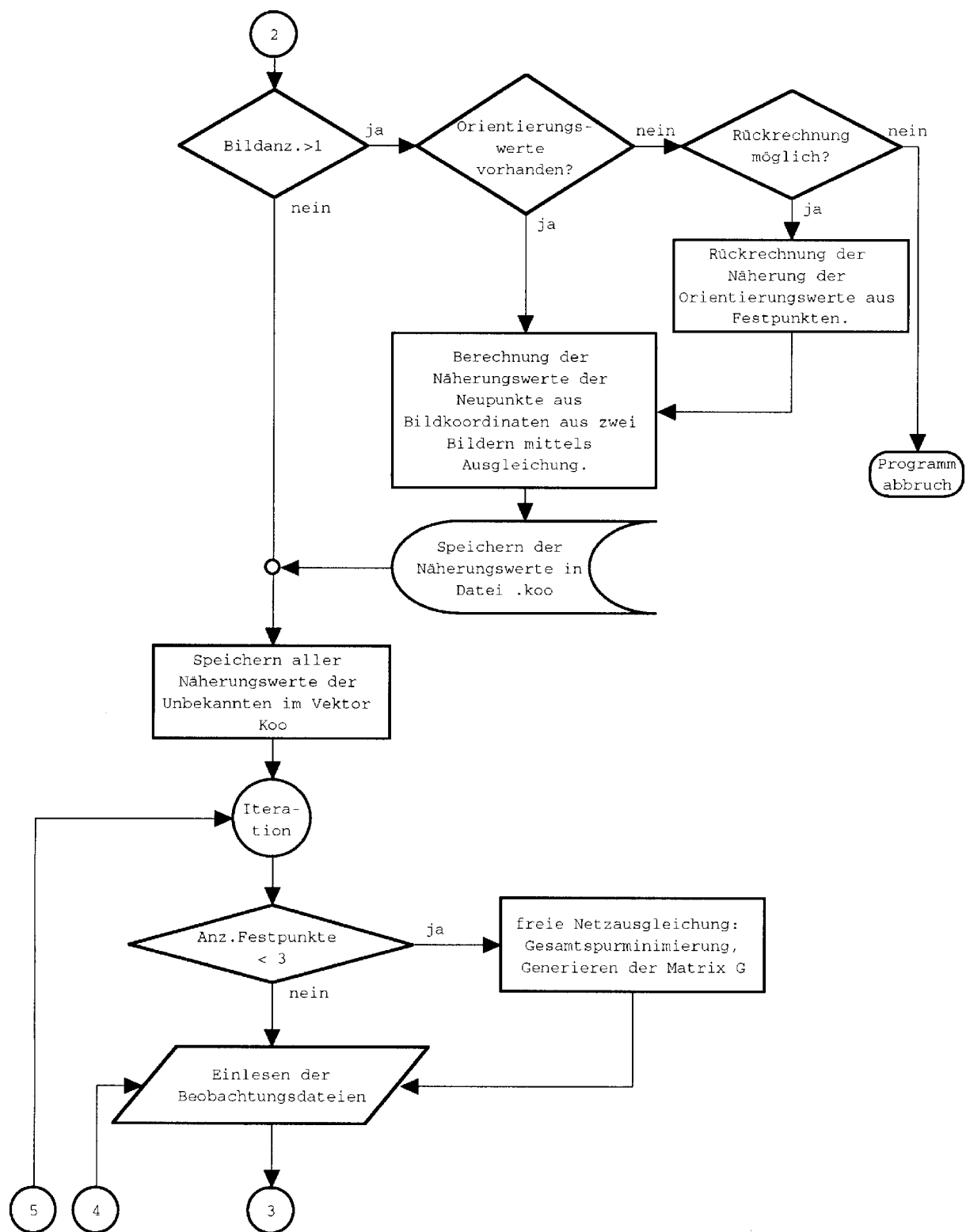


Abb. 3.4.3-3: Flußdiagramm 3 von 5

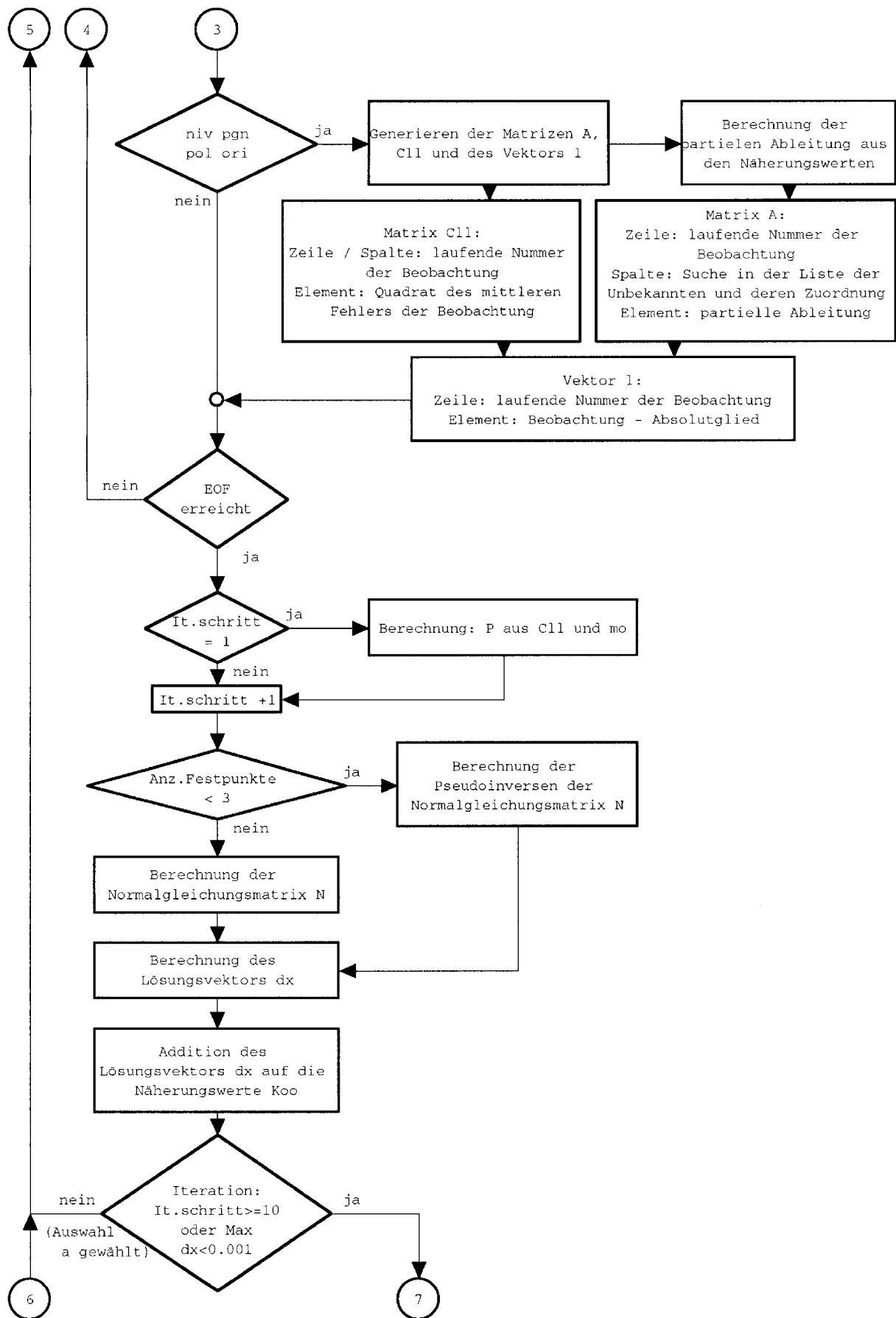


Abb. 3.4.3-4: Flußdiagramm 4 von 5

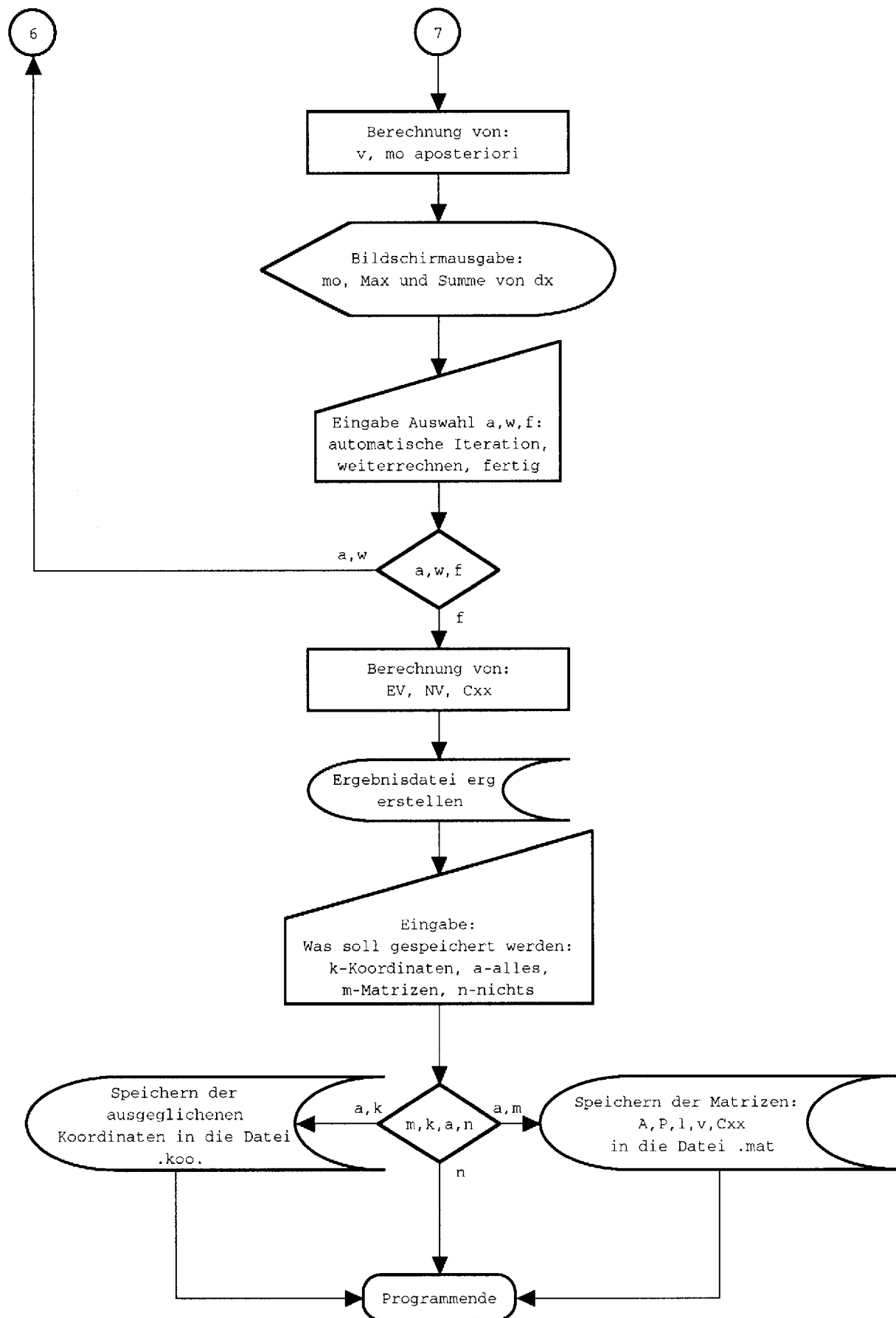


Abb. 3.4.3-5: Flußdiagramm 5 von 5

4. Praktische Anwendung am Beispielprojekt "Brandenburg"

4.1 Projektbeschreibung

Um die nun in Kapitel 2 und 3 beschriebenen theoretischen Grundlagen und das erstellte Programm auf ihre praktische Anwendung zu testen und deren Ergebnisse anderen Auswertesystemen gegenüber zu stellen, wurde anhand eines kleinen, überschaubaren Beispielprojektes photogrammetrische und geodätische Berechnungen durchgeführt. Die Messungen zu diesem Projekt entstanden in Zuge der Lehrveranstaltung "Architekturphotogrammetrie für Architekten" (Vgl. WIEDEMANN, SS 1999). Es wurde ein lokales dreidimensionales geodätisches Koordinatensystem definiert, ein Polygonzug an der aufzunehmenden Hausfassade vorbeigelegt, und die signalisierten Paßpunkte von mehreren Standpunkten eingemessen.

Die Messungen des Polygonzuges bestanden aus Schrägstrecken, Richtungen und Zenitdistanzen, die Messungen der Paßpunkte aus Richtungen und Zenitdistanzen und vereinzelt auch Schrägstrecken. Die Messungen wurden mit einem elektronischen Theodoliten mit EDM und automatischer Registrierung der Daten durchgeführt. Von mehreren nicht eingemessenen Standpunkten aus wurden mit einer "Rollei" Kamera Fotos der Fassade gemacht. Die Bilder wurden gescannt und mit einer digitalen Bildkoordinatenmessung (Programm IMDIS) Bildkoordinaten der Paß- bzw. der Neupunkte gemessen und gespeichert. Das Gesamtprojekt hat zwar schon einen relativ kleinen Umfang, mußte aber noch um einiges reduziert werden, um eine Minimalgröße zu bekommen. Es wurden nur zwei Fotos verwendet und einige der Paßpunkte als Neupunkte definiert und deren geodätische Messungen verworfen.

Es entstand folgender Messaufbau:

Bezeichnung	Anzahl
Bilder (Projektionszentren)	2
geodätische Standpunkte	4
geodätische Festpunkte	3
photogrammetrische Paßpunkte	6
photogrammetrische Neupunkte	5
Beobachtungen Bildkoordinaten	44
Beobachtungen terrestrisch	64

Tab. 4.1: Punkte und Beobachtungen

Meßgenauigkeiten:

Für die Genauigkeiten der geodätischen Messungen wurden Mittelwerte der Gerätemeßgenauigkeit angegeben, allerdings ist zu erwähnen, daß die Messung von Ungeübten erfolgte und demnach größere Ungenauigkeiten auftraten. Das Projekt zeigt also größere Spannungen als die Gerätemeßgenauigkeiten zulassen, was in den folgenden Auswertungen auch bestätigt wird. Trotz dieser Ungenauigkeiten eignet sich dieses Projekt für einen Vergleich der Auswertungen.

4.2 Meßaufbau / Geometrie

4.2.1 Geodätische Beobachtungen

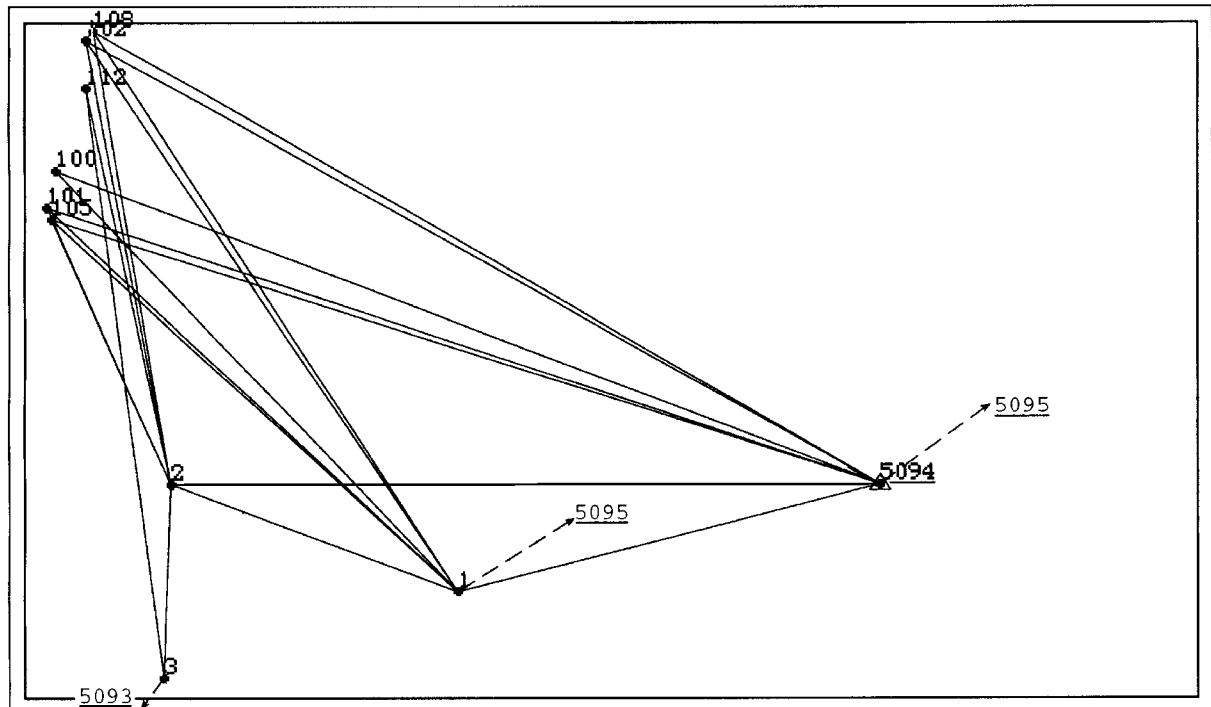


Abb. 4.2.1: Skizze des geodätischen Meßaufbaus

Punkttyp	Punktnummer
Festpunkte (unterstrichen)	<u>5095</u> , <u>5094</u> , <u>5093</u>
Standpunkte	1, 2, 3, <u>5094</u>
geodätische Neupunkte (Paßpunkte der Fotos)	100, 101, 102, 105, 108, 112

Tab. 4.2.1-1: Punktbezeichnungen

Standpunkt	Zielpunkte	Richtung	Strecke	Zenitdistanz
1	2, <u>5094</u> , 100, 101, 105	*	*	*
	<u>5095</u>	*		
	102, 108	*		*
2	1, 3, <u>5094</u> , 101, 102, 105, 108, 112	*	*	*
3	2	*	*	*
	112	*		*
	<u>5093</u>	*		
<u>5094</u>	1	*	*	*
	<u>5095</u>	*		
	100, 101, 102, 105, 108	*		*

Tab. 4.2.1-2: Beobachtungsübersicht

Eine genaue Aufstellung der Messungen findet sich in Anhang 1: Datensätze des Projektes "Brandenburg"

4.2.2 Photogrammetrische Beobachtungen



Abb. 4.2.2-1: Bild 1

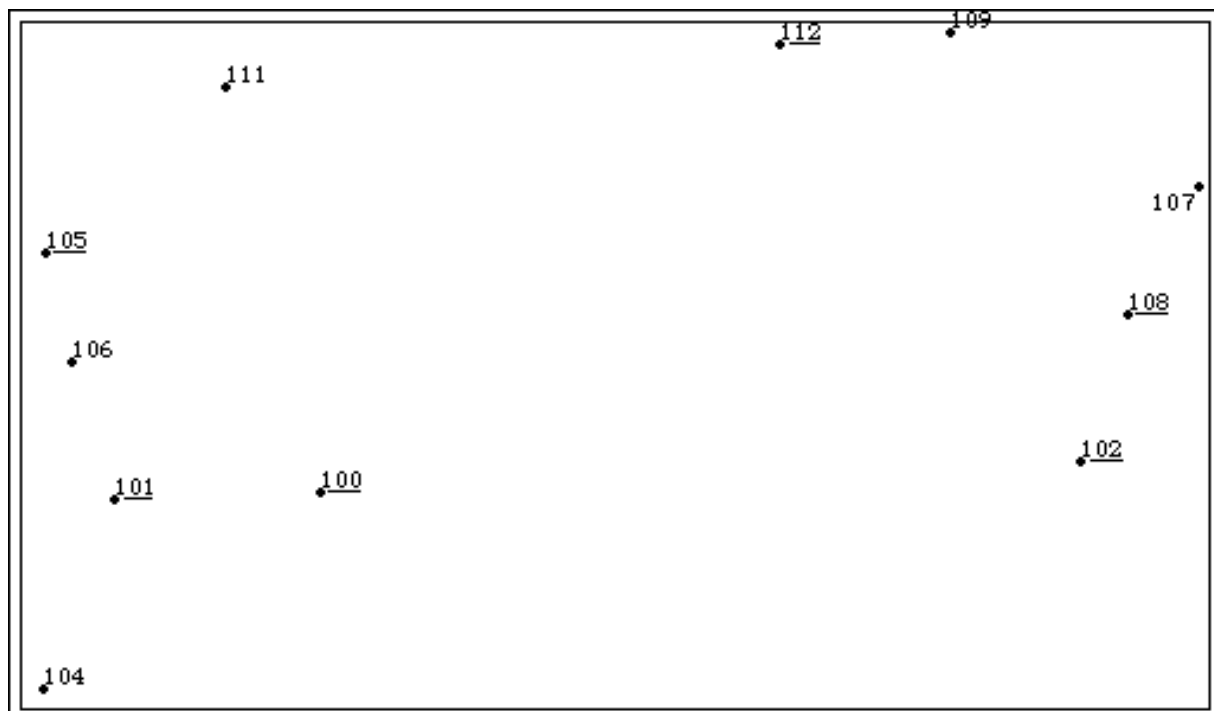


Abb. 4.2.2-2: Bildkoordinaten von Bild 1



Abb. 4.2.2-3: Bild 5

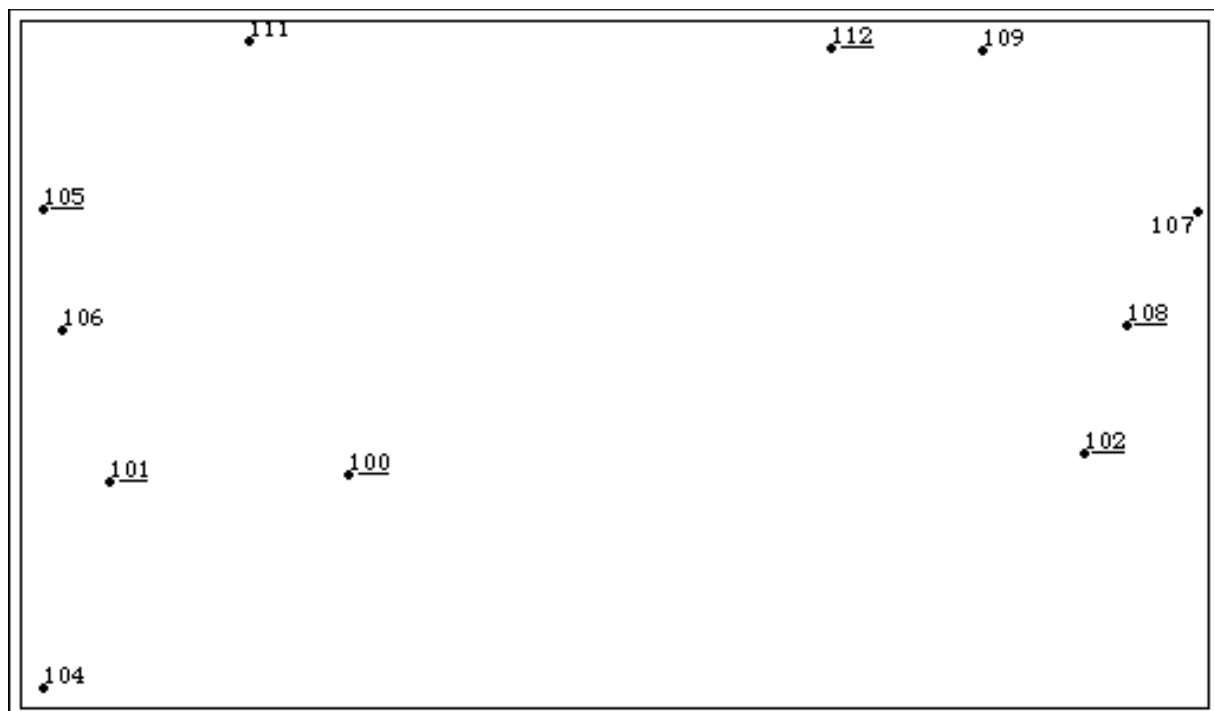


Abb. 4.2.2-4: Bildkoordinaten von Bild 5

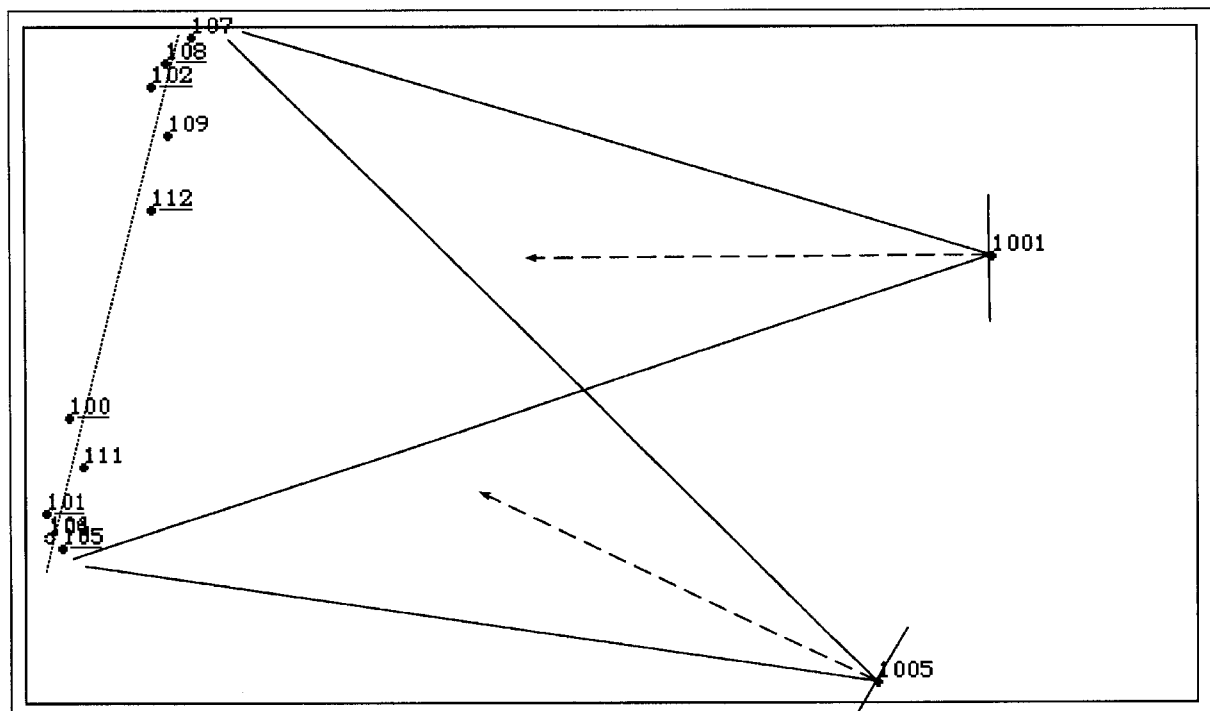


Abb. 4.2.2-5: Skizze des photogrammetrischen Meßaufbaus

Punkttyp	Punktnummer
Paßpunkte (unterstrichen)	<u>100</u> , <u>101</u> , <u>102</u> , <u>105</u> , <u>108</u> , <u>112</u>
Neupunkte	104, 106, 107, 109, 111
Projektionszentren	1001, 1005

Tab. 4.2.2-1: Punktbezeichnungen

Projektionszentrum	Punkte, Bildkoordinaten
1001	<u>100</u> , <u>101</u> , <u>102</u> , <u>105</u> , <u>108</u> , <u>112</u> , 104, 106, 107, 109, 111
1005	<u>100</u> , <u>101</u> , <u>102</u> , <u>105</u> , <u>108</u> , <u>112</u> , 104, 106, 107, 109, 111
Jeder Punkt ist in mindestens zwei Bildern gemessen worden und somit photogrammetrisch auswertbar.	

Tab. 4.2.2-2: Beobachtungsübersicht

Näherungswert	Geschätzt aus Abbildung:
Bild 1, 5: - Projektionszentren: $X_{01}, Y_{01} / X_{05}, Y_{05}$ - Azimutwinkel α_1 / α_5	Abb. 4.2.2-5: Skizze des photogrammetrischen Meßaufbaus
Bild 1: - Projektionszentrum: Z_{01} - Nadirdistanz v_1 , Bildverkantung κ_1	Abb. 4.2.2-1: Bild 1
Bild 5: - Projektionszentrum: Z_{05} - Nadirdistanz v_5 , Bildverkantung κ_5	Abb. 4.2.2-3: Bild 5

Tab. 4.2.2-3: Näherungswerte der äußeren Orientierung

Eine genaue Aufstellung der Messungen findet sich in Anhang 1: Datensätze des Projektes "Brandenburg"

4.2.3 Kombinierte Beobachtungen

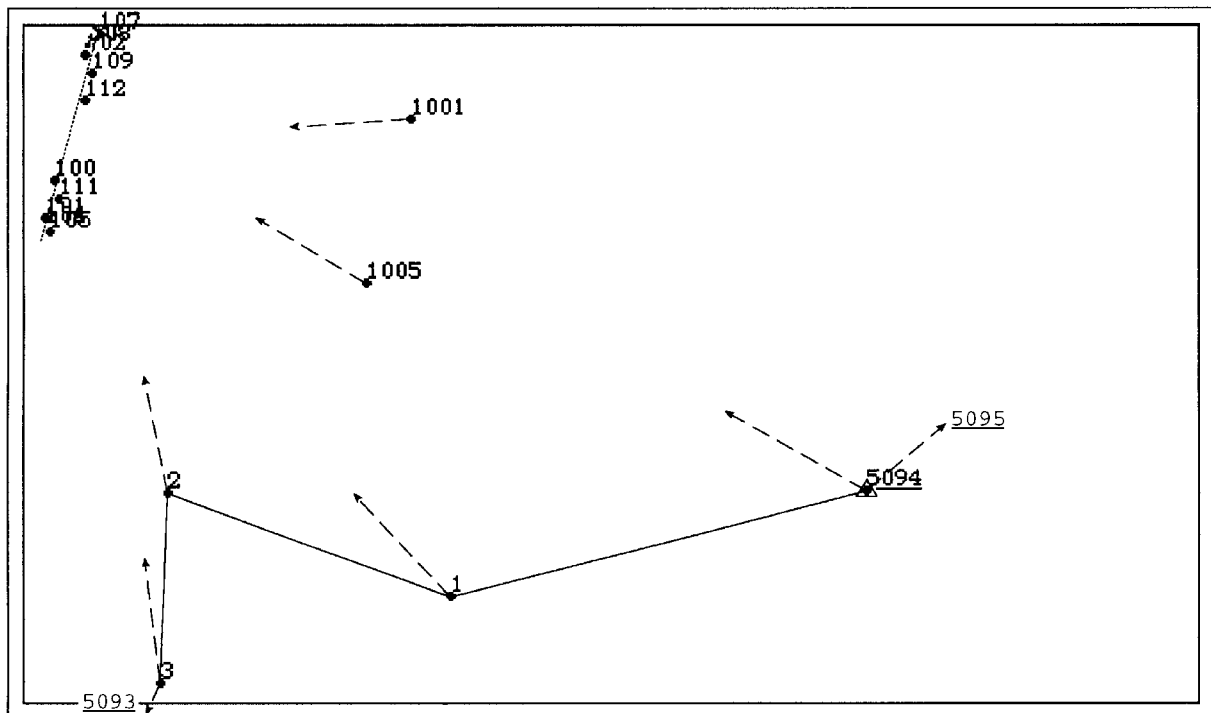


Abb. 4.2.3: Skizze des kombinierten Meßaufbaus

Punkttyp	Punktnummer
Festpunkte (unterstrichen)	<u>5095</u> , <u>5094</u> , <u>5093</u>
Standpunkte	1, 2, 3, <u>5094</u>
Paßpunkte	100, 101, 102, 105, 108, 112
Neupunkte	104, 106, 107, 109, 111
Projektionszentren	1001, 1005

Tab. 4.2.3: Punktbezeichnungen

Die Beobachtungen der kombinierten Messung sind dieselben, wie die in Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 aufgestellten Beobachtungstabellen. Auch hier ist noch einmal auf die detaillierte Aufstellung der Beobachtungen im Anhang 1: Datensätze des Projektes "Brandenburg" hingewiesen.

4.3 Auswertung

Die Auswertung dieses Projektes erfolgte mit drei Computerprogrammen, deren Ergebnisse gegenübergestellt und verglichen wurden.

- geodätische Auswertung: VERTECH, BETAN/NEPTAN
- photogrammetrische Auswertung: VERTECH, PICTRAN
- kombinierte Auswertung: VERTECH

In diesem Kapitel werden ausschließlich die Endergebnisse und der Vergleich dargestellt. Die einzelnen Eingabe bzw. Ausgabedateien sind detailliert im Anhang 1: Datensätze des Projektes "Brandenburg" nachzulesen.

4.3.1 Auswertung geodätische Beobachtungen: 3D - Netzausgleichung

Als Festpunkte wurden die Referenzrichtungen 5093, 5095, und der Standpunkt 5094 verwendet. Obwohl diese Punkte auch Spannungen unterliegen können, wurden diese zur Vereinfachung gewählt. Es gibt zwar bei beiden Programmen die Möglichkeit der freien Netzausgleichung, allerdings würde dies das Beispielpunkt unnötig verkomplizieren. Die freie Netzausgleichung wurde in dieser Arbeit nur theoretisch angesprochen und nicht praktisch geprüft.

Standpunkt		O [gon]	m_o [gon]
1	VERTECH	99.9276	0.0048
	BETAN / NEPTAN	99.9274	n/a
	Differenz	0.0002	
2	VERTECH	234.8517	0.0047
	BETAN / NEPTAN	234.8517	n/a
	Differenz	0.0000	
3	VERTECH	36.6875	0.0046
	BETAN / NEPTAN	36.6872	n/a
	Differenz	0.0003	
<u>5094</u>	VERTECH	54.4250	0.0048
	BETAN / NEPTAN	54.4253	n/a
	Differenz	-0.0003	

Tab. 4.3.1-1: Auswertung: Richtungsorientierungen

Neupunkt		X_{zi} [m]	Y_{zi} [m]	Z_{zi} [m]	$m_{x_{zi}}$ [m]	$m_{y_{zi}}$ [m]	$m_{z_{zi}}$ [m]
1	VERTECH	377.884	409.559	33.842	0.012	0.014	0.006
	B./NEPTAN	377.884	409.559	33.842	0.012	0.010	0.006
	Differenz	0.000	0.000	0.000			
2	VERTECH	365.305	414.217	33.975	0.013	0.019	0.006
	B./NEPTAN	365.305	414.218	33.975	0.012	0.020	0.006
	Differenz	0.000	-0.001	0.000			
3	VERTECH	364.977	405.766	34.120	0.014	0.024	0.007
	B./NEPTAN	364.977	405.766	34.120	0.013	0.020	0.007
	Differenz	0.000	0.000	0.000			
100	VERTECH	360.246	428.219	36.165	0.023	0.027	0.012
	B./NEPTAN	360.247	428.218	36.165	0.021	0.021	0.012
	Differenz	-0.001	0.001	0.000			
101	VERTECH	359.837	426.547	36.142	0.017	0.024	0.008
	B./NEPTAN	359.837	426.546	36.142	0.015	0.019	0.008
	Differenz	0.000	0.001	0.000			
102	VERTECH	361.644	433.961	36.125	0.021	0.027	0.010
	B./NEPTAN	361.644	433.961	36.125	0.017	0.021	0.010
	Differenz	0.000	0.000	0.000			
105	VERTECH	360.119	425.954	38.046	0.016	0.024	0.009
	B./NEPTAN	360.120	425.954	38.046	0.015	0.018	0.009
	Differenz	-0.001	0.000	0.000			
108	VERTECH	361.905	434.328	37.173	0.021	0.027	0.010
	B./NEPTAN	361.904	434.329	37.173	0.017	0.021	0.010
	Differenz	0.001	-0.001	0.000			
112	VERTECH	361.651	431.708	39.304	0.019	0.029	0.012
	B./NEPTAN	361.651	431.707	39.304	0.016	0.025	0.012
	Differenz	0.000	0.001	0.000			

Tab. 4.3.1-2: Auswertung: Neupunkte

4.3.2 Auswertung photogrammetrische Beobachtungen: Bündelblockausgleichung

Die Koordinaten der Paßpunkte 100, 101, 102, 105, 108, 112 der Bündelblockausgleichung wurden den Ergebnissen der vorhergehenden geodätischen Netzausgleichung entnommen. Die dort ermittelten mittleren Fehler wurden nicht berücksichtigt, da diese Paßpunkte als Festpunkte in die Bündelblockausgleichung eingeführt wurden.

Rotationswinkel		α [gon]	ν [gon]	κ [gon]	m_α [gon]	m_ν [gon]	m_κ [gon]
Bild 1	VERTECH	92.3977	118.8921	397.9622	1.1597	1.7653	0.3290
	PICTRAN	92.3946	118.8920	397.9608	n/a	n/a	n/a
	Differenz	0.0031	0.0001	0.0014			
Bild 5	VERTECH	69.6043	113.4545	398.1227	0.9601	1.6767	0.4375
	PICTRAN	69.6017	113.4499	398.1235	n/a	n/a	n/a
	Differenz	0.0026	0.0046	-0.0008			

Projektionszentrum		X_0 [m]	Y_0 [m]	Z_0 [m]	m_{X_0} [m]	m_{Y_0} [m]	m_{Z_0} [m]
Bild 1	VERTECH	376.183	430.630	34.856	0.099	0.284	0.415
	PICTRAN	376.183	430.630	34.856	0.099	0.284	0.415
	Differenz	0.000	0.000	0.000			
Bild 5	VERTECH	374.021	423.351	36.123	0.149	0.184	0.391
	PICTRAN	374.020	423.350	36.124	0.149	0.184	0.392
	Differenz	0.001	0.001	-0.001			

Tab. 4.3.2-1: Auswertung: äußere Orientierung beider Bilder

Neupunkt		X_{zi} [m]	Y_{zi} [m]	Z_{zi} [m]	$m_{X_{zi}}$ [m]	$m_{Y_{zi}}$ [m]	$m_{Z_{zi}}$ [m]
104	VERTECH	359.802	426.124	34.742	0.105	0.024	0.023
	PICTRAN	359.803	426.124	34.742	0.105	0.024	0.023
	Differenz	-0.001	0.000	0.000			
106	VERTECH	359.876	426.171	37.218	0.086	0.020	0.022
	PICTRAN	359.875	426.171	37.218	0.086	0.020	0.022
	Differenz	0.001	0.000	0.000			
107	VERTECH	362.335	434.784	38.046	0.084	0.049	0.028
	PICTRAN	362.335	434.784	38.046	0.084	0.049	0.028
	Differenz	0.000	0.000	0.000			
109	VERTECH	361.874	433.054	39.370	0.089	0.040	0.031
	PICTRAN	361.874	433.054	39.370	0.089	0.040	0.031
	Differenz	0.000	0.000	0.000			
111	VERTECH	360.500	427.353	39.320	0.097	0.026	0.030
	PICTRAN	360.500	427.353	39.320	0.097	0.026	0.030
	Differenz	0.000	0.000	0.000			

Tab. 4.3.2-2: Auswertung: Neupunkte

4.3.3 Ergebnisvergleich

Der Vergleich der Ergebnisse der 3D - Netzausgleichung zeigt in den Neupunktkoordinaten maximale Abweichungen von 1mm, die der Richtungsorientierungen liegen bei maximal 0.3 mgon. Die mittleren Fehler der Koordinatenhöhen sind nahezu gleich, während die mittleren Fehler der Lagekoordinaten Abweichungen bis zu 6mm zeigen. Diese Abweichungen sind ein Hinweis auf eine etwas unterschiedliche Modellierung des stochastischen Modells der Lage in den Programmen, was beispielsweise auf verschiedene Reduktionen der Beobachtungen zurückführbar ist. Dies hat aber nur geringe Auswirkungen auf das Ergebnis, so daß diese Differenzen vernachlässigbar sind.

Der Vergleich der Ergebnisse der Bündelblockausgleichung zeigt maximale Abweichungen der Koordinaten der Projektionszentren bzw. der Neupunkte von 1mm, und der Rotationswinkel der äußeren Orientierung von 5mgon. Diese Abweichungen sind auf verschiedene Rechenansätze der Programme und auf Rundungen zurückzuführen. Die mittleren Fehler der Ergebnisse und der Verbesserungen beider Programme habe ebenfalls geringe Abweichungen voneinander, so daß auch das stochastische Modell bestätigt wird.

Das Ergebnis bestätigt die Richtigkeit des theoretischen Ansatzes in Kapitel 2 und die Funktionsfähigkeit des Programmes VERTECH im Modul Netzausgleichung.

4.4 Vergleich der kombinierten zur getrennten Ausgleichung

Die Ergebnisse beider Einzelausgleichungen werden nun mit denen der kombinierten Ausgleichung gegenübergestellt.

Durch die Kombination der Beobachtungen kann das funktionale Modell für alle Unbekannten in einer Matrix aufgestellt werden. Als Festpunkte gelten hier nur die auch für die 3D - Netzausgleichung verwendeten Punkte 5093, 5094, 5095. Es wird nicht mehr zwischen Paßpunkten, Neupunkten, Projektionszentren und Standpunkten unterschieden. Alle sind jetzt auszugleichende Neupunkte. So ist es möglich je nach Gewichtung der Beobachtung (stochastisches Modell) die Punkte untereinander in einem System "vergleichbar" zu machen. Es ist zu erwarten, daß Neupunkte, die sowohl geodätisch als auch photogrammetrisch beobachtet wurden, durch die geringere Genauigkeit der photogrammetrischen Beobachtungen in ihren Koordinaten verändert und ihrer Genauigkeit negativ beeinflußt werden. Die geodätischen Standpunkte hingegen wurden ausschließlich geodätisch gemessen, so daß keine erhebliche Veränderung der Koordinaten und der mittleren Fehler voraussehbar ist. Die größte Veränderung sollte sich bei der äußeren Orientierung der Bilder und der Koordinaten der photogrammetrischen Neupunkte abspielen, da die vorherige Bündelblockausgleichung mit festgehaltenen Paßpunkten gerechnet hat, die jetzt in der kombinierten Ausgleichung als Neupunkte betrachtet werden. Die Genauigkeit dieser Werte wird höher sein, da die Spannungen der Paßpunkte nicht mehr wie bei der separaten Bündelblockausgleichung auf die Neupunkte bzw. auf die äußere Orientierung verteilt werden.

4.4.1 Tabellarischer Vergleich

Standpunkt:		O [gon]	m_o [gon]
1	getrennt	99.9276	0.0048
	kombiniert	99.9330	0.0071
	Vergleich	-0.0054	größer
2	getrennt	234.8517	0.0047
	kombiniert	234.8607	0.0068
	Vergleich	-0.0090	größer
3	getrennt	36.6875	0.0046
	kombiniert	36.6797	0.0068
	Vergleich	0.0078	größer
<u>5094</u>	getrennt	54.4250	0.0048
	kombiniert	54.4239	0.0070
	Vergleich	0.0011	größer

Tab. 4.4.1-1: Vergleich: Richtungsorientierungen

Rotationswinkel		α [gon]	ν [gon]	κ [gon]	m_α [gon]	m_ν [gon]	m_κ [gon]
Bild 1	getrennt	92.3977	118.8921	397.9622	1.1597	1.7653	0.3290
	kombiniert	93.3956	118.0647	397.9594	0.2977	0.5498	0.1302
	Vergleich	-0.9979	0.8274	0.0028	kleiner	kleiner	kleiner
Bild 5	getrennt	69.6043	113.4545	398.1227	0.9601	1.6767	0.4375
	kombiniert	70.8849	115.7748	397.6683	0.2608	0.5748	0.1552
	Vergleich	-1.2806	-2.3203	0.4544	kleiner	kleiner	kleiner

Projektionszentrum		X_0 [m]	Y_0 [m]	Z_0 [m]	m_{X_0} [m]	m_{Y_0} [m]	m_{Z_0} [m]
Bild 1	getrennt	376.183	430.630	34.856	0.099	0.284	0.415
	kombiniert	376.142	430.878	35.066	0.045	0.076	0.128
	Vergleich	0.040	-0.248	-0.210	kleiner	kleiner	kleiner
Bild 5	getrennt	374.021	423.351	36.123	0.149	0.184	0.391
	kombiniert	374.170	423.649	35.576	0.050	0.056	0.134
	Vergleich	-0.149	-0.298	0.547	kleiner	kleiner	kleiner

Tab. 4.4.1-2: Vergleich: äußere Orientierung

Neupunkt geodätisch		X_{zi} [m]	Y_{zi} [m]	Z_{zi} [m]	$m_{X_{zi}}$ [m]	$m_{Y_{zi}}$ [m]	$m_{Z_{zi}}$ [m]
1	getrennt	377.884	409.559	33.842	0.012	0.014	0.006
	kombiniert	377.885	409.559	33.843	0.018	0.020	0.009
	Vergleich	-0.001	0.000	-0.001	größer	größer	größer
2	getrennt	365.305	414.217	33.975	0.013	0.019	0.006
	kombiniert	365.308	414.217	33.979	0.019	0.028	0.009
	Vergleich	-0.003	0.000	-0.004	größer	größer	größer
3	getrennt	364.977	405.766	34.120	0.014	0.024	0.007
	kombiniert	364.979	405.762	34.124	0.021	0.035	0.010
	Vergleich	-0.002	0.004	-0.004	größer	größer	größer
100	getrennt	360.246	428.219	36.165	0.023	0.027	0.012
	kombiniert	360.261	428.222	36.140	0.025	0.032	0.010
	Vergleich	-0.015	-0.003	0.025	größer	größer	kleiner
101	getrennt	359.837	426.547	36.142	0.017	0.024	0.008
	kombiniert	359.826	426.554	36.138	0.023	0.033	0.010
	Vergleich	0.011	-0.007	0.004	größer	größer	größer
102	getrennt	361.644	433.961	36.125	0.021	0.027	0.010
	kombiniert	361.664	433.922	36.134	0.028	0.033	0.011
	Vergleich	-0.020	0.039	-0.009	größer	größer	größer
105	getrennt	360.119	425.954	38.046	0.016	0.024	0.009
	kombiniert	360.130	425.957	38.058	0.023	0.033	0.011
	Vergleich	-0.011	-0.003	-0.012	größer	größer	größer
108	getrennt	361.905	434.328	37.173	0.021	0.027	0.010
	kombiniert	361.905	434.298	37.162	0.027	0.034	0.011
	Vergleich	0.000	0.030	0.011	größer	größer	größer
112	getrennt	361.651	431.708	39.304	0.019	0.029	0.012
	kombiniert	361.652	431.777	39.336	0.027	0.033	0.012
	Vergleich	-0.001	-0.069	-0.032	größer	größer	gleich

Tab. 4.4.1-3: Vergleich: geodätische Neupunkte

Anmerkung:

Die fettgeschriebenen Werte zeigen Abweichungen der Koordinaten von über 3cm bzw. Abweichungen der Winkelwerte von über 1cgon.

Neupunkt fotogr.		X_{zi} [m]	Y_{zi} [m]	Z_{zi} [m]	$m_{x_{zi}}$ [m]	$m_{y_{zi}}$ [m]	$m_{z_{zi}}$ [m]
104	getrennt	359.802	426.124	34.742	0.105	0.024	0.023
	kombiniert	359.868	426.123	34.739	0.033	0.033	0.012
	Vergleich	-0.066	0.001	0.003	kleiner	kleiner	kleiner
106	getrennt	359.876	426.171	37.218	0.086	0.020	0.022
	kombiniert	359.889	426.171	37.221	0.025	0.033	0.011
	Vergleich	-0.013	0.000	-0.003	kleiner	größer	kleiner
107	getrennt	362.335	434.784	38.046	0.084	0.049	0.028
	kombiniert	362.354	434.771	38.032	0.030	0.035	0.013
	Vergleich	-0.019	0.013	0.014	kleiner	kleiner	kleiner
109	getrennt	361.874	433.054	39.370	0.089	0.040	0.031
	kombiniert	361.932	433.055	39.346	0.032	0.034	0.013
	Vergleich	-0.058	-0.001	0.024	kleiner	kleiner	kleiner
111	getrennt	360.500	427.353	39.320	0.097	0.026	0.030
	kombiniert	360.503	427.372	39.335	0.030	0.033	0.012
	Vergleich	-0.003	-0.019	-0.015	kleiner	größer	kleiner

Tab. 4.4.1-4: Vergleich: photogrammetrische Neupunkte

4.4.2 Zusammenfassung

Die Ergebnisse bestätigen die vorherige Einschätzung über die Veränderungen der Unbekannten und Genauigkeiten zu der getrennten Ausgleichung.

- Die Abweichungen der Neupunktkoordinaten liegen im cm - Bereich, wobei allerdings kein signifikanter Unterschied der Abweichung zwischen den photogrammetrischen und den geodätischen Neupunkten feststellbar ist.
- Die geodätischen Standpunkte bleiben nahezu unverändert.
- Erhebliche Abweichungen wurden bei den äußeren Orientierungen der Bilder festgestellt. Die Koordinaten der Projektionszentren variieren im dm - Bereich, und die Drehwinkel sogar bis knapp über 2 gon.
- Die geodätischen Neupunkte und Standpunkte wurden etwas ungenauer.
- Die photogrammetrischen Neupunkte und die äußeren Orientierungen wurden genauer.

Die Abweichungen der äußeren Orientierung sind trotz ihrer Größe nicht kritisch, da diese Werte äußerst empfindlich auf Änderungen der Geometrie der Verknüpfungspunkte reagieren. Auch sind diese Unbekannten zum Teil stark miteinander korreliert, so daß eine genaue Trennung dieser Werte und hiermit die genaue Bestimmung nicht möglich ist, was auch die relativ hohen Werten der mittleren Fehler bestätigen.

Bei einigen Koordinaten (104, 109, 112, 102) sind auch Abweichungen von über 3 cm zu erkennen. Das läßt sich auf widersprüchliche Messungen zurückführen. Den Ergebnisprotokollen lassen sich bei einigen Messungen zu diesen Punkten (siehe Anhang 2: brbter.erg, brbphe.erg, brbkombi.erg) hohe NV-Werte erkennen. Da diese Abweichungen also auf fehlerhafte Messung zurückzuführen sind, wird das Ergebnis der kombinierten Ausgleichung hierdurch nicht in Frage gestellt.

Das Erreichen einer cm - Genauigkeit der kombinierten Ausgleichung bei allen Neupunkten zeigt eine gute und nahezu homogene Fehlerverteilung. Man kann hieraus entnehmen, daß die Messungen des Projektes im Ganzen optimale Ergebnisse lieferten, obwohl Einzelmessungen höhere Fehler bei der Auswertung zeigten.

5. Zusammenfassung

5.1 Inhalt

Die Aufgabe der Erstellung der theoretischen Grundlagen, einer Programmentwicklung und Erprobung durch Vergleich an kommerziellen Programmen einer kombinierten Netzausgleichung zwischen geodätischen und photogrammetrischen Beobachtungen wurde in allen Punkten angesprochen und bearbeitet.

Die gesamte Vorgehensweise von den Rohmessungen bzw. Beobachtungen und der Schaffung eines Koordinatensystems über die Berechnung von Näherungswerten, Aufstellung der Fehlergleichungen und der Definition des stochastischen und funktionalen Modells bis zu den endgültigen ausgeglichenen Koordinaten und Orientierungen und der Interpretation der Ergebnisse mit deren mittleren Fehlern wurde theoretisch, mathematisch und auch grafisch dargestellt.

Weiterhin wurden zusätzliche Aspekte und Fragestellungen, die im Rahmen einer 3D - Netzausgleichung auftreten wie zusätzliche Bedingungen sowie freie Netzausgleichung theoretisch behandelt.

Das Ausgleichungsprogramm konnte in eine schon vorher bestehende Programmumgebung eingebunden werden, so daß über einen blanken Rechenalgorithmus hinaus auch Strukturen von Eingabedaten, eine einfache und konsequente Benutzerführung und Anbindung an andere Programmodule beispielsweise zur Berechnung von Näherungswerten, Verzeichniskorrektur (Bildkoordinatenbereinigung) u.a. angestrebt wurden. Die gewählte Programmiersprache ist ANSI C und ermöglicht die Nutzung des Programms plattformübergreifend, so daß VERTECH auf den Betriebssystemen MacOS, Windows und UNIX lauffähig ist und getestet wurde. Die Datenaufbereitung kann mit Hilfe des Programms oder per Hand erfolgen. Die genaue Vorgehensweise ist im Anhang 2: Handbuch VERTECH beschrieben.

Das Programm stellt automatisch je nach Beobachtungsdatei und Beobachtungstyp das Ausgleichungssystem auf und berechnet dieses. Der Eingriff des Benutzers ist nur bei einem auftretenden Fehler, sowie bei grundsätzlichen Programmentscheidungen wie zum Beispiel der Option des Programmstarts bzw. der Speicherung der Ergebnisse nötig. Der Benutzer braucht keine Beobachtungen bzw. ausgleichungstechnische Werte wie zum Beispiel Redundanz usw. per Hand eingeben. Eine nach der Ausgleichung generierte umfassende Ergebnisdatei ermöglicht eine Interpretation der Ergebnisse.

Damit die theoretischen Grundlagen und die richtige Funktion des Programms auch gewährleistet ist, wurde anhand eines praktischen Projekts die Ergebnisse von VERTECH verschiedenen kommerziellen Programmen gegenübergestellt. Die Ergebnisse der Einzelausgleichungen (geodätisch: 3D - Netzausgleichung - BETAN/NEPTAN, photogrammetrisch: Bündelblockausgleichung - PICTRAN) zeigten keine signifikanten Abweichungen, so daß diese Berechnungen als hinreichend überprüft und gesichert gelten. Der Vergleich der kombinierten Ausgleichung ist nur mit den Ergebnissen der sequentiellen Ausgleichung mit VERTECH möglich, da keines der mir bekannten Ausgleichungsprogramme den kombinierten Fall unterstützen. Die erwarteten Ergebnisse und Abweichungen wurden auch hier bestätigt.

5.2 Bewertung der kombinierten Ausgleichung

5.2.1 Vorteile

Der Vorteil der kombinierten Ausgleichung liegt wie schon in Kapitel 1 beschrieben in zwei erheblich verbesserten Bereichen:

Bereich 1: Programmorganisation

In den meisten Fällen ist es für den Benutzer verwirrend und arbeitsintensiv die Eingabedaten für verschiedenen Programme einzeln aufzuarbeiten. Auch verschiedene Programmabläufe und Formulierungen können zu Fehlern bzw. Fehlinterpretationen führen. Da der Sinn eines Programms in der Erleichterung von Arbeitsabläufen liegt, ist diese zusätzliche Belastung des Benutzers zu verhindern. In einem Programm der kombinierten Ausgleichung können Dateien einheitlich gestaltet werden (Bsp.: Koordinatenverzeichnisse) und auch Formulierungen und Datenzuordnungen sind dann eindeutig. Weiterhin besteht die Möglichkeit nach Belieben Eingabedateien einzufügen bzw. herauszunehmen, so daß mit diesem Programm eine einzelne 3D - Netzausgleichung oder eine Bündelblockausgleichung oder beide Ausgleichungen zusammen gerechnet werden können, so daß ein Projekt hiermit auf einzelne Aspekte hin genauer untersucht werden kann. Der Anwendungsbereich wird größer bei Vereinfachung und Minimierung des Arbeitsablaufes.

Bereich 2: ausgleichungstechnisch

Die getrennte Ausgleichung hat meistens einen gewissen Informationsverlust zur Folge. Die mit einer Netzausgleichung ermittelten Paßpunkte werden entweder als Festpunkte oder als beobachtete Koordinaten in die Bündelblockausgleichung eingefügt. Entweder es gehen keine Fehlerwerte dieser Punkte in die nun folgende Bündelblockausgleichung mit ein, oder nur die mittleren Fehler der Koordinaten und nicht deren ganze in der Netzausgleichung ermittelte Kovarianzmatrix. Durch diesen Informationsverlust wird das Ausgleichungsergebnis mehr oder weniger verfälscht. Das gefährliche daran ist, daß diese Verfälschung kaum auffällt und der Benutzer dieses Ergebnis als richtig interpretiert. Das heißt natürlich nicht, daß alle Berechnungen, die so erfolgen, falsch oder bedenklich sind, es ist nur eine von vielen Fehlerquellen.

In der kombinierten Ausgleichung ist diese Fehlerquelle nicht möglich, da alle Unbekannten in einem Schritt ausgeglichen werden. Paßpunkte werden sowohl geodätisch als auch photogrammetrisch beobachtet, geodätische Neupunkte nur geodätisch und photogrammetrische Neupunkte nur als Bildkoordinatenbeobachtung. Hier hängt das Ergebnis ausschließlich von den Beobachtungen ab. Die Verbindung der Messungen erfolgt direkt in der Ausgleichung.

Weiterhin zeigen auch die Ergebnisse im Vergleich (siehe Kapitel 4) eine wesentlich bessere Fehlerverteilung. Die geodätischen Punkte sind etwas ungenauer, die photogrammetrischen Neupunkte sind wesentlich genauer bestimmt worden, als bei der sequentiellen Ausgleichung.

5.2.2 Nachteile

Den Vorteilen der kombinierten Ausgleichung stehen auch einige Nachteile entgegen:

Dadurch, daß die Verbindung der Messungen direkt in der Ausgleichung erfolgt, würde bei einer Meßkonfiguration, die ungewollt zwei separate nicht miteinander verbunden Systeme beinhaltet, als ein System identifiziert werden. Es ist auch keine direkte Kontrolle gegeben, ob überhaupt genug Verknüpfungspunkte in den Bildern vorhanden sind, da die Gesamtredundanz ausreichend sein kann. Beispielsweise kann ein Neupunkt mit nur einer Richtungsmessung beobachtet worden sein, was für seine eindeutige Bestimmung zu wenig Meßwerte bedeutet, das Ausgleichungssystem allerdings eine positive Redundanz zeigen, da mit beispielsweise drei Bildern zwei Punkte beobachtet wurden und die Redundanz hiermit erhöht wurde. Der Planung und der Zusammenstellung der Meßwerte ist also größte Aufmerksamkeit zu widmen. Das Problem ist zwar bei jeder Einzelausgleichung genauso zu finden, allerdings ist es dort einfacher und überschaubarer.

Als weiterer Nachteil ist die geringere Genauigkeit der geodätischen Neupunkte zu sehen. Sollte die Problemstellung eines Projektes die Sicherung und Verbesserung der geodätischen Neupunkte sein mit gleichzeitiger photogrammetrischer Aufnahme, so ist das kombinierte Ausgleichungsverfahren eher ungeeignet, da durch die Kombination von genauen geodätischen Messungen mit ungenaueren photogrammetrischen Beobachtungen die geodätischen Neupunkte in ihrer Genauigkeit negativ beeinflusst werden. In diesem Fall ist das sequentielle Verfahren besser verwendbar.

5.3 Anwendungsbereiche

Die Anwendung der kombinierten Ausgleichung liegt im Bereich der Architekturphotogrammetrie, mit Schwerpunkt auf die maximal genaue Einmessung einer Hausfassade. Da in der kombinierten Ausgleichung die Fehlerwerte zugunsten der photogrammetrischen Neupunkte ausfallen, ist hiermit eine Steigerung der Genauigkeit möglich. Die Möglichkeit der freien Netzausgleichung ist hier sehr hilfreich, da meist für diese Anwendung ein lokales Koordinatensystem ohne Anschluß an das Landeskoordinatensystem als Bezugssystem in Frage kommt. Spannungen des Landeskoordinatensystems würden die Genauigkeit der gewünschten Ergebnisse herabsetzen. Da bei der Architekturphotogrammetrie das gewählte lokale Koordinatensystem nur diesem einen Zweck dient, sind Genauigkeitsverluste der geodätischen Punkte hinnehmbar.

Zwar läßt sich die kombinierte Ausgleichung auch auf Luftbilder anwenden, allerdings ist dann auf mögliche numerische Probleme der äußeren Orientierung hingewiesen, da für das funktionale Modell terrestrische Rotationswinkel verwendet wurden. Wieder ist auch hier die Problemstellung des Projektes für den Einsatz dieser Ausgleichung relevant.

Als positiven Nebeneffekt kann man mit der kombinierten Ausgleichung auch eine erste Durchsicht aller Beobachtungen machen. In der Liste der Beobachtungen ist dann sofort erkennbar, welche Beobachtungen groben Fehlern unterliegen, oder wie diese zu bewerten sind.

5.4 Zukünftige Entwicklung

Die freie Netzausgleichung wurde theoretisch behandelt und auch programmiert. Allerdings wurde diese noch nicht hinreichend getestet, so daß hier noch Handlungsbedarf besteht. Die Ergebnisse, die die freie Netzausgleichung momentan liefert sind in sich schlüssig und wahrscheinlich richtig. Allerdings gibt es noch mehrere theoretische und praktische Fragen hierzu, z. Bsp. bezüglich des stochastischen Modells und den Bewegungsspielraum der Punkte. Hier ist eine genauere Untersuchung nötig und ist als Weiterentwicklung geplant.

Die zusätzlichen Bedingungen wurden in dieser Arbeit ausschließlich theoretisch behandelt. Hier liegt noch die programmiertechnische Realisierung und Überprüfung bevor. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die theoretischen Grundlagen noch einigen Nachbesserungen bedarf, da diese nie getestet wurden.

Im theoretischen Teil wurde noch nicht die Möglichkeit des Einfügens von beobachteten Unbekannten behandelt, allerdings wurde dies schon entwickelt und in das Programm integriert. Auch hier ist noch keine umfangende Testphase angelaufen.

Weitere Testläufe und Weiterentwicklungen sollen dazu beitragen das Programm VERTECH zu einem einfach bedienbaren, universellen und zuverlässigen Werkzeug für die Berechnung und Verwaltung von vermessungstechnischen und photogrammetrischen Projekten und Aufgaben zu machen.

6. Quellenverzeichnis

Lehrveranstaltungen

TU-Berlin: GRÜNDIG L., Lehrveranstaltung Ausgleichungsrechnung I, SS 1995

TU-Berlin: GRÜNDIG L., Lehrveranstaltung Ausgleichungsrechnung III, SS 1996

TU-Berlin: MITTERMAYER, E., Lehrveranstaltung Mathematische Geodäsie, WS 1995/96

TU-Berlin: WIEDEMANN, A., Lehrveranstaltung Architekturphotogrammetrie für Architekten, SS 1999

Computerprogramme

BLUH: Programm zur Bündelblockausgleichung, Universität Hannover

BETAN / NEPTAN: Programm zur Netzausgleichung, Gründig / Technet

IMDIS: Programm zur Messung von Bildkoordinaten, Albert Wiedemann / TU Berlin

PICTRAN: Programm zur Bündelblockausgleichung, Gründig / Technet

Literaturangaben

HÄßLER, J. / WACHSMUTH, H.: Formelsammlung für den Vermessungsberuf, Wilhelm Bing Verlag, Korbach, 4.Auflage, 1990

HELL, G.: Terrestrische Bildtriangulation mit Berücksichtigung zusätzlicher Beobachtungen, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München, München, 1979

ILLNER, I.: Freie Netze und S-Transformation, AVN Vol. 5/90, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1983

KRAUS, K.: Photogrammetrie Band 1, Dümmler Verlag, Bonn, 6. Auflage, 1997

KRAUS, K.: Photogrammetrie Band 2, Dümmler Verlag, Bonn, 3. Auflage, 1996

MITTERMAYER, E.: Zur Ausgleichung freier Netze, ZfV 97. Jahrgang Heft 11, DVW e.V., 1972

PELZER, H.: Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, 1985

STÖCKER, H.: Taschenbuch mathematischer Formeln und moderner Verfahren, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main, 3. Auflage, 1995

Anhang 1: Datensätze des Projektes "Brandenburg"

A1. Koordinatenverzeichnisse VERTECH

A1.1 Näherungskoordinaten aus geodätischen Messungen

VERTECH Datei "brbnaeh.koo":

sonstiges lokales System	Ursprung:relativ	Haupttr.:relativ	Nebenr.:relativ	Typ:kart
Ellipsoid:keins	a=0.00	1/f=0.000000000		
5093	319.123	330.544	35.891 0	0.000 0.000 0.000
5094	396.672	414.256	33.514 0	0.000 0.000 0.000
5095	414.058	441.014	50.000 0	0.000 0.000 0.000
1	377.885	409.558	33.857 1	0.000 0.000 0.000
2	365.303	414.221	33.991 1	0.000 0.000 0.000
3	364.974	405.770	34.137 1	0.000 0.000 0.000
100	360.251	428.220	36.193 2	0.000 0.000 0.000
101	359.846	426.543	36.188 2	0.000 0.000 0.000
102	361.644	433.965	36.146 2	0.000 0.000 0.000
105	360.121	425.957	38.050 2	0.000 0.000 0.000
108	361.902	434.330	37.168 2	0.000 0.000 0.000
112	361.649	431.711	39.318 2	0.000 0.000 0.000

A1.2 Ausgegliche Koordinaten nach der 3D - Netzausgleichung

VERTECH Datei "brbter.koo":

sonstiges lokales System	Ursprung:relativ	Haupttr.:relativ	Nebenr.:relativ	Typ:kart
Ellipsoid:keins	a=0.00	1/f=0.000000000		
5093	319.123	330.544	35.891 0	0.000 0.000 0.000
5094	396.672	414.256	33.514 0	0.000 0.000 0.000
5095	414.058	441.014	50.000 0	0.000 0.000 0.000
1	377.884	409.559	33.842 1	0.012 0.014 0.006
2	365.305	414.217	33.975 1	0.013 0.019 0.006
3	364.977	405.766	34.120 1	0.014 0.024 0.007
100	360.246	428.219	36.165 2	0.023 0.027 0.012
101	359.837	426.547	36.142 2	0.017 0.024 0.008
102	361.644	433.961	36.125 2	0.021 0.027 0.010
105	360.119	425.954	38.046 2	0.016 0.024 0.009
108	361.905	434.328	37.173 2	0.021 0.027 0.010
112	361.651	431.708	39.304 2	0.019 0.029 0.012

A1.3 Ausgegliche Koordinaten nach der Bündelblockausgleichung

VERTECH Datei "brbpho.koo":

sonstiges lokales System	Ursprung:relativ	Haupttr.:relativ	Nebenr.:relativ	Typ:kart
Ellipsoid:keins	a=0.00	1/f=0.000000000		
100	360.246	428.219	36.165 0	0.023 0.027 0.012
101	359.837	426.547	36.142 0	0.017 0.024 0.008
102	361.644	433.961	36.125 0	0.021 0.027 0.010
105	360.119	425.954	38.046 0	0.016 0.024 0.009
108	361.905	434.328	37.173 0	0.021 0.027 0.010
112	361.651	431.708	39.304 0	0.019 0.029 0.012
1001	376.183	430.630	34.856 10	0.099 0.284 0.415
1005	374.021	423.351	36.123 10	0.149 0.184 0.391
104	359.802	426.124	34.742 3	0.105 0.024 0.023
111	360.500	427.353	39.320 3	0.097 0.026 0.030
107	362.335	434.784	38.046 3	0.084 0.049 0.028
106	359.876	426.171	37.218 3	0.086 0.020 0.022
109	361.874	433.054	39.370 3	0.089 0.040 0.031

A1.4 Ausgegliche Koordinaten nach der kombinierten Ausgleichung

VERTECH Datei "brbkombi.koo":

sonstiges lokales System	Ursprung:relativ	Haupttr.:relativ	Nebenr.:relativ	Typ:kart
Ellipsoid:keins	a=0.00	1/f=0.000000000		
5093	319.123	330.544	35.891 0	0.000 0.000 0.000
5094	396.672	414.256	33.514 0	0.000 0.000 0.000
5095	414.058	441.014	50.000 0	0.000 0.000 0.000
1	377.885	409.559	33.843 1	0.018 0.020 0.009
2	365.308	414.217	33.979 1	0.019 0.028 0.009
3	364.979	405.762	34.124 1	0.021 0.035 0.010
100	360.261	428.222	36.140 2	0.025 0.032 0.010
101	359.826	426.554	36.138 2	0.023 0.033 0.010
102	361.664	433.922	36.134 2	0.028 0.033 0.011
105	360.130	425.957	38.058 2	0.023 0.033 0.011
108	361.905	434.298	37.162 2	0.027 0.034 0.011
112	361.652	431.777	39.336 2	0.027 0.033 0.012
1001	376.142	430.878	35.066 10	0.045 0.076 0.128
1005	374.170	423.649	35.576 10	0.050 0.056 0.134
104	359.868	426.123	34.739 3	0.033 0.033 0.012
111	360.503	427.372	39.335 3	0.030 0.033 0.012
107	362.354	434.771	38.032 3	0.030 0.035 0.013
106	359.889	426.171	37.221 3	0.025 0.033 0.011
109	361.932	433.055	39.346 3	0.032 0.034 0.013

Anmerkung:

Je nach Aufgabenstellung müssen die Punktschlüssel (siehe Anhang 2) umdefiniert werden (Bsp.: Paßpunkte, die für die Bündelblockausgleichung zu Festpunkten werden).

A2. Eingabedateien

A2.1 Geodätische Beobachtungen, polare Meßelemente

Standpunkt 1: VERTECH Datei "1a.pol"

Datum:	Projekt:	Instrument:
Beobachter:	Feldbuch:	Luftdruck:
Wetter:	Temperatur:	
Bemerkung:		
1 1.635		
5095 256.3080		
0.0050	0.003	0.0050
5094 286.2880	19.371 s	101.3340
2 124.4680	13.420 s	99.0820
101 149.9590	24.786 s	98.2120
100 153.6780	25.685 s	98.2620
105 149.3340	24.311 s	93.2900
102 164.5000	0.000 -	98.6250
108 165.4100	0.000 -	96.2320

Standpunkt 2: VERTECH Datei "2a.pol"

Datum:	Projekt:	Instrument:
Beobachter:	Feldbuch:	Luftdruck:
Wetter:	Temperatur:	
Bemerkung:		
2 1.695		
5094 256.1670		
0.0050	0.003	0.0050
5094 256.1670	31.374 s	101.2260
1 278.8180	13.422 s	100.8520
3 358.7130	8.458 s	99.7280
101 129.6630	13.498 s	97.8170
102 144.5720	20.086 s	98.5430
105 129.7550	13.051 s	88.3270
112 143.1260	18.233 s	87.2320
108 145.5720	20.449 s	95.3820

Standpunkt 3: VERTECH Datei "3a.pol"

Datum:	Projekt:	
Beobachter:	Feldbuch:	Instrument:
Wetter:	Temperatur:	Luftdruck:
Bemerkung: Richtungen aus >brb.ric<		
3	1.585	
5093	268.0530	
	0.0050	0.003 0.0050 0.005
2	35.6640	8.460 s 100.2570 1.695 1
112	25.0900	0.000 - 91.2850 0.000 2

Standpunkt 5094: VERTECH Datei "5094a.pol"

Datum:	Projekt:	
Beobachter:	Feldbuch:	Instrument:
Wetter:	Temperatur:	Luftdruck:
Bemerkung: Richtungen aus >brb.ric<		
5094	1.550	
5095	237.3430	
	0.0050	0.003 0.0050 0.005
1	85.0620	19.371 s 98.5780 1.640 1
105	120.3710	0.000 - 95.0520 0.000 2
101	121.1520	0.000 - 98.2370 0.000 2
100	123.9580	0.000 - 98.2520 0.000 2
102	133.2780	0.000 - 98.3040 0.000 2
108	133.9920	0.000 - 96.6810 0.000 2

A2.2 Photogrammetrische Beobachtungen, Bildkoordinatenmessung

Bild 1: VERTECH Datei "b1.ori"

101.koo	51.19000	0.00000	0.00000	
1001	376.000	430.000	35.000	
ter	90.0000	120.0000	0.0000	
101	-19.47181	-11.84670	2	2.4e-02 2.4e-02
100	-14.07149	-11.61368	2	2.4e-02 2.4e-02
105	-21.28924	-5.41615	2	2.4e-02 2.4e-02
112	-2.05101	0.06257	2	2.4e-02 2.4e-02
102	5.76678	-10.80934	2	2.4e-02 2.4e-02
108	7.02199	-7.00109	2	2.4e-02 2.4e-02
104	-21.40271	-16.80524	3	2.4e-02 2.4e-02
111	-16.54214	-1.04318	3	2.4e-02 2.4e-02
107	8.82002	-3.65378	3	2.4e-02 2.4e-02
106	-20.55925	-8.23451	3	2.4e-02 2.4e-02
109	2.35800	0.38241	3	2.4e-02 2.4e-02
-1	0.00000	0.00000	0	0.0e+00 0.0e+00

Bild 5: VERTECH Datei "b5.ori"

105.koo	51.19000	0.00000	0.00000	
1005	374.000	423.000	36.000	
ter	70.0000	114.0000	0.0000	
102	12.66942	-10.57216	2	2.4e-02 2.4e-02
105	-15.16470	-4.01219	2	2.4e-02 2.4e-02
101	-13.37115	-11.32273	2	2.4e-02 2.4e-02
100	-6.95099	-11.12457	2	2.4e-02 2.4e-02
108	13.83366	-7.09992	2	2.4e-02 2.4e-02
112	5.90370	0.25742	2	2.4e-02 2.4e-02
109	9.95994	0.17217	3	2.4e-02 2.4e-02
106	-14.63268	-7.26144	3	2.4e-02 2.4e-02
107	15.74203	-4.08423	3	2.4e-02 2.4e-02
104	-15.16615	-16.82424	3	2.4e-02 2.4e-02
111	-9.60137	0.48360	3	2.4e-02 2.4e-02
-1	0.00000	0.00000	0	0.0e+00 0.0e+00

Anmerkung:

Eine genauere Beschreibung der VERTECH Dateien .pol, .ori findet sich im Anhang 2: Handbuch zum Programm VERTECH.

1	5094	19.3694	.00
1	2	13.4193	.00
1	101	24.8856	.00
1	100	25.7815	.00
1	105	24.5369	.00
2	5094	31.3715	.00
2	1	13.4213	.00
2	3	8.4592	.00
2	101	13.6615	.00
2	102	20.1960	.00
2	105	13.4636	.00
2	112	18.6448	.00
2	108	20.6412	.00
3	2	8.4612	.00
5094	1	19.3692	.00
1	5094	101.0547	.00
1	2	99.3666	.00
1	101	94.0280	.00
1	100	94.2235	.00
1	105	89.0684	.00
1	102	95.0843	.00
1	108	92.7278	.00
2	5094	100.9318	.00
2	1	100.5674	.00
2	3	98.9001	.00
2	101	89.9027	.00
2	102	93.1951	.00
2	105	80.4264	.00
2	112	81.5530	.00
2	108	90.1621	.00
3	2	101.0846	.00
3	112	87.5336	.00
5094	1	98.8737	.00
5094	105	92.5057	.00
5094	101	95.7015	.00
5094	100	95.7285	.00
5094	102	95.8544	.00
5094	108	94.2362	.00

Anmerkung:

Die Beobachtungen mußten für BETEN/NEPTAN bezüglich der Instrumentenhöhen reduziert werden. Während in VERTECH die Instrumentenhöhen in den Beobachtungsdateien eingetragen sind, müssen diese in der Datei NEPTAN.INP schon auf die Beobachtungen reduziert sein.

A2.4 Eingabedateien des Programms PICTRAN

Datei "bunnae.sta":

```
USER = rol
LOK00R = rolb
K00R = rolb
SYSTEM = rol
KAMMER = rol
```

Datei "bunob.sta":

```
USER = rol
LOK00R = bunnae
K00R = bunnae
SYSTEM = bunnae
KAMMER = bunnae
```

Datei "bunbil.sta":

```
USER = rol
LOK00R = bunob
K00R = bunob
SYSTEM = bunob
KAMMER = bunob
```

Datei "rol.kam":

```
; PICTRAN Kameradatei
; erstellt Di 26-03-1996 16:44:14 vom Modul PHO_BUNDLE_MA_P aus IMBUN 1.01

      ROL      0.000000      0.000000      51.190000      0.0000      0.0000      0.0000
0.00000000      0.00000000      0.00000000      0.00000000      25.00000000      0      0      0      0
```

Datei "rol.sys":

```
; PICTRAN Orientierungsdatei
; erstellt Di 26-03-1996 16:44:14 vom Modul PHO_BUNDLE_MA_P aus IMBUN 1.01

      1
      ROL
371.000000      430.000000      36.000000      1      1      1      0.0000      0.0000      0.0000
  0.000000      0.078459      0.996917
  1.000000      0.000000      0.000000
  0.000000      0.996917      -0.078459
0.000000000000      0.000000000000      0.000000000000      0.000000000000

      5
      ROL
374.067000      423.415000      36.009000      1      1      1      0.0000      0.0000      0.0000
  0.449515      0.207817      0.868762
  0.892775      -0.072102      -0.444693
 -0.029774      0.975506      -0.217945
0.000000000000      0.000000000000      0.000000000000      0.000000000000
```

Datei "rol.use":

```
; PICTRAN Steuerdatei
; erstellt Mi 08-10-1997 22:08:44 vom Modul PHO_BUNDLE_MA_P aus IMBUN 1.10

BUNNAES
PIVOTEPSILON=1.D-16      ! PIVOTELEMENT MUSS GROESSER SEIN
KOORDINATENEPS=1.D-10    ! ABBRUCHSCHRANKE FUER KOORDINATEN
RECHTESEITEEPS=1.D-10    ! ABBRUCHSCHRANKE FUER RESTKRAEFTE
MITTL. FEHLER EBENENPUNKTGL.=1.0      ! MITTL. FEHLER DER EBENENPUNKTGLEICHUNG
MITTL. FEHLER EBENENBED.-GL.=0.1      ! MITTL. FEHLER DER EBENENBEDINGUNGSGLEICHUNG
MITTL. FEHLER VERBESSERUNGSGL.=2.0    ! MITTL. FEHLER DER 21 VERBESSERUNGSGLEICHUNGEN
MITTL. FEHLER STRAHLENSCHNITT=0.5      ! DEFAULT-WERT FUER MITTL. FEHLER DES STRAHLENSCHNITTS
MASSSTAB IM OUTPUT=0      ! MASSSTAEBE IM OUTPUT-FILE AUFGEFUEHRT (JA=1,0=NEIN)
MAX. ITERATIONEN=200      ! MAX. ANZAHL ITERATIONEN
PROJEKT=rol               ! NAME DES PROJEKTS

BUNOB$
PIVOTEPSILON=1.D-24      ! PIVOTELEMENT MUSS GROESSER SEIN
KOORDINATENEPS=1.D-12    ! ABBRUCHSCHRANKE FUER KOORDINATEN
RECHTESEITEEPS=1.D-9      ! ABBRUCHSCHRANKE FUER RESTKRAEFTE
MITTL. FEHLER EBENENPUNKTGL.=1.0      ! MITTL. FEHLER DER EBENENPUNKTGLEICHUNG
MITTL. FEHLER EBENENBED.-GL.=0.01     ! MITTL. FEHLER DER EBENENBEDINGUNGSGLEICHUNG
MITTL. FEHLER STRAHLENSCHNITT=0.001    ! DEFAULT-WERT FUER MITTL. FEHLER DES
STRAHLENSCHNITTS
MASSSTAB IM OUTPUT=0      ! MASSSTAEBE IM OUTPUT-FILE AUFGEFUEHRT (JA=1,0=NEIN)
MAX. ITERATIONEN=150      ! MAX. ANZAHL ITERATIONEN
PROJEKT=rol               ! NAME DES PROJEKTS

BUNBIL$
PIVOTEPSILON=1.D-16      ! PIVOTELEMENT MUSS GROESSER SEIN
KOORDINATENEPS=1.D-12    ! ABBRUCHSCHRANKE FUER KOORDINATEN
RECHTESEITEEPS=1.D-10      ! ABBRUCHSCHRANKE FUER RESTKRAEFTE
MITTL. FEHLER EBENENPUNKTGL.=1.0      ! MITTL. FEHLER DER EBENENPUNKTGLEICHUNG
MITTL. FEHLER EBENENBED.-GL.=0.01     ! MITTL. FEHLER DER EBENENBEDINGUNGSGLEICHUNG
MITTL. FEHLER XBILD=0.024      ! DEFAULT-WERT FUER MITTL. FEHLER DES STRAHLENSCHNITTS
MITTL. FEHLER YBILD=0.024      ! DEFAULT-WERT FUER MITTL. FEHLER DES STRAHLENSCHNITTS
```

```

MITTL. FEHLER ZBILD=0.001      ! DEFAULT-WERT FUER MITTL. FEHLER DES STRAHLENSCHNITTS
MASSSTAB IM OUTPUT=0          ! MASSSTABE IM OUTPUT-FILE AUFGEFUEHRT (JA=1,0=NEIN)
Z-BILD IM OUTPUT=0            ! Z-KOORDINATEN IM OUTPUT-FILE AUFGEFUEHRT (JA=1,0=NEIN)
MAX. ITERATIONEN=100          ! MAX. ANZAHL ITERATIONEN
PROJEKT=rol                    ! NAME DES PROJEKTS

```

Datei "rolb.koo":

```

; PICTRAN Objektkoordinatendatei
; erstellt Fr 17-03-2000 16:30:38 vom Modul VDF_WRITE_PICTRAN

100      360.246000      428.219000      36.165000      0      0      0
101      359.837000      426.547000      36.142000      0      0      0
102      361.644000      433.961000      36.125000      0      0      0
105      360.119000      425.954000      38.046000      0      0      0
108      361.905000      434.328000      37.173000      0      0      0
112      361.651000      431.708000      39.304000      0      0      0

```

Datei "rolb.lok":

```

; PICTRAN Bildkoordinatendatei
; erstellt Fr 17-03-2000 16:26:04 vom Modul VDF_WRITE_PICTRAN

1          101      -19.472000      -11.847000      0.000000
1          100      -14.071000      -11.614000      0.000000
1          105      -21.289000      -5.416000      0.000000
1          112      -2.051000      0.063000      0.000000
1          102      5.767000      -10.809000      0.000000
1          108      7.022000      -7.001000      0.000000
1          104      -21.403000      -16.805000      0.000000
1          111      -16.542000      -1.043000      0.000000
1          107      8.820000      -3.654000      0.000000
1          106      -20.559000      -8.235000      0.000000
1          109      2.358000      0.382000      0.000000
5          102      12.669000      -10.572000      0.000000
5          105      -15.165000      -4.012000      0.000000
5          101      -13.371000      -11.323000      0.000000
5          100      -6.951000      -11.125000      0.000000
5          108      13.834000      -7.100000      0.000000
5          112      5.904000      0.257000      0.000000
5          109      9.960000      0.172000      0.000000
5          106      -14.633000      -7.261000      0.000000
5          107      15.742000      -4.084000      0.000000
5          104      -15.166000      -16.824000      0.000000
5          111      -9.601000      0.484000      0.000000

```

A3. Ergebnisdateien

Ergebnisdatei BETAN/NEPTAN: "NEPTAN.OUT"

Ergebnisdatei PICTRAN: "bunbil.out"

Ergebnisdateien VERTECH: "brbter.erg", "brbpho.erg", "brbkombi.erg"

A3.1 Ergebnisdatei: BETAN/NEPTAN

MODULE: NEPTAN VERSION 8.75GPS
1

PROJEKT

PROGRAMM NEPTAN

*** N E T Z A U S G L E I C H U N G ***

15:09:12 4/19/2000

technet gmbh
Briesingstrasse 13
1000 Berlin 49
Tel.: (030) 744 96 84 Fax.:(030) 744 3534

1

TIME	ANAL.	KEY	AVF	EST.	EPOCH	NO.	MERIDG.	ATPV	STOP	MAX.	IT.	KEY	DEGREES	NN-LEVEL	RESTKL.	ELLIPSOID					
100.0000	0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0010	20.0000		0.0000		0.	0.	-1.0000		0.	0.0000	0.0000	
ADD.	CON	AVF	ADD.	SCALE	F.	AVF	SCALE	CYC.	ERR.	AVF	CYCL.	REFRACT.	AVF	REFR.	MAX.	ERR.	SCALE	LOC	AVF	SC	LO
0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000		0.1300		0.0000		5.	0.	1.0000		1.	0.0000

AVF DIR C AVF DIR V AVF DIST C AVF DIST V AVF ZEN AVF HEIGHT AVF FIX. P KEY INV. YMERI XMERI AVF LOCOOR ITER LOC. AVF LOCH AVF FIX. H
50.0000 0.0000 0.3000 0.0000 50.0000 0.1000 0.0000 0.0000 0. 0. 1.0000 2. 5.0000 0.0000
FORMAT (BZ,A15,2F15.4,F15.5,F9.0,F8.0,3A1)

FORMAT (BZ,A15,A15,F15.4,F6.2,2A1)

1 15:09:12 4/19/2000

1. EINGABEDATEN

1.1 NAEHERUNGSKOORDINATEN DER NEUPUNKTE UND KOORDINATEN DER FESTPUNKTE

LFD.NR PUNKTNUMMER Y (RECHTS) X (HOCH) Z (HOEHE) MITTL. FEHLER

1 1 377.8840 409.5580 33.8570
2 2 365.3020 414.2210 33.9910
3 3 364.9730 405.7700 34.1370
4 100 360.2510 428.2200 36.1930
5 101 359.8460 426.5430 36.1880
6 102 361.6430 433.9650 36.1460
7 105 360.1210 425.9580 38.0500
8 108 361.9010 434.3310 37.1680
9 112 361.6480 431.7110 39.3180

10 5094 396.6720 414.2560 33.5140 0.00 ---
11 5093 319.1230 330.5440 35.8910 0.00 ---
12 5095 414.0580 441.0140 50.0000 0.00 ---

1

15:09:12 4/19/2000

1.2 RICHTUNGSBEOBACHTUNGEN

LFD.NR LNR.STP LNR.ZLP STANDPUNKT ZIELPUNKT BEOBACHTUNG MITTL. F WIDERSPRUCH (CC)

1 1 12 1 5095 0.0000 50.00 0.00
2 1 10 5094 29.9800 50.00 130.14
3 1 1 2 268.1600 50.00 -6.11
4 1 5 101 293.6510 50.00 -15.19
5 1 4 100 297.3700 50.00 -3.99
6 1 7 105 293.0260 50.00 -14.27
7 1 6 102 308.1920 50.00 46.01
8 1 8 108 309.1020 50.00 129.18
9 2 10 5094 0.0000 50.00 0.00
10 2 1 1 22.6510 50.00 -146.39
11 2 3 3 102.5460 50.00 -21.58
12 2 5 101 273.4960 50.00 -382.99
13 2 6 102 288.4050 50.00 -4.04
14 2 7 105 273.5880 50.00 -187.61
15 2 9 112 286.9590 50.00 -3.99
16 2 8 108 289.4050 50.00 -4.45
17 3 11 5093 0.0000 50.00 0.00
18 3 2 2 167.6110 50.00 -192.73
19 3 9 112 157.0370 50.00 -4.91

20	10	12	5094	5095	0.0000	50.00	0.00
21	10	1	5094	1	247.7190	50.00	-0.06
22	10	7	5094	105	283.0280	50.00	-152.96
23	10	5	5094	101	283.8090	50.00	-104.47
24	10	4	5094	100	286.6150	50.00	-108.90
25	10	6	5094	102	295.9350	50.00	-99.09
26	10	8	5094	108	296.6490	50.00	-22.91
1					15:09:12	4/19/2000	

1.3 AZIMUTBEOBACHTUNGEN

LFD.NR LNR.STP LNR.ZLP STANDPUNKT ZIELPUNKT BEOBACHTUNG MITTL. F WIDERSPRUCH (CC)

KEINE

1.4 HORIZONTALE STRECKENBEOBACHTUNGEN

LFD.NR LNR.STP LNR.ZLP STANDPUNKT ZIELPUNKT BEOBACHTUNG MITTL. F WIDERSPRUCH (CM)

KEINE

1.5 SCHRAEGE STRECKENBEOBACHTUNGEN

LFD.NR	LNR.STP	LNR.ZLP	STANDPUNKT	ZIELPUNKT	BEOBACHTUNG	MITTL. F WIDERSPRUCH (CM)
27	1	10	1	5094	19.3694	0.30
28	1	2	1	2	13.4193	0.30
29	1	5	1	101	24.8856	0.30
30	1	4	1	100	25.7815	0.30
31	1	7	1	105	24.5369	0.30
32	2	10	2	5094	31.3715	0.30
33	2	1	2	1	13.4213	0.30
34	2	3	2	3	8.4592	0.30
35	2	5	2	101	13.6615	0.30
36	2	6	2	102	20.1960	0.30
37	2	7	2	105	13.4636	0.30
38	2	9	2	112	18.6448	0.30
39	2	8	2	108	20.6412	0.30
40	3	2	3	2	8.4612	0.30
41	10	1	5094	1	19.3692	0.30
1					15:09:12	4/19/2000

1.6 SKALIERTE STRECKENBEOBACHTUNGEN

LFD.NR LNR.STP LNR.ZLP STANDPUNKT ZIELPUNKT BEOBACHTUNG MITTL. F WIDERSPRUCH (CM)

KEINE

1.7 ZENITDISTANZBEOBACHTUNGEN

LFD.NR	LNR.STP	LNR.ZLP	STANDPUNKT	ZIELPUNKT	BEOBACHTUNG	MITTL. F WIDERSPRUCH (CC)
42	1	10	1	5094	101.0547	50.00
43	1	2	1	2	99.3666	50.00
44	1	5	1	101	94.0280	50.00
						-727.85
						22.73
						-2.24

45	1	4	1	100	94.2235	50.00	-2.74
46	1	7	1	105	89.0684	50.00	8.04
47	1	6	1	102	95.0843	50.00	447.24
48	1	8	1	108	92.7278	50.00	-1524.27
49	2	10	2	5094	100.9318	50.00	-362.80
50	2	1	2	1	100.5674	50.00	-683.90
51	2	3	2	3	98.9001	50.00	-10.50
52	2	5	2	101	89.9027	50.00	1910.59
53	2	6	2	102	93.1951	50.00	11.49
54	2	7	2	105	80.4264	50.00	-668.24
55	2	9	2	112	81.5530	50.00	-12.21
56	2	8	2	108	90.1621	50.00	-4.71
57	3	2	3	2	101.0846	50.00	-143.23
58	3	9	3	112	87.5336	50.00	-161.61
59	10	1	5094	1	98.8737	50.00	10.17
60	10	7	5094	105	92.5057	50.00	-49.36
61	10	5	5094	101	95.7015	50.00	793.90
62	10	4	5094	100	95.7285	50.00	938.70
63	10	6	5094	102	95.8544	50.00	171.28
64	10	8	5094	108	94.2362	50.00	138.94

1

15:09:12 4/19/2000

1.8 HOEHENDIFFERENZBEOBACHTUNGEN

LFD.NR LNR.STP LNR.ZLP STANDPUNKT ZIELPUNKT BEOBACHTUNG MITTL. F WIDERSPRUCH (CM)

KEINE

1.9 RELATIVE PUNKTE

LFD.NR LNR. LI LNR. RE LINKER PUNKT RECHTER PUNKT RICHTUNG

KEINE

1.10 BEOBACHTETE KOORD. DIFFERENZEN

LFD.NR VON NACH DX DY DZ QXX QXY QYZ QZZ

KEINE

1.11 BEOBACHTETE ABSTICHE

LFD.NR VON NACH ZIELPUNKT BEOBACHTUNG MITTL. F WIDERSPRUCH (CM)

KEINE

1.12 BEOBACHTETE LOKALE KOORDINATEN

LFD.NR SYSTEM PUNKT X Y Z

MERIDG	YMERI	XMERI	HNULL	HKOR [km]	MERIDKOR [km]
0	0.	0.	0.00	0.0000000	0.0000000

1

STATUS DER UNBEKANNTEN

LFD.NR	PUNKT-NAME	STATUS GESETZT			STATUS DES PROGRAMMS		
		Y	X	Z	X-Y	Z	
4	100				5	3	1
5	101				8	5	2
3	3				9	5	1
2	2				30	20	2
1	1				26	16	1
9	112				5	3	1
8	108				7	4	2
7	105				8	5	1
6	102				7	4	1
10	5094	-	-	-	20	11	1
11	5093	-	-	-	1	0	1
12	5095	-	-	-	2	0	1

DIMENSIONIERUNG DES PROGRAMMS

ANZAHL DER PUNKTE	12 (MAX)	12 (IST)
ANZAHL DER FESTP.	3 (MAX)	0 (IST)
ANZAHL DER OMEGA	3500 (MAX)	4 (IST)
ANZAHL DER BEOB.	72 (MAX)	64 (IST)
LOESUNGSMATRIX	20000 (MAX)	388 (IST)
ANZAHL ABSTICHE	1500 (MAX)	0 (IST)
ANZAHL KOORDIFF	1500 (MAX)	0 (IST)
ANZAHL SYSTEME	1 (MAX)	0 (IST)
ANZAHL LOKOOR	1 (MAX)	0 (IST)

VVP=	0.38914E+04	VVR=	0.13350E+03	WA=	0.00000E+00	VVS=	0.00000E+00	VVD=	0.14064E+02
VVV=	0.00000E+00	VVZ=	0.37439E+04	WH=	0.00000E+00	VVK=	0.00000E+00	VVC=	0.00000E+00
VVA=	0.00000E+00	VVL=	0.00000E+00						

ITERATION	1	ATPV	0.47941E+03	ZEIT	0.270
-----------	---	------	-------------	------	-------

VVP=	0.15578E+04	VVR=	0.15089E+02	WA=	0.00000E+00	VVS=	0.00000E+00	VVD=	0.14541E+02
VVV=	0.00000E+00	VVZ=	0.15281E+04	WH=	0.00000E+00	VVK=	0.00000E+00	VVC=	0.00000E+00
VVA=	0.00000E+00	VVL=	0.00000E+00						

ITERATION	2	ATPV	0.32014E+00	ZEIT	0.270
-----------	---	------	-------------	------	-------

VVP=	0.15578E+04	VVR=	0.15050E+02	WA=	0.00000E+00	VVS=	0.00000E+00	VVD=	0.14481E+02
VVV=	0.00000E+00	VVZ=	0.15282E+04	WH=	0.00000E+00	VVK=	0.00000E+00	VVC=	0.00000E+00
VVA=	0.00000E+00	VVL=	0.00000E+00						

ITERATION 3 ATPV 0.64104E-03 ZEIT 0.328

1

15:09:12 4/19/2000

02. ANALYSE DER BEOBACHTUNGEN

- EV = RELATIVER EINFLUSS AUF DIE VERBESSERUNG (%)
GF = VERMUTLICHE GROESSE EINES GROBEN FEHLERS (CC,CM)
EK = VERSCHIEBUNG, WENN BEOBACHTUNG NICHT TEILNIMMT (CM)
EF = EINFLUSS AUF EINE FUNKTION
NV = DATA-SNOOPING-GROESSE (= NORMIERTE VERBESSERUNG)
GRZW = GRENZWERT FUER NICHT ERKENNBARE FEHLER(CC,CM)
EGK = EINFLUSS VON GRZW AUF DIE RELATIVE LAGE
MFV = MITTLERER FEHLER VOR DER AUSGLEICHUNG (CC,CM)

1

SEITE 1

15:09:12 4/19/2000

RICHTUNGEN

LFD.NR	STANDPUNKT	ZIELPUNKT	BEOB	MFV (CC)	VERB (CC)	EV	GF (CC)	EK (CM)	NV	EF	GRZW (CC)	EGK (CM)	STRECKE
1	1	5095	0.0000	50.00	99.66	62.7	-158.83	0.06	2.5	2.	242.38	-0.10	47.937
2	1	5094	29.9800	50.00	-9.03	45.3	19.93	0.02	0.3	4.	285.32	0.36	19.367
3	1	2	268.1600	50.00	-49.23	56.0	87.91	0.06	1.3	3.	256.56	0.19	13.414
4	1	101	293.6510	50.00	-8.37	60.9	13.76	0.02	0.2	3.	246.11	0.31	24.784
5	1	100	297.3700	50.00	-15.76	19.7	79.82	0.24	0.7	7.	432.07	1.31	25.675
6	1	105	293.0260	50.00	-21.50	61.0	35.23	0.04	0.6	3.	245.77	0.30	24.173
7	1	102	308.1920	50.00	17.83	58.2	-30.62	-0.05	0.5	3.	251.59	0.40	29.312
8	1	108	309.1020	50.00	-13.61	58.1	23.42	0.04	0.4	3.	251.88	0.40	29.477
9	2	5094	0.0000	50.00	-51.54	58.2	88.55	0.09	1.4	3.	251.65	0.26	31.367
10	2	1	22.6510	50.00	19.53	40.3	-48.45	-0.04	0.6	4.	302.40	0.27	13.414
11	2	3	102.5460	50.00	-45.17	26.4	170.86	0.11	1.8	6.	373.43	0.24	8.459
12	2	101	273.4960	50.00	18.13	17.8	-102.06	-0.17	0.9	8.	455.51	0.75	13.487
13	2	102	288.4050	50.00	-16.39	20.9	78.41	0.18	0.7	7.	419.98	0.97	20.080
14	2	105	273.5880	50.00	-3.89	16.8	23.20	0.04	0.2	8.	468.98	0.74	12.830
15	2	112	286.9590	50.00	35.39	19.5	-181.91	-0.33	1.6	7.	435.28	0.80	17.867
16	2	108	289.4050	50.00	43.93	21.2	-206.74	-0.48	1.9	7.	416.53	0.97	20.397
17	3	5093	0.0000	50.00	-9.02	23.4	38.49	0.07	0.4	5.	396.65	0.73	88.096
18	3	2	167.6110	50.00	62.33	37.6	-165.94	-0.10	2.0	3.	313.26	0.19	8.459
19	3	112	157.0370	50.00	-53.32	42.0	127.05	0.20	1.6	3.	296.39	0.47	26.154

20	5094	5095	0.0000	50.00	-52.33	40.9	128.02	0.00	1.6	4.	300.30	0.00	31.910
21	5094	1	247.7190	50.00	-17.96	60.0	29.93	0.03	0.5	3.	247.90	0.28	19.367
22	5094	105	283.0280	50.00	26.02	67.2	-38.69	-0.06	0.6	2.	234.14	0.35	38.379
23	5094	101	283.8090	50.00	57.65	66.8	-86.25	-0.13	1.4	2.	234.85	0.36	38.831
24	5094	100	286.6150	50.00	10.86	56.0	-19.38	-0.05	0.3	3.	256.49	0.60	39.009
25	5094	102	295.9350	50.00	7.21	59.0	-12.23	-0.03	0.2	3.	249.99	0.52	40.190
26	5094	108	296.6490	50.00	-31.45	58.9	53.41	0.11	0.8	3.	250.22	0.53	40.146

SEITE 2

15:09:12 4/19/2000

SCHR. STR.

LFD.NR	STANDPUNKT	ZIELPUNKT	BEOB MFV (CM)	VERB (CM)	EV GF (CM)	EK (CM)	NV	EF	GRZW (CM)	EGK (CM)	STRECKE	
27	1	5094	19.3694	0.30	0.00	68.3	0.00	0.0	3.	1.39	0.44	19.369
28	1	2	13.4193	0.30	-0.45	75.9	0.60	1.7	2.	1.32	0.32	13.415
29	1	101	24.8856	0.30	0.53	55.1	-0.96	2.4	3.	1.55	0.70	24.891
30	1	100	25.7815	0.30	-0.11	10.0	1.10	1.2	12.	3.64	3.27	25.780
31	1	105	24.5369	0.30	-0.05	55.8	0.08	0.2	3.	1.54	0.68	24.536
32	2	5094	31.3715	0.30	-0.05	64.3	0.08	0.2	3.	1.44	0.51	31.371
33	2	1	13.4213	0.30	-0.65	75.9	0.86	2.5	2.	1.32	0.32	13.415
34	2	3	8.4592	0.30	0.06	51.9	-0.12	0.3	4.	1.60	0.77	8.460
35	2	101	13.6615	0.30	-0.17	56.0	0.30	0.7	3.	1.54	0.68	13.660
36	2	102	20.1960	0.30	-0.12	31.2	0.37	0.7	6.	2.06	1.42	20.195
37	2	105	13.4636	0.30	-0.26	57.1	0.46	1.2	3.	1.52	0.65	13.461
38	2	112	18.6448	0.30	0.04	1.6	-2.34	1.0	30.	9.03	8.89	18.645
39	2	108	20.6412	0.30	0.49	31.1	-1.57	2.9**	6.	2.07	1.42	20.646
40	3	2	8.4612	0.30	-0.14	51.9	0.26	0.6	4.	1.60	0.77	8.460
41	5094	1	19.3692	0.30	0.02	68.3	-0.03	0.1	3.	1.39	0.44	19.369
										3		
										SEITE		

SEITE 3

15:09:12 4/19/2000

ZENITDIST.

LFD.NR	STANDPUNKT	ZIELPUNKT	BEOB MFV (CC)	VERB (CC)	EV GF (CC)	EK (CM)	NV	EF	GRZW (CC)	EGK (CM)	STRECKE		
42	1	5094	101.0547	50.00	233.85	69.1	-338.25	-0.32	5.6**	3.	230.91	0.22	19.369
43	1	2	99.3666	50.00	28.07	66.2	-42.43	-0.03	0.7	3.	236.03	0.17	13.415
44	1	101	94.0280	50.00	817.91	73.2	-1116.77	-1.17	19.1**	2.	224.35	0.23	24.891
45	1	100	94.2235	50.00	318.30	28.7	-1109.27	-3.20	11.9**	6.	358.43	1.03	25.780
46	1	105	89.0684	50.00	-305.04	71.9	424.40	0.46	7.2**	2.	226.47	0.25	24.536
47	1	102	95.0843	50.00	-324.69	69.6	466.53	0.66	7.8**	3.	230.15	0.32	29.401
48	1	108	92.7278	50.00	1084.63	69.3	-1565.56	-2.24	26.1**	3.	230.67	0.33	29.665
49	2	5094	100.9318	50.00	36.03	85.6	-42.09	-0.03	0.8	2.	207.51	0.15	31.371
50	2	1	100.5674	50.00	633.09	66.2	-956.78	-0.68	15.6**	3.	236.03	0.17	13.415
51	2	3	98.9001	50.00	90.85	51.5	-176.38	-0.11	2.5	4.	267.52	0.17	8.460
52	2	101	89.9027	50.00	-441.63	26.8	1646.27	2.58	17.1**	6.	370.70	0.58	13.660
53	2	102	93.1951	50.00	142.92	39.3	-363.99	-0.70	4.6**	5.	306.41	0.59	20.195
54	2	105	80.4264	50.00	126.57	26.2	-483.31	-0.75	4.9**	6.	375.19	0.59	13.461
55	2	112	81.5530	50.00	-63.49	30.4	208.76	0.43	2.3	6.	348.15	0.71	18.645
56	2	108	90.1621	50.00	-636.54	40.0	1590.55	3.09	20.1**	5.	303.50	0.59	20.646

57	3	2	101.0846	50.00	62.88	51.5	-122.09	-0.08	1.8	4.	267.52	0.17	8.460
58	3	112	87.5336	50.00	89.99	62.7	-143.52	-0.22	2.3	3.	242.47	0.38	26.663
59	5094	1	98.8737	50.00	483.83	69.1	-699.82	-0.66	11.6**	3.	230.91	0.22	19.369
60	5094	105	92.5057	50.00	113.07	83.5	-135.35	-0.14	2.5	2.	210.06	0.21	38.645
61	5094	101	95.7015	50.00	-27.34	84.3	32.43	0.03	0.6	2.	209.14	0.20	38.920
62	5094	100	95.7285	50.00	-483.57	66.0	732.65	1.53	11.9**	3.	236.33	0.49	39.099
63	5094	102	95.8544	50.00	158.19	80.0	-197.86	-0.25	3.5**	2.	214.72	0.27	40.275
64	5094	108	94.2362	50.00	-224.34	79.5	282.15	0.37	5.0**	2.	215.32	0.28	40.313

1

15:09:12 4/19/2000													
INSGESAMT RICHTUNGEN AZIMUT HORI. STR. SCHR. STR. SKAL. STR.													

REDUNDANZ 0.33000E+02 0.11549E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.75447E+01 0.00000E+00													
SIGMA 0.68706E+01 0.11415E+01 0.10000E+01 0.10000E+01 0.13854E+01 0.10000E+01													
VVP 0.15578E+04 0.15050E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.14481E+02 0.00000E+00													
ZENITDIST. HOEHENDIFF. BEW. FESTP. KOOR. DIFF. ABSTICHE LOKALE KOOR													

REDUNDANZ 0.13906E+02 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00													
SIGMA 0.10483E+02 0.10000E+01 0.10000E+01 0.10000E+01 0.10000E+01 0.10000E+01													
VVP 0.15282E+04 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00													

0ABRUCHSCHRANKE NACH DER
0B) SIGMA 0 = 6.87060
0C) ANZAHL DER NEUPUNKTE= 9 3. ITERATION ERREICHT REDUNDANZ= 33 ANZAHL DER OMEGA= 4

ADDITIONSKONSTANTE	(CM)	0.0000	+/ -	0.0000
STRECKENWASSSTAB	(CM/KM)	0.0000	+/ -	0.0000
ZYKLISCHER FEHLER	(CM)	0.0000	+/ -	0.0000
PHASE	(GON)	0.0000	+/ -	0.0000
WELLENLAENGE	(M)	10.0000		
REFRAKTIONSKOEFF	(-)	0.1300	+/ -	0.0000
ERDRADIUS	(KM)	6380.0000		

1

15:09:12 4/19/2000

3. ERGEBNISSE DER LINEAREN AUSGLEICHUNG
03.1 ORIENTIERUNGSUNBEKANNTE OMEGA

LFD.NR	STANDPUNKT	OMEGA
1		
1	54.42532	
2	99.92744	
3	234.85169	
4	36.68721	
5094		

15:09:12 4/19/2000

03.2 AUSGEGLICHENE KOORDINATEN DER NEUPUNKTE

LFD. NR	PUNKTNUMMER	Y (RECHTS)	X (HOCH)	Z (HOEHE)	PHI (GON)	A (CM)	B (CM)	MY (CM)	MX (CM)	MP (CM)	MZ (CM)
1	1	377.8837	409.5590	33.8420	106.694	1.183	0.982	1.181	0.984	1.537	0.581
2	2	365.3046	414.2177	33.9749	185.779	1.383	1.223	1.231	1.375	1.846	0.643
3	3	364.9766	405.7655	34.1198	195.406	1.973	1.297	1.301	1.970	2.361	0.718
4	100	360.2471	428.2185	36.1652	153.719	2.227	1.945	2.074	2.107	2.957	1.238
5	101	359.8368	426.5464	36.1417	199.998	1.862	1.482	1.482	1.862	2.380	0.842
6	102	361.6445	433.9613	36.1249	189.306	2.153	1.724	1.738	2.143	2.759	0.983
7	105	360.1195	425.9538	38.0461	199.880	1.833	1.462	1.462	1.833	2.345	0.873
8	108	361.9042	434.3290	37.1731	190.190	2.149	1.728	1.739	2.140	2.758	1.004
9	112	361.6511	431.7074	39.3041	198.471	2.475	1.612	1.613	2.474	2.953	1.156

03.3 FESTPUNKTE

10	5094	396.6720	414.2560	33.5140	200.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	5093	319.1230	330.5440	35.8910	200.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	5095	414.0580	441.0140	50.0000	200.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

1
ØRECHENZEIT: 0.379
NEPTAN FINISHED O.K.

A3.2 Ergebnisdatei PICTRAN

"bunbil.out"

DATUM : 03/18/00 16:34:07

SEITE: 1

PROGRAMMSYSTEM PICTRAN-B (VERSION 2.1.03 (C) TECHNET 1995)

OUTPUT DES MODULS BUNBIL

BUENDELBLOCKAUSGLEICHUNG

TECHNET GMBH
KOENIGSTRASSE 53
78628 ROTTWEIL (D)
TEL.: 0741/22351 FAX.: 0741/22352

PROJEKT: rol

DATUM : 03/18/00 16:34:07	SEITE: 2
LEGENDE DES MODULS BUNBIL: V = VERBESSERUNG MFV = MITTLERER BEOBSCHTUNGSFEHLER VOR DER AUSGLEICHUNG EV = REDUNDANZANTEIL, RELATIVIER EINFLUSS AUF DIE VERBESSERUNG GF = VERMUTLICHE GROESSE EINES GROBEN BEOBSCHTUNGSFEHLERS EK = VERSCHIEBUNG, WENN BEOBSCHTUNG NICHT TEILNIMMT NV = NORMIERTE VERBESSERUNG GRZW = GRENZWERT FUER NICHT ERKENNBARE BEOBSCHTUNGSFEHLER EGK = EINFLUSS VON GRZW AUF DIE RELATIVE LAGE M = MITTLERER FEHLER DER UNBEKANNTEN STA = STATUS (0=FEST, 1=UNBEKANNT, 2=BEOBSCHTET) ** = GROBER FEHLER WIRD VERMUTET *** = GROBER FEHLER SEHR WAHRSCH EINLICH	
DIMENSIONIERUNG DES MODULS BUNBIL: MAXIMALE ANZAHL DER BILDKOORDINATEN = 150000 MAXIMALE ANZAHL DER OBJEKTKOORDINATEN = 1500 MAXIMALE ANZAHL DER SYSTEME = 100 MAXIMALE ANZAHL DER EBENEN = 20 MAXIMALE ANZAHL DER KAMMERN = 5 MAXIMALE ANZAHL DER STRECKEN = 100 MAXIMALE ANZAHL DER DIFFERENZEN = 100 MAXIMALE ANZAHL DER DIAGONALSUBMATRIZEN = 25000 MAXIMALE ANZAHL DER SUBMATRIZEN IN DER NORMALGLEICHUNGSMATRIX = 1200000 MAXIMALE ANZAHL DER EINZELLELEMENTE IN DER NORMALGLEICHUNGSMATRIX = 10000000	

EINSTELLDATEN

RECHNERGENAUIGKEIT 0.1000E-15
ABBRUCH RECHTE SEITE 0.1000E-09
ABBRUCH KOORDINATEN 0.1000E-11
MITTL. FEHLER EBENENPUNKTGL. 0.1000E+01
MITTL. FEHLER EBENENBED. -GL. 0.1000E-01
MITTL. FEHLER XBILD 0.2400E-01
MITTL. FEHLER YBILD 0.2400E-01
MITTL. FEHLER ZBILD 0.1000E-02
MAXIMALE ANZAHL ITERATIONEN 100
NAME DES PROJEKTS rol

BILD- UND OBJEKTDATEN

ANZ. DER BILDER 2
ANZ. DER BILDPUNKTE 22
ANZ. DER OBJEKTPUNKTE 11
ANZ. DER PASSPUNKTE 6
ANZ. DER AUFNAHMEKAMMERN 1
ANZ. DER EBENEN 0
ANZ. DER STRECKEN 0
ANZ. DER KOORD.DIFFERENZEN 0

ITERATIONEN

ITERATION	UNBEKANNTEN	RECHTE SEITE	ZEIT [s]
1	0.1000E+11	0.3250E+07	-0.26
2	0.3744E-01	0.1804E+06	0.02
3	0.4709E-02	0.3364E+04	0.01
4	0.5673E-03	0.4043E+02	0.02
5	0.1037E-03	0.1517E+01	0.01
6	0.1566E-04	0.3155E-01	0.02
7	0.3112E-05	0.1612E-02	0.01
8	0.4854E-06	0.9166E-04	0.02
9	0.9786E-07	0.7729E-04	0.01
10	0.1549E-07	0.5426E-04	0.02
11	0.3104E-08	0.2799E-04	0.01
12	0.4985E-09	0.5588E-04	0.02
13	0.9882E-10	0.4781E-04	0.01
14	0.1619E-10	0.8977E-04	0.02
15	0.6543E-11	0.5325E-04	0.01
16	0.3718E-11	0.8477E-04	0.02
17	0.4641E-12	0.8262E-04	0.01

BUNBIL - OUTPUT

[illegible]

SYSTEM-NR	PUNKT-NR	BILDKOORDINATEN																	
		X	Y	BE0B	BE0Y	VX	VY	MFVX	MFVY	EVX	EVY	GFX	GFY	EKX	EKY	NVX	NVY	GRZWX	GRZNY
1	101	-19.540738		-19.472000		-0.0687		0.0240	0.433	0.159	0.090	4.351***		0.151	0.085				
		-11.822695		-11.847000		0.0243		0.0240	0.738	-0.033	-0.009	1.179		0.115	0.030				
1	100	-14.057850		-14.071000		0.0131		0.0240	0.541	-0.024	-0.011	0.745		0.135	0.062				
		-11.510239		-11.614000		0.1038		0.0240	0.813	-0.128	-0.024	4.794***		0.110	0.021				
1	105	-21.280403		-21.289000		0.0086		0.0240	0.112	-0.077	-0.068	1.072		0.297	0.263				
		-5.426940		-5.416000		-0.0109		0.0240	0.704	0.016	0.005	0.543		0.118	0.035				
1	112	-2.222569		-2.051000		-0.1716		0.0240	0.453	0.378	0.207	10.618***		0.147	0.080				
		-0.081070		0.063000		-0.1441		0.0240	0.649	0.222	0.078	7.453***		0.123	0.043				
1	102	5.887141		5.767000		0.1201		0.0240	0.642	-0.187	-0.067	6.248***		0.124	0.044				
		-10.801902		-10.809000		0.0071		0.0240	0.463	-0.015	-0.008	0.435		0.146	0.078				
1	108	7.108267		7.022000		0.0863		0.0240	0.592	-0.146	-0.059	4.671***		0.129	0.053				
		-6.965156		-7.001000		0.0358		0.0240	0.626	-0.057	-0.021	1.888		0.125	0.047				

SYSTEM-NR	PUNKT-NR	BILDKOORDINATEN													
		X		Y		VX		VY		MFVX		MFVY		EVX	
		BE0BX	BE0BY	BE0BX	BE0BY	BE0BX	BE0BY	BE0BX	BE0BY	BE0BX	BE0BY	BE0BX	BE0BY	BE0BX	BE0BY
5	107	15.739139	-4.100672	-15.742000	-4.084000	-0.0029	-0.0167	0.0240	0.010	0.278	0.031	0.0240	0.010	0.275	0.031
		-4.100672	-15.742000	-4.084000	-15.742000	-0.0167	-0.0029	0.0240	0.349	0.048	0.031	0.0240	0.349	0.048	0.031
5	104	-15.171700	-16.871178	-15.166000	-16.824000	-0.0057	-0.0472	0.0240	0.206	0.229	0.182	0.0240	0.206	0.229	0.182
		-16.871178	-15.171700	-16.824000	-15.166000	-0.0472	-0.0057	0.0240	0.000	0.000	0.000	0.0240	0.000	0.000	0.000
5	111	-9.595420	0.516374	-9.601000	0.484000	0.0056	0.0324	0.0240	0.000	0.000	0.000	0.0240	0.000	0.000	0.000
		0.516374	-9.595420	0.484000	-9.601000	0.0324	0.0056	0.0240	0.291	-0.111	-0.079	0.0240	0.291	-0.079	0.184

PUNKT1-NR	PUNKT2-NR	STRECKENBEOBACHTUNGEN									
		VERS	MFVS	EVS	GFS	EKS	NVS	GRZWS	EGKS		
	S										

KEINE STRECKEN BEOBACHTET

PUNKT1-NR	PUNKT2-NR	KOORDINATENDIFFERENZEN													
		DIFX		DIFY		DIFZ		MFVDIFX		MFVDIFY		MFVDIFZ		EVDIFX	
		BE0DIFX	BE0DIFY	BE0DIFX	BE0DIFY	BE0DIFX	BE0DIFY	BE0DIFX	BE0DIFY	BE0DIFX	BE0DIFY	BE0DIFX	BE0DIFY	BE0DIFX	BE0DIFY
	DIFX														
	DIFY														
	DIFZ														

KEINE DIFFERENZEN BEOBACHTET

PUNKT-NR	VERBBE0B	EBENENPUNKTE									
		BE0B	VERB	MFVE	EVP	GFP	EKP	NVP	GRZWP	EGKP	EBENE-NR

KEINE EBENEN BEOBACHTET

EBENENPARAMETER									
EBENE-NR	A	MA	MB	STAA					
	B		MC	STAB					
	C		MD	STAC					
	D			STAD					

KEINE EBENEN BEOBACHTET

BILDHAUPTPUNKT UND KAMMERKONSTANTE																								
KAMMERNAME	X0 Y0 C	BEOBX0 BEOBY0 BEOBC	VC	MFVC	EVC	GFC	EKC	NVC	GRZWC	EGKC	MC	STAC	BILDHAUPTPUNKT UND KAMMERKONSTANTE											
													X0 Y0 C	BEOBX0 BEOBY0 BEOBC	VC	MFVC	EVC	GFC	EKC	NVC	GRZWC	EGKC	MC	STAC

ROL	0.000000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	0.000000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	51.190000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

VERZEICHNUNGSPARAMETER									
KAMMERNAME	A1	MA1		STAA1					
	A2	MA2		STAA2					
	A3	MA3		STAA3					
	A4	MA4		STAA4					
	R00								

ROL	0.000000D+00	-	0
	0.000000D+00	-	0
	0.000000D+00	-	0
	0.000000D+00	-	0

KORRELATIONEN DER PARAMETER DER INNEREN ORIENTIERUNG			
KAMMERNAME	PARAMETER1	PARAMETER2	KORRELATION

KEINE KORRELATIONEN ZWISCHEN PARAMETERN DER INNEREN ORIENTIERUNG

		KONTROLLE DER AUSGLEICHUNG								
		INSGESAMT	BILDKOORD	PROJ.ZENT	OBJEKTKOORD	STR	DIF	EBPUN	EBPARAM	BILDH+C
REDUNDANZ		17.000000	17.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
SIGMA		3.576000	3.576000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000	1.000000
VTPV		217.392231	217.392231	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
=====										
SCHLUSSBEMERKUNGEN										
=====										

===== SCHLUSSBEMERKUNGEN =====

ABBRUCHSCHRANKE NACH DER 17. ITERATION ERREICHT 0.0

GESAMTE RECHENZEIT [min]

GROESSTE NORMIERTE VERBESSERUNG BEI: BILDKOORDINATEN

SYSTEM NR.: 1

PUNKT NR.: 112

NORMIERTE VERBESSERUNG (NV): 10.62

A3.3 Ergebnisdateien: VERTECH

A3.3.1 3D - Netzausgleichung "brbter.erg"

3D Netzausgleichung

=====

Aufstellung der Ausgleichung:

```

-----
Anzahl der Festpunkte:      3
Unbekannte Koordinaten:    27 -> Punktzahl:  9
Orientierungsunbekannte:   4 -> Standpunkte: 4
Bildorientierungsunbekannte: 0 -> Bildanzahl: 0
Beobachtungen gesamt:     64
Unbekannte gesamt:        31
Redundanz:                 33
  
```

Steuerungsdatei: >brb.web<

Lf.Nr	PktNr.	Beobachtungsdatei	Art	->	Beob.	Verbesserung	EV[%]	NV
1	5094	2a.pol	w:		0.0000	-5.9e-03 [gon]	59%	1.1
2	5094	2a.pol	s:		31.3710	-2.2e-04 [m]	61%	0.1
3	5094	2a.pol	z:		100.9318	3.3e-03 [gon]	86%	0.7
4	1	2a.pol	w:		22.6510	-5.6e-04 [gon]	42%	0.1
5	1	2a.pol	s:		13.4210	-6.4e-03 [m]	74%	2.5
6	1	2a.pol	z:		100.5674	6.3e-02 [gon]	66%	15.5*
7	3	2a.pol	w:		102.5460	-4.5e-03 [gon]	27%	1.2
8	3	2a.pol	s:		8.4590	4.4e-04 [m]	52%	0.2
9	3	2a.pol	z:		98.9001	9.0e-03 [gon]	52%	2.5
10	101	2a.pol	w:		273.4960	3.6e-03 [gon]	20%	1.1
11	101	2a.pol	s:		13.6620	-1.1e-03 [m]	50%	0.5
12	101	2a.pol	z:		89.9027	-4.4e-02 [gon]	27%	17.0*
13	102	2a.pol	w:		288.4050	-1.9e-03 [gon]	24%	0.6
14	102	2a.pol	s:		20.1960	-7.3e-04 [m]	19%	0.6
15	102	2a.pol	z:		93.1951	1.4e-02 [gon]	39%	4.6*
16	105	2a.pol	w:		273.5880	-1.0e-03 [gon]	19%	0.3
17	105	2a.pol	s:		13.4640	-2.5e-03 [m]	51%	1.2
18	105	2a.pol	z:		80.4264	1.3e-02 [gon]	26%	5.1*
19	112	2a.pol	w:		286.9590	3.5e-03 [gon]	20%	1.1
20	112	2a.pol	s:		18.6450	5.4e-04 [m]	1%	1.5
21	112	2a.pol	z:		81.5530	-6.2e-03 [gon]	30%	2.2
22	108	2a.pol	w:		289.4050	6.8e-03 [gon]	24%	2.0
23	108	2a.pol	s:		20.6410	4.1e-03 [m]	19%	3.1
24	108	2a.pol	z:		90.1621	-6.4e-02 [gon]	40%	20.2*
25	5093	3a.pol	w:		0.0000	-9.2e-04 [gon]	25%	0.3
26	2	3a.pol	w:		167.6110	6.4e-03 [gon]	38%	1.5
27	2	3a.pol	s:		8.4610	-1.6e-03 [m]	52%	0.7
28	2	3a.pol	z:		101.0846	6.3e-03 [gon]	52%	1.8
29	112	3a.pol	w:		157.0370	-5.4e-03 [gon]	43%	1.2
30	112	3a.pol	z:		87.5336	8.8e-03 [gon]	63%	2.2
31	5095	5094a.pol	w:		0.0000	-5.5e-03 [gon]	42%	1.2
32	1	5094a.pol	w:		247.7190	-1.5e-03 [gon]	63%	0.3
33	1	5094a.pol	s:		19.3690	2.1e-04 [m]	66%	0.1
34	1	5094a.pol	z:		98.8737	4.8e-02 [gon]	69%	11.6*
35	105	5094a.pol	w:		283.0280	2.5e-03 [gon]	72%	0.4
36	105	5094a.pol	z:		92.5057	1.1e-02 [gon]	83%	2.4
37	101	5094a.pol	w:		283.8090	6.8e-03 [gon]	72%	1.1
38	101	5094a.pol	z:		95.7015	-3.0e-03 [gon]	84%	0.6
39	100	5094a.pol	w:		286.6150	1.0e-03 [gon]	59%	0.2
40	100	5094a.pol	z:		95.7285	-4.8e-02 [gon]	66%	11.9*
41	102	5094a.pol	w:		295.9350	6.7e-04 [gon]	66%	0.1
42	102	5094a.pol	z:		95.8544	1.6e-02 [gon]	80%	3.5
43	108	5094a.pol	w:		296.6490	-4.0e-03 [gon]	66%	0.7
44	108	5094a.pol	z:		94.2362	-2.2e-02 [gon]	79%	5.0*
45	5095	1a.pol	w:		0.0000	1.0e-02 [gon]	64%	1.8
46	5094	1a.pol	w:		29.9800	1.3e-05 [gon]	46%	0.0
47	5094	1a.pol	s:		19.3690	2.1e-04 [m]	66%	0.1
48	5094	1a.pol	z:		101.0547	2.3e-02 [gon]	69%	5.6*
49	2	1a.pol	w:		268.1600	-7.0e-03 [gon]	60%	1.3
50	2	1a.pol	s:		13.4190	-4.4e-03 [m]	74%	1.7
51	2	1a.pol	z:		99.3666	2.9e-03 [gon]	66%	0.7
52	101	1a.pol	w:		293.6510	5.4e-04 [gon]	63%	0.1
53	101	1a.pol	s:		24.8860	5.3e-03 [m]	50%	2.5
54	101	1a.pol	z:		94.0280	8.2e-02 [gon]	73%	19.1*
55	100	1a.pol	w:		297.3700	-2.5e-03 [gon]	21%	0.8
56	100	1a.pol	s:		25.7820	-9.5e-04 [m]	5%	1.4
57	100	1a.pol	z:		94.2235	3.2e-02 [gon]	29%	11.9*
58	105	1a.pol	w:		293.0260	-2.5e-03 [gon]	64%	0.4
59	105	1a.pol	s:		24.5370	-4.0e-04 [m]	51%	0.2
60	105	1a.pol	z:		89.0684	-3.1e-02 [gon]	72%	7.3*
61	102	1a.pol	w:		308.1920	1.8e-03 [gon]	60%	0.3
62	102	1a.pol	z:		95.0843	-3.2e-02 [gon]	70%	7.8*
63	108	1a.pol	w:		309.1020	-8.1e-04 [gon]	60%	0.1

```

64      108      1a.pol  z:  92.7278  1.1e-01 [gon]  69%  26.0*

Absolute Maximalwerte der Verbesserungen
-----
Max.[gon] in Element (Lf.Nr.): 64  ->  1.1e-01
Max.  [m] in Element (Lf.Nr.):  5  ->  6.4e-03

Summe der Verbesserungen:  4.141e-02

Differenz-Ergebnisvektor dx der letzten Iteration
Punktnr.      dx      dy      dz
-----
   2  -2.0e-09  1.6e-09  1.2e-08
   1   7.5e-10 -9.2e-10 -2.4e-09
   3  -1.9e-09  1.7e-09  1.2e-08
  101  -7.7e-09  5.9e-09 -1.5e-08
  102  -1.8e-09  3.8e-10  8.8e-09
  105   1.6e-09 -6.2e-09  8.8e-09
  112  -2.4e-09  1.6e-09  1.2e-08
  108  -3.9e-09  1.1e-08 -2.3e-10
  100   4.7e-10 -1.2e-09 -2.9e-09

Std.Nr.  do [gon]
-----
   1  -7.0e-08
   2  -9.3e-08
   3   1.5e-08
   4  -6.5e-08

```

```

Ausgeglichenen Koordinaten [m]
Punktnr.      X      Y      Z      mx      my      mz
-----
   2   365.305   414.217   33.975   1.3e-02   1.9e-02   6.4e-03
   1   377.884   409.559   33.842   1.2e-02   1.4e-02   5.8e-03
   3   364.977   405.766   34.120   1.4e-02   2.4e-02   7.2e-03
  101   359.837   426.547   36.142   1.7e-02   2.4e-02   8.4e-03
  102   361.644   433.961   36.125   2.1e-02   2.7e-02   9.8e-03
  105   360.119   425.954   38.046   1.6e-02   2.4e-02   8.7e-03
  112   361.651   431.708   39.304   1.9e-02   2.9e-02   1.2e-02
  108   361.905   434.328   37.173   2.1e-02   2.7e-02   1.0e-02
  100   360.246   428.219   36.165   2.3e-02   2.7e-02   1.2e-02

```

```

Richtungsorientierung der Standpunkte
Lf.Nr.      Omega  mo [gon]
-----
   1    99.9276   4.8e-03
   2   234.8517   4.7e-03
   3    36.6875   4.6e-03
   4    54.4250   4.8e-03

```

```

Abschluß
-----
Iterationsschritte: 3
m0-apriori: 1.000E+00
m0-aposteriori: 6.848E+00

```

A3.3.2 Bündelblockausgleichung "brbpho.erg"

```

3D Netzausgleichung
=====

```

```

Aufstellung der Ausgleichung:
-----

```

```

Anzahl der Festpunkte: 6
Unbekannte Koordinaten: 21 -> Punktzahl: 7
Orientierungsunbekannte: 0 -> Standpunkte: 0
Bildorientierungsunbekannte: 6 -> Bildanzahl: 2
Beobachtungen gesamt: 44
Unbekannte gesamt: 27
Redundanz: 17

```

```

Steuerungsdatei: >brb.web<

```

```

Photogrammetrische Beobachtungen
-----

```

```

Bild 1 aus Datei >b1.ori<, Teil >101.koo<

```

Projektionszentrum: X Y Z mx my mz
 Näherung: 1001 376.000 430.000 35.000 0.000 0.000 0.000
 Ergebnis: 1001 376.183 430.630 34.856 0.099 0.284 0.415

Terrestrische Rotationswinkel [gon]:
 alpha ny kappa ma mn mk
 Näherung: 90.0000 120.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
 Ergebnis: 92.3977 118.8921 397.9622 1.1597 1.7653 0.3290

Bild 2 aus Datei >b5.ori<, Teil >105.koo<

Projektionszentrum: X Y Z mx my mz
 Näherung: 1005 374.000 423.000 36.000 0.000 0.000 0.000
 Ergebnis: 1005 374.021 423.351 36.123 0.149 0.184 0.391

Terrestrische Rotationswinkel [gon]:
 alpha ny kappa ma mn mk
 Näherung: 70.0000 114.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
 Ergebnis: 69.6043 113.4545 398.1227 0.9601 1.6767 0.4375

Lf.Nr	PktNr.	Beobachtungsdatei	Art	->	Beob.	Verbesserung	EV[%]	NV
1	101	b1.ori	xi:	-19.4718	-6.9e-02 [mm]	43%	85.3*	
2	101	b1.ori	eta:	-11.8467	2.4e-02 [mm]	74%	22.9*	
3	100	b1.ori	xi:	-14.0715	1.3e-02 [mm]	54%	14.9*	
4	100	b1.ori	eta:	-11.6137	1.0e-01 [mm]	81%	93.5*	
5	105	b1.ori	xi:	-21.2892	8.9e-03 [mm]	11%	21.6*	
6	105	b1.ori	eta:	-5.4162	-1.1e-02 [mm]	70%	10.3*	
7	112	b1.ori	xi:	-2.0510	-1.7e-01 [mm]	45%	207.6	
8	112	b1.ori	eta:	0.0626	-1.4e-01 [mm]	65%	145.1*	
9	102	b1.ori	xi:	5.7668	1.2e-01 [mm]	64%	122.1*	
10	102	b1.ori	eta:	-10.8093	7.2e-03 [mm]	46%	8.6*	
11	108	b1.ori	xi:	7.0220	8.6e-02 [mm]	59%	91.1*	
12	108	b1.ori	eta:	-7.0011	3.6e-02 [mm]	63%	36.8*	
13	104	b1.ori	xi:	-21.4027	8.6e-03 [mm]	1%	84.7*	
14	104	b1.ori	eta:	-16.8052	5.2e-02 [mm]	25%	84.6*	
15	111	b1.ori	xi:	-16.5421	-3.3e-03 [mm]	0%	48.7*	
16	111	b1.ori	eta:	-1.0432	-3.6e-02 [mm]	37%	48.8*	
17	107	b1.ori	xi:	8.8200	1.4e-03 [mm]	0%	22.6*	
18	107	b1.ori	eta:	-3.6538	1.5e-02 [mm]	31%	22.5*	
19	106	b1.ori	xi:	-20.5592	-1.0e-03 [mm]	1%	10.0*	
20	106	b1.ori	eta:	-8.2345	-8.2e-03 [mm]	44%	10.1*	
21	109	b1.ori	xi:	2.3580	-3.4e-03 [mm]	0%	63.1*	
22	109	b1.ori	eta:	0.3824	-4.4e-02 [mm]	33%	63.2*	
23	102	b5.ori	xi:	12.6694	-2.4e-02 [mm]	41%	31.0*	
24	102	b5.ori	eta:	-10.5722	-3.4e-02 [mm]	67%	33.9*	
25	105	b5.ori	xi:	-15.1647	-1.4e-02 [mm]	59%	14.4*	
26	105	b5.ori	eta:	-4.0122	-4.0e-02 [mm]	42%	50.0*	
27	101	b5.ori	xi:	-13.3711	9.5e-03 [mm]	65%	9.6*	
28	101	b5.ori	eta:	-11.3227	1.5e-02 [mm]	64%	15.4*	
29	100	b5.ori	xi:	-6.9510	2.0e-02 [mm]	64%	20.8*	
30	100	b5.ori	eta:	-11.1246	9.0e-02 [mm]	79%	82.3*	
31	108	b5.ori	xi:	13.8337	4.0e-02 [mm]	50%	45.5*	
32	108	b5.ori	eta:	-7.0999	3.2e-02 [mm]	68%	31.6*	
33	112	b5.ori	xi:	5.9037	-3.8e-02 [mm]	19%	71.4*	
34	112	b5.ori	eta:	0.2574	-8.3e-02 [mm]	78%	76.5*	
35	109	b5.ori	xi:	9.9599	8.1e-03 [mm]	1%	63.1*	
36	109	b5.ori	eta:	0.1722	4.5e-02 [mm]	33%	63.1*	
37	106	b5.ori	xi:	-14.6327	1.1e-03 [mm]	1%	10.0*	
38	106	b5.ori	eta:	-7.2614	7.2e-03 [mm]	34%	10.0*	
39	107	b5.ori	xi:	15.7420	-2.8e-03 [mm]	1%	22.6*	
40	107	b5.ori	eta:	-4.0842	-1.6e-02 [mm]	35%	22.6*	
41	104	b5.ori	xi:	-15.1661	-5.7e-03 [mm]	0%	84.7*	
42	104	b5.ori	eta:	-16.8242	-4.7e-02 [mm]	21%	84.7*	
43	111	b5.ori	xi:	-9.6014	5.6e-03 [mm]	1%	48.7*	
44	111	b5.ori	eta:	0.4836	3.2e-02 [mm]	29%	48.7*	

Absolute Maximalwerte der Verbesserungen

Max. [mm] in Element (Lf.Nr.): 7 -> 1.7e-01

Summe der Verbesserungen: 1.579e+00

Differenz-Ergebnisvektor dx der letzten Iteration

Punktnr.	dx	dy	dz
1001	-1.8e-08	1.7e-08	-1.1e-07
1005	-6.6e-09	-5.5e-09	-2.8e-08
104	-1.6e-08	3.4e-09	-5.1e-11
111	1.4e-08	-4.0e-09	-2.7e-09
107	1.0e-09	2.9e-10	-1.8e-09
106	2.6e-09	-4.3e-10	-1.3e-10
109	4.7e-09	-1.3e-09	-4.7e-10

Bildnr.	dalp	dny	dkap [gon]
1	7.0e-08	4.5e-07	5.7e-08
2	-3.7e-08	1.2e-07	-3.4e-08

Ausgegliche Koordinaten [m]						
Punktnr.	X	Y	Z	mx	my	mz
1001	376.183	430.630	34.856	9.9e-02	2.8e-01	4.1e-01
1005	374.021	423.351	36.123	1.5e-01	1.8e-01	3.9e-01
104	359.802	426.124	34.742	1.1e-01	2.4e-02	2.3e-02
111	360.500	427.353	39.320	9.7e-02	2.6e-02	3.0e-02
107	362.335	434.784	38.046	8.4e-02	4.9e-02	2.8e-02
106	359.876	426.171	37.218	8.6e-02	2.0e-02	2.2e-02
109	361.874	433.054	39.370	8.9e-02	4.0e-02	3.1e-02

Abschluß

 Iterationsschritte: 10
 m0-apriori: 1.000E+00
 m0-aposteriori: 6.984E+01

A3.3.3 Kombinierte Ausgleichung "brbkombi.erg"

3D Netzausgleichung
 =====

Aufstellung der Ausgleichung:

Anzahl der Festpunkte:	3	
Unbekannte Koordinaten:	48	-> Punktzahl: 16
Orientierungsunbekannte:	4	-> Standpunkte: 4
Bildorientierungsunbekannte:	6	-> Bildanzahl: 2
Beobachtungen gesamt:	108	
Unbekannte gesamt:	58	
Redundanz:	50	

Steuerungsdatei: >brb.web<

Photogrammetrische Beobachtungen

Bild 1 aus Datei >b1.ori<, Teil >101.koo<

Projektionszentrum:	X	Y	Z	mx	my	mz
Näherung:	1001	376.000	430.000	35.000	0.000	0.000
Ergebnis:	1001	376.142	430.878	35.066	0.045	0.076

Terrestrische Rotationswinkel [gon]:						
	alpha	ny	kappa	ma	mn	mk
Näherung:	90.0000	120.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ergebnis:	93.3956	118.0647	397.9594	0.2977	0.5498	0.1302

Bild 2 aus Datei >b5.ori<, Teil >105.koo<

Projektionszentrum:	X	Y	Z	mx	my	mz
Näherung:	1005	374.000	423.000	36.000	0.000	0.000
Ergebnis:	1005	374.170	423.649	35.576	0.050	0.056

Terrestrische Rotationswinkel [gon]:						
	alpha	ny	kappa	ma	mn	mk
Näherung:	70.0000	114.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ergebnis:	70.8849	115.7748	397.6683	0.2608	0.5748	0.1552

Lf.Nr	PktNr.	Beobachtungsdatei	Art	->	Beob.	Verbesserung	EV[%]	NV
1	5094		2a.pol	w:	0.0000	-1.3e-02 [gon]	60%	2.3
2	5094		2a.pol	s:	31.3710	-3.8e-03 [m]	62%	1.6
3	5094		2a.pol	z:	100.9318	1.1e-02 [gon]	86%	2.4
4	1		2a.pol	w:	22.6510	-4.5e-03 [gon]	43%	1.0
5	1		2a.pol	s:	13.4210	-8.7e-03 [m]	76%	3.3
6	1		2a.pol	z:	100.5674	7.7e-02 [gon]	68%	18.6*
7	3		2a.pol	w:	102.5460	-4.9e-03 [gon]	27%	1.3
8	3		2a.pol	s:	8.4590	3.1e-03 [m]	52%	1.4
9	3		2a.pol	z:	98.9001	4.2e-03 [gon]	52%	1.2
10	101		2a.pol	w:	273.4960	-4.9e-02 [gon]	36%	11.6*
11	101		2a.pol	s:	13.6620	9.8e-03 [m]	75%	3.8
12	101		2a.pol	z:	89.9027	2.1e-04 [gon]	58%	0.1
13	102		2a.pol	w:	288.4050	2.1e-02 [gon]	49%	4.3*
14	102		2a.pol	s:	20.1960	-4.1e-02 [m]	67%	16.9*

15	102	2a.pol	z:	93.1951	-1.6e-02	[gon]	73%	3.8
16	105	2a.pol	w:	273.5880	3.3e-02	[gon]	34%	8.1*
17	105	2a.pol	s:	13.4640	7.9e-04	[m]	74%	0.3
18	105	2a.pol	z:	80.4264	-2.1e-02	[gon]	53%	5.7*
19	112	2a.pol	w:	286.9590	4.1e-02	[gon]	37%	9.6*
20	112	2a.pol	s:	18.6450	7.5e-02	[m]	74%	29.0*
21	112	2a.pol	z:	81.5530	-3.2e-02	[gon]	75%	7.3*
22	108	2a.pol	w:	289.4050	-2.4e-02	[gon]	59%	4.4*
23	108	2a.pol	s:	20.6410	-2.6e-02	[m]	66%	10.8*
24	108	2a.pol	z:	90.1621	-3.2e-02	[gon]	74%	7.5*
25	5093	3a.pol	w:	0.0000	-6.9e-03	[gon]	26%	1.9
26	2	3a.pol	w:	167.6110	2.4e-03	[gon]	39%	0.6
27	2	3a.pol	s:	8.4610	1.1e-03	[m]	52%	0.5
28	2	3a.pol	z:	101.0846	1.1e-02	[gon]	52%	3.1
29	112	3a.pol	w:	157.0370	4.5e-03	[gon]	45%	0.9
30	112	3a.pol	z:	87.5336	-2.2e-02	[gon]	81%	5.0*
31	5095	5094a.pol	w:	0.0000	2.3e-03	[gon]	43%	0.5
32	1	5094a.pol	w:	247.7190	4.6e-03	[gon]	64%	0.8
33	1	5094a.pol	s:	19.3690	-9.9e-04	[m]	66%	0.4
34	1	5094a.pol	z:	98.8737	4.5e-02	[gon]	69%	10.8*
35	105	5094a.pol	w:	283.0280	2.1e-02	[gon]	81%	3.3
36	105	5094a.pol	z:	92.5057	-9.7e-03	[gon]	88%	2.1
37	101	5094a.pol	w:	283.8090	1.9e-02	[gon]	82%	3.0
38	101	5094a.pol	z:	95.7015	4.5e-03	[gon]	89%	1.0
39	100	5094a.pol	w:	286.6150	2.1e-02	[gon]	83%	3.3
40	100	5094a.pol	z:	95.7285	-8.6e-03	[gon]	90%	1.8
41	102	5094a.pol	w:	295.9350	-3.1e-02	[gon]	80%	4.9*
42	102	5094a.pol	z:	95.8544	-2.4e-03	[gon]	88%	0.5
43	108	5094a.pol	w:	296.6490	-3.7e-02	[gon]	79%	5.9*
44	108	5094a.pol	z:	94.2362	-7.6e-03	[gon]	88%	1.6
45	5095	1a.pol	w:	0.0000	1.0e-02	[gon]	64%	1.8
46	5094	1a.pol	w:	29.9800	-6.4e-04	[gon]	46%	0.1
47	5094	1a.pol	s:	19.3690	-9.9e-04	[m]	66%	0.4
48	5094	1a.pol	z:	101.0547	2.7e-02	[gon]	69%	6.4*
49	2	1a.pol	w:	268.1600	-4.4e-03	[gon]	62%	0.8
50	2	1a.pol	s:	13.4190	-6.7e-03	[m]	76%	2.6
51	2	1a.pol	z:	99.3666	-1.1e-02	[gon]	68%	2.6
52	101	1a.pol	w:	293.6510	-7.0e-03	[gon]	77%	1.1
53	101	1a.pol	s:	24.8860	1.8e-02	[m]	73%	7.0*
54	101	1a.pol	z:	94.0280	9.7e-02	[gon]	84%	21.1*
55	100	1a.pol	w:	297.3700	2.8e-02	[gon]	76%	4.5*
56	100	1a.pol	s:	25.7820	-1.0e-02	[m]	70%	4.1*
57	100	1a.pol	z:	94.2235	9.5e-02	[gon]	87%	20.4*
58	105	1a.pol	w:	293.0260	2.2e-02	[gon]	75%	3.6
59	105	1a.pol	s:	24.5370	-2.9e-03	[m]	68%	1.1
60	105	1a.pol	z:	89.0684	-6.0e-02	[gon]	82%	13.2*
61	102	1a.pol	w:	308.1920	-1.1e-02	[gon]	75%	1.8
62	102	1a.pol	z:	95.0843	-5.7e-02	[gon]	85%	12.4*
63	108	1a.pol	w:	309.1020	-3.7e-02	[gon]	75%	5.9*
64	108	1a.pol	z:	92.7278	1.3e-01	[gon]	85%	27.8*
65	101	b1.ori	xi:	-19.4718	-6.8e-03	[mm]	6%	22.2*
66	101	b1.ori	eta:	-11.8467	-1.2e-02	[mm]	45%	14.5*
67	100	b1.ori	xi:	-14.0715	1.1e-03	[mm]	4%	4.4*
68	100	b1.ori	eta:	-11.6137	-4.6e-03	[mm]	45%	5.6*
69	105	b1.ori	xi:	-21.2892	3.4e-03	[mm]	5%	12.8*
70	105	b1.ori	eta:	-5.4162	4.5e-03	[mm]	30%	6.7*
71	112	b1.ori	xi:	-2.0510	-4.0e-03	[mm]	3%	20.8*
72	112	b1.ori	eta:	0.0626	2.7e-03	[mm]	34%	3.8
73	102	b1.ori	xi:	5.7668	4.5e-03	[mm]	4%	19.3*
74	102	b1.ori	eta:	-10.8093	8.0e-03	[mm]	18%	15.3*
75	108	b1.ori	xi:	7.0220	8.6e-04	[mm]	4%	3.4
76	108	b1.ori	eta:	-7.0011	-8.8e-03	[mm]	34%	12.3*
77	104	b1.ori	xi:	-21.4027	9.7e-04	[mm]	0%	35.9*
78	104	b1.ori	eta:	-16.8052	2.0e-02	[mm]	19%	36.3*
79	111	b1.ori	xi:	-16.5421	-8.9e-05	[mm]	0%	16.2*
80	111	b1.ori	eta:	-1.0432	8.7e-03	[mm]	27%	13.7*
81	107	b1.ori	xi:	8.8200	-1.1e-05	[mm]	0%	22.2*
82	107	b1.ori	eta:	-3.6538	2.5e-03	[mm]	23%	4.2*
83	106	b1.ori	xi:	-20.5592	-3.2e-04	[mm]	0%	21.8*
84	106	b1.ori	eta:	-8.2345	-1.7e-02	[mm]	43%	21.0*
85	109	b1.ori	xi:	2.3580	3.9e-05	[mm]	0%	5.0*
86	109	b1.ori	eta:	0.3824	-4.0e-03	[mm]	24%	6.6*
87	102	b5.ori	xi:	12.6694	-2.6e-03	[mm]	5%	9.3*
88	102	b5.ori	eta:	-10.5722	-1.1e-02	[mm]	22%	19.7*
89	105	b5.ori	xi:	-15.1647	-3.8e-03	[mm]	6%	12.5*
90	105	b5.ori	eta:	-4.0122	-8.4e-03	[mm]	22%	14.6*
91	101	b5.ori	xi:	-13.3711	5.7e-03	[mm]	7%	16.9*
92	101	b5.ori	eta:	-11.3227	1.5e-02	[mm]	37%	20.2*
93	100	b5.ori	xi:	-6.9510	-1.7e-03	[mm]	5%	6.5*
94	100	b5.ori	eta:	-11.1246	7.9e-03	[mm]	40%	10.2*
95	108	b5.ori	xi:	13.8337	2.0e-03	[mm]	7%	6.1*
96	108	b5.ori	eta:	-7.0999	1.3e-02	[mm]	39%	16.8*
97	112	b5.ori	xi:	5.9037	5.4e-04	[mm]	3%	2.4
98	112	b5.ori	eta:	0.2574	-6.8e-03	[mm]	36%	9.2*
99	109	b5.ori	xi:	9.9599	3.4e-04	[mm]	0%	6.7*
100	109	b5.ori	eta:	0.1722	4.2e-03	[mm]	26%	6.6*
101	106	b5.ori	xi:	-14.6327	7.7e-04	[mm]	0%	21.1*
102	106	b5.ori	eta:	-7.2614	1.5e-02	[mm]	34%	21.0*

103	107	b5.ori xi:	15.7420	-1.8e-04	[mm]	0%	4.1*
104	107	b5.ori eta:	-4.0842	-2.6e-03	[mm]	27%	4.2*
105	104	b5.ori xi:	-15.1661	-3.6e-04	[mm]	0%	36.1*
106	104	b5.ori eta:	-16.8242	-1.8e-02	[mm]	15%	36.2*
107	111	b5.ori xi:	-9.6014	-6.1e-04	[mm]	0%	13.6*
108	111	b5.ori eta:	0.4836	-7.9e-03	[mm]	22%	13.7*

Absolute Maximalwerte der Verbesserungen

Max. [gon]	in Element (Lf.Nr.): 64	->	1.3e-01
Max. [m]	in Element (Lf.Nr.): 20	->	7.5e-02
Max. [mm]	in Element (Lf.Nr.): 78	->	2.0e-02

Summe der Verbesserungen: 4.722e-01

Differenz-Ergebnisvektor dx der letzten Iteration

Punktnr.	dx	dy	dz
2	-2.5e-10	-1.5e-09	-1.0e-10
1	9.8e-10	-1.4e-09	-5.9e-11
3	8.4e-12	-1.1e-09	-1.5e-10
101	5.3e-09	-4.1e-09	-6.8e-10
102	-5.3e-09	-2.0e-09	-8.9e-11
105	-9.5e-09	5.5e-10	1.5e-09
112	6.4e-09	2.9e-10	-9.6e-10
108	-6.8e-09	1.4e-09	1.4e-09
100	9.2e-09	-6.2e-09	-7.8e-10
1001	4.1e-08	-5.9e-08	1.9e-07
1005	-1.1e-08	8.0e-09	-1.3e-07
104	4.8e-08	-6.4e-09	2.1e-09
111	-2.0e-08	4.5e-09	5.2e-09
107	6.0e-09	-3.1e-09	5.6e-10
106	-1.1e-08	-1.4e-09	1.0e-09
109	8.9e-09	-1.2e-09	-1.4e-09

Bildnr.	dalp	dny	dkap [gon]
1	-2.4e-07	-8.1e-07	-1.5e-07
2	2.1e-09	5.4e-07	-1.1e-07

Std.Nr. do [gon]

1	-2.9e-07
2	3.1e-07
3	-2.5e-07
4	-3.1e-07

Ausgeglichene Koordinaten [m]

Punktnr.	X	Y	Z	mx	my	mz
2	365.308	414.217	33.979	1.9e-02	2.8e-02	9.3e-03
1	377.885	409.559	33.843	1.8e-02	2.0e-02	8.5e-03
3	364.979	405.762	34.124	2.1e-02	3.5e-02	1.0e-02
101	359.826	426.554	36.138	2.3e-02	3.3e-02	1.0e-02
102	361.664	433.922	36.134	2.8e-02	3.3e-02	1.1e-02
105	360.130	425.957	38.058	2.3e-02	3.3e-02	1.1e-02
112	361.652	431.777	39.336	2.7e-02	3.3e-02	1.2e-02
108	361.905	434.298	37.162	2.7e-02	3.4e-02	1.1e-02
100	360.261	428.222	36.140	2.5e-02	3.2e-02	9.8e-03
1001	376.142	430.878	35.066	4.5e-02	7.6e-02	1.3e-01
1005	374.170	423.649	35.576	5.0e-02	5.6e-02	1.3e-01
104	359.868	426.123	34.739	3.3e-02	3.3e-02	1.2e-02
111	360.503	427.372	39.335	3.0e-02	3.3e-02	1.2e-02
107	362.354	434.771	38.032	3.0e-02	3.5e-02	1.3e-02
106	359.889	426.171	37.221	2.5e-02	3.3e-02	1.1e-02
109	361.932	433.055	39.346	3.2e-02	3.4e-02	1.3e-02

Richtungsorientierung der Standpunkte

Lf.Nr.	Omega	mo [gon]
1	99.9330	7.1e-03
2	234.8607	6.8e-03
3	36.6797	6.8e-03
4	54.4239	7.0e-03

Abschluß

Iterationsschritte: 8
m0-apriori: 1.000E+00
m0-aposteriori: 1.011E+01