

Kombinierte Ausgleichung in der Photogrammetrie:  
Programmkonzeption und Beispiele

Dr.-Ing. Rolf-Dieter Düppe  
Institut für Photogrammetrie und Kartographie  
der Technischen Hochschule Darmstadt  
Federal Republic of Germany  
Commission III

Zusammenfassung

Neben der Verarbeitung von ursprünglichen photogrammetrischen Messungen in Blockausgleichungen besteht heute immer mehr der Bedarf, auch andersartige Meßelemente direkt in den Rechenprozeß einführen zu können. Hierdurch kann in gewissen Fällen die Genauigkeit, in anderen wiederum die Wirtschaftlichkeit der Punktbestimmung gesteigert werden.

Denkbare Meßelemente sind beispielsweise Statoskop- und APR-Hilfsdaten, ursprüngliche geodätische Messungen, Macrometer-Koordinatenunterschiede sowie bei Ingenieuranwendungen oftmals auch noch durch fingierte Messungen beschreibbare Formparameter.

Die Konzeption eines für diese Aufgaben entwickelten, auf der Bündelausgleichung aufbauenden Programmsystems wird erläutert, einige praktische Beispiele werden vorgestellt.

Abstract

There is a need for a combined simultaneous adjustment of photogrammetric and other relevant auxiliary measurements, while photogrammetric measurements typically are image and model coordinates, the auxiliary measurements may include geodetic, statoscope, APR or Macrometer data as well as fictitious data constraints such as from parameters. All these different data types should form the input data set for a block adjustment today. Increasing output precision and more economic aspects of point estimations are just two of the merits of the method proposed. In the paper, the concept of a complex bundle adjustment program for the purposes of combined adjustment is discussed in detail, and examples are shown.

0. Einleitung

Nachdem in den letzten Jahren sowohl die Blockausgleichung nach der Methode der Unabhängigen Modellen als auch die Bündelausgleichung bewiesen haben, daß es sich bei ihnen um präzise, operationelle und wirtschaftliche Verfahren der Punktbestimmung handelt, wird heute die Frage nach der Einbeziehung geodätischer Messungen und andersartiger Bedingungen in eine Simultanausgleichung interessant.

Zu einer solchen Simultanausgleichung können beide der genannten photogrammetrischen Blockausgleichungsmethoden erweitert werden, vgl. /2/ und /4/. Da jedoch die Bündelausgleichung zum einen wegen der Erweiterung auf zusätzliche Parameter im Bildraum, zum anderen wegen der sich abzeichnenden Zunahme der Analytischen Plotter an Boden gewinnen wird, sollte eine Simultanausgleichung als photogrammetrische Meßelemente Bildkoordinaten berücksichtigen.

Entwurf und Entwicklung eines solchen komplexen Bündelausgleichungsprogramms wurden soeben zu einem ersten Abschluß gebracht. Hierüber sowie über einige Beispiele und geplante spätere Ergänzungen wird im folgenden berichtet.

### 1. Mögliche Anwendungen

Für eine Simultanausgleichung bei der Punktbestimmung existieren heute bereits eine ganze Reihe von sinnvollen Aufgabenstellungen und zwar praktisch aus allen Anwendungsgebieten der Photogrammetrie:

So treten bei etwas komplexeren Aufgabenstellungen der Nahbereichsphotogrammetrie oftmals Netzkonfigurationen auf, die in Teilbereichen aus geodätischen Messungen, in anderen Netzteilen aus photogrammetrischen Messungen bestehen.

Diese Messungen können von vornherein aus wirtschaftlichen Gründen so angeordnet sein, daß sie nicht voneinander getrennt berechnet werden können. Oder aber Genauigkeitsgesichtspunkte verlangen eine gemeinsame Ausgleichung, wenn auch die Teilnetze an und für sich getrennt berechenbar wären.

Auch in der Luftbildphotogrammetrie sind bei großmaßstäbigen technischen Vermessungen oftmals Sollgrößen im Objektraum bekannt, die bei der Punktbestimmung zu berücksichtigen sind. Als Beispiele seien hier Sollstrecken (Weichenlängen) bei der Vermessung von Gleisanlagen genannt.

Kommen wir zur kleinmaßstäbigen topographisch orientierten Photogrammetrie: Hier müssen aus wirtschaftlichen Gründen sehr oft größere paßpunktlose Räume überbrückt werden und zwar mit Hilfe von Statoskop und/oder APR und/oder Inertialsystemen.

Die mit diesen Systemen gemessenen sogenannten Hilfsdaten können sich als sehr effizient für die Punktbestimmung erweisen, vorausgesetzt, sie können rechentechnisch in den Ausgleichungsprozeß miteinbezogen werden.

### 2. Mögliche Meßelemente und Unbekannte

Bei der Betrachtung möglicher Meßelemente ist für die Erstellung eines Programmsystems in erster Linie interessant, welche der an der Ausgleichung teilnehmenden Unbekannten durch die zu den jeweiligen Messungen gehörenden Verbesserungsgleichungen miteinander verknüpft werden.

Unbekannte sind zum einen die jeweiligen Orientierungselemente der einzelnen Aufnahmen, zum anderen die zu bestimmenden Punktkoordinaten. Letztere zerfallen nun in zwei Gruppen: Die eine und in der Regel überwiegende Gruppe von Punktkoordinaten wird nur durch die Bildkoordinatenmessungen mit den Orientierungsunbekannten verknüpft, die andere und in der Regel kleiner Gruppe von Punktkoordinaten wird entweder zusätzlich oder aber ausschließlich durch geodätische Messungen verknüpft. Bei Vorhandensein geodätischer Richtungssätze wird diese Gruppe erweitert durch die zu diesen gehörenden jeweiligen Orientierungsunbekannten.

Eine dritte Unbekanntengruppe wird möglicherweise durch zusätzliche Parameter für systematische Bilddeformationen oder aber durch Formbedingungen bzw. Funktionen im Objektraum in das Ausgleichungssystem implementiert.

Hinzu kommen letztendlich noch die Korrelatenunbekannten, welche sich durch die zu einer freien Ausgleichung gehörenden und aus der räumlichen Ähnlichkeitstransformation abgeleiteten Bedingungsgleichungen ergeben /5/.

Grundsätzlich sind nun zwei Arten von Messungen erlaubt:

Zum einen direkte Messungen einzelner Unbekannten, - man denke etwa an die aus Dopplermessungen abgeleiteten Paßpunktkoordinaten -, zum anderen alle geodätischen und photogrammetrischen Messungen, mit denen mindestens zwei der genannten Unbekannten unterein-

ander verknüpft werden, - man denke hier etwa an gemessene Höhenunterschiede zwischen zwei Punktkoordinaten oder Projektionszentren -.

### 3. Programmkonzeption

Aus arbeitstechnischen Gründen erscheint die Simultanausgleichung nur operationell, wenn ein möglichst automatisch ablaufendes Programmsystem bereitsteht, d.h. dem Operateur sollten außer der Datenaufbereitung und Dateieingabe keinerlei Aufgaben gestellt werden. Aus diesen Daten muß das Programm sodann automatisch

- die Netztopologie erkennen,
- die notwendigen minimierten und vernetzten Speicherplätze für die Normalgleichungsmatrix bereitstellen,
- sowie die eigentlichen numerischen Berechnungen durchführen.

Ein Problem ergibt sich dabei durch die vor allem in der Aerophotogrammetrie auftretenden Blockgrößen und der damit verbundenen hohen Anzahl von Unbekannten. Hier kann verhältnismäßig leicht die Vorwegelimination derjenigen unbekannt Punktkoordinaten Abhilfe schaffen, welche nur photogrammetrisch angemessen wurden. Zusätzlich empfiehlt es sich, die Orientierungsgrößen eventuell vorhandener Richtungssätze ebenfalls vorab zu eliminieren.

Die Reihenfolge der jetzt noch im Normalgleichungssystem verbliebenen Unbekannten muß sodann noch geeignet gewählt werden, um weiteren Speicherplatz und damit auch die Rechenzeiten zu verringern.

Der Nachteil dieser geschilderten Vorgehensweise liegt allerdings darin, daß die Berechnung der Inversen nur sehr schwer realisierbar erscheint /3/ und eine Fehlersuche beispielsweise mit dem Data-Snooping /1/ sinnvollerweise nur approximiert werden kann.

Einzelne Elemente der Inversen für die Berechnung ausgesuchter mittlerer Fehler können hingegen auch hierbei noch relativ einfach über das Anhängen zusätzlicher rechter Seiten an das Normalgleichungssystem berechnet werden.

### 4. Programmtechnische Realisierung

Im folgenden wird ein Ablaufschema mit kurzen Erläuterungen des entwickelten Programmsystems (momentaner Stand) gegeben:

Das erste Programmsegment beschäftigt sich zunächst mit der Eingabe administrativer Angaben wie z.B.

- Abbruchschranken,
- Iterationsanzahlen (mit und ohne Berücksichtigung der "nicht-photogrammetrischen" Messungen)
- Festlegung, ob eine freie Ausgleichung gerechnet werden soll,
- Kanal/Filenummern für die Ein- und Ausgabe,
- Nummern derjenigen Punkte, für welche mittlere Punktfehler berechnet werden sollen,

sodann mit der Eingabe von Näherungs- bzw. Schätzwerten sowie der Messungen und ihrer mittleren Fehler für

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Koordinaten der Objektpunkte,</li> <li>- Orientierungselemente der Meßbilder,</li> <li>- Bildkoordinaten,</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Streckenmessungen,</li> <li>- Richtungsmessungen,</li> <li>- Zenitdistanzmessungen,</li> <li>- Höhenmessungen,</li> <li>- Zusätzlichen Parametern.</li> </ul> |
|---|--|

Bereits während des Eingabeprozesses werden alle bis dahin überhaupt schon möglichen Sortierungen durchgeführt. Dabei werden alle Meßelemente und Schätzwerte vektorieil auf die gleichen Felder gespeichert. Ihre Unterscheidung geschieht später allein über eine Folge von Adressenindices, mit denen Bereichsgrenzen vereinbart werden. Diese Adressenindices definieren dann auch den Ausgleichungsfall, die gesamte Ausgleichung kann somit völlig automatisch ablaufen.

Damit beliebige Sätze zusätzlicher Parameter gewählt werden können, ist ihre Anzahl frei wählbar. Es werden später im Programm Schnittstellen für vom Benutzer selbst zu schreibende Unterprogramme bereitgestellt. Allerdings kann momentan nur jeweils ein Satz solcher zusätzlicher Parameter für dementsprechend auch nur eine Untermenge der insgesamt zu berücksichtigenden Bilder verarbeitet werden.

Über die erwähnten Schnittstellen können jedoch auch die Elemente der Inneren Orientierung (einer) der benutzten Kammer(n) in die Ausgleichung eingeführt werden, womit die Kalibrierung dieser Kammer möglich wird.

Es können aber auch Parameter für den Objektraum eingesetzt werden, was etwa bei Deformationsvermessungen, Formbestimmungen usw. von Bedeutung sein kann.

Das zweite Programmsegment definiert anhand der eingegebenen Näherungswerte und Meßelemente die Unbekannten. Dabei wird die folgende Reihenfolge der Unbekannten gewählt:

- Gruppe 1: Orientierungselemente der einzelnen Aufnahmen.
- Gruppe 2: Im Normalgleichungssystem verbliebene Punktkoordinaten, welche zusätzlich oder ausschließlich geodätisch gemessen wurden oder für welche mittlere Fehler zu berechnen sind.
- Gruppe 3: Zusätzliche Parameter.
- Gruppe 4: Korrelatenunbekannte für die aus der räumlichen Ähnlichkeitstransformation abgeleiteten Bedingungen, mit welchen die Freie Ausgleichung realisiert wird.

Angemerkt werden soll hier, daß augenblicklich eine speicherplatzminimierende Sortierung der Unbekannten nur für die Gruppe 1 stattfindet, vgl. die beiden Abb. 1 und 2.

Im nächsten Schritt vernetzt das Programm die einzelnen Messungen untereinander sowie mit den zugehörigen Unbekannten.

Das dritte Programmsegment stellt nun die einzelnen Verbesserungsgleichungen sowie die Normalgleichungsmatrix auf. Letztere wird sodann mit Hilfe eines blockweisen GAUSS-Algorithmus direkt gelöst. Dieses dritte Programmsegment wird entsprechend den Iterationsanforderungen bzw. der Konvergenz mehrfach durchlaufen.

Das vierte Programmsegment dient dann nur noch der geeigneten Aufbereitung und Ausgabe der erhaltenen Ergebnisse.

Entwickelt wurde das Programm in seiner Urversion auf einer IBM 370/168 sowie einer IBM 3081, lauffähig ist es auch auf dem dieser Anlage angeschlossenen Satellitenrechner VAX 11/780. Die Programmiersprache ist FORTRAN, die Anzahl der Statements liegt - ohne Berücksichtigung von Kommentarzeilen - bei etwa 4000.

Die Anpassung an einen kleineren Rechner, beispielsweise an die NOVA 4X (256 KB, ein Ground 64 KB) des Analytischen Plotters Aviolyt AC1 der Firma WILD ist zwar vorgesehen, aus arbeitstechnischen Gründen jedoch noch nicht realisiert.

## 5. Beispiele

Obwohl sich das entwickelte Programmsystem bereits in einer ersten Anwendungsphase befindet und eine Reihe praktischer Fälle damit bearbeitet wurden, sollen hier zwei simulierte und damit auch kontrollierte Beispiele zur Erläuterung der Möglichkeiten des Systems vorgestellt werden:

### Beispiel 1:

Hier handelt es sich um einen Bündelblock bestehend aus 5 Streifen mit je 17 Bildern, vgl. Abb.3.

Zunächst soll an diesem Block gezeigt werden, wie wichtig es ist, mittlere Koordinatenfehler der Objektpunkte über die Inverse berechnen zu können, um nicht auf die vielerorts übliche Ableitung der erreichten Punktgenauigkeiten im Objektraum aus den Verbesserungen im Bildraum zurückgreifen zu müssen. Sowohl bei der klassischen Paßpunktbesetzung entlang der Blockränder als auch bei einer etwas exotisch anmutenden Paßpunktbesetzung nur in einer Blockecke ergeben sich im Mittel gleich große Verbesserungen im Bildraum, nämlich die bei der Simulation den Bildkoordinaten überlagerten mittleren Meßfehler von  $\pm 4 \mu\text{m}$ . Erst die über die Inverse berechneten Fehlerellipsen (nach Helmert) zeigen die Überlegenheit der Paßpunktbesetzung entlang der Ränder, vgl. Abb.5 und 6.

Als nächstes sollen die Möglichkeiten der Berücksichtigung zusätzlicher geodätischer Messungen gezeigt werden. Der Block wiederum mit der exotischen Paßpunktbesetzung in einer Blockecke durchgerechnet ergibt Lageabweichungen gegenüber den tatsächlichen Sollwerten bis zu 1,30 m, vgl. Abb.7.

Hat man hingegen einen räumlichen Polygonzug entlang des Blockrandes gemessen, vgl. Abb.4, und führt diese Messungen in eine gemeinsame Ausgleichung mit den Bildkoordinatenmessungen ein, so ergeben sich jetzt Abweichungen der ausgeglichenen Punkte gegenüber ihren Sollwerten bis zu einer Größe von 0,2 m, vgl. Abb.8.

### Beispiel 2:

Dieser aus zwei Streifen mit je 50 Bildern bestehende Bündelblock wurde gewählt, um die Möglichkeiten der Berücksichtigung von Hilfsdaten - im konkreten Falle von Statoskopmessungen - zu demonstrieren.

Zunächst wurde der Block mit einer minimalen Paßpunktstützung nur am Anfang und am Ende durchgerechnet. Es ergaben sich die zu erwartenden typischen Höhendeformationen der Abb.9 bis zu einer Größe von 3,60 m. Sodann wurden die Statoskopmessungen in die Ausgleichung miteingeführt mit daraufhin verbleibenden absoluten Höhenfehlern bis zu 0,7 m, vgl. Abb.10.

Zuguterletzt wurden einige zusätzlich gemessene lokale Höhenunterschiede (quer zu den beiden Streifen) mitberücksichtigt und es ergaben sich die recht brauchbaren absoluten Höhenfehler bis zu einer Größe von 0,4 m, vgl. Abb.11.

## 6. Programmweiterungen

Wenn auch die hier vorgestellt erste Programmversion im Prinzip bereits alle Möglichkeiten einer Simultanausgleichung berücksichtigt, so müssen doch noch eine ganze Reihe von Ergänzungen und Erweiterungen implementiert werden, insbesondere ist dabei an folgende Dinge zu denken:

Soweit als möglich müssen die Ergebnisse statistisch abgesichert werden. Dieses gilt nicht nur für die Aufdeckung einzelner Meßfehler sondern auch für die Absicherung funktionaler Ansätze (zusätzlicher Parameter usw.).

Für den Bereich der Ingenieur- bzw. Nahbereichsphotogrammetrie müssen die Möglichkeiten der Berücksichtigung gängiger Formbedingungen oder funktionaler Ansätze im Objektraum benutzerfreundlich und möglichst allgemein sein. Diesbezüglich sind eine Reihe von hier nicht weiter zu diskutierenden Programmschnittstellen für die zugehörigen spezifischen Unterprogramme zu realisieren. Desweiteren ist geplant, auch Punkthaufen im Objektraum (z.B. Unabhängige Modelle) als Messungen zuzulassen und dementsprechend die zu bestimmenden Unbekannten um eine weitere Gruppe, nämlich die Transformationsparameter der räumlichen Ähnlichkeitstransformation zu ergänzen.

Letztendlich ist dann noch die bezüglich der Benutzerfreundlichkeit entscheidende Frage nach der automatischen Bestimmung der für die spätere Ausgleichung notwendigen Unbekannten (Orientierungselemente, Neupunktkoordinaten usw.) befriedigend zu lösen. Während nämlich der Luftbildfall über die (ebene) lineare Anblockmethode sehr effektiv gelöst werden kann, ist eine ähnliche geschlossene Lösung für die oftmals wechselnden Aufnahmeanordnungen der Nahbereichsphotogrammetrie nicht verfügbar; hier muß eine algorithmische Strategie entwickelt und implementiert werden.

#### 7. Schlußfolgerungen, zukünftige Entwicklungen

Alle mit dem entwickelten Programmsystem durchgerechneten praktischen Fälle wie auch alle simulierten Beispiele lassen erwarten, daß sich die Simultanausgleichung zu einem Standardverfahren der Punktbestimmung entwickeln wird. Dabei werden - speziell bei technischen Vermessungen aber auch in der Aerophotogrammetrie - viele Anwendungsbereiche hinzukommen.

Allerdings müssen, bevor es sich bei der Simultanausgleichung um ein wirkliches Standardverfahren handeln wird, noch eine ganze Reihe von Anordnungen verschiedener Messungen gemeinsam ausgeglichen worden sein, um die notwendigen standardisierbaren Erfahrungen zu besitzen. Hinzu kommt, daß die notwendige Software auf breiterer Basis auch für kleinere Rechner bereitstehen muß, eine Aufgabe für die Zukunft.

#### L i t e r a t u r

- /1/ Baarda, W. : A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks.  
Netherlands Geodetic Commission, New Series, Vol 2,  
No.5, Delft, 1968
- /2/ Düppe, R.D. : Ein Beitrag zur simultanen Verwendung geodätischer  
Messungen bei Blockausgleichungen nach der Methode  
der Unabhängigen Modelle.  
Bildmessung und Luftbildwesen (Bul) 50, S. 81, 1982
- /3/ Haag, K. : Die photogrammetrische Bündelblockausgleichung  
und die Auflösung großer Gleichungssysteme.  
Deutsche Geodätische Kommission, C 232, München 1977
- /4/ Hell, G. : Terrestrische Bildtriangulation mit Berücksichtigung  
zusätzlicher Beobachtungen.  
Deutsche Geodätische Kommission, C 252, München 1979
- /5/ Wolf, H. : Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten  
Quadrate. Bonn 1968

BESETZUNGSSTRUKTUR DER NORMALGLEICHUNGSMATRIX  
 BILDREIHENFOLGE NICHT SORTIERT  
 5 STREIFEN MIT JE 17 AUFNAHMEN  
 60 % LÄNGS- UND QUERUEBERDECKUNG  
 BERUECKSICHTIGUNG GEOAETISCHER MESSUNGEN  
 SECHS ZUSAETZLICHE PARAMETER  
 BERECHNUNG MITTLERER PUNKTFEHLER FUER 10 PUNKTE

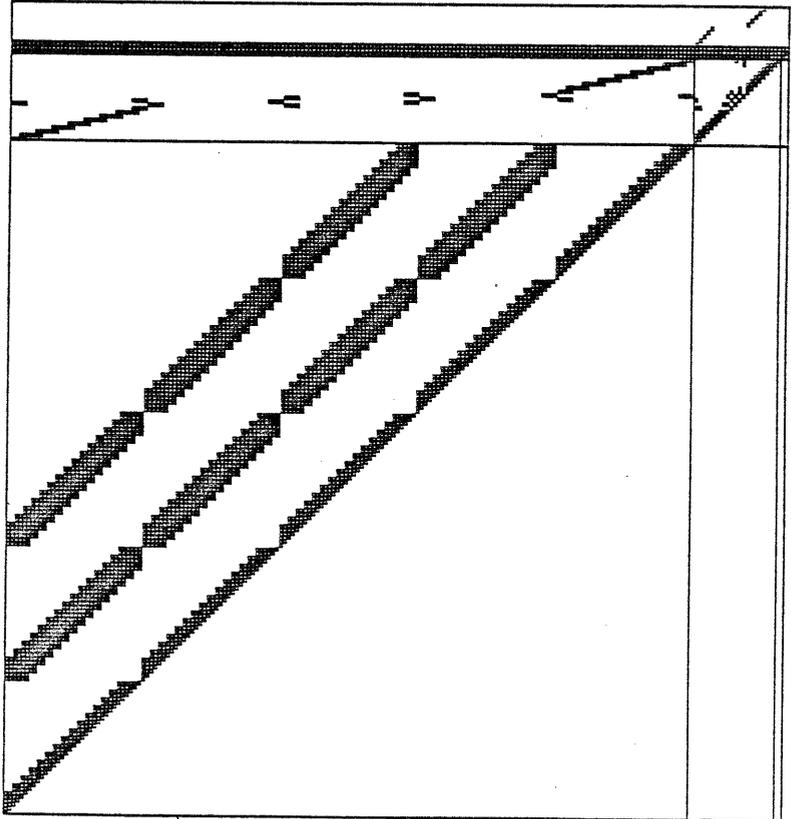


Abb. 1:

BESETZUNGSSTRUKTUR DER NORMALGLEICHUNGSMATRIX  
 BILDREIHENFOLGE SORTIERT  
 5 STREIFEN MIT JE 17 AUFNAHMEN  
 60 % LÄNGS- UND QUERUEBERDECKUNG  
 BERUECKSICHTIGUNG GEOAETISCHER MESSUNGEN  
 SECHS ZUSAETZLICHE PARAMETER  
 BERECHNUNG MITTLERER PUNKTFEHLER FUER 10 PUNKTE

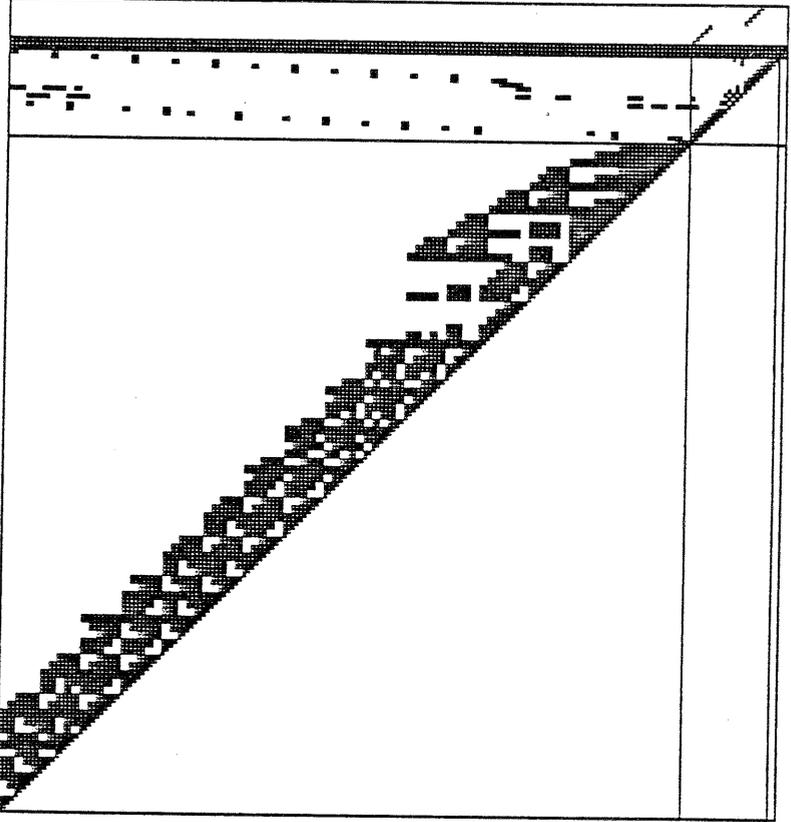
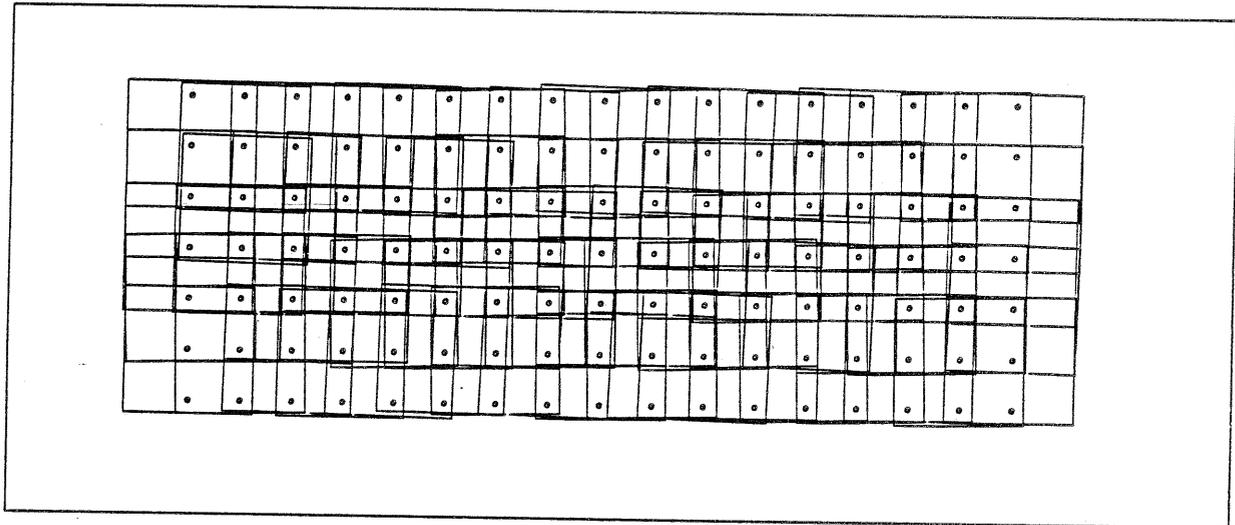


Abb. 2:

UEBERSICHT BUENDELBLOCK

5 STREIFEN MIT JE 17 BILDERN      ,LAENGS - UND QUERUEBERDECKUNG JE 60%  
 FLUGHOEHE 1200 M, KAMMERKONSTANTE 15 CM      BILDMASSSTAB 1 : 8000  
 MITTLERE BILDKOORDINATENMESSFEHLER      + - 4 μm

Abb. 3

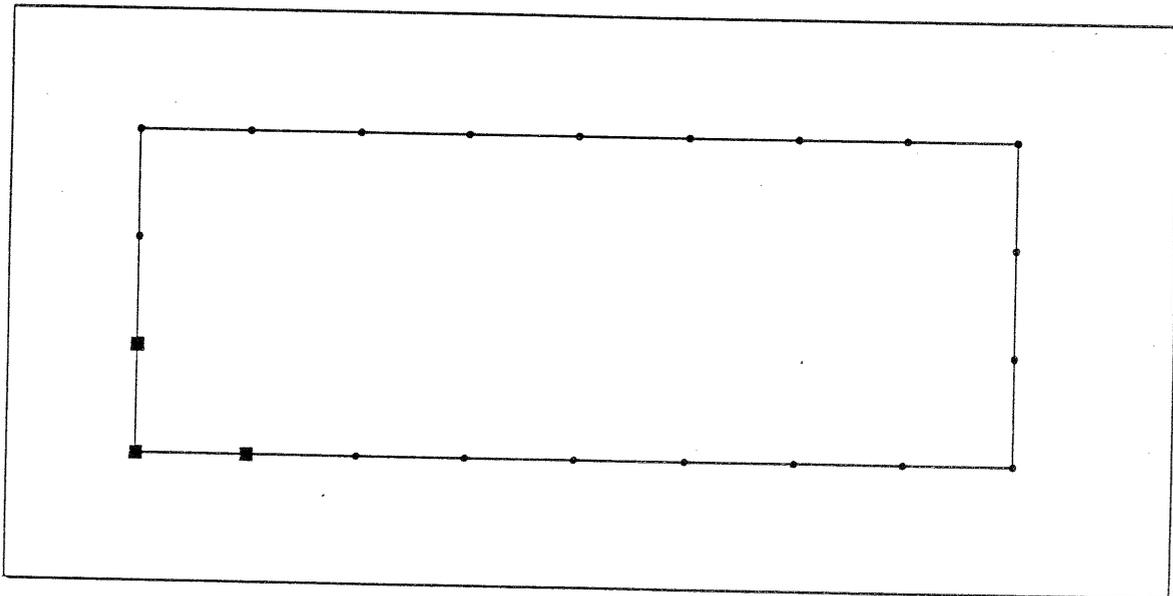


← 2 KM

SKIZZE DES GEODÄTISCHEN NETZES, GEMESSEN

RÄUMLICHE STRECKEN, MESSFEHLER      + - 20 MM  
 RICHTUNGEN, MESSFEHLER      + - 3 SEC  
 HÖHENUNTERSCHIEDE, MESSFEHLER      + - 5 MM

Abb. 4

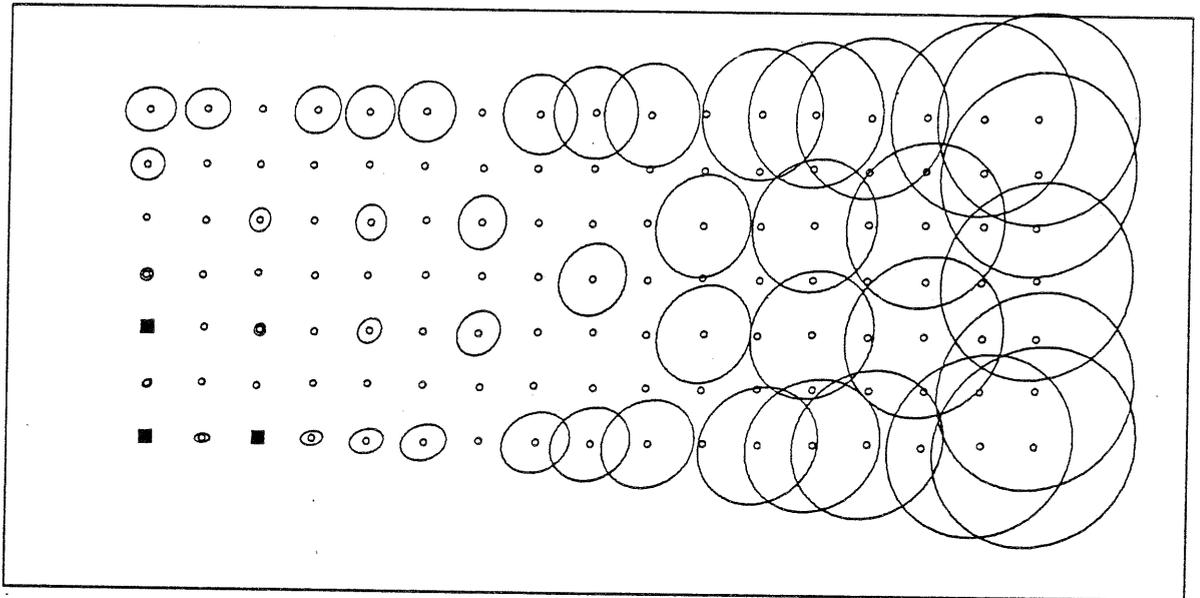


■ FESTPUNKT  
 ( LAGE UND HÖHE )

○ POLYGONPUNKT

← 2 KM

ERGEBNISSE DER BUENDELAUSGLEICHUNG, LAGE,  
AUSGESUCHTE FEHLERELLIPSEN



■ FESTPUNKT  
( LAGE UND HOEHE )

————— 2 KM

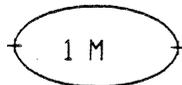
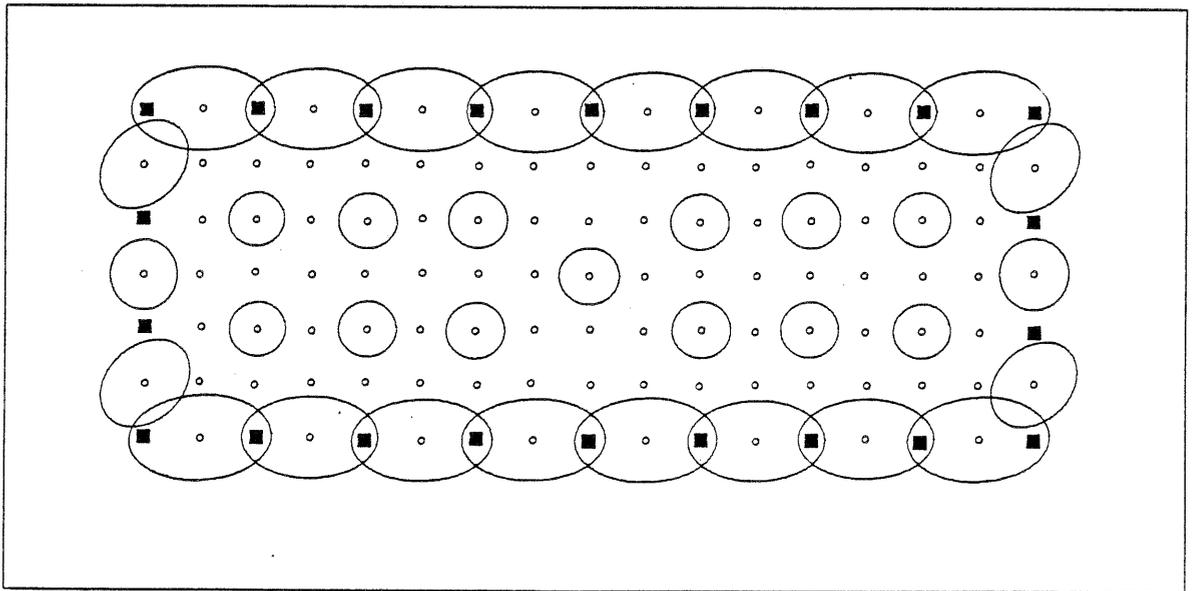


Abb. 5:

ERGEBNISSE DER BUENDELAUSGLEICHUNG, LAGE,  
AUSGESUCHTE FEHLERELLIPSEN



■ FESTPUNKT  
( LAGE UND HOEHE )

————— 2 KM

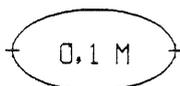
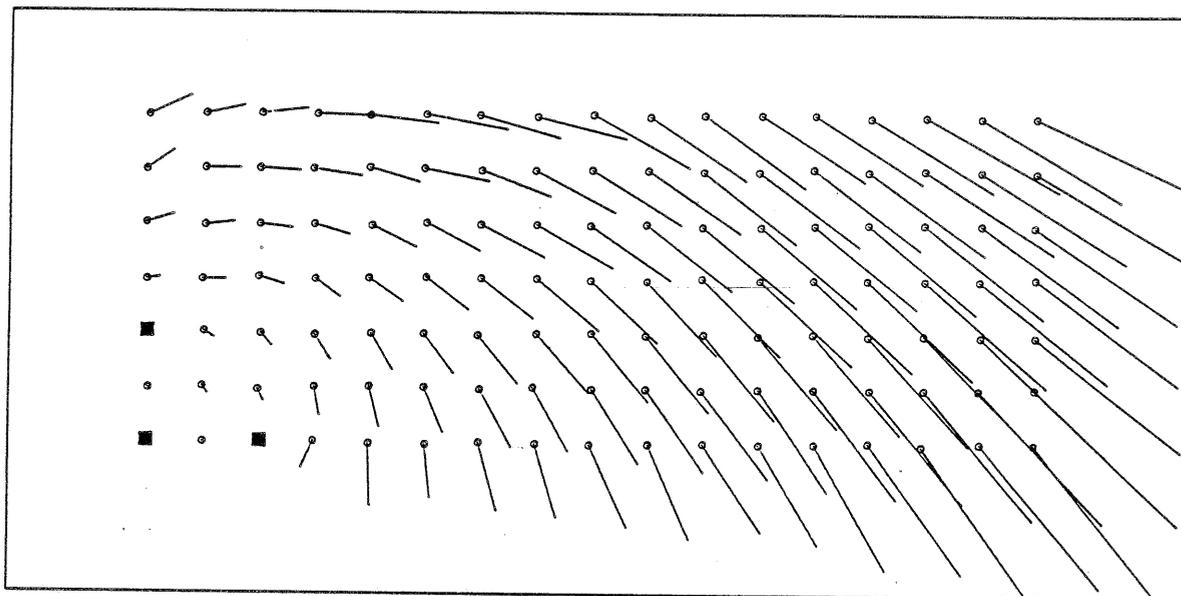


Abb. 6:

ERGEBNISSE DER BUENDELAUSGLEICHUNG, LAGE,  
ABWEICHUNGEN GEGENUEBER SOLL

Abb. 7:



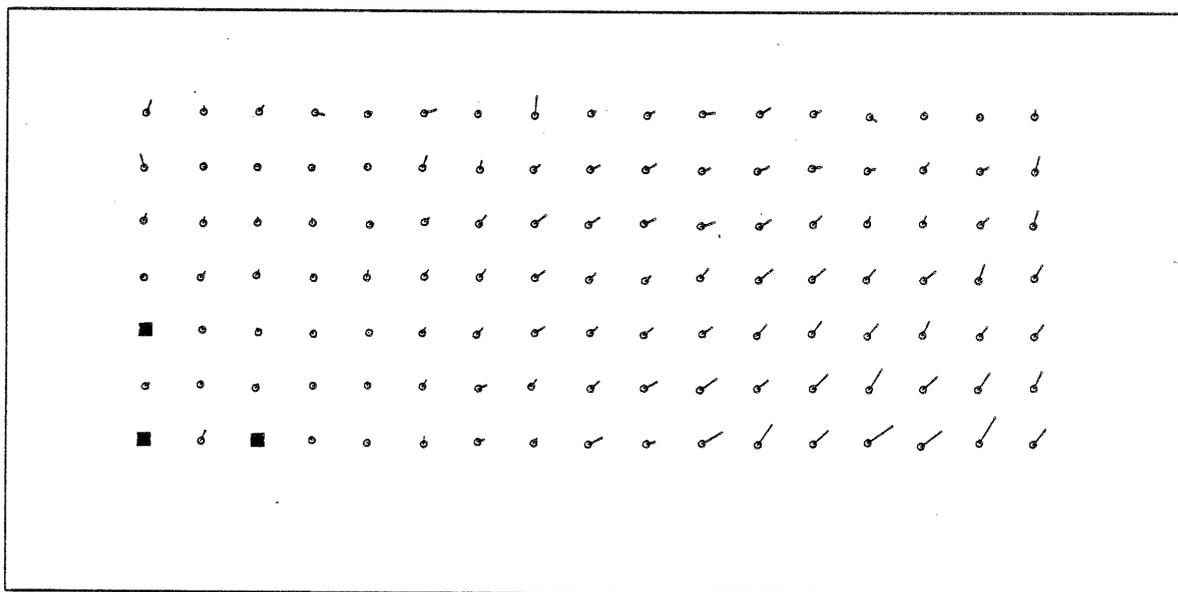
■ FESTPUNKT  
( LAGE UND HOEHE )

————— 1 M  
IST            SOLL

————— 2 KM

ERGEBNISSE DER BUENDELAUSGLEICHUNG, LAGE,  
ABWEICHUNGEN GEGENUEBER SOLL

Abb. 8:



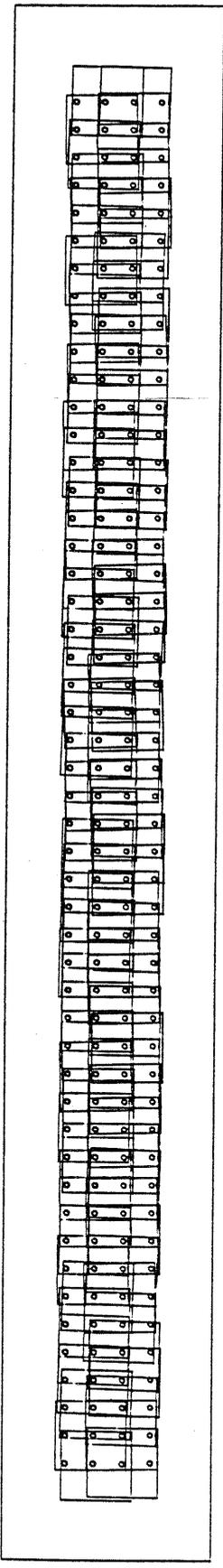
■ FESTPUNKT  
( LAGE UND HOEHE )

————— 1 M  
IST            SOLL

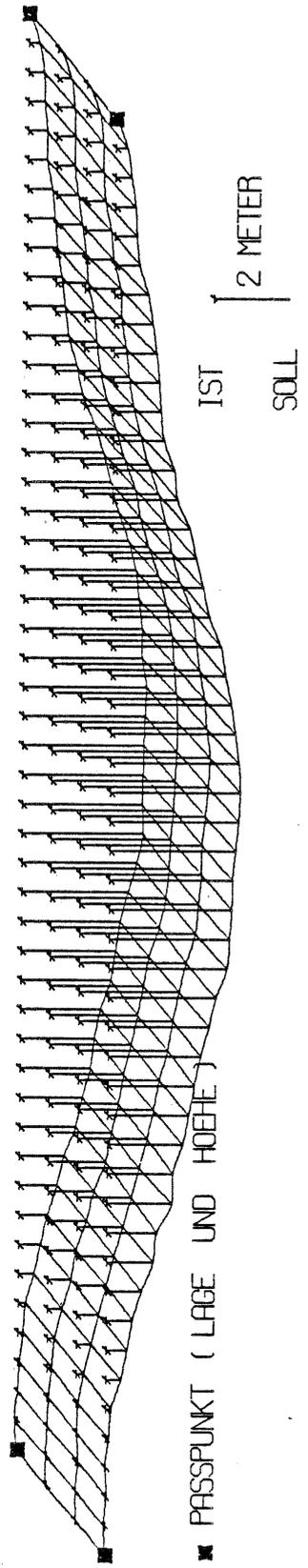
————— 2 KM

UEBERSICHT BUENDELBLOCK  
 2 STREIFEN MIT JE 50 BILDERN ,LAENGS - UND QUERUEBERDECKUNG JE 60%  
 FLUGHOEHHE 1200 M, KAMMERKONSTANTE 15 CM  
 MITTLERE BILDKOORDINATENMESSFEHLER + - 4 µm BILDMASSSTAB 1 : 8000

Abb. 9:

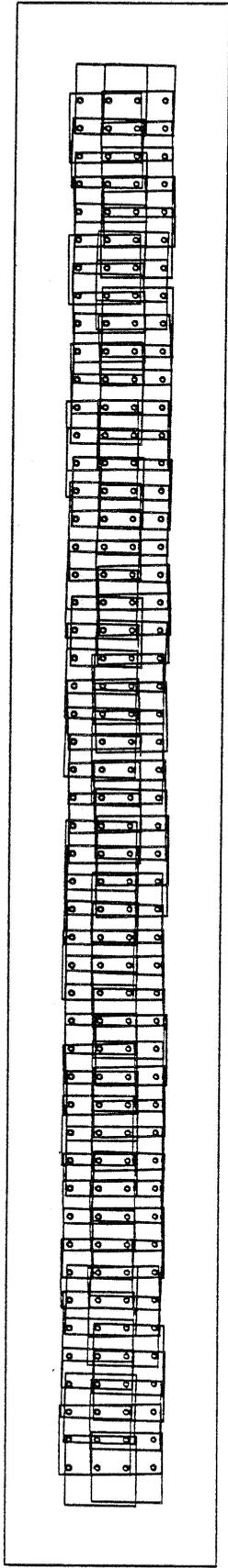


ABWEICHUNGEN ZWISCHEN AUSGEGLEICHENER HOEHHE (= IST)  
 UND TATSAECHLICHER HOEHHE (= SOLL)  
 MESSUNGSELEMENTE BILDKOORDINATEN (+ - 4 µm)

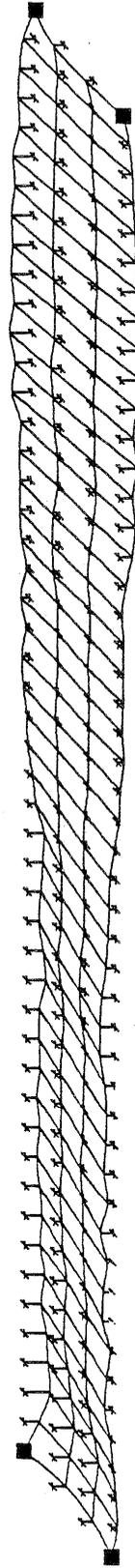


UEBERSICHT BUENDELBLOCK  
 2 STREIFEN MIT JE 50 BILDERN ,LAENGS - UND QUERUEBERDECKUNG JE 60%  
 FLUGHOEHE 1200 M, KAMMERKONSTANTE 15 CM  
 MITTLERE BILDKOORDINATENMESSFEHLER + - 4 µm BILDMASSSTAB 1 : 8000

Abb. 10:



ABWEICHUNGEN ZWISCHEN AUSGEGLICHERER HOEHE (= IST)  
 UND TATSAECHLICHER HOEHE (= SOLL)  
 MESSUNGSELEMENTE BILDKOORDINATEN (+ - 4 µm)  
 STATOSKOPMESSUNGEN (+ - 10 CM)



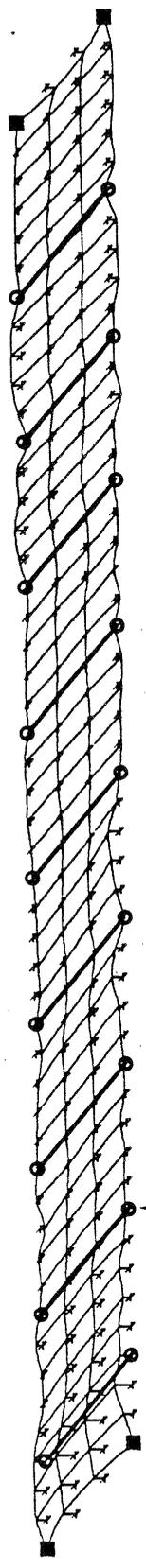
■ PASSPUNKT ( LAGE UND HOEHE )

IST  
 SOLL

2 METER

20Г  
12Г  
5 МЕТЕР

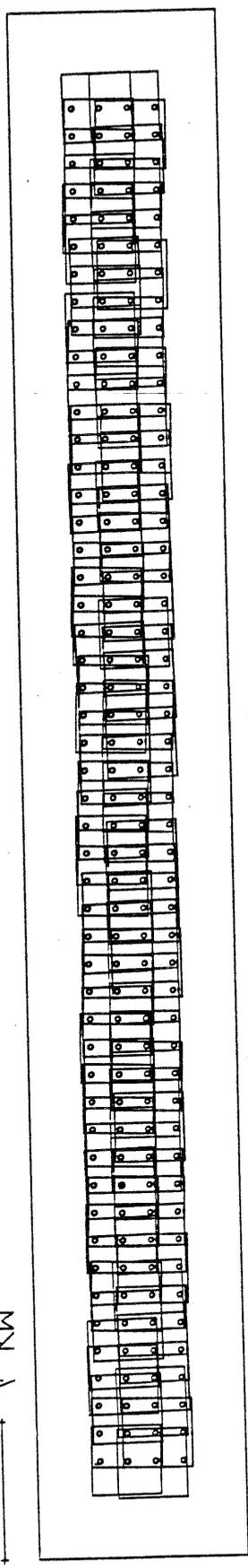
■ ВЪЗДУШКИ ( ГЪРЦЕ ИМО НОЕНЕ )



ГОЛЪТЕ НОЕНЕИЛИЕВЪСЧИЕДЕ (+ - 1 CM )  
 ШИРОКОБЪМЪСЧИЕДЕ (+ - 10 CM )  
 МЪСЧИЕДЕИЛИЕВЪСЧИЕДЕ (+ - 1m )  
 (= 20Г )  
 (= 12Г )

МЪСЧИЕДЕИЛИЕВЪСЧИЕДЕ  
 ИМО ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ  
 ИМО ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ  
 ИМО ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ

→ 1 KM



ИЛИЕВЪСЧИЕДЕИЛИЕВЪСЧИЕДЕ + - 1m ВЪЗДУШКИ I : 8000  
 ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ ИМО ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ 12 CM  
 S ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ ИМО ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ ИМО ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ ИМО ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ  
 ИМО ИЛИЕВЪСЧИЕДЕ

APP. ITT: