

Theodolit und GPS

1 Einleitung

1.1 Einführung in die Problemstellung

In der Geophysik stellt sich immer wieder das Problem, ein Gelände geodätisch zu vermessen, um für die eigentlichen Messungen lokale Zuordnungen treffen zu können. Mit diesem Versuch soll eine Einführung in die Praxis der Geländevermessung mit einem Theodoliten und einem GPS-Empfänger gegeben werden. Ein Theodolit ist ein Instrument zur geodätischen Vermessung, das neben Vertikal- und Horizontalwinkel auch die Entfernung mißt. Eine heute auch im privaten Bereich weit verbreitete Technik auf dem Gebiet der Positionsbestimmung ist die Nutzung des GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem), einem satellitengestützten Positionierungs- und Navigationssystem. Mit Hilfe eines GPS-Empfängers ist es möglich, die eigene Position durch Bestimmung von Signallaufzeiten zwischen Satelliten und Empfänger zu ermitteln.

1.2 Ziel des Versuches

1.2.1 Messungen mit dem Theodoliten

Es soll ein **geschlossener Geländezug** vermessen werden, d.h. Anfangs- und Endpunkt der Meßpunkte im Gelände sind gleich. Dabei werden für jeden Meßpunkt der Vertikal- und Horizontalwinkel, sowie die Entfernung bestimmt. Aus den ermittelten Werten ist der abgeschrittene Geländezug als Polygonzug zu reproduzieren; im weiteren ist aus den gemessenen Höhenwinkeln das Vertikalprofil des Polygons zu erstellen. Dabei ist gleichzeitig die Korrektur aller Meßwerte durch einen mittleren Fehler durchzuführen. Ziel sollte sein, den Umgang mit einem Theodoliten zu beherrschen, die Meßwerte als vertikale und horizontale Polygonzüge auswerten zu können.

Im zweiten Teil sollen von **einem festen Theodolitenstandort** aus die Meßpunkte einer Profillinie für die späteren Gravimetermessungen geodätisch vermessen werden. Hierzu werden aus den Vertikal- und Horizontalwinkeln die Längen der Profillinienabschnitte und die Höhe der Meßpunkte bestimmt. Ein Vertikalprofil ist zu zeichnen. Unterschiede beider Verfahren sind zu diskutieren.

1.2.2 GPS-Messungen

Der zweite Teil dieses Versuches ist als kurze Einführung in die Grundprinzipien des GPS gedacht.

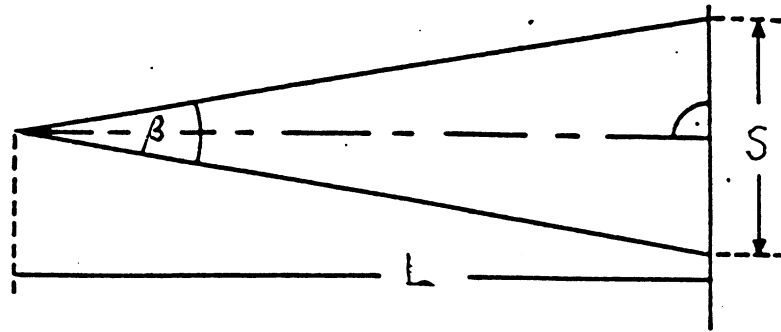


Abbildung 1: Bestimmung der Entfernung L aus dem parallaktischem Dreieck bei festem Öffnungswinkel β und festem Skalenintervall S .

Dazu bestimme man die Position jedes Theodoliten-Meßpunktes des geschlossenen Polygonzuges auch mit GPS, speichere sie im Empfänger und zeichne die ermittelten Daten separat auf Millimeterpapier auf. Die möglicherweise auftretenden Unterschiede zwischen Theodoliten- und GPS-Messungen sollen kritisch diskutiert und die möglichen Fehlerquellen genannt werden.

1.3 Notwendige Vorkenntnisse in Stichworten

Theodolit # Kartenprojektionen # Polygonzug # Verfahren der Distanzfäden # parallaktisches Dreieck # Brechungswinkel # Koordinatenabschlußfehler # magnetische Nordrichtung # geographische Nordrichtung # Deklination # Inklination # Erdmagnetfeld # Dipol # GPS # DGPS # Laufzeitkugeln # DOPs # Ephemeriden # Wegpunkte # Keplersche Gesetze # Geoid # Schwerepotential

2 Grundlagen

2.1 Das Verfahren der Distanzfäden

Ein mögliches Verfahren zur Bestimmung der Entfernung L eines anvisierten Punktes ist die Messung der Strecke S auf der Meßlatte bei konstantem vertikalem Öffnungswinkel β (Abb. 1). Beim Blick in das Objektiv des Tachymeters sieht man über und unter dem Fadenkreuz zwei Paare horizontaler Striche (Distanzfäden). Je ein Paar von Distanzfäden öffnet einen festen Winkel β . Um nun (Abb. 2) die horizontale Entfernung L eines Punktes P vom Meßpunkt A zu bestimmen, stellt man in P eine Meßlatte auf und liest auf ihr die Strecke S ab, die im Fernrohr gerade zwischen dem betrachteten Paar von Distanzfäden erscheint. Die Ablesung erfolgt unter dem Höhenwinkel γ , der am Vertikalkreis des Tachymeters abzulesen ist.

Aus der Theorie der Tachymeter [Großmann, 1973, Bd. 3, Seite 73] folgt, daß die direkte Entfernung $L' = L / \cos \gamma$ bestimmt wird durch

$$L' = \text{const} + k S \cos \gamma .$$

Die additive Konstante kann bei modernen Geräten vernachlässigt werden. Die Konstante k wird im allgemeinen mit den Distanzfäden auf $k = 100$ festgelegt. Bei dem im Versuch benutzten Theodoliten gehört $k = 100$ zum inneren Paar von Distanzfäden, $k = 50$ zum äußeren. Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich

$$L = k S \cos^2 \gamma .$$

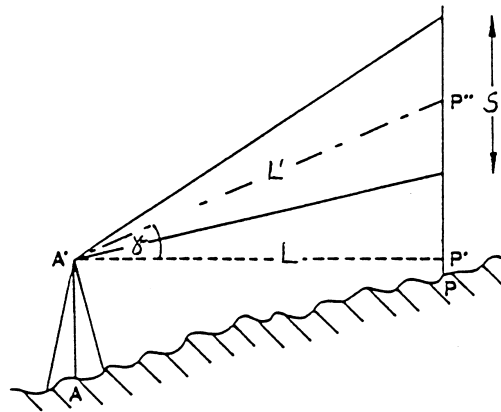


Abbildung 2: Schema der Entfernungsbestimmung.

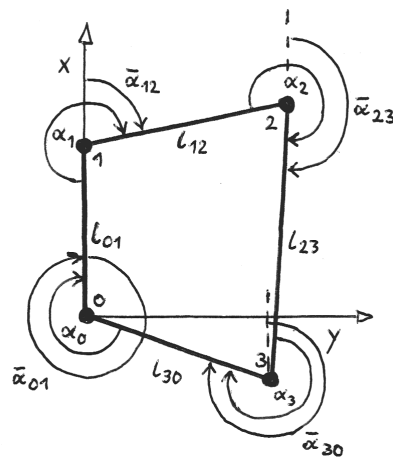


Abbildung 3: Ringpolygon mit vier Eckpunkten. Die Winkel α_n sind die Brechungswinkel und hier auch gleichzeitig die Außenwinkel. Die Winkel $\bar{\alpha}_{n,n+1}$ sind die Richtungswinkel gegen eine Vorzugsrichtung, hier die x -Achse.

Durch Anpeilen des Punktes P'' auf der Meßplatte läßt sich aus dem korrespondierenden Höhenwinkel γ und der abgelesenen Strecke S die horizontale Entfernung zwischen Theodolit und Meßplatte bestimmen. Die Höhe z des Punktes P über dem Fußpunkt A des Theodoliten ergibt sich zu

$$\begin{aligned} z &= \overline{AA'} - \overline{PP''} + \overline{P'P''} \\ &= \overline{AA'} - \overline{PP''} + L \tan \gamma \end{aligned}$$

Man vergesse deshalb nicht, die jeweilige Höhe des Theodoliten zu messen!

2.2 Vermessung von Ringpolygonen

Ringpolygone oder geschlossene Polygone sind Vielecke, bei denen Anfangs- und Endpunkt identisch sind. An jedem Eckpunkt wird der Abstand zu dem jeweils nächsten Punkt mit Hilfe des Verfahrens der

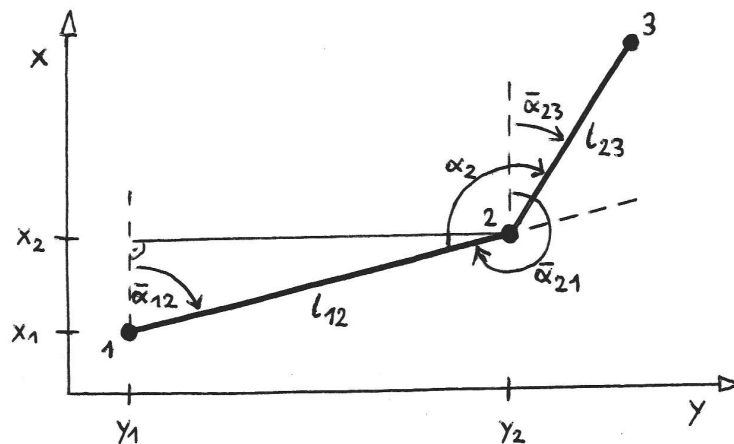


Abbildung 4: Koordinatenübertragung. Bekannt: x_1, y_1, l_{12} und $\bar{\alpha}_{12}$, gesucht: x_2, y_2 und $\bar{\alpha}_{21}$.

Distanzfäden bestimmt. Hinzu kommt die Messung des Brechungswinkels¹, also des Winkels, den beide von dem jeweiligen Beobachtungspunkt ausgehenden Polygonseiten öffnen.

Das Polygon hat zunächst kein Anschluß an ein festes Koordinatensystem. Völlig willkürlich kann man den Ausgangspunkt der Polygonmessung als Koordinatenursprung wählen. Eine Koordinatenachse des rechtwinkligen Koordinatensystems wählt man parallel zu einer vom Ausgangspunkt aus vermessenen Polygonseite. Die z -Achse wählt man sinnvollerweise so, daß sie parallel oder antiparallel zur Lotrichtung verläuft. Die verbleibende Achse vervollständigt das rechtshändige Koordinatensystem.

2.2.1 Horizontaler Polygonzug

Der Koordinatenübertrag von einem auf einen anderen Polygonpunkt ist im folgenden beispielhaft für einen horizontalen Polygonzug gezeigt.

Sind die kartesischen Koordinaten des Punktes 1 (x_1, y_1) bekannt (vgl. Abbildung 3), so lassen sich mit dem *horizontalen Abstand* zum nächsten Punkt l_{12} und dem *Richtungswinkel* $\bar{\alpha}_{12}$ die kartesischen Koordinaten des Punktes 2 (x_2, y_2) berechnen. Nach Abbildung 4 gilt:

$$\sin \bar{\alpha}_{12} = \frac{y_2 - y_1}{l_{12}} \quad \text{und} \quad \cos \bar{\alpha}_{12} = \frac{x_2 - x_1}{l_{12}}$$

Daraus folgt:

$$y_2 = y_1 + l_{12} \sin \bar{\alpha}_{12} \quad (1)$$

$$x_2 = x_1 + l_{12} \cos \bar{\alpha}_{12} \quad (2)$$

Mit dem Winkel

¹Achtung: Alle Winkel werden stets im Uhrzeigersinn gemessen!

$$\bar{\alpha}_{21} = \bar{\alpha}_{12} \pm 180^\circ$$

läßt sich sehr einfach der nächste Richtungswinkel $\bar{\alpha}_{23}$ aus dem Brechungswinkel α_2 bestimmen, denn nach Abbildung 4 gilt:

$$\bar{\alpha}_{23} = \alpha_2 + \bar{\alpha}_{21} - 360^\circ \quad (3)$$

Dieses Verfahren wird nun für jedem weiteren Punkt wiederholt. Berechnet man am Beispiel des Polygons aus Abbildung 3 ausgehend von Punkt 3 die Koordinaten des Punktes 0, so sollte sich bei fehlerfreier Messung und genügend genauer Rechnung wieder $x_0 = 0$ und $y_0 = 0$ ergeben. Dies ist i. a. aber nicht der Fall, da sowohl die Messung der Brechungswinkel als auch die der Abstände fehlerbehaftet ist.

Die Summe der Außenwinkel eines geschlossenen n -eckigen Polygons beträgt $(n + 2)180^\circ$, die der Innenwinkel $(n - 2)180^\circ$. Ist der sogenannte Winkelabschlußfehler f_α mit

$$f_\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i - (n + 2)180^\circ \quad \text{für den Außenwinkel} \quad (4)$$

$$f_\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i - (n - 2)180^\circ \quad \text{für den Innenwinkel} \quad (5)$$

größer als $60''\sqrt{n}$, so ist eine Korrektur der Brechungswinkel erforderlich. Dazu wird von jedem Brechungswinkel der Korrekturterm

$$k_\alpha = \frac{f_\alpha}{n}$$

subtrahiert.

Mit den korrigierten Brechungswinkeln und den gemessenen horizontalen Abständen wird der Polygonzug erneut durchgerechnet.

Aus den gemessenen Längen $l_{i,i+1}$ und den Richtungswinkeln $\bar{\alpha}_{i,i+1}$ lassen sich die Ordinaten- und Abzissenunterschiede der jeweiligen Polygonseiten bestimmen:

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i = l_{i,i+1} \sin \bar{\alpha}_{i,i+1} \quad (6)$$

$$\Delta x_i = x_{i+1} - x_i = l_{i,i+1} \cos \bar{\alpha}_{i,i+1} \quad (7)$$

Für einen geschlossenen Polygonzug muß nun gelten:

$$\sum_{i=1}^n \Delta y_i = 0 \quad \text{und} \quad \sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0$$

Dabei müssen die Δy_i und die Δx_i vorzeichenrichtig addiert werden. Auch diese Gleichungen müssen mit einem Fehlerglied erweitert werden, um realen Messung Rechnung zu tragen:

$$\sum_{i=1}^n \Delta y_i = f_y \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = f_x \quad (9)$$

f_y und f_x heißen Koordinatenabschlußfehler. Nun müssen die Ordinaten- und Abzissenunterschiede der Polygonseiten Δy_i und Δx_i proportional zu der zugehörigen Seitenlänge $l_{i,i+1}$ korrigiert werden, indem man von ihnen die Korrekturterme

$$k_{y,i} = f_y \frac{l_{i,i+1}}{\sum l_{i,i+1}} \quad (10)$$

$$k_{x,i} = f_x \frac{l_{i,i+1}}{\sum l_{i,i+1}} \quad (11)$$

subtrahiert. Dabei sollte für den linearen Abschlußfehler oder Streckenabschlußfehler gelten:

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} < 10^{-3} \sum l_{i,i+1}$$

Bei einer Gesamtlänge des Polygons von 1000 Metern entspräche dies einem maximalen Streckenabschlußfehler von 1 Meter.

Mit den korrigierten Brechungswinkeln und den wie eben korrigierten Ordinaten- und Abzissenunterschieden ist der Polygonzug ein weiteres Mal durchzurechnen.

2.2.2 Vertikaler Polygonzug

Die im vorhergehenden Kapitel dargelegten Zusammenhänge gelten analog auch für vertikale Polygonzüge. Für den Höhenwinkelabschlußfehler gilt:

$$f_\gamma = \sum_{i=1}^n \gamma_i \pm (n+2)180^\circ \quad (12)$$

und für die fehlerbehaftete Höhenkoordinate z gilt:

$$\sum_{i=1}^n \Delta z_i = f_z \quad (13)$$

2.3 Radiale Vermessung einer Gravimeter-Profillinie

Für die Messungen mit dem Gravimeter im zweiten Versuchsabschnitt werden die exakten Positionen der benutzten Geländepunkte benötigt (warum?). Die zu vermessende Profillinie könnte natürlich mittels des oben beschriebenen Polygonverfahrens ausgemessen werden, was jedoch bei einer großen Punktzahl

einen erheblichen Aufwand darstellt. Schneller durchzuführen ist eine Radialmessung. Dabei bleibt der Theodolit während der kompletten Messung an einem Ort stehen. Die Meßplatte wird entlang der Profillinie an den gewünschten Meßpunkten positioniert und vom fixen Theodolitenstandort aus angepeilt. In der Auswertung soll auch das Höhenprofil, also die Höhe der Meßpunkte in Abhängigkeit von der Position auf der Profillinie, geplottet werden. Hierzu muß eine Referenzhöhe Null vorgegeben werden.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Aufbau des Theodoliten

1. Das Stativ so aufstellen, daß die obige Platte zur Aufnahme des Theodoliten etwa in Brusthöhe und grob parallel zur Horizontebene ist, und die Beine des Stativs leicht in den Boden eindrücken, um einen festen Stand zu gewährleisten. Anschließend den Theodoliten montieren, und Höhenklemme (1) und Horizontalklemme (14) lösen, so daß der Theodolit um beide Achsen beweglich ist. Die Höhenkreislibelle parallel zur Verbindungslinie zweier Fußschrauben (2) stellen, und Theodolit zunächst mit der Dosenlibelle (15) und den drei Fußschrauben horizontieren.
2. Die Höhenkreislibelle mit der Libellenschraube (3) einspielen, anschließend den Theodoliten-Oberbau um 180° drehen und die Höhenkreislibelle **jeweils zur Hälfte** mit der Libellenschraube und den beiden „parallelen“ Fußschrauben einspielen. Theodoliten wieder um 180° drehen und wieder die Höhenkreislibelle wie oben mit Libellen- und Fußschrauben einspielen. Dies solange wiederholen, bis Libelle bei weiteren Drehungen eingespielt bleibt.
3. Theodoliten-Oberbau nun um 90° drehen und Höhenkreislibelle **nur** mit verbleibender Fußschraube einspielen. **WICHTIG:** Die Horizontierung ist unmittelbar vor jeder Messung zu kontrollieren!
4. Sind beide Klemmen (1) und (14) gelöst, kann das Fernrohr (11) mit Kimme und Korn in Lage I grob auf die Meßplatte gerichtet werden. Erscheint diese im Gesichtsfeld (ggf. Schärfe kontrollieren), können beide Klemmen angezogen werden. Das genaue Anpeilen eines Punktes erfolgt nun mit den Feintrieben (12) und (13). Den Umschaltknopf (4), der ein Prisma in verschiedene, definierte Lagen bringt, stellt man dazu so ein, daß der Horizontalkreis im entsprechenden Okular (5) erscheint.

3.2 Ablesen der Teilkreise

1. **WICHTIG:** Die Horizontierung ist unmittelbar vor jeder Messung zu kontrollieren!
2. Am Horizontalkreis sind die oberen und unteren Strichmarken durch Drehen der Mikrometertrommel (16) zur Koinzidenz zu bringen.
3. Der Horizontalkreis wird abgelesen, indem man die Strichmarken zwischen der am weitesten links stehenden Zahl a_0 und der auf dem Kopf stehenden Zahl $a_0 + 180^\circ$ abzählt. Die Ablesung in Grad ist dann gegeben durch a_0 plus der Zahl der abgezählten Marken. Die zugehörigen Minuten werden an der Mikrometertrommel abgelesen.
4. Der Höhenkreis liefert den Zenitwinkel, der im Mikroskop (10) abgelesen wird. Zur Ablesung betrachtet man von links beginnend die letzte vor der Mitte aufrechtstehende Zahl. Sie gibt den Zenitwinkel in Grad an. Die gleiche Zahl findet man auf dem Kopf stehend in der unteren Skala. Zählt man nun die Intervalle auf der oberen Skala zwischen den beiden gleichen Zahlen, multipliziert sie mit 10, ergibt sich zugehörige Zahl der Minuten. Hierbei liegt die Ablesegenauigkeit sicherlich bei einem Viertel Intervall, also $3'$.

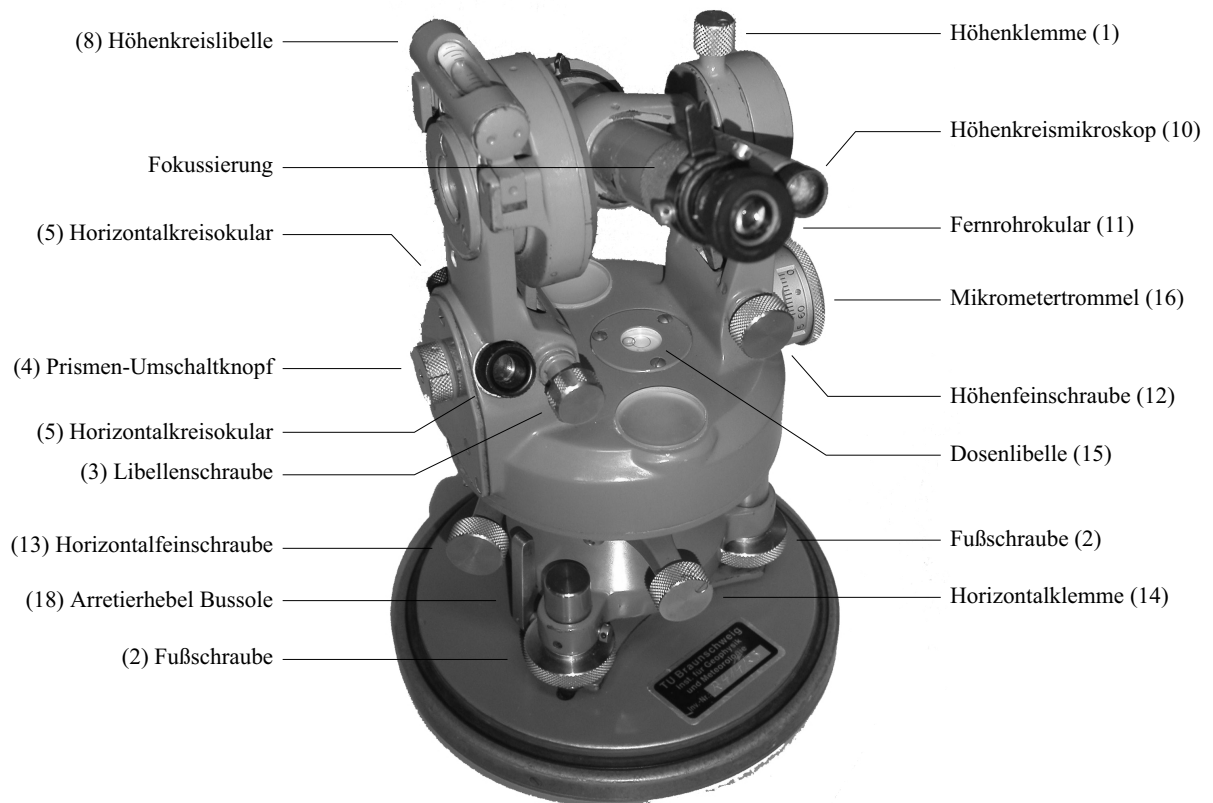


Abbildung 5: Theodolit.

5. Für das Fernrohr existieren zwei Lagen, die durch die Ziffern I und II an der Fernrohrstütze gekennzeichnet sind. Ist A_I der Zenitwinkel in Lage I und A_{II} der in Lage II, so ergibt sich der Höhenwinkel γ durch:

$$\text{Lage I: } \gamma = 90^\circ - A_I$$

$$\text{Lage II: } \gamma = A_{II} - 90^\circ .$$

Es ist in jedem Falle empfehlenswert, sich die Fernrohrlagen für jede Messung zu notieren. Damit kann man sich spätere Mißverständnisse ersparen.

6. Auf der Meßplatte ist die Strecke zwischen dem gewählten Paar von Distanzfäden abzulesen (inneres: $k = 100$, äußeres: $k = 50$! notieren!).

4 Hinweise zu den GPS-Messungen

Im Anhang dieser Anleitung befinden sich eine Kurzanleitung zur Funktionsweise und Bedienung des GPS-Empfängers GARMNIN GPSMAP 76S und eine kurze Einführung in die physikalischen Prinzipien des GPS.

Während des Versuchs soll der komplette Streckenzug aufgenommen werden und die Meßpunkte der

Theodolitenvermessung als Wegpunkte gespeichert werden. Ferner soll die Höhe mit dem eingebauten Höhenmesser gemessen werden.

Dazu gehe man wie folgt vor:

4.1 Setup

- GPS einschalten mittels der <Taste mit Lampensymbol>. Warten. 2 mal <PAGE> drücken.
- Satelliten-Status-Seite wird angezeigt. Warten bis gültige Position erscheint.
- Setup: Wegpunkte löschen
2mal <MENU> drücken. Auf der MAIN MENU Seite mittels Cursortaste auf POINTS gehen.
<ENTER> drücken.
<Waypoints> <ENTER>
<Menu> <Delete All> <ENTER> <YES> <ENTER>
- Setup: Track einrichten :
2mal <MENU> drücken. Auf der MAIN MENU Seite mittels Cursortaste auf TRACKS gehen.
<ENTER> drücken.
Alten Track löschen mittels <Clear>.
<MENU> drücken. Logfile einrichten mittels <SETUP Track Log>. Parameter mittels
<Cursortasten> und <ENTER> auf Time und 00:00:02 Sekunden stellen. <OK> <ENTER>
drücken.
Von nun an werden alle 2 Sekunden die aktuellen Positionen gespeichert. Sie können später im
Rechner dargestellt werden.
- Hauptmenu
2mal <MENU> drücken. Das MAIN MENU erscheint.
- Setup: Höhenmesser
Vor den Messungen ist der Höhenmesser zu kalibrieren: Die <PAGE> Taste ist sooft zu drücken,
bis die Höhenmesserseite erscheint. Dann gehe man mittels <MENU>, <Calibrate Altimeter> in
den Kalibriermode. Die Höhe ist auf 88 m zu setzen (Using current Elevation).

4.2 Messung

- Nach diesem Setup kann mit den eigentlichen Messungen begonnen werden.
- Mittels <PAGE> kann auf die Kartenseite gewechselt werden. Mit den <Zoom> und den
<Cursor>-Tasten kann dann ein geeigneter Kartenabschnitt angezeigt werden.
- Waypoint speichern
Die Meßpunkte des Theodoliten sollen gespeichert werden. Dies geschieht jeweils durch zweimaliges
Drücken der Man over Board (<MOB>) Taste:
Das Man over Board Menu erscheint, Bestätigung mit <YES>,<ENTER>.

- Wegpunkt umbenennen.
2mal <MENU> drücken. Auf der MAIN MENU Seite mittels Cursortaste auf POINTS gehen. <ENTER> drücken.
<Waypoints> <ENTER>
Mit den <Cursor-Tasten> auf MOB gehen. Dies ist der gerade gespeicherte Punkt. <ENTER> drücken.
Im WAYPOINT Menu mittels <Cursor-Tasten> auf MOB in der obersten Zeile gehen. <ENTER> drücken und mit den Cursortasten einen neuen Namen wählen. Vorzugsweise P1B ... PnB. <ENTER> drücken. Mit <OK> bestätigen. Mit den <PAGE> Tasten wieder auf die Kartendarstellung wechseln.
- GPS-Daten manuell aufschreiben
Zur späteren manuellen Auswertung sollen die relevanten Daten aufgeschrieben werden. Die GPS-Position, GPS-Höhe und der aktuelle Fehler stehen auf der Satelliten-Status-Seite zur Verfügung, die über die <PAGE>-Taste erreichbar ist.
- Barometrische Höhenmessung
An jedem Messpunkt ist die barometrische Höhe zu notieren, die als ELEVATION auf der Barometer-Seite angezeigt wird.

4.3 Darstellung mit PC (optional)

- GPS mit Serieller Schnittstelle verbinden. GPS einschalten
- FUGAWI3 Software starten.
- Karte laden:
<Datei>, <Öffnen>, <Geogrid Karte>, <Top. Karte 1:50000, Niedersachsen>, <OK>.
- Daten laden:
<Funktionen>, <Auswahl>: AUSWAHL/ELEMENTE Fenster erscheint.
Trackverwaltung öffnen (5. Button in diesem Fenster), Wegaufzeichnungsfenster öffnet sich.
GPS Daten laden (GPS Button, 5. Button in diesem Fenster): Der Track wird geladen und erscheint als ACTIVE LOG im Fenster. Mit dem Mauszeiger auf ACTIVE LOG gehen, linke Maustaste gedrückt halten und ACTIVE LOG in das AUSWAHL/ELEMENTE Fenster ziehen.
Wegpunktverwaltung öffnen (3. Button im AUSWAHL/ELEMENTE Fenster), Wegpunktfenster öffnet sich.
GPS Daten laden (GPS Button, 5. Button in diesem Fenster): Die gespeicherten Theodolitenpunkte werden geladen. Mit der Maus in die Liste springen, rechte Maustaste drücken und auf <Alles Markieren> klicken. Mit dem Mauszeiger auf die markierte Liste gehen, linke Maustaste gedrückt halten und Liste in das AUSWAHL/ELEMENTE Fenster ziehen.
Wegpunktfenster schließen.
AUSWAHL/ELEMENTE Fenster schließen.
- Messung darstellen.
Im <Ansicht> Menu auf <Auswahl zoomen> gehen. Der Kartenausschnitt wechselt auf eine Ansicht von Braunschweig und sowohl der Track als auch alle Wegpunkte werden angezeigt.

Zoomen: Oben links auf den Pfeil neben dem Lupensymbol klicken. <Vergrößern> aktivieren. Ein Rechteck um das Meßgelände aufziehen.

- Karte drucken.

Auswahl des Druckbereichs: Oben links auf den Pfeil neben dem Lupensymbol klicken. <Auswahl> aktivieren. Ein Rechteck um das Meßgelände aufziehen.

<Datei>,<Druckeinstellungen>: Ps6 und Hochformat wählen.

<Datei>,<Drucken>: Maßstab 1:2000 wählen, Kartendetail 100%, Wegpunktskalierung 0.1 wählen. Drucken.

5 Aufgaben

5.1 Geschlossener Polygonzug

1. Vermessung eines geschlossenen Polygonzugs mit dem Theodoliten:
 - Bestimmung der Horizontal- und Höhenwinkel,
 - Anwendung des Verfahrens der Distanzfäden zur Entfernungbestimmung.
2. Bestimmung der Position mit Hilfe von GPS
 - Die Position jedes Eckpunktes des obigen Streckenzuges ist mit dem GPS-Empfänger zu ermitteln.
 - Die Positionen sind als Wegpunkte im Empfänger in fortlaufender Reihenfolge zu speichern.
3. Zeichnen des gemessenen, unkorrigierten Polygonzugs in der Ebene im Maßstab 1:1000 und des Höhenprofils $z(L)$.
4. Bestimmung des Winkelabschlußfehlers f_α und des Höhenwinkelabschlußfehlers f_γ .
5. Zeichnen der korrigierten Theodoliten-Polygone.
6. Errechnung der Koordinaten und Koordinatenabschlußfehler
7. Eintragung der mit k_x , k_y und k_z korrigierten Koordinaten in die unkorrigierte Fassung der Polygonzüge
8. Zeichnen des GPS-Horizontalpolygonzuges.
9. Diskussion der Ergebnisse und Fehlerbetrachtung

5.2 Geodätische Vermessung der Gravimeterprofilinie

1. Von einem festen Theodolitenstandort aus sind die Meßpunkte für die Gravimetermessungen anzupeilen. Bestimmung der Horizontal- und Höhenwinkel.
2. Ermittlung der Profilabschnittslängen.
3. Zeichnen des Höhenprofils.
4. Diskussion des Ergebnisses.

6 Tips zur Auswertung der GPS-Ergebnisse

- Die Karte ist im Maßstab 1 : 1000 anzufertigen (1 cm $\hat{=}$ 10 m).
- Beim Erstellen der Karte beachte man die Breitenkorrektur:

$$\begin{aligned} x_{\text{Karte}} &= x_{\text{gemessen}} \cdot \text{Maßstab} \cdot \cos(\text{Lat}_{\text{ref}}) \\ y_{\text{Karte}} &= y_{\text{gemessen}} \cdot \text{Maßstab} \end{aligned}$$

Warum muß man dies beachten ?

- $(1')_{\text{Äquator}} = 1 \text{ NM} = 1.852 \text{ km}$

7 Anhang

7.1 Ablesebeispiele

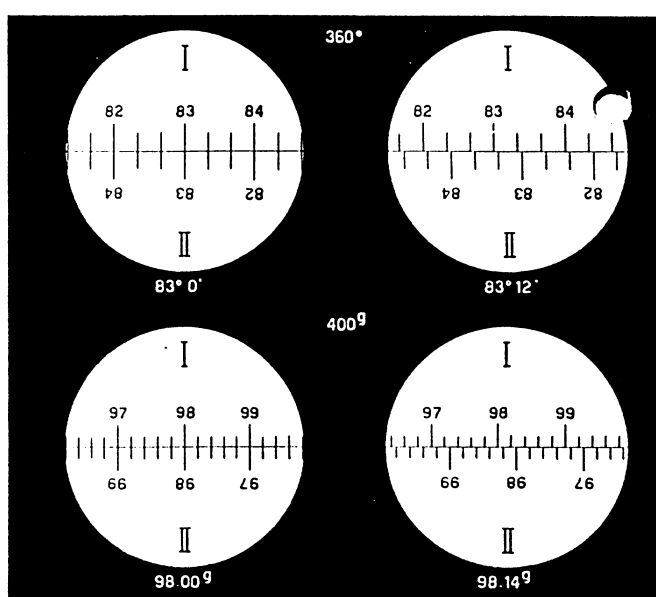
Der Höhenkreis

Der Höhenkreis wird im Mikroskop neben dem Fernrohrökular abgelesen. Man erblickt ein Doppelbild, entsprechend zwei diametralen Ablesestellen des Kreises.

Zur Vermeidung von Vorzeichenfehlern werden nicht mehr Höhenwinkel, sondern Zenitdistanzen in Fernrohrlage I und Nadirdistanzen in Lage II abgelesen.

In der oberen Hälfte des Kreisbildes sind die Zahlen aufrecht, in der unteren seit- und höhenverkehrt. Man verfolgt die aufrechten Zahlen von links nach rechts bis zur letzten Zahl vor der Bildmitte (oder im

Die nebenstehenden Figuren zeigen vier Ablesebeispiele je zwei für 360° und 400g Teilung

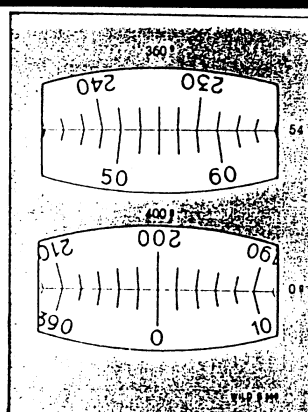


äußersten Fall bis zur Bildmitte) und zählt von diesem Gradstrich nach rechts die einzelnen Intervalle und die Zehntel des angebrochenen letzten Intervalls bis zur gleichen, aber auf dem Kopf stehenden Zahl. Jedem Intervall gibt man die Hälfte seines wirklichen Wertes, also 10 Minuten, einem Zehntelintervall somit eine Minute.

Die Fernrohrlage I oder II ist oben im Gesichtsfeld über den aufrechten Zahlen angegeben. Sind A I und A II die Kreisablesungen in Fernrohrlage I und II, so erhält man den Höhenwinkel B auf folgende Weise:

Lage I $B = 90^\circ - A I$ bzw. $B = 100g - A I$
 Lage II $B = A II - 90^\circ$ bzw. $B = A II - 100g$

Abgelesen werden nur positive Zahlen; das Vorzeichen des Höhenwinkels geht aus der Rechnung hervor.



Der Bussolenkreis

Ablesung der ganzen Grade, nach Koinzidenzeinstellung mit dem optischen Mikrometer im Bussolenkreis-Okular, der einzelnen Minuten an der Mikrometertrommel.

Abbildung 6: Ablesebeispiele für Vertikalkreis (oben) und Horizontalkreis (unten).

7.2 Literatur

Literatur

- [Deumlich] Deumlich, F.
Instrumentenkunde der Vermessungstechnik,
5. Auflage, Berlin 1972.
- [Fischer] *Fischer Lexikon Technik I*,
Fischer Verlag, Band 30, Frankfurt/Main, 1962.
- [Großmann] Großmann, W.
Vermessungskunde I-III,
14., 11. und 10. Auflage, Sammlung Göschen, Bände 4468, 4469 und 6062, Berlin 1972,
1971 und 1973.
- [Zill] Zill, W.
Vermessungskunde für Bauingenieure,
6. Auflage, Leipzig 1971.
- [Schänzer] Schänzer, Prof. Dr.-Ing., Gunther,
Vierundzwanzig fixe Sterne, Das Global Positioning System,
ELRAD 4/94, S. 28 ff.