

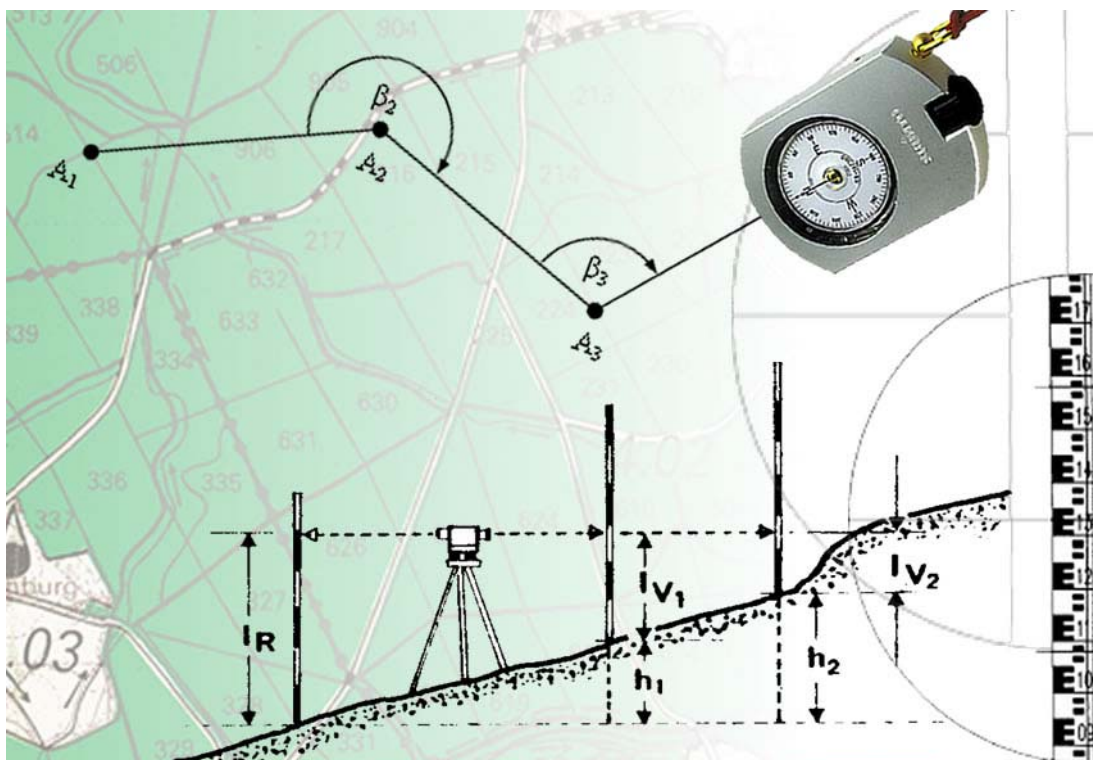


Skriptum zur Vorlesung

Einführung in die Vermessungslehre

für Studierende der Forstwissenschaften

Prof. Dr. Christoph Kleinn



Sommersemester 2009

Vorwort

Das vorliegende Vorlesungsskript baut in einigen Teilen auf einem Vermessungsskript auf, das vom Autor an der Abteilung für Forstliche Biometrie der Universität Freiburg geschrieben worden war.

Abbildungen entstammen teilweise der im Anhang aufgeführten Literatur.

Frau Sonja Rüdiger, und Herr Dr. Lutz Fehrmann und Herr Tim Exner haben bei der Erstellung des Skriptes entscheidend mitgewirkt – ihnen beiden herzlichen Dank!

Hinweise zur Verbesserung des Skriptes (Fehler, Ergänzungen, ...) sind jederzeit willkommen.

Prof. Dr. Christoph Kleinn

April 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Grundlagen.....	3
1.1	Einleitung.....	3
1.2	Bezugsflächen.....	3
1.3	Maßeinheiten	4
1.4	Winkel	7
2	Kartographie.....	8
2.1	Gegenstand	8
2.2	Die Form des Erdkörpers	9
2.2.1	Kartenmaßstab	10
2.2.2	Karteninhalt	11
2.2.3	Amtliches Kartenwerk in Deutschland.....	11
2.2.4	Karten im Forst.....	12
2.3	Zur Darstellung der Erdoberfläche in Karten.....	14
2.3.1	Kartenprojektionen	14
2.3.1.1	<i>Abbildungsverzerrung</i>	<i>14</i>
2.3.1.2	<i>Abbildungsverfahren</i>	<i>15</i>
2.3.2	Koordinatensysteme	17
2.3.2.1	<i>Geografische Koordinaten</i>	<i>17</i>
2.3.2.2	<i>Geodätische Koordinaten.....</i>	<i>18</i>
2.3.3	Zur Nordrichtung in geodätischen Abbildungen.....	22
2.4	Geo-Informationssysteme	24
3	Geraden und Rechtwinkel.....	26
3.1	Kennzeichnung von Geländepunkten.....	26
3.2	Abstecken von Geraden.....	27
3.2.1	In übersichtlichem Gelände	27
3.2.2	In unübersichtlichem Gelände (mit Hindernissen).....	28
3.2.3	Umgehen von Messhindernissen	28
3.3	Absetzen rechter Winkel	30
3.3.1	Kreuzscheibe (Diopterinstrument)	31
4	Längenmessung – Entfernungsmessung	36
4.1	Direkte Entfernungsmessung	36
4.1.1	Messlatten.....	36
4.1.2	Maßbänder	37
4.1.3	Sonstige Hilfsmittel zur direkten Entfernungsmessung	37
4.2	Indirekte Entfernungsmessung	38
4.2.1	Optische Entfernungsmessung	38
4.2.1.1	<i>Basislattenmessung.....</i>	<i>39</i>
4.2.1.2	<i>Keildistanzmessung</i>	<i>39</i>
4.2.1.3	<i>Reichenbach'scher Entfernungsmesser.....</i>	<i>40</i>
4.2.1.4	<i>Schräge Entfernung</i>	<i>41</i>
4.2.1.5	<i>Fehler bei der optischen Entfernungsmessung.....</i>	<i>43</i>

4.2.2	Elektronische Entfernungsmessung.....	43
5	Höhenmessung.....	45
5.1	Höhenmessung mit Tachymeter.....	45
5.2	Prinzip des Nivellment.....	46
5.3	Nievelliergeräte.....	46
5.4	Einfache Nivelliergeräte.....	47
5.5	Nivelliere mit Libellenhorizontierung.....	48
5.6	Automatische Nivelliere.....	48
5.7	Nivellierverfahren.....	49
5.7.1	Festpunktnivellements.....	49
5.7.2	Längs – und Querprofile.....	50
5.7.3	Flächennivellements.....	51
6	Polygonzüge.....	52
6.1	Allgemeines zu Polygonzügen.....	52
6.2	Koordinatenrechnung.....	53
6.2.1	Richtungswinkel und Brechungswinkel.....	53
6.2.2	Entfernung und Richtung aus rechtwinkligen Koordinaten.....	54
6.2.3	Rechtwinklige Koordinaten aus Strecke und Richtungswinkel.....	55
6.3	Aufnahme von Polygonzügen.....	55
6.4	Polygonierung und Berichtigung der Messdaten.....	59
7	Flächenberechnung.....	61
7.1	Flächenberechnung aus örtlich gemessenen Daten.....	62
8	Stückvermessung.....	65
8.1	Einige Grundsätze zum Führen eines Feldbuches.....	66
8.2	Rechtwinkelfverfahren.....	67
8.3	Einbindeverfahren.....	67
8.4	Kombiniertes Verfahren.....	68
8.5	Polarverfahren.....	68
9	Landesvermessung.....	69
9.1	Landesdreiecksnetz.....	69
9.2	Landeshöhennetz.....	71
10	Grundlagen der Satellitennavigation.....	71
10.1	Zur Entfernungsmessung.....	73
10.2	Zur Genauigkeit von Positionsbestimmungen mit GPS.....	74
10.2.1	Berechnung von Genauigkeitswerten: Geometric Dilution of Precision (GDOP) 75	
10.3	DGPS (Differentielles GPS) zur Steigerung der Genauigkeit.....	75
10.4	GPS Grundaufgaben und forstliche Einsatzmöglichkeiten.....	77
10.5	Weitere Satellitennavigationssysteme.....	78
	Literaturhinweise.....	80

1 Einleitung und Grundlagen

1.1 Einleitung

Die Vermessungskunde befasst sich mit der Messung, Zeichnung und Berechnung der Erdoberfläche. Nach der Größe der aufgenommenen Gebiete unterscheidet man die Erdmessung, die Landesvermessung (beides wird als höhere Geodäsie bezeichnet) und die Land- und Feldvermessung (niedere Geodäsie). Die Erdmessung befasst sich mit der Bestimmung von Gestalt und Dimensionen der Erde, unter Landesvermessung versteht man die Vermessung und Abbildung in der Größenordnung ganzer Länder bzw. Staatsgebiete, und die Feldmessung umfasst sämtliche Vermessungsaufgaben kleineren Umfangs. Der Begriff Geodäsie wird gleichbedeutend mit Vermessungswesen verwendet.

Die Vermessungskunde baut auf Erkenntnissen aus den Fachgebieten Physik (v.a. Astronomie und Geophysik), Mathematik und Geographie auf. Wichtigste Aufgabe der Vermessung ist die Erstellung und Aktualisierung von Kartenwerken.

In der Forstwirtschaft dient die Vermessung hauptsächlich der Anfertigung von Spezialkarten und der Korrektur und Aktualisierung des bestehenden Kartenwerkes (das Grundkartenwerk ist in unseren Breiten praktisch vollständig). Ein Teil dieser Aufgaben wird am Luftbild durchgeführt; das vorliegende Skriptum beschränkt sich jedoch auf terrestrische Vermessungsaufgaben.

Feldmessungen sind in der Forstwirtschaft im Wegebau und bei der Planung sonstiger forstlicher Anlagen im Wald von Bedeutung. Die grundlegenden Messprinzipien sind auch für Anwendungen in Waldmesslehre und Waldinventur wichtig.

1.2 Bezugsflächen

Um einen Punkt der Erdoberfläche nach Lage und Höhe eindeutig festlegen und bestimmen zu können, muss zunächst eine Fläche definiert werden, auf die sich diese Werte beziehen sollen. Bezugsfläche für Erdmessungen ist das Geoid; das ist eine Körper, der durch die Meeresoberfläche, die man sich durch die Kontinente fortgesetzt denkt, begrenzt wird. Das Geoid ist relativ unregelmäßig und nicht hundertprozentig fassbar. Gute Annäherungen werden durch Rotationsellipsoide erreicht, da die Erde die Form einer an den Polen abgeplatteten Kugel hat. Es existieren verschieden Ansätze und Modelle (Internationales Ellipsoid, BESSEL'sches Ellipsoid etc. (1)).

Für Erdausschnitte einer Ausdehnung bis zu 1 000 km ist die Annäherung durch die Kugelform mit Radius $R = 6\,370$ km ausreichend. Für Ausschnitte mit einer Fläche bis zu 50 km^2 kann als Bezugsfläche eine Ebene gewählt werden (also in der niederen Geodäsie).

1.3 Maßeinheiten

Die Maßeinheiten wurden 1960 durch das Système International d'Unités (SI) auf internationaler Ebene vereinheitlicht. Mit dem „Gesetz über die Einheiten im Messwesen“ vom 2.7.1969 ist dieses System auch in der Bundesrepublik Deutschland verbindlich.

Längen und Flächen

SI-Einheit für die Längen- und Flächenmessung ist der Meter. Nach der zur Zeit gültigen Definition entspricht 1 Meter der Strecke, die Licht im Vakuum in einer Zeit von $1/299.792.458$ sec. zurücklegt. Angaben aus nichtmetrischen Systemen müssen entsprechend umgerechnet werden.

Winkelmessung

Es wurden Sexagesimalteilung und Zentesimalteilung ins SI übernommen.

Die Sexagesimalteilung weist enge Beziehungen zur Astronomie und dem geographischen Gradnetz der Erde auf und findet vor allem auf diesen Gebieten Anwendung.

Vollkreis	=	360°	(Grad)
1°	=	60'	(Minuten)
1'	=	60"	(Sekunden)

In der Vermessung wird standardmäßig die Zentesimalteilung verwendet. Sie ist wegen ihrer engen Beziehung zum Dezimalsystem anschaulicher (der rechte Winkel ist in 100 gon unterteilt). Die Winkelwerte werden – anderen Maßeinheiten entsprechend – mit Nachkommastellen angegeben.

Vollkreis	=	400 gon	
1 gon	=	100 cgon (Centigon);	1 cgon = 0,01 gon
1 cgon	=	100 mgon (Milligon);	1 mgon = 0,0001 gon

Der Unterschied zwischen zwei Richtungen kann – außer über die Angabe des Schnittwinkels – auch über die Länge des zu dem entsprechenden Winkel gehörigen Kreisbogens bestimmt werden (Bogenmaß). Einheit dieser Kreisteilung ist das Radiant (rad). Im Einheitskreis mit dem Radius $r = 1$ schneidet der zum Radianten gehörige Winkel einen Ausschnitt der Länge 1 aus dem Kreisbogen (arcus):

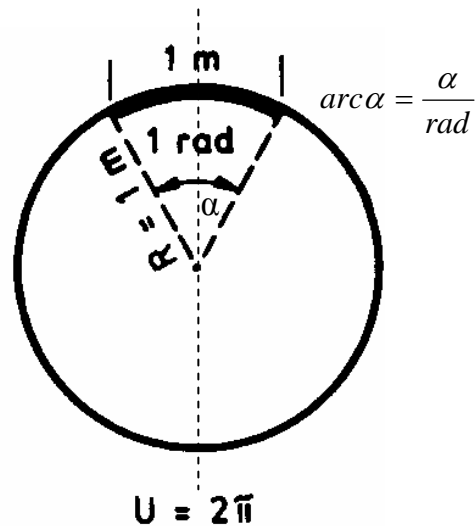


Abbildung 1.1: Bogenmaß

Es ist $1 \text{ rad} = \frac{400 \text{ gon}}{2\pi}$; der zugehörige Winkel ist $63,6620 \text{ gon}$

$1 \text{ rad} = \frac{360 \text{ grad}}{2\pi}$; zugehöriger Winkel ist $57^{\circ}17'45''$

Daraus ergeben sich auch die Umrechnungsformeln:

$$\text{Gon} \quad \rightarrow \quad \text{Bogenmaß} \quad \text{arc} \quad = \quad \frac{\pi}{200} \times \alpha$$

$$\text{Bogenmaß} \quad \rightarrow \quad \text{Gon} \quad = \quad \frac{\pi}{200} \times \text{arc}$$

Der Quotient $\frac{\pi}{200 \text{ gon}}$ (bzw. $\frac{\pi}{180^{\circ}}$) wird in der Geodäsie häufig verwendet. Er wird mit dem griechischen Buchstaben ρ (rho) gekennzeichnet.

Das Bogenmaß ist der Quotient zweier Längen. Es kann als abgeleitete Größe gelten und wurde deshalb nicht ins SI übernommen.

Eine weitere Winkelteilung, die v.a. für Navigationszwecke von Bedeutung ist, ist die Strichteilung. Der Vollkreis wird in $6\,400''$ (Striche) gleichmäßig aufgeteilt nach der Näherung:

$$1\,000'' \times 2\pi = 6\,283'' \approx 6\,400''.$$

Für kleinere Winkel gilt als grobe Näherung folgende Beziehung:

Strichzahl = Tangens des zugehörigen Winkels $\times 1\,000$.

Beispiel: 1 gon entspricht $16''$
 $\tan 1\text{ gon} = 0,0157 \approx 15,7''$.

In der Bautechnik werden Höhenunterschiede in der Regel in Prozent angegeben (Neigungsprozent). Dabei wird die Höhendifferenz h auf die Längendifferenz e bezogen (z.B. bei der Angabe von Steigung und Gefälle von Straßen).

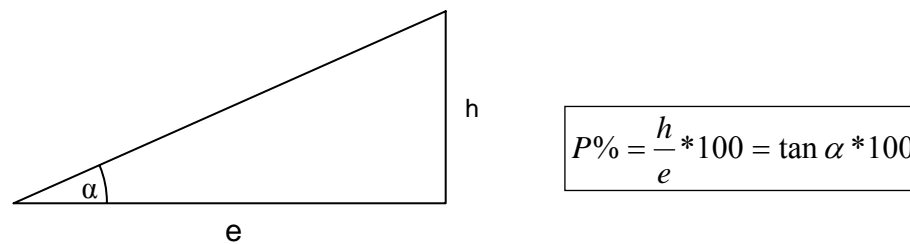


Abbildung 1.2: Neigungsprozent

Zur Umrechnung der verschiedenen Winkelmaße:

$$\begin{aligned} 1'' &= 3,38' &= 0,0625\text{ gon} \\ 1\text{ gon} &= 16'' &= 0,54' \\ 1^\circ &= 17,78'' &= 1,11\text{ gon} \end{aligned}$$

Bogenmaß s.o.

1.4 Winkel

Für die Vermessung sind Höhen-, Richtungs- und Brechungswinkel wichtig; sie sollen im Folgenden definiert werden:

Höhenwinkel: Winkel der die Steigung einer Strecke angibt (**Abbildung 1.3**)

Richtungswinkel: Winkel, den eine Strecke mit einer festen vorgegebenen Richtung bildet (in der Geodäsie i.a. eine Nordrichtung)(Abbildung 1.4).

Brechungswinkel: Der Winkel, den zwei Strecken miteinander bilden (Abbildung 1.5).

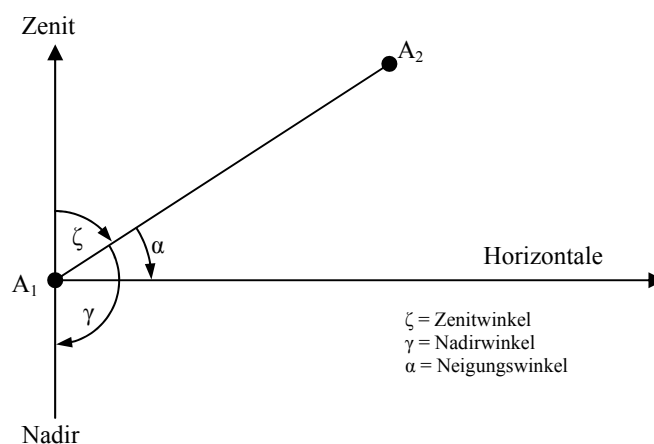


Abbildung 1.3: Höhenwinkel

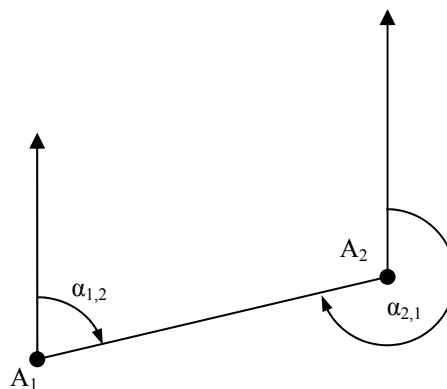


Abbildung 1.4: Richtungswinkel (z.B. zu Gitter-Nord, oder „Streichwinkel“ wenn er zu magnetisch Nord gemessen wird).

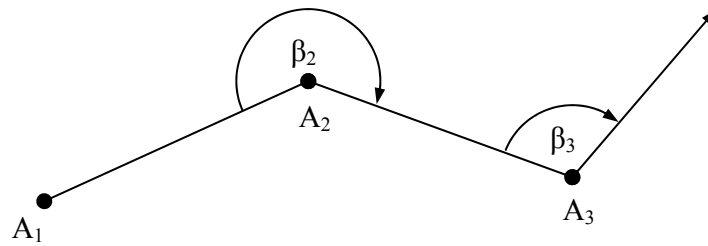


Abbildung 1.5: Brechungswinkel

Sämtliche Winkel werden im Urzeigersinn gemessen; Richtungswinkel ausgehend von der Nordrichtung, Brechungswinkel vom zurückliegenden zum vorwärtsliegenden Punkt.

2 Kartographie

Definition:

Kartographie ...

... ist ein Fachgebiet, das sich befasst mit dem Sammeln, Verarbeiten, Speichern und Auswerten raumbezogener Informationen sowie in besonderer Weise mit deren Veranschaulichung durch kartographische Darstellungen.

In der Kartografie gibt es in den vergangenen Jahren eine rasante Entwicklungen durch GIS (Geo Informations Systeme) und digitale Kartographie.

2.1 Gegenstand

Aufgabe der Kartographie ist die Erdabbildung. Die Geodäsie dagegen befasst sich mit den vorbereitenden Aufgaben der Erd-, Land- und Feldmessung.

Karten sind maßstäblich verkleinerte Grundrissdarstellungen von Teilen der Erdoberfläche, d.h. der dreidimensionale Raum der Erdoberfläche wird in der Ebene (zweidimensional) zur Darstellung gebracht. Karten haben beschreibende Funktionen und dienen Orientierungs- und Planungszwecken, stellen also in vielen Bereichen ein wichtiges Hilfsmittel dar.

Topographische Karten sind das Resultat von Geländemessungen und sollen ein getreues Abbild der natürlichen Verhältnisse sein. Thematische Karten sind keine Naturabbilder; sie sollen

Verhältnisse, die nicht direkt aus dem natürlichen Landschaftsbild ersichtlich sind, sichtbar machen (z.B. Verkehrskarten, Wirtschaftskarten ect.).

Die Forderung nach Übersichtlichkeit zwingt zur Beschränkung auf die Darstellung nur bestimmter Geländeeigenschaften (topographische, geologische, biologische Erscheinungen ...).

2.2 Die Form des Erdkörpers

Die Erde lässt sich nicht vollständig durch ein Rotationsellipsoid darstellen, da ihre Oberfläche Unregelmäßigkeiten aufweist. Die wirkliche Form ist physikalisch bestimmt durch die ruhend gedachte Meeresoberfläche, die man sich auch unter den Kontinenten fortgesetzt denken kann. Die so definierte Niveaulfläche (die in allen Punkten senkrecht von der Lotrichtung geschnitten wird) wird als „Geoid“ bezeichnet.

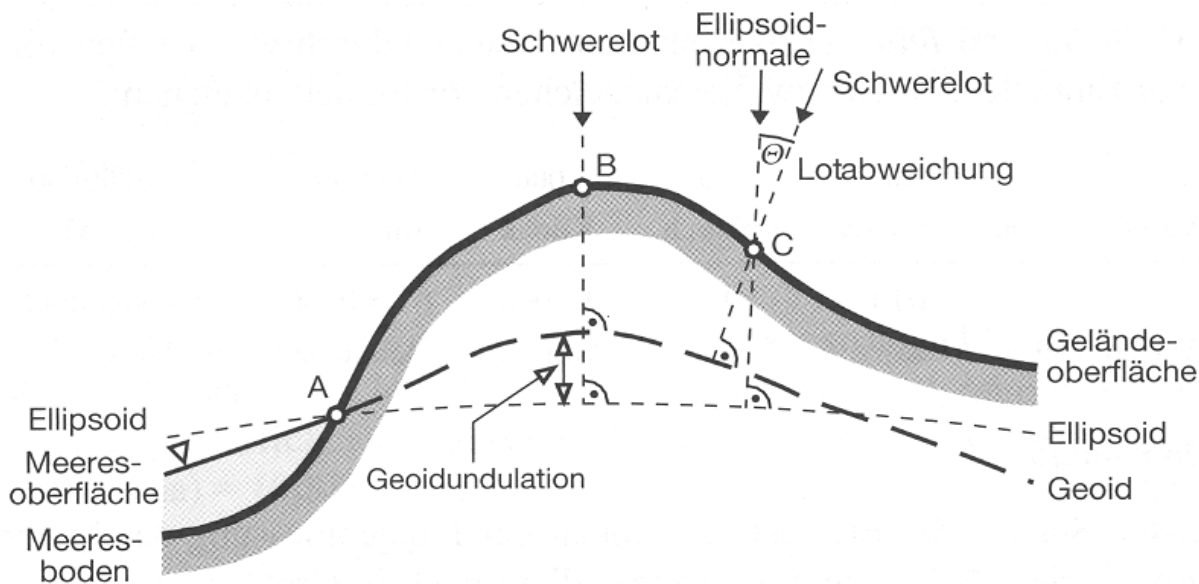
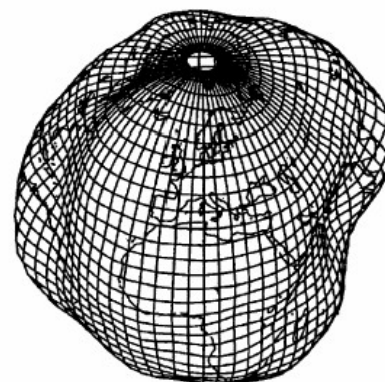


Abbildung 2.1: Geoid

2.2.1 Kartenmaßstab

Karten bilden Ausschnitte der Erdoberfläche verkleinert ab. Das Verkleinerungsverhältnis ist der Kartenmaßstab:

$$1 : M = \text{Strecke auf der Karte} : \text{Entsprechende Strecke in der Natur} \\ = K : N$$

Strecken auf Karten verschiedener Maßstäbe verhalten sich wie

$$K_1 : K_2 = M_2 : M_1$$

d.h. sie verhalten sich Maßstabszahlen umgekehrt proportional.

Liegt eine Karte ohne Maßstabsangabe vor, so kann noch oben genannten Formeln aus Messungen in der Natur oder Messungen an anderen Karten bestimmt werden.

Entsprechende Verhältnisse können auch für Flächen angegeben werden. Die Fläche eines Rechteckes in der Natur ergibt sich aus den Kartendaten wie folgt (a und b sind die Rechteckseiten in der Karte)

$$F_N = a_N \times b_N = (a_K \times M) \times (b_K \times M) = a_K \times b_K \times M^2$$

Und für das Verhältnis der Flächen eines Rechteckes aus zwei Karten unterschiedlichen Maßstabes:

$$F_{K1} : F_{K2} = M_2^2 : M_1^2$$

Der Maßstab bestimmt den Aussageumfang einer Karte. Je kleiner der Maßstab, desto mehr muss auf die Darstellung von Einzelheiten verzichtet werden (Generalisierung).

Man kann danach die Karten grob einteilen in

Plankarten	Bis 1 : 10 000; Pläne, Katasterkarten, Flurkarten; genaue Darstellung der Eigentums Grenzen, für die Detailplanung ect. Forstkarten ¹
Spezialkarten	1 : 20 000 bis 1 : 75 000; ausführliche Realdarstellung; trotz Generalisierung sind z.B. alleinstehende Gebäude noch verzeichnet.
Übersichtskarten	Bis 1 : 500 000
Generalkarten	Bis 1 : 800 000 (auch Handkarten genannt)
Länder-, Erdteil-, Weltkarten	Ab ca. 1 : 1 000 000

¹ s. a. Kapitel 2.1.4

2.2.2 Karteninhalt

Die Erdabbildung in Karten zwingt zu einer Auswahl der darzustellenden Erscheinungen, zu Verallgemeinerungen und zur Zusammenfassung bestimmter Merkmalsgruppen (Gruppierungen).

Umfang und Genauigkeit des Karteninhaltes sind abhängig vom Kartenmaßstab und der Drucktechnik (die Genauigkeit der Situationsdarstellung ist vorgegeben durch die drucktechnisch bedingte Minimaldimension der Kartenelemente) sowie des vorgesehenen Verwendungszweckes.

Der Karteninhalt kann in die Bereich Lageplan, Geländedarstellung und Kartenschrift aufgegliedert werden.

Lageplan (Situationsdarstellung)

Zur Darstellung kommen Linien (z.B. Küste, Verkehrsnetz, auch Hochspannungsleitungen, Orte und Flächen (z.B. Acker, Grünland, Laub- und Nadelholz).

Für alle drei Objektarten gibt es Objektsignaturen, durch die Form und Lage der Natur entsprechend gezeichnet werden und Eigenschaftssignaturen, aus denen ersichtlich ist, um welche Art von Objekten es sich handelt.

Geländedarstellung

Bei der Geländedarstellung wird entweder eine geometrische einwandfreie Wiedergabe des Reliefs angestrebt (d.h. die Höhenlage jedes Punktes soll aus der Karte bestimmbar sein), oder eine plastische Wiedergabe, die einen sofortigen optischen Eindruck des Reliefs vermittelt. Die plastische Wiedergabe geschieht mit zeichnerischen Hilfsmitteln wie Schummerung, Böschungsschraffen, Höhenlinien.

Schrift

Unterschiedlich in Stil und Größe.

2.2.3 Amtliches Kartenwerk in Deutschland

Die Allgemeine Landvermessung in Deutschland begann etwa Anfang des 19. Jahrhunderts, alles zunächst unter rein militärischen Aspekten. Erst nach dem ersten Weltkrieg übernahmen zivile Stellen die Erstellung topographischer Karten. Heute geht die amtliche Vermessung von den organisatorisch selbständigen Landesvermessungsämtern der Länder aus.

Auf Bundesebene befassen sich nur zwei Behörden mit amtlichen Vermessungsaufgaben:

- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)

- Die Bundesanstalt für Landeskunde und Raumplanung, die dem Innenministerium unterstellt ist.

Nach dem zweiten Weltkrieg erfolgte eine Vereinheitlichung des Kartenschnittes der deutschen Kartenwerke, d.h. eine Karte im Maßstab 1 : 100 000 umfasst genau den Bereich von 16 Karten des Maßstabes 1 : 25 000.

Deutsche Grundkarte	1 : 5 000, 2 km x 2 km (für Planungen in Raumordnung und Städtebau; Grundlage land- und forstwirtschaftlicher Karten)
Topographische Karten	1 : 25 000, 6' x 10' (mit sehr genau eingemessenen Höhenlinien) 1 : 50 000, 12' x 20' (im 5-Farben-Druck; auch als Militärausgabe mit militärischem Meldegitter) 1 : 100 000, 24' x 40' (auch Karte des deutschen Reiches genannt)
Übersichtskarten von Europa	1 : 200 00 bis ca. 1 : 300 000

Grundlage der großmaßstäblichen Kartenwerke sind die Flurkarten (Katasterkarten), die im Maßstab 1 : 5 000 im 19. Jahrhundert erstellt wurden. Sie werden heute bei den Vermessungsämtern geführt und unterliegen strengen Formvorschriften; sie dienen als Unterlage für das Grundbuch und enthalten Informationen über Nutzungsart, Ertragsfähigkeit ect. (neben Angaben wie Grenzlinien, Gebäuden, Flurnummern).

2.2.4 Karten im Forst

▪ Forstgrundkarte	1:5 000; Grundlage für alle weiteren Karten, i.a. auf der Deutschen Grundkarte aufbauend.
▪ Grenzkarte	1:5000
▪ Blankettkarte	1:5000 – 1:10000, Schwarzdruckkarte
▪ Standortskarte	Enthält die ausgeschiedenen Standortseinheiten und Standortstypen
▪ Betriebskarte	Wirtschaftskarte; Holzarten-, Altersklassen- oder Bestandeskarten
▪ Landschaftspflegekarte	1:10000 – 1:25000
▪ Wegekarte	Wegenetz, Rückegassen, Lagerplätze etc.
▪ Gemeindebezirkkarte	1:10000
▪ Übersichtskarte	1:25000 – 1:50000, „Holzkäuferkarte“ für Transportunternehmen
▪ Waldbrandeinsatzkarte	1:50000, UTM-Meldegitter

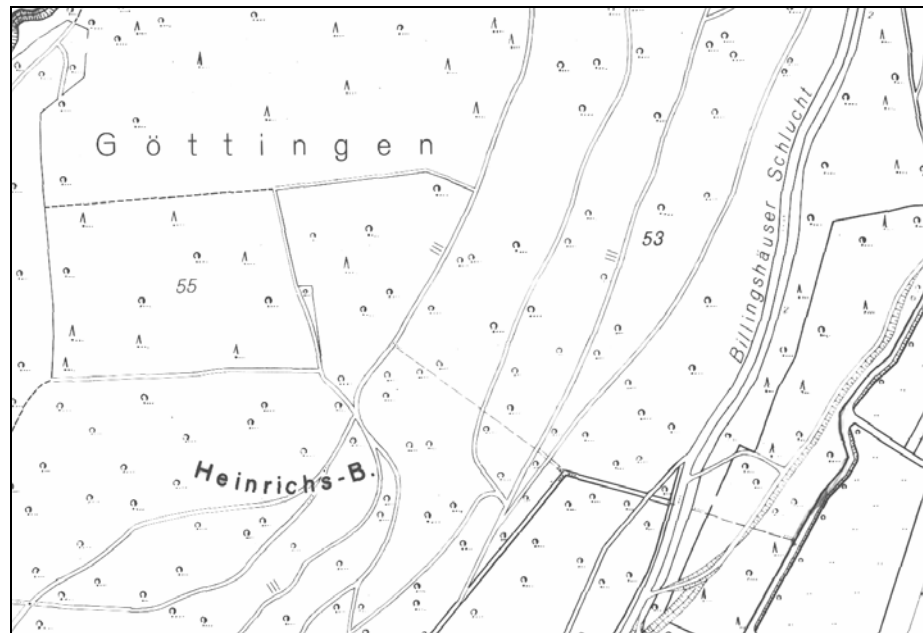


Abbildung 2.2: Ausschnitt einer Forstgrundkarte 1:5000 (nicht Masstabsgetreu).

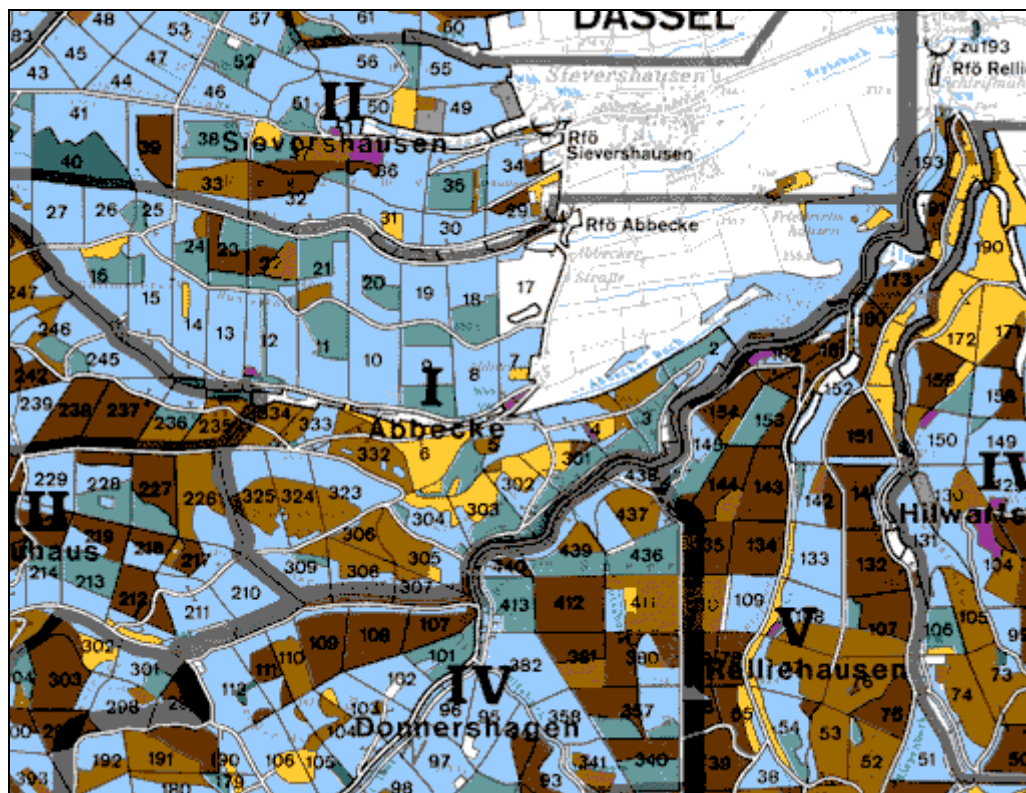


Abbildung 2.3: Beispiel einer Wirtschaftskarte (nicht maßstabsgetreu).

2.3 Zur Darstellung der Erdoberfläche in Karten

2.3.1 Kartenprojektionen

Die Erstellung von Karten oder Plänen bildet in der Regel Abschluss und Ziel der Vermessungsarbeiten.

2.3.1.1 Abbildungsverzerrung

Wird die Oberfläche der Erdkugel oder ein ausschnitt aus ihr zur Kartendarstellung in eine ebene projiziert, so ist dies nicht verzerrungsfrei möglich.

Bei kleineren Vermessungsaufgaben bis etwa 10 km Längenausdehnung sind die Verzerrungen wegen der relativ geringen Krümmung der Erdoberfläche klein und können vernachlässigt werden. Für Karten in kleinerem Maßstab ist jedoch die Kugel- oder Rotationsellipsoid-Oberfläche Bezugsfläche. Bei der Abbildung dieser Flächen in die Ebene entstehen Abbildungsverzerrungen; nach der verzerrten Größe unterscheidet man Längen-, winkel-, Richtungs- und Flächenverzerrungen. Man spricht, je nach dem, welche Eigenschaft bei der Abbildung erhalten bleibt, von längentreuer (äquidistanter), winkeltreuer (konformer) oder flächentreuer (äquivalenter) Abbildung. Zur Bestimmung der einzelnen Verzerrungsarten stellt man sich eine Strecke $\overline{L_1 L_2} = 1$ auf der Erdkugel vor. Die entsprechende Entfernung l' der Punkte L'_1 und L'_2 wird aber von diesem Wert abweichen. Damit ergibt sich die Längenverzerrung aus

$$v_1 = \frac{\text{Länge einer Strecke in der Abbildung}}{\text{Länge dieser Strecke im Urbild}} = \frac{l'}{1}$$

Die Längenverzerrung ist kein konstanter Wert über die ganze Karte. Ihre Größe hängt von der Lage des Punktes L_1 ab und von der Richtung des Vektors $\overrightarrow{L_1 L_2}$.

Dreht man $\overline{L_1 L_2}$ im Punkt L_1 , so entsteht auf der Kugeloberfläche ein Kreis. Die entsprechenden Punkte der Kreislinie ergeben aber in der Abbildung eine Ellipse.

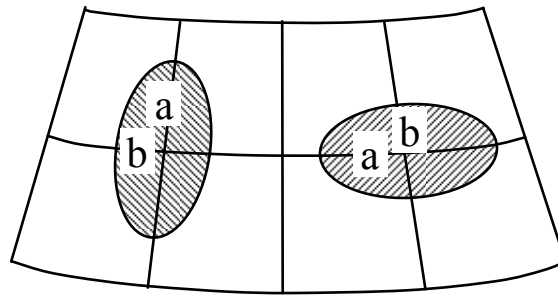


Abbildung 2.4: Längenverzerrung

Die Halbachsen a und b sind die Extrema der Längenverzerrung. Ist eine dieser Halbachsen gleich dem Kreisradius r aus dem Urbild, so spricht man von Mittabstandstreue.

2.3.1.2 Abbildungsverfahren

Grundlage kartenmäßiger Darstellungen ist zunächst der Netzentwurf. Die Vielzahl der hierbei denkbaren Möglichkeiten lässt sich klassifizieren nach der verwendeten Projektionsebene, der Konstruktionsmethode (d.h. wie die Punkte von der Erdoberfläche auf die Projektionsebene gebracht werden) und der Lage der Berührungspunkte (oder -linien) zwischen Erdoberfläche und Projektionsebene.

Es werden drei Möglichkeiten für Projektionsebenen unterschieden:

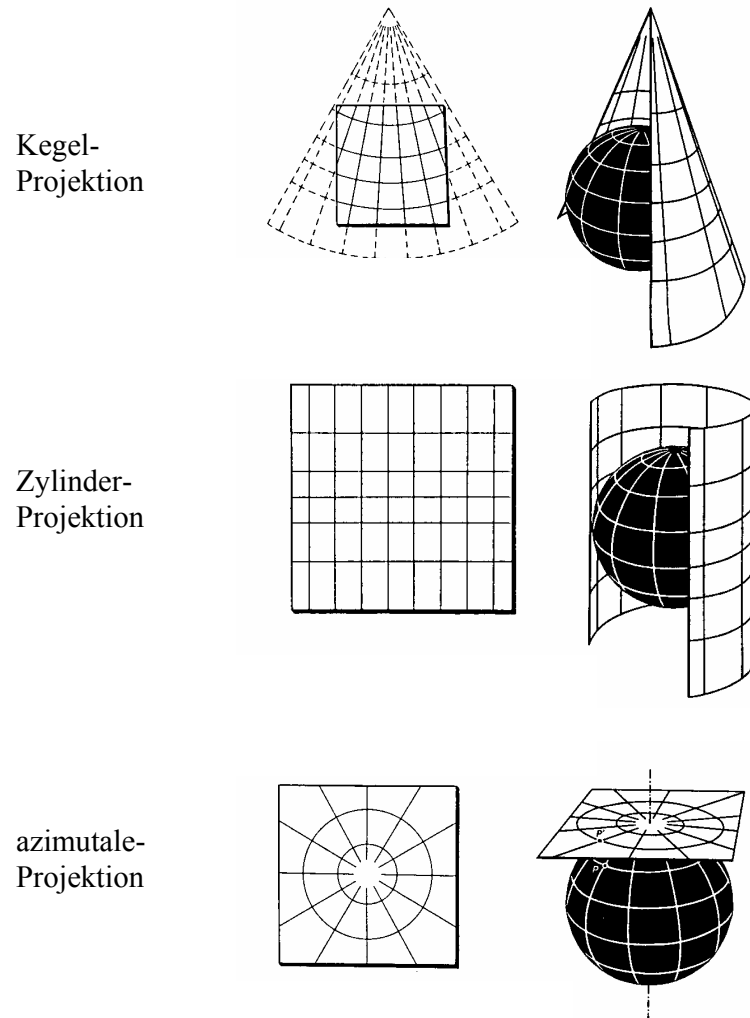


Abbildung 2.5: Projektionsebenen

Die azimutale und die zylindrische Abbildung können als Grenzfälle der Kegelpjektion aufgefasst werden: Bei der azimutalen Abbildung wird $\delta = 200$ gon, bei der zylindrischen wird $\delta = 0$ gon.

Die Projektion kann streng geometrisch in Form einer Parallel- oder Zentralprojektion erfolgen. Werden bei der Projektion mathematische Korrekturen durchgeführt, um bestimmte Abbildungseigenschaften zu erhalten, so spricht man von unechten Abbildungen.

Für jede der drei genannten Projektionsebenen werden folgende Abbildungslagen unterschieden:

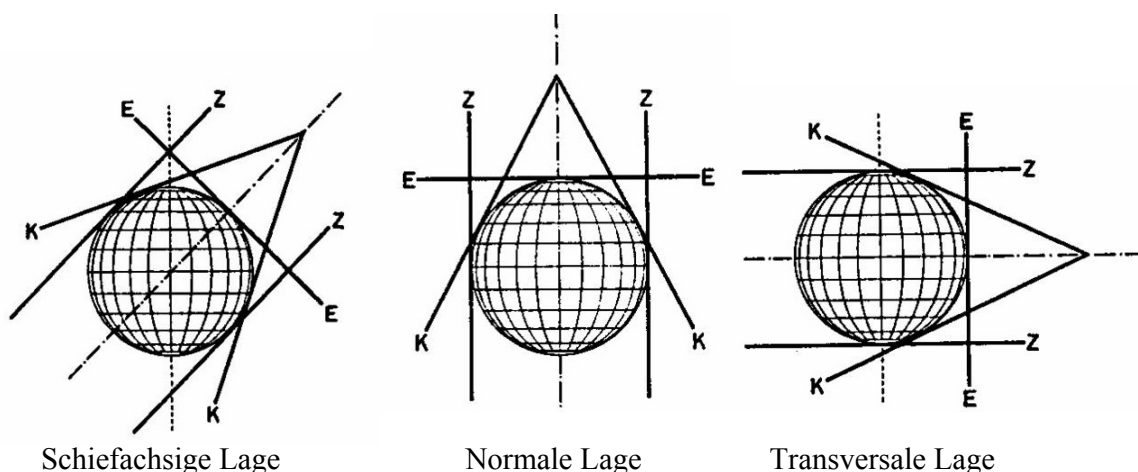


Abbildung 2.6: Abbildungslagen

In der normalen Lage ist die Erdachse gleichzeitig Projektionsachse, in der transversalen stehen sie senkrecht zueinander und in der schrägachsigen bilden sie einen beliebigen Winkel.

Je nach Anforderung an den Karteninhalt wird man unterschiedliche Projektions- und Darstellungsverfahren wählen.

2.3.2 Koordinatensysteme

Durch Koordinatensysteme können Punkte in der Ebene oder im Raum eindeutig bestimmt werden.

- Ein Punkt der Erdoberfläche wird festgelegt durch
seine Lage (Projektion des Punktes auf die Bezugsfläche und Bestimmung der x-y-Koordinaten)
- seine Höhe (Vertikale Distanz von der Bezugsfläche).

2.3.2.1 Geografische Koordinaten

Für die Erdoberfläche wird ein geographisches Koordinatensystem verwendet. Die Lage jedes Punktes auf der Erde ist bestimmt durch seine geographische Länge und seine geographische Breite. Dieses Koordinatensystem besteht aus 180 in N-S-Richtung verlaufenden Meridianen (Großkreise, gleiche Länge, Abstand voneinander am Äquator 111 km, schneiden sich an den Polen) und je 90 Breitenkreisen nördlich und südlich des Äquators. Der Äquator ist der Breitenkreis mit dem Wert 0°, der Nullmeridian ist der Meridian der Sternwarte in Greenwich.

Das geographische Koordinatensystem bildet das Liniennetz kleinmaßstäblicher Karten.

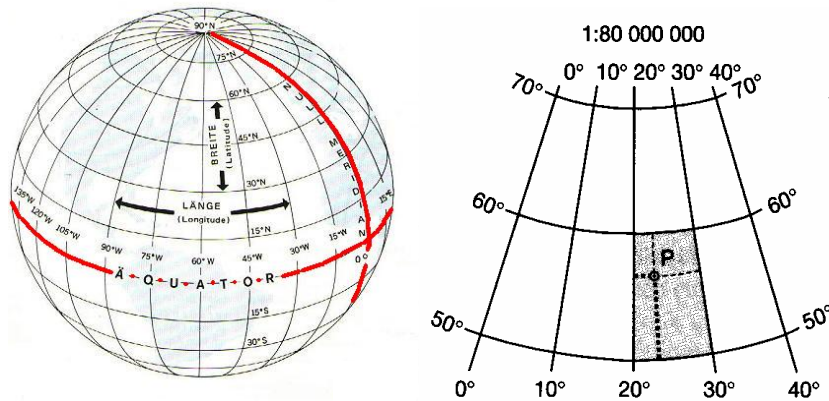


Abbildung 2.7: Geografisches Koordinatensystem

2.3.2.2 Geodätische Koordinaten

In der Landvermessung sollen kleinere Teile der Erdoberfläche auf einem ebenen Koordinatensystem dargestellt werden.

Es bestehen zwei grundsätzliche Möglichkeiten der Koordinatendarstellung:

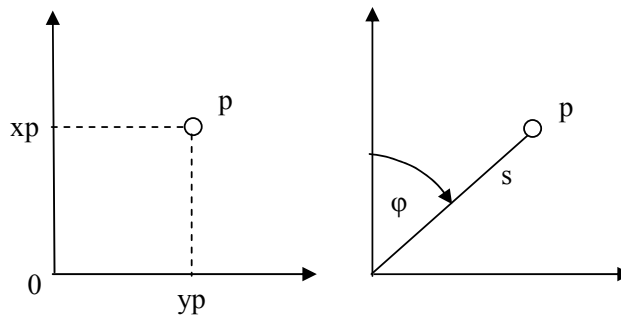


Abbildung 2.8: Rechtwinklige- und Polarkoordinaten

Im kartesischen Koordinatensystem werden die x- und y-Koordinaten angegeben. Im Gegensatz zur Mathematik wird dabei die Hochachse als x-Achse (Abszisse) definiert.

Im Polarkoordinatensystem wird ein Punkt durch die Angabe des Winkels φ und der Strecke s festgelegt. Die Polarkoordinaten sind bei der Stückvermessung nach der Polarmethode von Bedeutung.

Für großmaßstäbliche Kartendarstellungen kleinerer Erdausschnitte werden rechtwinklig-ebene Koordinatensysteme verwendet (z.B. SOLDNER, GAUß-KRÜGER, UTM). Bezugskörper ist dabei ein dem Geoid angenähertes Rotationsellipsoid.

Statt durch Längen- und Breitenkreise ist auf den geodätischen Abbildungen die Lage jedes Punktes durch seine rechtwinkligen Koordinaten gegeben.

GAUß-KRÜGER-Koordinaten

Den amtlichen deutschen Karten lag lange das GAUß-KRÜGER-Koordinatensystem zugrunde. Die entsprechenden Koordinatenwerte sind am Rande der Topographischen Karten aufgetragen. Es handelt sich dabei um Meridianstreifensysteme, bei denen (für Deutschland) die Meridiane 6°, 9°, 12°, 15° und 18° die Abszissenpunkte bilden. Nullpunkt jedes Streifens ist der Schnittpunkt der Abszisse mit dem Äquator.

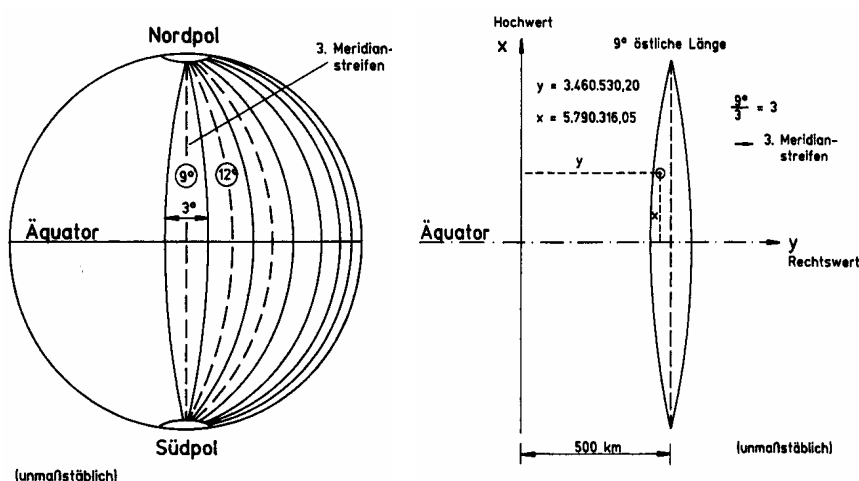


Abbildung 2.9: GAUß-KRÜGER Meridianstreifensysteme

Grundlage des GAUß-KRÜGER-Koordinatennetzes ist ein Mercator-Zylinder-Entwurf in transversaler Stellung.

Ein Meridianstreifen deckt 2° rechts und Links der Abszisse, d.h. benachbarte Systeme überlappen sich um 1° (in diesem Streifen werden für die fest vermessenen Topographischen Punkte die Koordinatenpaare aus beiden Systemen angegeben). Die einzelnen Gitternetzstreifen werden jeweils selbständig konstruiert, benachbarte Koordinatengitter treffen in spitzem Winkel aufeinander und überschneiden sich zum Pol hin immer stärker. Für die Koordinatenwerte gilt:

Abszisse: Der Wert entspricht der Entfernung vom Äquator in m auf dem Hauptmeridian (Hochwert)

Ordinate: Die erste Ziffer (= Meridiankennziffer) ist die Gradzahl des Hauptmeridians geteilt durch 3. Der Hauptmeridian enthält den Koordinatenwert 500 000 m, so dass keine negativen Werte vorkommen (Rechtswert).

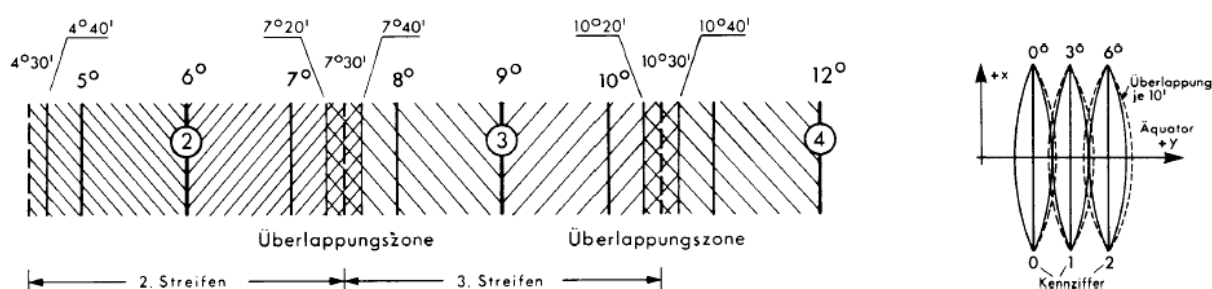


Abbildung 2.10: Meridianstreifen nach GAUß-KRÜGER

Beispiel: GAUß-KRÜGER-Koordinaten eines Festpunktes auf dem Uni Gelände

Rechtswert (y): 3 566 469,76 m

Hochwert (x): 5 714 334,96 m

Der Hochwert gibt die auf den Hauptmeridian projizierte Entfernung zum Äquator in m an, hier 5 714,334 km. Der Rechtswert wird zerlegt: Die erste Ziffer gibt Nummer des Meridianstreifens an, in dem der Punkt liegt. Hier: Meridianstreifen 3, mit Hauptmeridian $3 \times 3 = 9^\circ$. Die restlichen Ziffern des Rechtswertes sind Koordinatenangaben, bezogen auf den Wert 500 000 m des Hauptmeridians. Hier: 566469,76. Der Wert ist größer als 500 000, der Punkt liegt also rechts des Hauptmeridians, in der Entfernung von 66,469 km.

UTM-System

Das UTM-Koordinatensystem (Universal Transverse Mercator Projection) war zunächst für militärische Zwecke entwickelt worden (USA, NATO), wird aber seit 1951 auch in der Landvermessung verwendet.

Das UTM-System ist wie das GAUß-KRÜGER-System ein Streifensystem. Es wurde jedoch ein anderer Bezugskörper gewählt (nämlich das Internationale Ellipsoid und nicht wie bei GAUß das BESSEL'sche Ellipsoid). Die einzelnen Streifen sind breiter – jeder umfasst 6° – und werden als Zonen bezeichnet. Jede Zone wird unterteilt in Intervalle von 8° Breitenunterschied, wodurch man der zunehmenden Überschneidung benachbarter Zonen in höheren Breiten entgegenwirkt.

Statt Hoch- und Rechtswerten werden N- (North) und E- (East) Werte angegeben.

Grundlage der Projektion ist ein Schnitzzylinder (Berührungszylinder bei GAUß). Auf diese Weise gibt es zwei Schnittkreise zwischen Erde und zylindrischer Kartenebene; es gibt also nicht einen

längentreuen Berührungsmeridian, sondern zwei ihm parallele längentreue schnitt-Meridiane. Die Zonen sind durchnummeriert in O-W-Richtung, beginnend mit der Zone um 177° w.L. Die einzelnen 8°-Breitenintervalle werden durch Großbuchstaben von Süd nach Nord gekennzeichnet. Den Karten ist ein Gitternetz von 100 km Seitenlänge zugrunde gelegt. Jedes der so entstehenden Quadrate erhält eine Buchstabenkombination als Kennzeichen. Innerhalb dieser Quadrate können die Koordinaten eines bestimmten gesuchten Punktes angegeben werden.

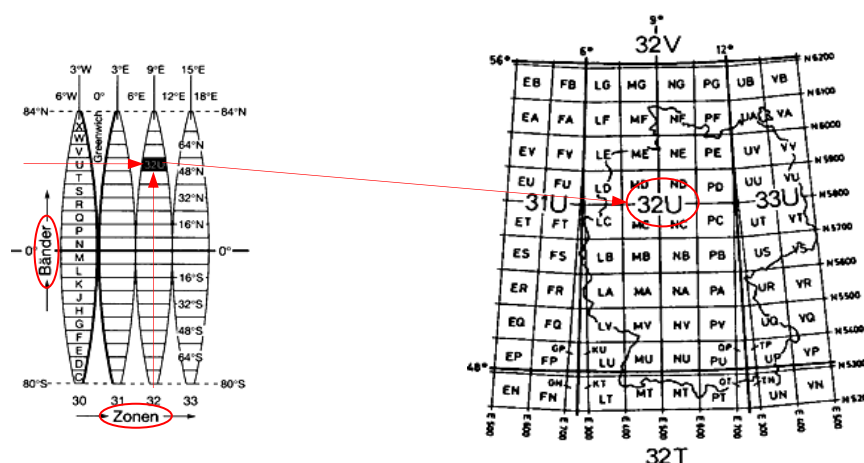


Abbildung 2.11: UTM-System

Die Bundesrepublik liegt größtenteils in der Zone Nr. 32 und im Intervall U.

Gitternetze

Karten, denen eines der genannten rechtwinkligen Koordinatensysteme zugrunde liegt, sind i.a. mit einem Gitternetz überzogen, dessen Weite natürlich vom Kartenmaßstab abhängt. Mit einem Planzeiger, der an den eingezeichneten Gitternetzlinien eingehängt wird, lassen sich die Koordinaten gesuchter Punkte relativ einfach und schnell bestimmen.

Die Gitternetze der einzelnen Meridianstreifen (Zonen) werden unabhängig voneinander konstruiert. Gitternetzlinien benachbarter Meridianstreifen treffen in spitzem Winkel aufeinander. Zu den Polen hin überlappen sie sich zunehmend; es sind deshalb Schnittstellen in bestimmten Breiten vorgesehen (z.B. bei Hochwert 5 700 000 m).

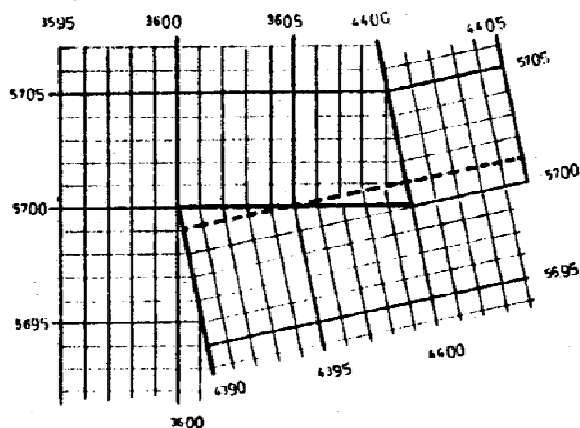


Abbildung 2.12: Schnittstelle benachbarter Gitternetze

In den Überlappungsgebieten besitzt ein Punkt also unterschiedliche Koordinatenpaare, je nach dem, welchem Meridianstreifen man ihn zuordnet. Zur Umrechnung dieser Koordinaten bedient man sich einer Koordinatentransformation.

Die Hoch-Richtung der Gitternetze entspricht nicht der geographischen Nordrichtung (4) (Ausnahme Hauptmeridiane), d.h. es müssen Geographisch Nord und Gitter-Nord unterschieden werden. Der Unterschied beider Richtungen wird als Meridiankonvergenz bezeichnet.

2.3.3 Zur Nordrichtung in geodätischen Abbildungen

Bei geodätischen Abbildungen gilt die Richtung, der zur positiven x-Achse parallelen Netzlinien, als **Gitter-Nord**. Gitter-Nord und **Geografisch-Nord** stimmen jedoch nur auf dem Hauptmeridian überein, während sonst die beiden Richtungen in jedem östlich oder westlich gelegenen Punkt um einen bestimmten Winkel γ , die sog. *Meridiankonvergenz*, abweichen. Diese wird vom Meridian aus im Uhrzeigersinn gezählt, so dass γ ostwärts der Abszissenachse positiv, westwärts negativ ist. Die Größe der Meridiankonvergenz in einem bestimmten Punkt hängt ab von seinem Längenunterschied gegen den Mittelmeridian und von seiner geografischen Breite.

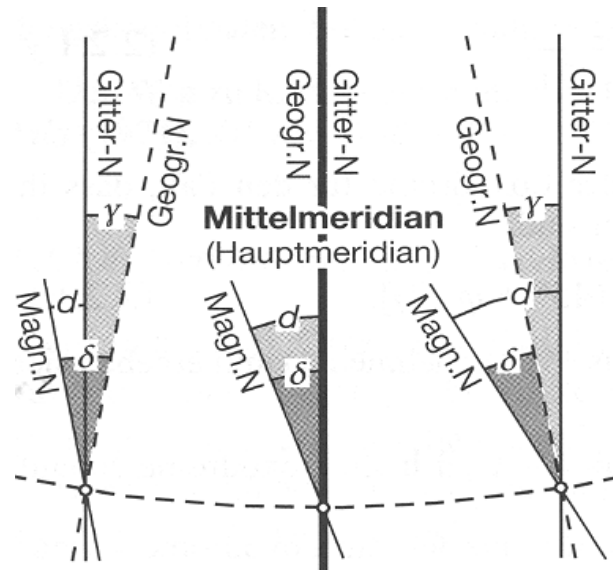
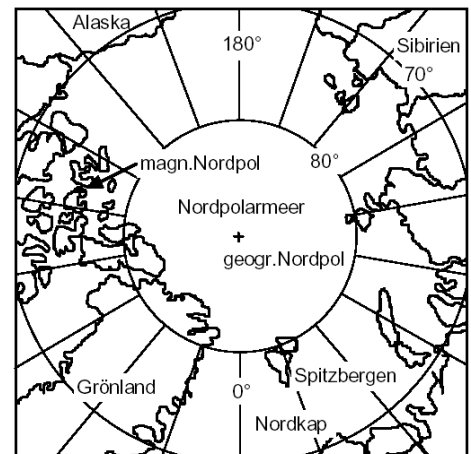


Abbildung 2.13: Meridiankonvergenz, Deklination und Nadelabweichung.

Bei Arbeiten mit einem Kompass oder mit einer Bussole kommt noch eine weitere Nordrichtung in Frage, nämlich die Richtung zum Magnetischen Nordpol (**Magnetisch-Nord**). Der Winkel δ , den die Richtung nach Magnetisch-Nord und Geografisch-Nord einschließen, wird als *Deklination* bezeichnet. Durch die Verschiebung des magnetischen Nordpols ist die Deklination zeitlichen Schwankungen unterworfen und kann sich langfristig ändern. Der Winkel zwischen Magnetisch-Nord und Gitter-Nord heißt *Nadelabweichung*. Diese ist die Differenz von Deklination und Meridiankonvergenz. In Deutschland ist die Deklination z.Zt. (2009) positiv, also östlich. Die aktuelle Deklination kann z.B. über die Internetseiten des Geoforschungszentrums in Potsdam ausgegeben werden:



<http://www-app3.gfz-potsdam.de/Declinationcalc/declinationcalc.html>

- Deklination: Differenz zwischen Geographisch- und Magnetisch-Nord
- Nadelabweichung: Differenz zwischen Gitter- und Magnetisch-Nord
- Meridiankonvergenz: Differenz zwischen Gitter- und Geographisch-Nord

2.4 Geo-Informationssysteme

Ein Geo-Informationssystem (GIS) ist ein Computergestütztes System, das aus einer Software, Daten und verschiedenen Anwendungen besteht. Mit einem GIS können raumbezogene Daten erzeugt, gespeichert, bearbeitet und analysiert werden. Ein GIS ist somit eine Datenbank mit räumlichen Bezügen.

Ein GIS enthält Daten, die sich auf die Erdoberfläche beziehen. Diese Daten setzen sich aus ihrer Geometrie und beschreibenden Attributen (Sachdaten) zusammen. Sachdaten werden in der Datenbank als Tabellen gespeichert (Attributtabellen), während die Geometriedaten in Form von Rasterdaten oder Vektordaten gespeichert werden. Durch vielfältige Analysemöglichkeiten können neue Datengrundlagen gewonnen werden, die dann als Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung stehen.

Daten in einem GIS bestehen zum einen aus Sachdaten, die die Eigenschaften von Objekten definieren und aus Geometriedaten, die die geometrischen Formen der Objekte beschreiben. Die Geometriedaten können dabei entweder Vektor- oder Rasterdaten sein.

Rasterdaten

Rasterdaten beschreiben Objekte auf der Basis von Pixeln (picture element), die in einer Matrix angeordnet sind. Die einzelnen Pixel haben Werte, die sich in Graustufen oder Farbwerten anzeigen lassen. Zwischen den einzelnen Pixeln bestehen jedoch keinerlei logische Verbindungen, wodurch ein Objektbezug der Daten nicht gegeben ist. Pixelbasierte Daten entstehen beispielsweise beim Scannen von Bildern.

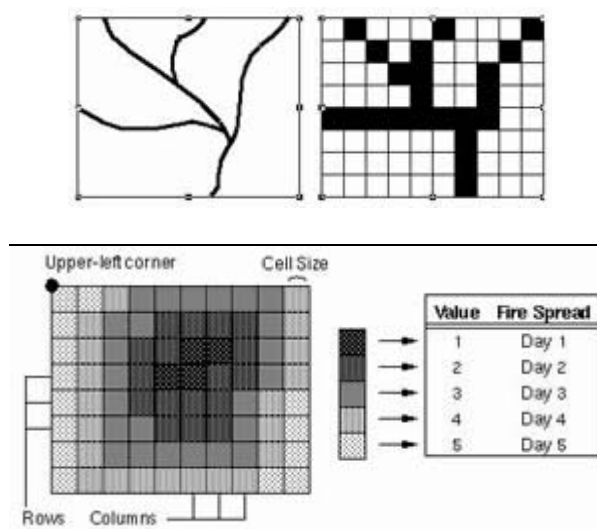


Abbildung 2.14: Aufbau eines Rasterdatenmodells. Die Pixel sind in Spalten und Zeilen organisiert und können jedes für sich unterschiedliche Informationen tragen.

Vektordaten

Vektordaten beschreiben die Geometrie von Objekten mittels linienhafter Verbindungen zwischen Punkten im Raum. Das Grundelement von Vektordaten sind also Punkte, deren Lage durch x , y und z Koordinaten in einem kartesischen Koordinatensystem definiert sind. Diese Punkte können über Linien miteinander verbunden werden und beschreiben linienhafte Objekte der Erdoberfläche. Flächen (Polygone) können dabei durch geschlossene Linienzüge dargestellt werden.

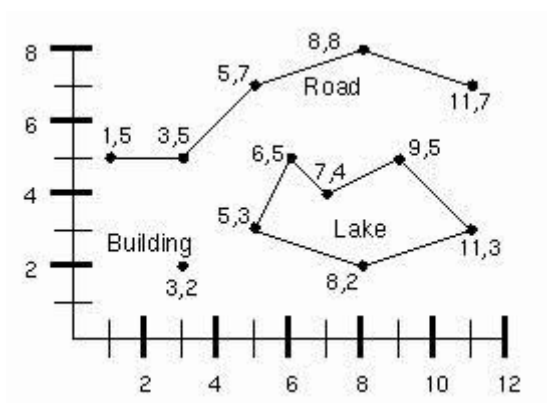
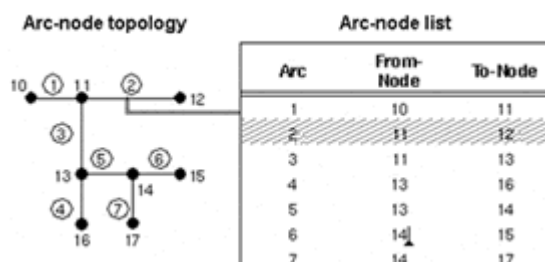
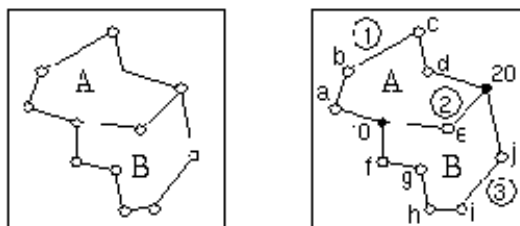


Abbildung 2.15: Darstellung von Punkten, Linien und Polygonen mit Hilfe von Vektoren

Ein weiteres Element bei der Definition von Objekten mit Hilfe von Vektordaten sind Knotenpunkte. Die logischen Verknüpfungen zwischen den einzelnen Knoten führen dabei zu einer Verringerung des Datenumfangs im Vergleich zu einzelnen Linien.



Die Linien zwischen den Knotenpunkten werden hierbei als "Arcs" bezeichnet. Im unten dargestellten Beispiel sind auf der linken Seite zwei Polygone durch einzelne Punkte und Linien definiert. Im rechten Bild sind die Polygone durch 3 Arcs und zwei Knotenpunkte dargestellt. Die Form der Arcs wird dabei durch "vertices" (Zwischenpunkte) erhalten.



Die Datenausgabe eines GIS ist die Darstellung von raumbezogenen Daten in verschiedenen Formen. Zum einen können Diagramme und Tabellen bei der Bildschirmarbeit erzeugt werden, zum anderen besteht die Möglichkeit Karten zu erstellen und auszudrucken.

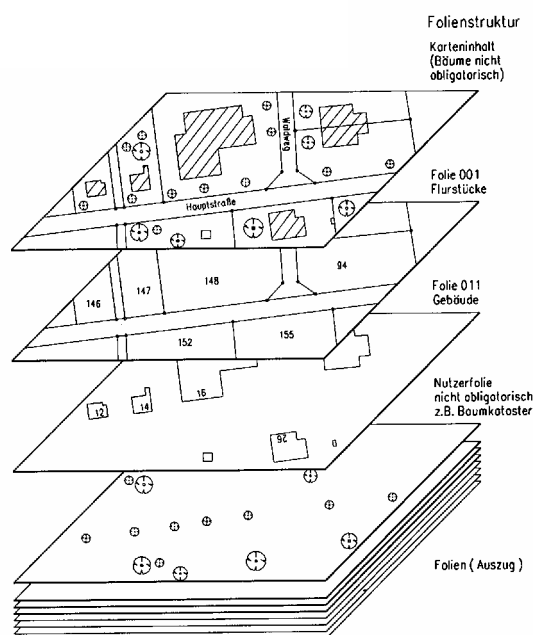


Abbildung 2.16: Aufbau eines Kartenwerkes aus unterschiedlichen “Schichten” = “Decker”, z.B. Waldecke. *Analog* als Folien, *digital* als Dateien (layers)

3 Geraden und Rechtwinkel

3.1 Kennzeichnung von Geländepunkten

Für die Dauer einer Vermessung werden die einzumessenden Geländepunkte vorübergehend mit Fluchtstäben möglichst gut sichtbar markiert (falls nicht ohnehin schon eine Kennzeichnung vorliegt wie Hauskante, Kirchturmspitze oder sonstiger markanter Geländepunkt). Fluchtstäbe sind im Allgemeinen aus Holz gefertigt, 2 m lang und in 50 cm-Abständen rot/weiß lackiert. Sie

haben eine Stahlspitze (zum Befestigen im Boden bzw. werden mit einem kleinen Stativ aufgestellt. Sie werden mit Hilfe eines Schnurlotes, eines Lattenrichters oder durch 'geschicktes fallenlassen' lotrecht aufgestellt.

Sollen, z.B. beim Vermessen einer neuen Wegetrasse im Wald, die eingemessenen Punkte noch für längere Zeit auffindbar sein, so werden sie nach dem Herausziehen der Fluchtstäbe durch kleine Holzpflocke markiert.

Werden Topographische Punkte, Grenzen o.ä. vermessen, so ist in der Regel eine dauerhafte Markierung erwünscht. Diese erfolgt durch Einbringen von Steinen, Betonklötzen oder Eisenrohren, die jeweils fest im Boden verankert werden. Die genaue Lage ist in Karten festgehalten. Dadurch ist es möglich, sich bei späteren Messungen auf solche schon vermessenen Punkte zu beziehen. Die Höhe über NN und die geographischen oder geodätischen Koordinaten des Bezugspunktes sind dann einfach zu ermitteln.

3.2 Abstecken von Geraden

Ein Abstecken gerader Linien mit Fluchtstäben kann z.B. beim Nivellement notwendig werden, wenn die Höhe verschiedener Punkte, die auf einer Gerade liegen, bestimmt werden soll; oder bei der Entfernungsmessung, wenn eine direktes Anpeilen des Zielpunktes nicht möglich ist; oder wenn eine Messlinie abgesteckt werden soll.

Es sind i.A. zwei Personen nötig; der eine peilt über Anfangs- und Ziel- (bzw. Hilfs-) Punkt und weist dabei den anderen mit dem Fluchtstab ein.

3.2.1 In übersichtlichem Gelände

Anfangs- und Endpunkt werden mit einem Fluchtstab markiert. Weiter Fluchtstäbe werden im gewünschten abstand dazwischen eingefluchtet (10 m bis 50 m), und zwar als erstes der vom Beobachter am weitesten entfernte Zwischenpunkt.

Dieses Vorgehen ist ausreichend für Entfernungen bis zu ca. 200 m, bei höheren Genauigkeitsansprüchen und größeren Entfernungen ist zum Fluchten ein Theodolit nötig.

3.2.2 In unübersichtlichem Gelände (mit Hindernissen)

Ein direktes Einfluchten nach oben beschriebenem Verfahren ist nicht möglich.

Wenn die Endpunkte A und E wegen einer Bodenerhebung gegenseitig nicht sichtbar sind:

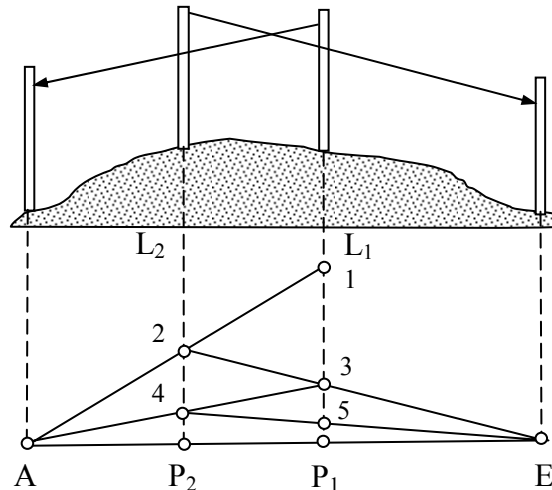


Abbildung 3.1: Abstecken von Geraden in unübersichtlichem Gelände.

Vorgehen: Gegenseitiges Einweisen durch zwei Messhilfen. Der Punkt 1 wird zunächst per Augenmaß festgelegt. Danach werden die Meßblatten von den auf den Linien L_1 und L_2 stehenden Messhilfen solange abwechseln über die Endpunkte A und E eingefluchtet, bis sowohl P_1P_2A als auch P_2P_1E jeweils auf einer Geraden liegen. Dies ist dann die gesuchte Gerade durch A und E.

3.2.3 Umgehen von Messhindernissen

Beispielsweise kann ein im Weg stehendes Gebäude ein direktes Einfluchten unmöglich machen.

Zunächst werden wieder die Endpunkte A und E festgelegt und markiert. Im Bereich des Hindernisses wird die Bestimmung der Geraden über eine Hilfslinie durchgeführt.

1. Möglichkeit:

Konstruktion einer **Parallelen** zur eigentlichen Linie

Die mit \perp gekennzeichneten Rechtwinkel sind dabei mit einem der unten genannten Verfahren abzusetzen. Die Länge des verbauten Zwischenstückes ist

$$\overline{CD} = \overline{C'D'}$$

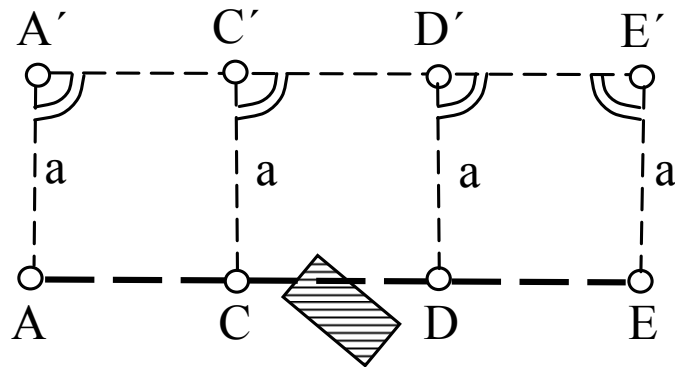


Abbildung 3.2: Umgehen von Hindernissen.

2. Möglichkeit

Konstruktion einer **schrägen Hilfslinie**

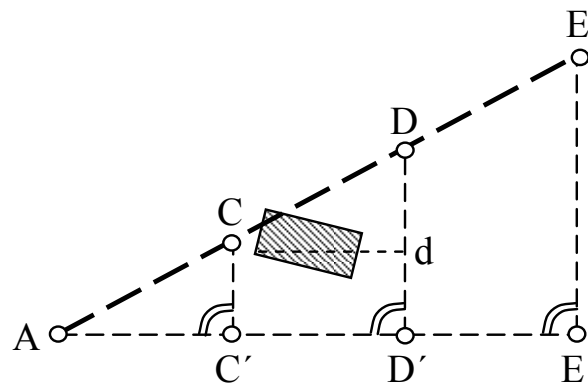


Abbildung 3.3: Schräge Hilfslinie.

$\overline{AE'}$ ist die Hilfslinie. Der Punkt E' wird so bestimmt, dass $\overline{AE'} \perp \overline{EE'}$. Die Länge des verbauten Zwischenstückes:

$$\overline{CD} = \sqrt{\overline{C'D'}^2 + (d - c)^2}$$

Auch Entfernungen zu nicht zugänglichen (aber markierten) Punkten lassen sich über Hilfskonstruktionen ermitteln:

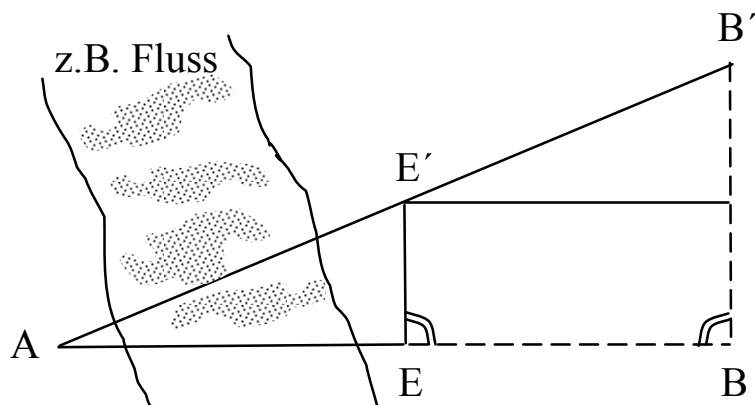


Abbildung 3.4

Zu messen sind die Strecken \overline{EB} , $\overline{EE'}$, $\overline{BB'}$; nach dem Strahlensatz ergibt sich für die Entfernung \overline{AE} :

$$\frac{AE}{EB} = \frac{EE'}{BB' - EE'}$$

$$AE = EB \frac{EE'}{BB' - EE'}$$

3.3 Absetzen rechter Winkel

Ein Absetzen rechter Winkel ist notwendig bei bestimmten Hilfskonstruktionen oder beim Aufwinkeln seitwärts liegender Punkte auf eine feste Messlinie AG.

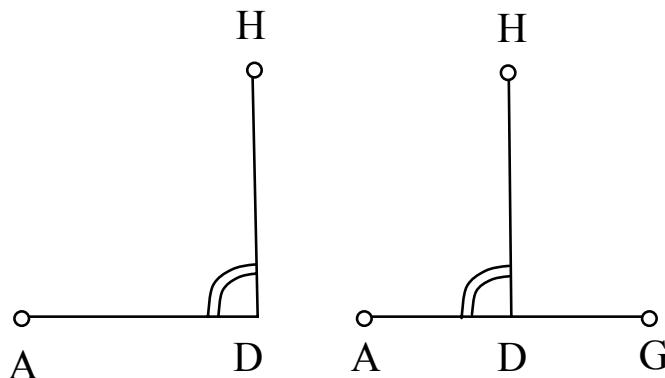


Abbildung 3.5

Gegeben ist dabei i. A. die Grundgerade, gesucht ist der Lotfußpunkt D.

Behelfsmäßig lassen sich rechte Winkel mit einem im Verhältnis 3:4:5 unterteilten Band absetzen oder mit drei gleichlangen Fluchtstäben.

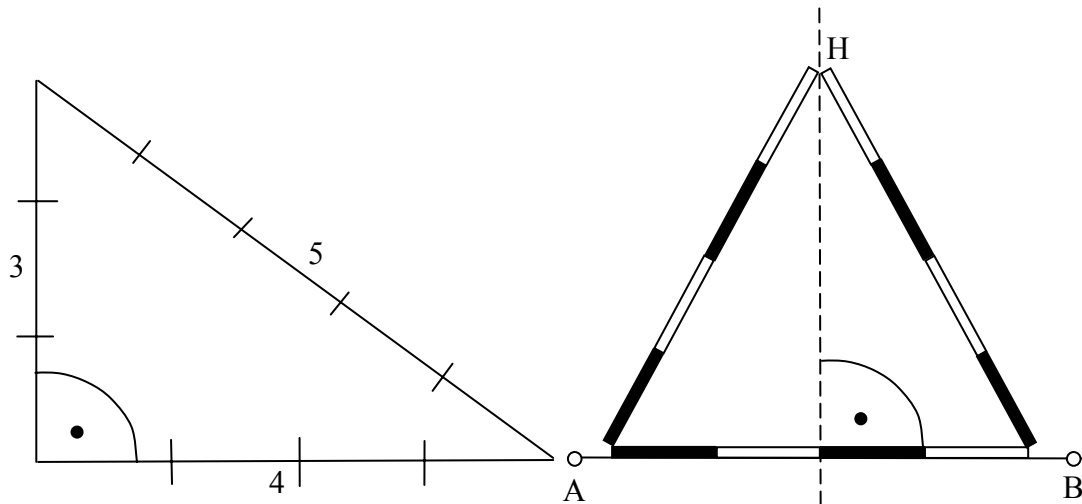


Abbildung 3.6

Genauer und (bei entsprechender Routine) schneller geschieht die Rechtwinkel-Absteckung mit folgenden Geräten:

- a. Diopterinstrumente
- b. Winkelspiegel
- c. Winkelprismen

Die maximale Messgenauigkeit dieser Geräte liegt bei 2 – 5 cgon.

3.3.1 Kreuzscheibe (Diopterinstrument)

In einem Kegel- oder Zylindermantel sind 4 Schlitzes eingeschnitten, durch die sich die Visierlinien senkrecht kreuzen:



Abbildung 3.7: Kreuzscheibe.

Vorteil: Im bergigen Gelände sind Steilsichten bis 35 gon möglich.

Winkelspiegel

Zwei ebene Spiegel sind so zueinander angebracht, dass sie einen Winkel von 50 gon einschließen. Über jedem der Spiegel ist ein Fenster, so dass der Fluchtstab im Punkt H vom Auge direkt gesehen wird (durch das Fenster); den Fluchtstab im Punkt A sieht man dagegen vom Punkt B aus über die Spiegelung in den Spiegeln S_1 und S_2 .

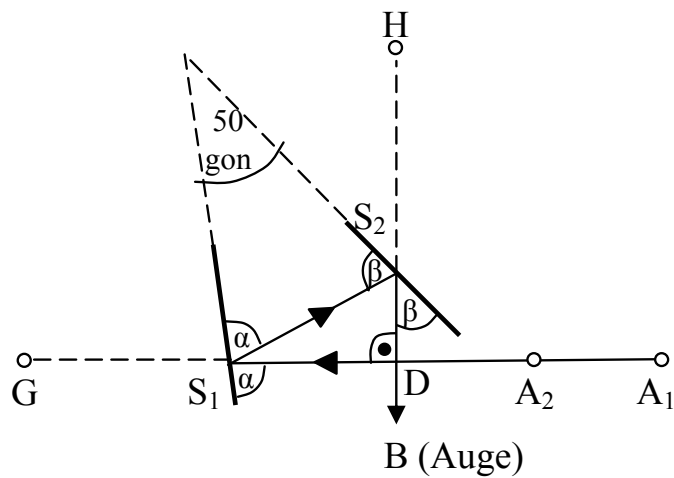


Abbildung 3.8: Strahlengang im Winkelspiegel.

Vorgehen: Der Beobachter hält den Winkelspiegel so, dass die Spiegelbilder von A₂ und A₁ im Punkt B (Auge) zur Deckung kommen. Der Beobachter befindet sich dann auf der geraden AG. Auf dieser geht er nun so lange seitwärts, bis der Fluchtstab im Punkt H im Fenster genau über den eingespiegelten Punkten A₁ und A₂ erscheint. Der Spiegel befindet sich dann über dem Lotfußpunkt

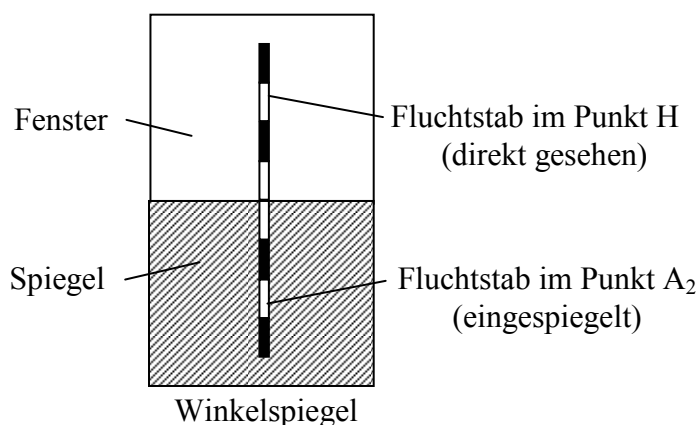


Abbildung 3.9: Prinzip des Ausrichtens von Rechtwinkelgeräten.

Winkelspiegel sind nur noch wenig in Gebrauch, da die Spiegel blind werden können und sich leicht verstellen; die Neujustierung ist relativ aufwändig.

Das Vorgehen bei der Messung gilt auch für die folgenden, etwas komplizierteren Geräte.

Winkelprismen

Winkelprismen bestehen aus prismenförmig geschliffenen Glaskörpern. Das Grundprinzip bei der Einmessung entspricht dem des Winkelspiegels. Der auf der lotrecht abzusetzenden Gerade befindliche Fluchtstab H muss bei der Beobachtung genau über den im Prisma gespiegelten (und zur Deckung gebrachten) Fluchtstäben in A₁ und A₂ zu stehen kommen. Das heißt, dass Prismen notwendig sind, die einen einfallenden Strahl genau rechtwinklig wieder herauslassen. Außer den Reflexionseigenschaften ist auch die Lichtbrechung im Glas zu berücksichtigen.

Bauernfeind'sches Winkelprisma

Dieses einfachste der Winkelprismen besteht aus einem in der Draufsicht rechtwinklig gleichschenkelig dreieckigen Glaskörper.



Abbildung 3.10: Winkelprisma

Das Bauernfeind'sche Winkelprisma wird am besten mit der Hypothenuse parallel zu Grundlinie A_1A_2 gehalten. Im Bereich der festen Bilder bleiben die eingespiegelten Bilder bei leichter Drehung des Gerätes unverändert, die eingespiegelten Fluchtstäbe müssen in diesem Bereich zu sehen sein.

Fünfseitprisma (Pentagon)

Ihrer Konstruktion entsprechend besitzen Fünfseitprismen ein größeres Gesichtsfeld; es sind Bauweisen möglich, die gute Steilsichten am Hang ermöglichen. Wesentlicher Vorteil ist auch das hellere Bild, das wegen des geringeren Lichtverlustes beim senkrechten Durchtritt der Strahlen durch die Glasoberfläche zustande kommt.

Doppelprismen (Prismenkreuze)

Gegenüberstellung des Strahlenganges bei Winkelspiegel, Bauernfeind'schen Winkelprisma und Pentagon:

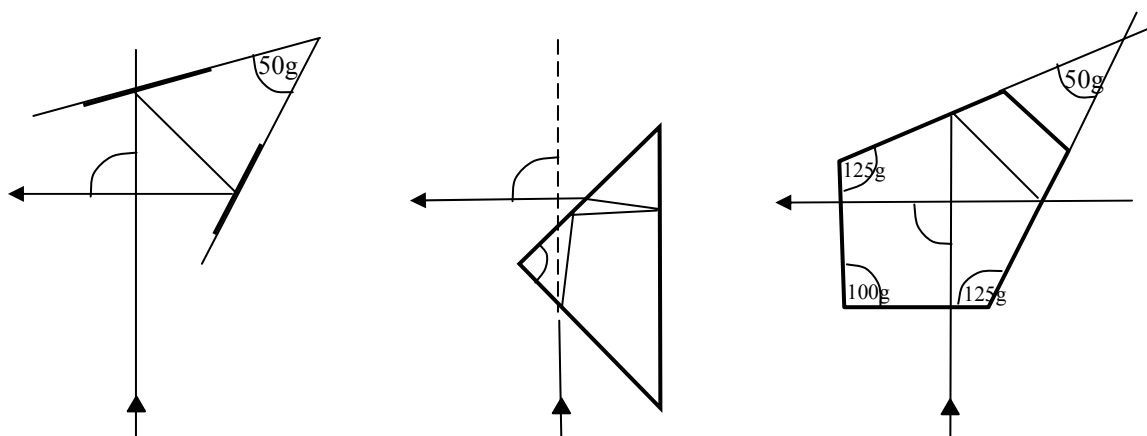


Abbildung 3.11: Strahlengang in Rechtwinkelinstrumenten.

Mit diesen drei Geräten lässt sich ein rechter Winkel bestimmen zwischen zwei Geraden, die durch A und H gehen (s. folgende Abb.). Bei der Visur lässt sich jedoch nicht direkt feststellen, ob man sich auch genau auf der Geraden AG befindet und somit den Lotfußpunkt D ermittelt hat; d.h. man muss sich einweisen lassen, oder sich über weitere Fluchtstäbe A_1, A_2, \dots selbst einfluchten.

Dieser Schwierigkeit schaffen Doppelp Prismen Abhilfe. Sie bestehen aus zwei übereinander liegenden Prismen, d.h. es können die Fluchtstäbe von beiden Seiten (von A und G) eingespiegelt werden.

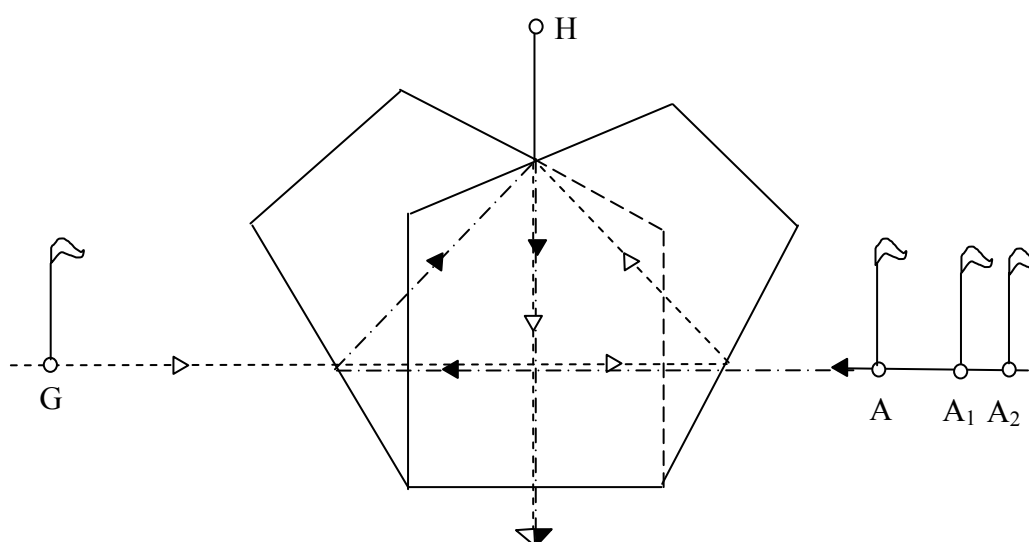


Abbildung 3.12: Strahlengang im Doppelpentagon.

Decken sich die Bilder der Fluchtstäbe A und G, so befindet man sich auf der Geraden AG; wird zusätzlich (durch das zwischen den Prismen befindliche Fenster) auch der Fluchtstab in H in eine Linie mit den eingespiegelten gebracht, so befindet sich das Prisma genau im Lotfußpunkt D.

Am häufigsten in Gebrauch ist das Doppelpentagon, das aus zwei Fünfseitprismen besteht.

4 Längenmessung – Entfernungsmessung

Die Messung von Streckenlängen (= Entfernung zwischen zwei Punkten) ist eine der häufigsten und wichtigsten Vermessungsaufgaben. Sie dient der Lagebestimmung, Kartierung, Flächenberechnung etc.

Hier sollen nur die Messverfahren vor Ort, d.h. im Gelände (und nicht aus Luftbildern oder Karten) besprochen werden.

Geodätische Entfernungsmessungen beziehen sich zunächst grundsätzlich auf die Horizontale. Im geneigten Gelände wird dadurch eine Projektion in die Waagerechte bzw. auf die Oberfläche des Bezugskörpers notwendig; bestimmt wird letztlich also die Entfernung der auf die Bezugsfläche abgebildeten Punkte.

4.1 Direkte Entfernungsmessung

Relativ kurze Strecken können direkt gemessen werden (bis ca. 100 m); Hilfsmittel sind v.a. Maßbänder und Meßlatten.

4.1.1 Messlatten

Hölzerne Meßlatten sind i.a. 3 m oder 5 m lang, rot/weiß im 1 m-Abstand, mit dm-Einteilung. Die Genauigkeit ist relativ gering und hängt stark von der Sorgfalt der Anwendung ab (genaues Aneinanderlegen, genaues Einhalten der Waagerechten u.a.).

Anwendung im Forst z.B. im Wegebau bei der Staffelmessung zur Vermessung von Hängen und Böschungen (s. Abbildung 4.1).

Stahlmaßstäbe ermöglichen sehr genaue Messungen und werden für entsprechende Aufgaben eingesetzt, z.B. im Maschinenbau. Lattenmessungen finden heute insgesamt nur noch beschränkt Verwendung.

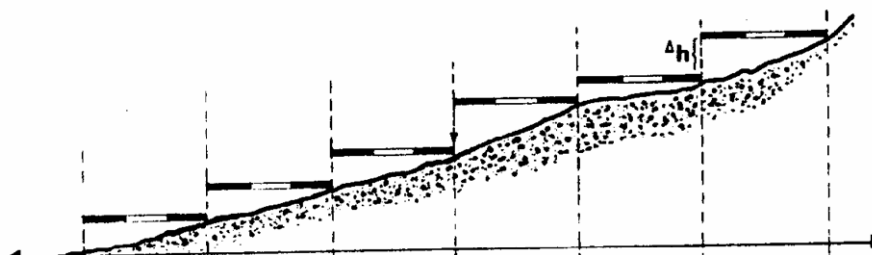


Abbildung 4.1: Staffelmessung

4.1.2 Maßbänder

Verwendung freihängend oder liegend. Bei freihängenden Bändern entstehen Ungenauigkeiten durch das Durchhängen. Für genauere Messungen muss das Maßband mit einer bestimmten Kraft F gespannt werden; der Durchhang ist dann (auch in Abhängigkeit von der Streckenlänge) berechenbar und kann als Fehlerquelle eliminiert werden. Fehler wegen elastischer Dehnung der Bänder bzw. Temperaturexpansion (v.a. bei Stahlmaßbändern wichtig) können, wenn die physikalischen Eigenschaften des Bandes bekannt sind, ebenfalls ausgeglichen werden.

Maßbänder werden aus unterschiedlichen Materialien gefertigt (Stahl, Glasfaser, ...) im Forst werden in der Regel Rollmaßbänder verwendet mit Längen zwischen 20 m und 50 m.

Beispiel für die Messgenauigkeit von Maßbändern: Glasfaserband bei einer Temperatur von 20° und einer Zugkraft von 20 kp: $\pm 2\text{mm}$ auf 10 m.

4.1.3 Sonstige Hilfsmittel zur direkten Entfernungsmessung

Der direkten Entfernungsmessung dienen auch einfachste Hilfsmittel wie Messräder, Feldzirkel und Schrittmaß. Diese Verfahren sind jeweils nur für überschlägige und grobe Messungen geeignet, aber für viele Zwecke ausreichend.

Messräder werden an einem mit der Radachse verbundenen Griff über die zu messende Strecke gerollt. Sie sind in der Regel so konstruiert, dass der Umfang genau 1 m beträgt. An einem Umdrehungszähler kann dann die Entfernung direkt abgelesen werden.

Feldzirkel sind Drehlatten von 2 m oder 3 m Länge. Sie werden z.B. in der Landwirtschaft für überschlägige Messungen bei Pacht- und Saateinteilungen verwendet.

Das **Schrittmaß** liefert relativ ungenaue Informationen. In der Forsteinrichtung werden einfache Einmessungen oft mittels „Handbussole und Schrittmaß“ erledigt.



Abbildung 4.2: Messrad und Feldzirkel (Abbildung aus dem Katalog der Fa. Grube).

4.2 Indirekte Entfernungsmessung

Indirekte Entfernungsmessungen werden mit optischen oder elektronischen Entfernungsmessgeräten durchgeführt.

4.2.1 Optische Entfernungsmessung

Die optische Entfernungsmessung kann prinzipiell als eine Art Dreiecksmessung interpretiert werden:

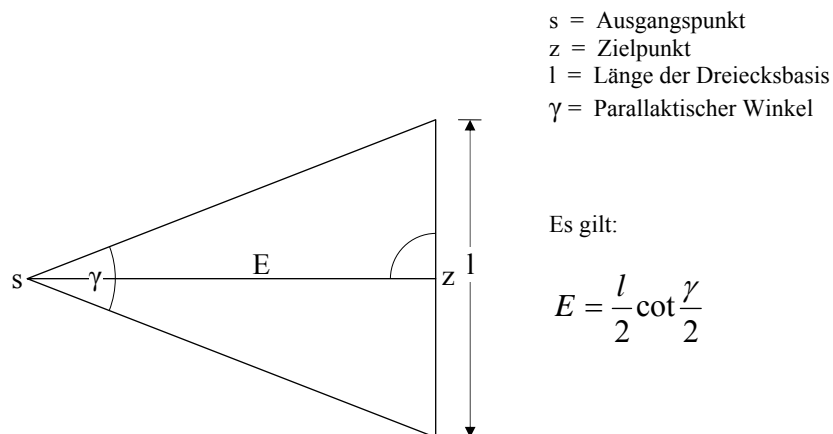


Abbildung 4.3: Parallaktisches Dreieck

Aus der Länge l der Dreiecksbasis und dem parallaktischen Winkel γ lässt sich die Höhe E des Dreiecks berechnen. Beide Größen (l und γ) werden bei großen Entfernungen relativ sehr klein.

Soll von einem Punkt S aus die Distanz zum Punkt Z gemessen werden, so kann dies

- bei konstanter Lattenlänge l über die Messung des parallaktischen Winkels γ geschehen (Basislattenmessung), bzw.
- bei konstantem parallaktischen Winkel γ über die Ablesung des durch diesen Winkel herausgeschnittenen Lattenabschnittes l (Tachymeter, Keildistanzmessung).

4.2.1.1 Basislattenmessung

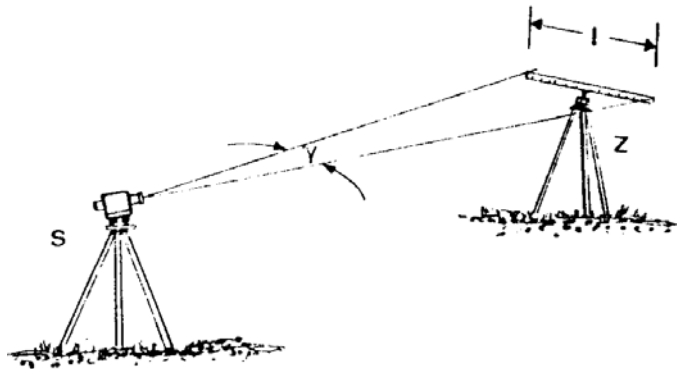


Abbildung 4.4: Basislattenmessung

Es wird eine Basislatte konstanter Länge (i.a. 2 m) im Zielpunkt Z horizontalisiert und der parallaktische Winkel gemessen. Der Winkel γ wird in der Horizontalen bestimmt, bei der Messung einer schrägen Entfernung muss daher die Winkelablesung nicht korrigiert werden (d.h. Korrekturfaktor für die Ermittlung der horizontalen aus der schrägen Entfernung ist $\cos \alpha$ (Neigungswinkel) und nicht $\cos^2 \alpha$ (1)). Die Winkelmessung wird i.a. mit einem Theodolit durchgeführt. Ausreichend ist dieses Verfahren bis zu einer Entfernung von ca. 75 m (bzw. bis 150 m, wenn die Basislatte in der Mitte aufgestellt und von beiden Seiten angezielt wird).

Dieses Verfahren findet auch in der Waldmesslehre Verwendung.

4.2.1.2 Keildistanzmessung

Setzt man waagrecht vor das Fernrohrobektiv, durch welches der Zielpunkt anvisiert wird, einen Glaskeil und peilt damit eine waagerechte Latte an, so sieht der Beobachter zwei verschiedene Lattenstellen L_1 und L_2 übereinander.

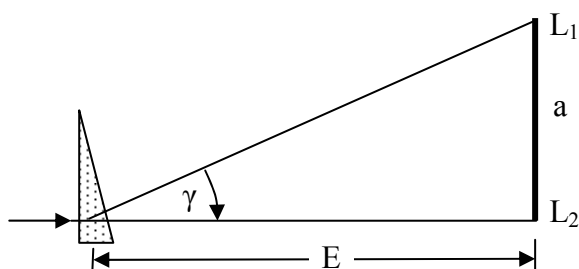


Abbildung 4.5: Keildistanzmessung

Der Winkel γ ist konstant und wird durch die Lichtbrechung im Glaskeil bestimmt. Die Strecke a , die sich aus den beiden Lattenablesungen L_1 und L_2 ergibt, ist dann ein direktes Maß für die Entfernung E :

$$\cot \gamma = \frac{E}{a}$$

$$E = a \times \cot \gamma$$

γ ist eine Gerätekonstante und wird durch den Schliff des Glaskeils bestimmt; wählt man ein γ von 0,636620 gon, so ist $\cot \gamma = 100$ und die Entfernung ist: $E = a \times 100$

4.2.1.3 Reichenbach'scher Entfernungsmesser

Tachymeter-Prinzip: Ein Tachymeter ist ein Instrument, mit dem Richtung, Vertikalwinkel und Entfernung zwischen zwei Punkten auf optischem Wege bestimmt werden können. Dieses Prinzip der Entfernungsmessung war lange der Standard in Vermessungsgeräten. Es ist heute durch elektronische Entfernungsmesser abgelöst.

Durch zwei im Inneren eines Fernrohres angebrachte Distanz-Fäden wird der parallaktische Winkel γ bei der Messung konstant gehalten. Die Berechnung der Entfernung erfolgt über die Länge des von diesen Fäden aus der Meßplatte geschnittenen Abschnittes.

Der Münchner Mechaniker Reichenbach baute (ab 1810) erstmals die Distanzfäden in lichtstarke Fernrohre ein, so dass die Lattenablesung direkt durch das Fernrohr erfolgen konnte.

Für die Entfernung ergibt sich aus Abbildung 4.6 über ähnliche Dreiecke:

$$\frac{E - (d + f)}{o - u} = \frac{f}{p} \qquad E = (d + f) + \frac{f}{p} \times l$$

$\frac{f}{p} = k$ = Multiplikationskonstante: Das Verhältnis von Objektivbrennweite zu Distanzfädenabstand ist eine Gerätekonstante. Vermessungsgeräte sind so konstruiert, dass $k = 100$.

Distanzfädenabstand ist eine Gerätekonstante. Vermessungsgeräte sind so konstruiert, dass $k = 100$.

$(d + f) = c$ = Additionskonstante; diese ist bei den üblicherweise verwendeten Fernrohren mit Zwischenlinsen sehr klein und beim normalen Vermessen vernachlässigt.

Die tachymetrische Entfernungformel ist (horizontale Strecke):

$$E = c + k \times l$$

Näherungsweise ergibt sich unter Verwendung der oben genannten Gerätekonstanten

$$E = 100 \times l$$

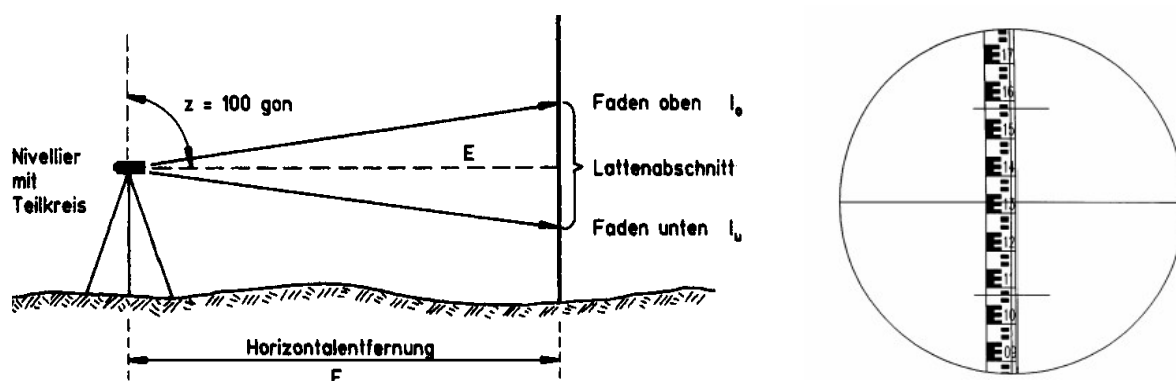


Abbildung 4.6: Tachymetrische Entfernungsmessung.

4.2.1.4 Schräge Entfernung

Aus Abbildung 4.7 ist ersichtlich, dass über die einfache tachymetrische Entfernungformel (s.o) für die schiefe Ebene mit dem Neigungswinkel α weder E noch E' direkt berechnet werden können:

1. Der aus der Latte durch die Distanzfäden herausgeschnittene Abschnitt l' entspricht nicht dem rechtwinklig zur Zielachse stehenden Abschnitt l , welcher für die Berechnung der Entfernung E' nötig wäre (l' ist größer als l).

Betrachtet man das Dreieck MOH näherungsweise als rechtwinklig, so gilt

$$\frac{l/2}{l'/2} = \cos \alpha$$

$$l = l' \times \cos \alpha$$

2. Gemessen wird dann die Entfernung E' , gesucht ist aber die horizontale Entfernung E (E' ist größer als E).

$$E = E' \times \cos \alpha$$

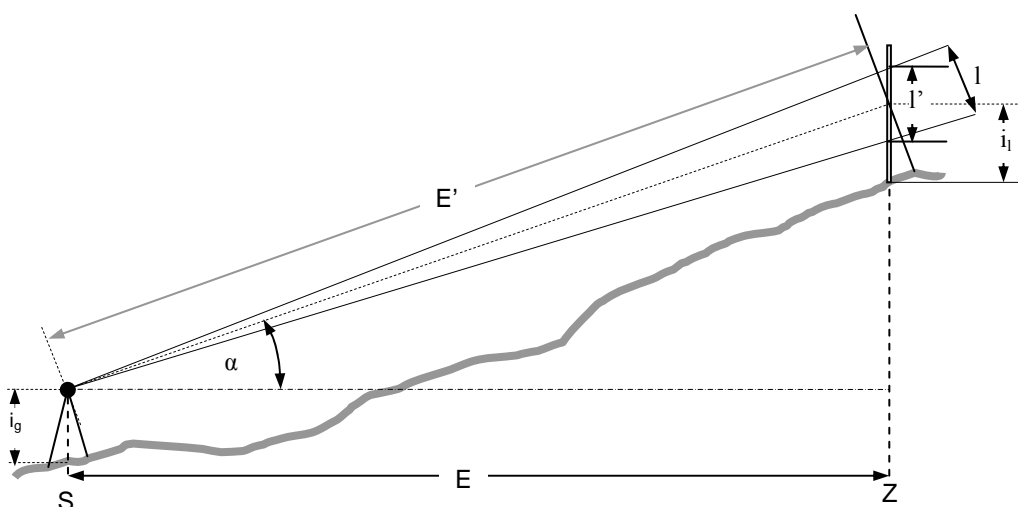


Abbildung 4.7: Messung einer schrägen Entfernung.

α : Neigungswinkel (= Vertikalwinkel). Dieser entspricht nur dann dem tatsächlichen (idealisierten) Geländeneigungswinkel, wenn die Gerätehöhe i_g gleich der Höhe i_l der Zielachse auf der Meßplatte ist.

Mit den oben angeführten Korrekturen für l' und E' ergibt sich aus der tachymetrischen Grundgleichung:

$$E = \underbrace{(c + k \times (l' \times \cos \alpha))}_{E'} \times \cos \alpha$$

$$= c \times \cos \alpha + k \times l' \times \cos^2 \alpha$$

Wird die Additionskonstante wegen ihrer geringen Größe vernachlässigt und die Gerätekonstante $k = 100$ gewählt, so ergibt sich die horizontale Entfernung nach

$$E = 100 \times l' \times \cos^2 \alpha$$

wobei l' den durch das Fernrohr abgelesenen, tatsächlichen Lattenabschnitt bezeichnet.

Der Korrekturfaktor, der für die Reduktion der schrägen auf die horizontale Entfernung notwendig ist, ist also $\cos^2 \alpha$.

Tachymeter als Entfernungsmesseinrichtungen sind Bestandteil des Theodoliten und der Tachymeterbussole.

4.2.1.5 Fehler bei der optischen Entfernungsmessung

Angestrebt wird eine Messgenauigkeit der optischen Entfernungsmessung von ± 2 cm auf 100 m, was aber nur bei sehr sorgfältigem Vorgehen erreicht werden kann.

Fehlerquellen sind im Einzelnen:

- Die Brechung der Lichtstrahlen, wenn sie z.B. Luftschichten unterschiedlicher Dichte durchlaufen.
- Flimmern der Luft; geschieht durch schnellen Austausch von Luftteilchen und kann Messungen ganz unmöglich machen.
- Schweben; langsamer Austausch unterschiedlich erwärmter Luftmassen, i.a. nicht sichtbar.
- Gerätefehler wie Dejustierung etc.
- Lattenfehler; fehlerhafte Aufstellung der Latte.
- Meß-, Ablese- und sonstige Bedienungsfehler.
- Sonstiges.

4.2.2 Elektronische Entfernungsmessung

Die optische Entfernungsmessung mittels Tachymeter war viele Jahrzehnte lang das genaueste und am meisten verwendete Entfernungsmessverfahren. Mit der Nutzung elektromagnetischer Wellen zur Entfernungsmessung wurden Messgeräte entwickelt, die in Genauigkeit, Bedienungskomfort und Entwicklungsfähigkeit weit überlegen sind,

Der erste elektronische Entfernungsmesser (Geodimeter) wurde 1948 in Schweden entwickelt. Er war ein Resultat von Versuchen, die der Verbesserung der Messung der Lichtgeschwindigkeit dienten. Die ersten Geräte, die gebaut wurden, waren sehr teuer, für den standardmäßigen Feld-Einsatz zu schwer und erforderten komplizierte Berechnungen zur Herleitung der Entfernung aus den Messdaten. Heute sind elektronischen Entfernungsmesser Standard in der Vermessung.

Die elektronische Entfernungsmessung kann zwei Grundprinzipien: Das Impulsverfahren und das Phasenvergleichsverfahren. Beim Impulsverfahren wird die Entfernung aus der Zeit berechnet, die ein Impuls (= kurzzeitiges Wellenpaket) benötigt, um die zu messende Entfernung zu

durchlaufen. Beim Phasenvergleichsverfahren kann die Entfernung aus der Phasendifferenz der Wellen beim Aussenden und Wiederempfangen berechnet werden.

Die Bedienung der elektronischen Entfernungsmesser beschränkt sich auf das Aufstellen (mit Zentrieren und Horizontieren), Einstellen und Ablesen. Die Ergebnisse werden auf einer Digitalanzeige ausgegeben und können unmittelbar gespeichert werden.

Messgeräte, die nach den Prinzipien des Impuls- bzw. Phasenvergleichsverfahren arbeiten, werden auch für sehr große Entfernungen eingesetzt, z.B. für Navigationszwecke und auch zur Positionsbestimmung von Satelliten.

Als forstliche Messgeräte werden entweder Entfernungsmesser auf der Basis von Laser – Abstandsmessung oder Ultraschallmessung eingesetzt. Bei beiden Gerätetypen wird die Entfernung aus der Signal- bzw. Laserlaufzeit berechnet. Während die Lasermessung teilweise ohne einen Reflektor funktioniert, benötigen Ultraschall-basierte Entfernungsmesser einen Transponder, der die ausgestrahlten Schallsignale empfängt und dann ein anders kodierte Signal zurückwirft (z.B. Vertex).

5 Höhenmessung

5.1 Höhenmessung mit Tachymeter

Mit der in Kapitel 4.2.1.4 beschriebenen tachymetrischen Messung einer schrägen Entfernung kann auch der Höhenunterschied h zwischen Geräte- und Lattenstandpunkt berechnet werden:

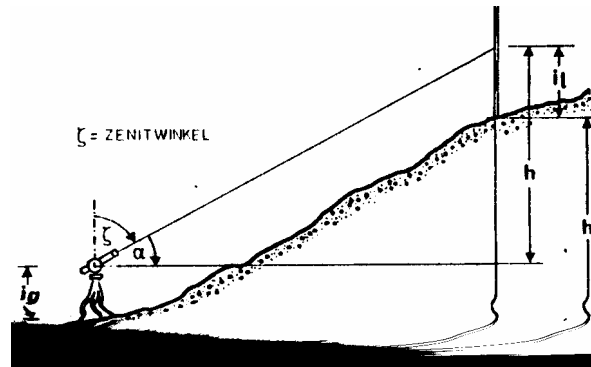


Abbildung 5.1: Tachymetrische Höhenmessung.

$$h = E * \tan \alpha$$

bzw. falls die Gerätehöhe $i_g \neq i_l$

$$h = E * \tan \alpha + i_g - i_l$$

(Grundgleichung der tachymetrischen Höhenmessung).

Setzt man für E die korrigierte Entfernung aus Kapitel 4.2.1.4 ein, so ergibt sich aus der Grundgleichung:

$$\begin{aligned} h &= 100 * l * \cos^2 \alpha * \tan \alpha \\ &= 100 * l * \sin \alpha * \cos \alpha \\ &= 100 * l * \frac{1}{2} \sin 2 \alpha \\ (\tan \alpha &= \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \text{ und } \sin \alpha * \cos \alpha = \frac{1}{2} \sin 2 \alpha) \end{aligned}$$

5.2 Prinzip des Nivellment

Aufgabe des Nivellements ist die Bestimmung des Höhenunterschieds zwischen zwei Geländepunkten. Beim Nivellement (geometrische Höhenmessung), wird der Höhenunterschied Δh über die Ablesung der Lattenabschnitte l_R und l_V , die sich beim Anpeilen der Latten R und V mit einem dazwischen aufgestellten und horizontal ausgerichteten Messgerät ergeben, ermittelt.

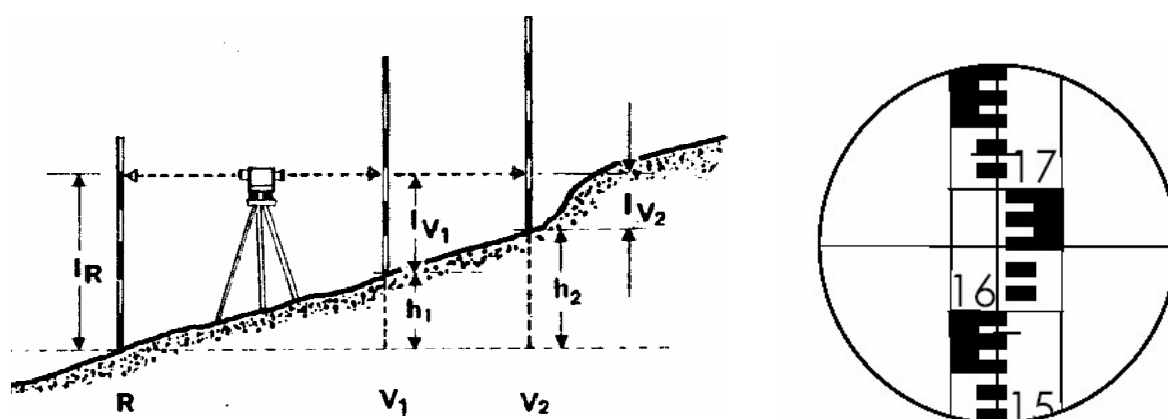


Abbildung 5.2: Prinzip des Nivellements und der Lattenablesung.

Je nach Geländeneigung können von einem Gerätestandpunkt aus mehrere Latten angepeilt werden (Nivellement mit Zwischenpunkten). Bei jeder Geräteaufstellung muss ein schon eingemessener Punkt als Bezugspunkt miteinbezogen werden (Rückblick R); im Vorblick (V) erfolgen die Lattenablesungen an den noch einzumessenden Punkten. Aus Abbildung 5.2 ist ersichtlich, dass

$$h = (l_R - l_V)$$

Es werden in der Regel klappbare Holzlatten mit cm – Unterteilung verwendet. Millimeter werden geschätzt.

5.3 Nivelliergeräte

Wichtigste Aufgabe eines Nivelliergerätes ist die Erzeugung einer waagerechten Zielachse, über die die Lattenablesungen vorgenommen werden können. Nach der Art, auf welche Weise diese Waagerechte hergestellt wird, unterscheidet man:

1. Einfache Nivelliergeräte
2. Nivelliergeräte mit Libellenhorizontierung
3. Automatische Nivelliere (mit selbsthorizontierender Zielachse)

5.4 Einfache Nivelliergeräte

Die im Folgenden genannten einfachen Hilfsmittel zum Nivellieren werden höchstens noch behelfsmäßig verwendet.

Kanalwaage, Schlauchwaage

Bei diesen Geräten wird die horizontale Ziellinie durch die Visur über einen Flüssigkeitsspiegel hergestellt. Die Zielgenauigkeit bei der nur wenige dm langen Kanalwaage ist relativ gering. Bei Schlauchwaagen wird über die Enden eines mit Flüssigkeit gefüllten 20 – 30 m langen Schlauches gepeilt; an den Enden befinden sich Glaszylinder mit Millimeter – Skala. Mit solchen Schlauchwaagen sind sehr genaue Visuren möglich.

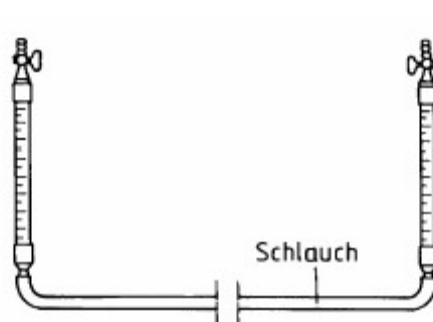


Abbildung 5.3: Schlauchwaage

Setzlatten

Setzlatten werden z.B. im Wegebau bei der Aufnahme der Querprofile verwendet. I.a. sind es 3 m lange Latten, die mit einer Libelle waagrecht ausgerichtet werden. Der Höhenunterschied wird an einer Messlatte o. ä. abgelesen, die daneben gestellt werden muss.

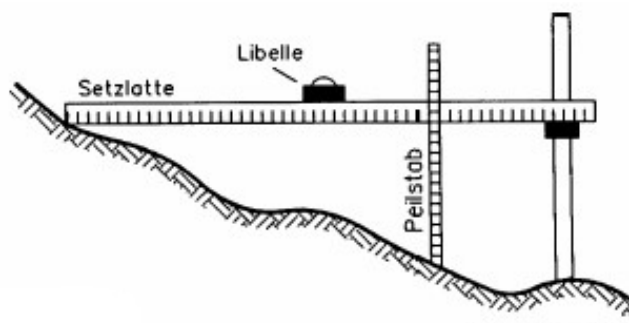


Abbildung 5.4: Höhenmessung mit Setzlatte.

Zur Not lässt sich die Waagrechte auch mit einem Gefälle messer bestimmen. Die Setzlatten werden dann so ausgerichtet, dass ihre Steigung genau 0 % ist.

5.5 Nivelliere mit Libellenhorizontierung

Bei Messungen auf größere Entfernungen werden Messfernrohre eingesetzt. Die Zielachse geht durch das Fernrohr und wird exakt horizontiert. Nach der Art wie diese Horizontierung vorgenommen wird unterscheidet man Nivelliere mit Libellenhorizontierung und automatische Nivelliere.

Das Fernrohr der Nivelliere mit Libellenhorizontierung ist so mit dem festen Unterbau (und Stativ) verbunden, dass die Zielachse durch Schrauben verstellt und eingerichtet werden kann. Die Einrichtung erfolgt über Libellen. Bei manchen Geräten kann die Feineinstellung über eine ins Fernrohr eingespiegelte Röhrenlibelle vorgenommen werden.

Das genaue Horizontieren ist relativ zeitaufwendig. Die Geräte sollen möglichst mittig zwischen den Messlatten aufgestellt werden: leichte Winkelfehler zwischen Libellenhorizont und Zielachse gleichen sich dann bei der Differenzbildung der Lattenablesung aus.

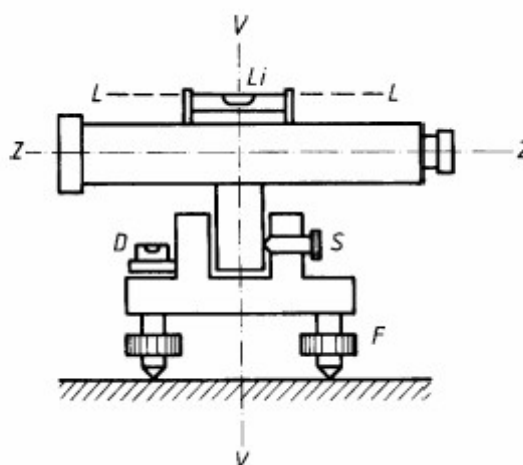


Abbildung 5.5: Nivellier mit Libellenhorizontierung.

5.6 Automatische Nivelliere

Justiert man eine Pendelwaage so, dass sich ihre Enden unter dem Einfluss der Schwerkraft selbständig einpendeln und eine Horizontale bilden, so hat man schon ein einfaches automatisches Nivellier. Bei Geräten, die nach diesem Prinzip arbeiten, läuft der Zielstrahl über einen pendelnd gelagerten Spiegel, der sich so ausrichtet, dass die Zielachse genau horizontiert ist. Solche Nivelliere können die Zielachsen – Ausrichtung natürlich nur in gewissen Grenzen vornehmen und das Gerät muss zunächst über eine einfache Dosenlibelle grob ausgerichtet werden.

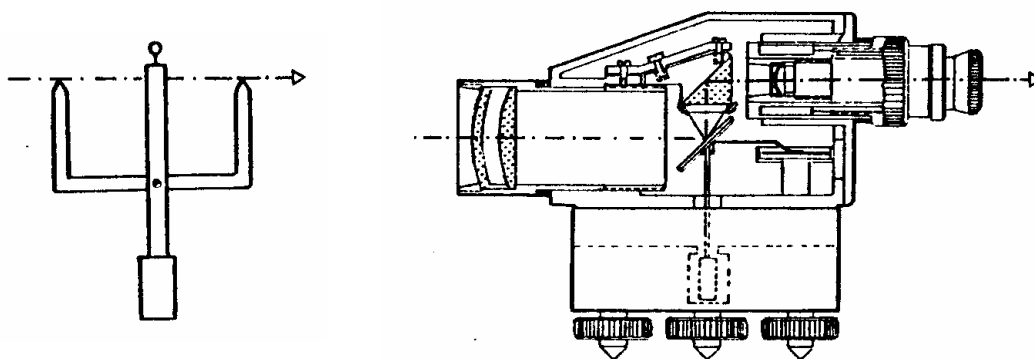


Abbildung 5.6: Pendelwaage und (automatischer-) Kompensationsnivellier.

Nach der maximal erreichbaren Genauigkeit und dem Verwendungszweck können Baunivelliere, Ingenieurnivelliere und Feinnivelliere unterschieden werden.

Die Einteilung nach der Genauigkeit kann jeweils für die Nivelliere mit Libellenhorizont-ierung und für die automatischen Nivelliere vorgenommen werden.

Baunivelliere	$\pm 5-10 \text{ mm/Km}$	Für einfache technische Höhenmessung auf Baustellen. Geräte sollen robust und unempfindlich gegen Schlag und Stoß sein.
Ingenieurnivelliere	$\pm 2-3 \text{ mm/Km}$	Ingenieurvermessung im Gleis-, Brücken-, und Tunnelbau und für Festpunktnivellements.
Feinnivelliere	$\pm 0,5 \text{ mm/Km}$	Für Festpunktnivellements höchster Genauigkeit.

5.7 Nivellierverfahren

5.7.1 Festpunktnivellements

Mit Festpunktnivellements wird ein Nivellmentpunkt – Feld geschaffen oder verdichtet. Diese Festpunkte werden dauerhaft markiert (Mauerbolzen, Pfeilerbolzen). Ihre genaue Lage ist in einem Höhenverzeichnis (Nachweis der Nivellement – Punkte) festgehalten. Die Höhenverzeichnisse sind u.a. beim Katasteramt verfügbar.

In Deutschland ist die Grundlage des Nivellement – Feldes das deutsche Höhennetz (DHHN), dass sich auf einen fest definierten Normalhöhen – Nullpunkt bezieht und mit höchster

Genauigkeit vermessen ist. Das DHHN wird durch ein Nivellement – Netz erster bis vierter Ordnung verdichtet.

5.7.2 Längs – und Querprofile

Längs – und Querprofile sind bei der Trassierung von Wegen, Strassen, Bahntrassen ect. aufzunehmen. Längsprofile sind Vertikalschnitte durch die Erdoberfläche entlang einer Leitlinie (z.B. Wegeleitlinie als zukünftige Wegachse). Die Aufnahme von Längsprofilen geschieht mit Nivelliergeräten.

Querprofile sind Vertikalschnitte senkrecht zur Leitlinie. Sie werden so weit rechts und links der Leitlinie gelegt, dass das ganze Gelände dargestellt wird, welches von dem Bauvorhaben betroffen ist. Im forstlichen Wegebau ist der aufgenommene Geländestreifen etwa 16 bis 20 m breit (8 bis 10 m beiderseits der Wegachse). Die Aufnahme erfolgt hier mit Setzlatten.

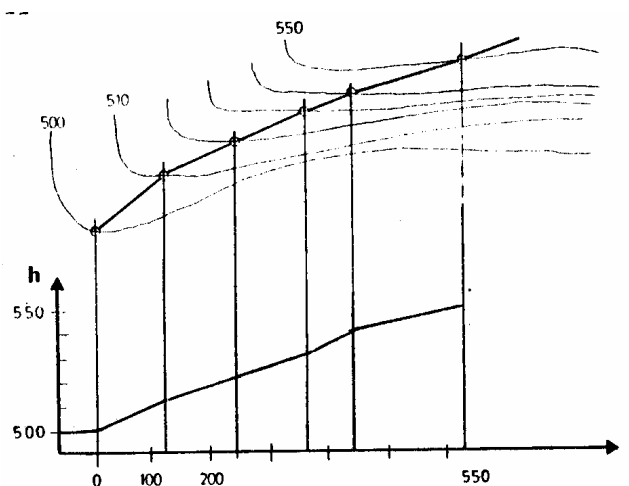


Abbildung 5.7: Längsprofil eines Wegabschnittes. Bei der grafischen Darstellung sind die Achsen unterschiedlich eingeteilt, man spricht hier dabei von Überhöhung. In der Abbildung ist die Überhöhung vierfach.

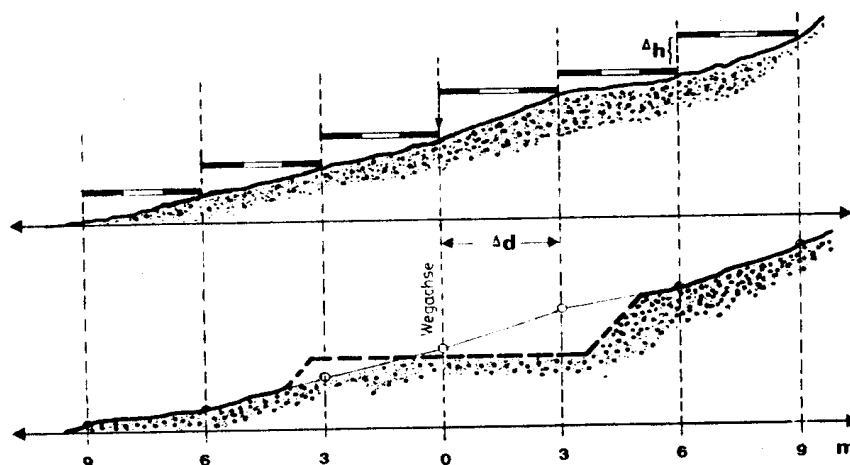


Abbildung 5.8: Querprofil. Oben: Aufnahme im Gelände mittels Staffelmessung, Unten: Kartenmassige Darstellung der aufgenommenen Daten.

5.7.3 Flächennivellements

Für die Höhenvermessung von Anlagen mit einer größeren Flächenausdehnung reichen Längs- und Querprofile alleine nicht aus. Beim Flächennivellement wird der Entwurf eines Lageplans mit Höhenlinien angestrebt (Höhenlinien = Horizontal – Linien, durch die Punkte mit gleicher Höhe verbunden werden). Hierfür wird die Höhe vieler über das Gelände verteilter Punkte gemessen. Über die Lage dieser Punkte und ihre ermittelte Höhe können mittels Interpolation zwischen den einzelnen Punkten die Höhenlinien entworfen werden. Die Höhenmessung erfolgt in schwach geneigtem Gelände durch Nivellement, in stärker geneigtem tachymetrisch.

Zunächst wird ein Lageplan der Punkte entworfen, die vermessen werden sollen. Diese Punkte werden dann lagemässig eingemessen. Je nach Qualität und Umfang der bereits vorliegenden Daten können folgende Vorgehen unterschieden werden:

1. Wenn ein Lageplan mit vielen vermessenen Punkten bereits vorliegt, so werden diese herangezogen. Eventuell muss das Punktenetz durch Festlegen weiterer Punkte unter Anbindung an vorhandene weiter verdichtet werden.
2. Wenn die Grenzen der Fläche bekannt und eingemessen sind, so reicht es oft aus, mehrere Profile durch das Gelände zu legen, die an die Grenzlinie angebunden werden. Dieses Vorgehen eignet sich besonders für relativ langgestreckte, nicht zu breite Flächen.
3. Wenn keine Vermessungsgrundlage existiert, so wird das Gelände mit einem rechtwinkligen Gitternetz überzogen. Sämtliche Gitterpunkte werden eingemessen. Das gesamte Netz wird an einem in der Nähe liegenden Höhenpunkt angebunden.

Um Verwechslungen ect. zu vermeiden, ist bei Aufnahmen dieser Art neben dem Nivellement – Feldbuch, in dem die Höhenmessungen verzeichnet werden, ein Lage – Feldbuch zu führen, in dem die Punkte lagemässig bestimmt und durchnummeriert sind.

Für die grafische Darstellung werden die Höhen zwischen den Punkten interpoliert. Die so ermittelten Punkte einer Höhenlinie werden durch eine ausgerundete Linie verbunden.

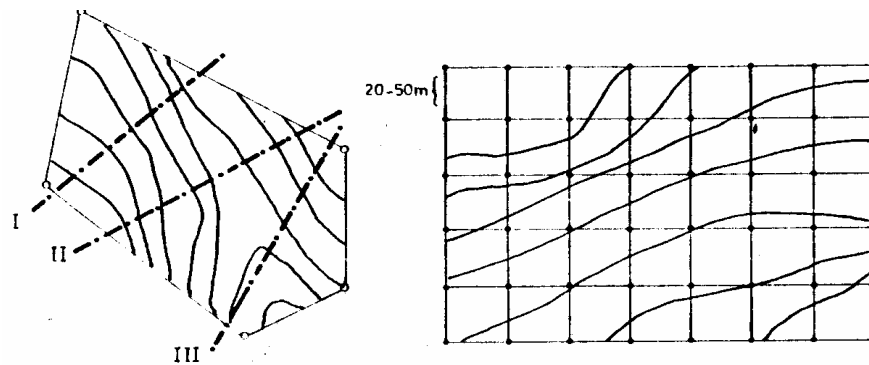


Abbildung 5.9: Flächennivellement

6 Polygonzüge

6.1 Allgemeines zu Polygonzügen

Der Vermessung größerer Flächen oder Linien wird ein Polygonzug zugrunde gelegt. Ein Polygon besteht aus n Linien, die in der Regel ungleich lang sind, und weist $n-1$ (offener Polygonzug) oder n (geschlossener Polygonzug) Ecken (=Brechpunkte) auf. Man unterscheidet also die offenen Polygonzüge, die an einem Punkt P_A beginnen und an einem Punkt $P_E \neq P_A$ enden, und die geschlossenen Polygonzüge, bei denen sich Anfangs- und Endpunkt entsprechen und die eine bestimmte Fläche an allen Seiten begrenzen.

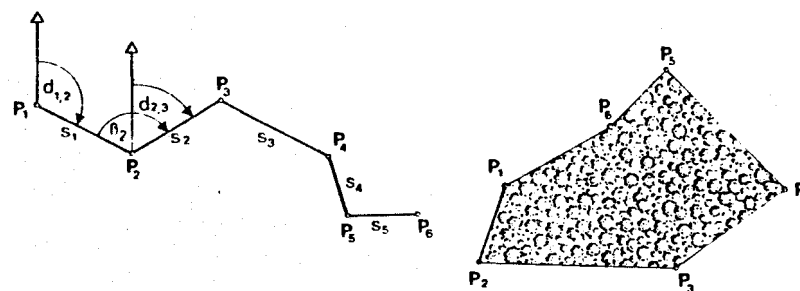


Abbildung 6.1: offener und geschlossener Polygonzug

Ein Polygonzug ist durch die Koordinaten seiner Ecken eindeutig bestimmt. Durch Messen der Einzelstrecken und der Brechungswinkel oder der Richtungswinkel lassen sich die Koordinaten sämtlicher Punkte berechnen.

6.2 Koordinatenrechnung

6.2.1 Richtungswinkel und Brechungswinkel

Sind zwei Vektoren $\overrightarrow{P_1P_2}$ und $\overrightarrow{P_2P_3}$ gegeben, so ist der Richtungswinkel des Vektors $\overrightarrow{P_1P_2}$ der Winkel $\alpha_{1,2}$ zwischen $\overrightarrow{P_1P_2}$ und der Abszissenrichtung.

Der Brechungswinkel β_2 ist der Winkel, den die beiden Vektoren bilden.

Die Winkel werden grundsätzlich rechtsläufig gemessen, beim Richtungswinkel ausgehend von der Abszisse, beim Brechungswinkel im Sinne der vorschreitenden Messung.

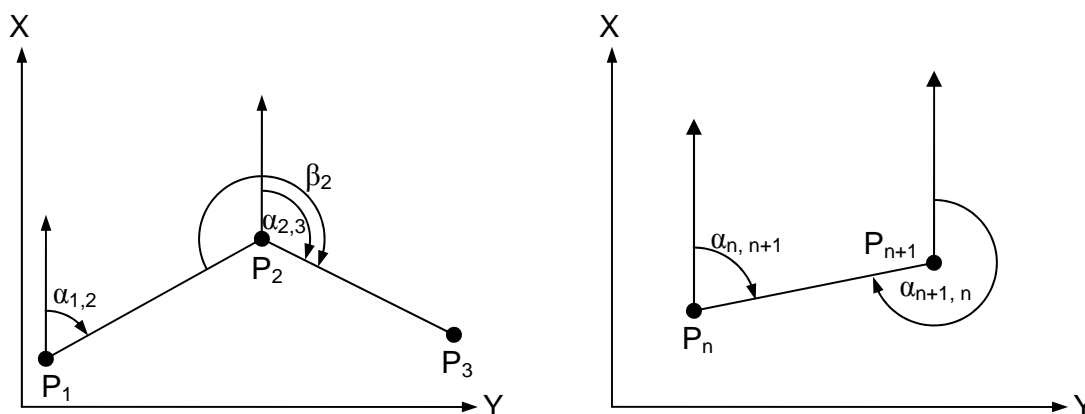


Abbildung 6.2: Brechungswinkel und Richtungswinkel

Zwischen Brechungs- und Richtungswinkel benachbarter Strecken eines Polygons besteht folgende Beziehung:

$$\alpha_{n,n+1} = \alpha_{n-1,n} + \beta_n \pm 200\text{gon}$$

dabei bedeutet $\alpha_{n,n+1}$: Richtungswinkel der Strecke vom n-ten bis zum (n+1)-ten Punkt und zwar vom n-ten Punkt aus gesehen.

Für die beiden Richtungswinkel einer Strecke (je nach dem, ob man ihn vom Anfangs- oder Endpunkt aus bestimmt) gilt:

$$\alpha_{n,n+1} = \alpha_{n+1,n} \pm 200gon$$

6.2.2 Entfernung und Richtung aus rechtwinkligen Koordinaten

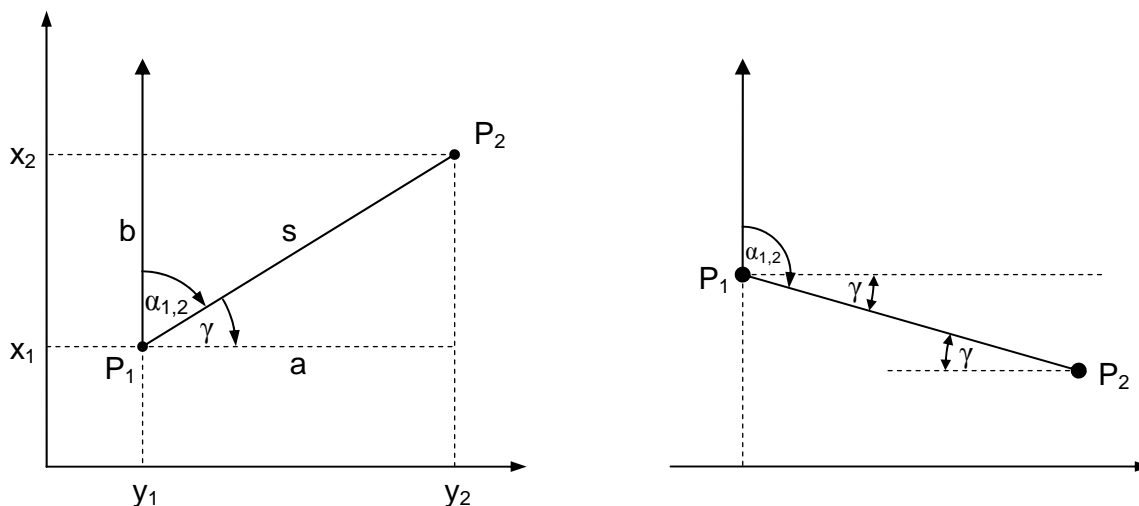


Abbildung 6.3: Zur Koordinatenrechnung

Sind zwei Punkte P1 und P2 durch ihre Koordinaten lagemäßig bestimmt, so lässt sich über die Koordinatendifferenz direkt die Entfernung ermitteln:

$$s = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$s = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Der Richtungswinkel ergibt sich aus den Koordinatendifferenzen nach:

$$\tan \alpha_{1,2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Daran, ob Δy bzw. Δx positiv oder negativ sind, ist erkennbar, in welchem Quadranten der Winkel α liegt:

	I	II	III	IV
Δy	+	+	-	-
Δx	+	-	-	+

6.2.3 Rechtwinklige Koordinaten aus Strecke und Richtungswinkel

Sind die Koordinaten eines Punktes gegeben, so lassen sich aus Streckenlänge und Richtungswinkel die Koordinaten des nächsten Punktes berechnen:

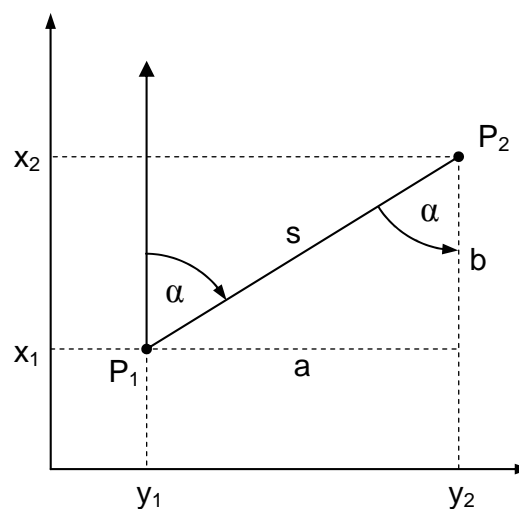


Abbildung 6.4: Zur Koordinatenrechnung

$$a = y_2 - y_1 \quad \text{und} \quad a = s \cdot \sin \alpha$$

$$b = x_2 - x_1 \quad \text{und} \quad b = s \cdot \cos \alpha$$

und somit

$$y_2 = y_1 + s \cdot \sin \alpha$$

$$x_2 = x_1 + s \cdot \cos \alpha$$

6.3 Aufnahme von Polygonzügen

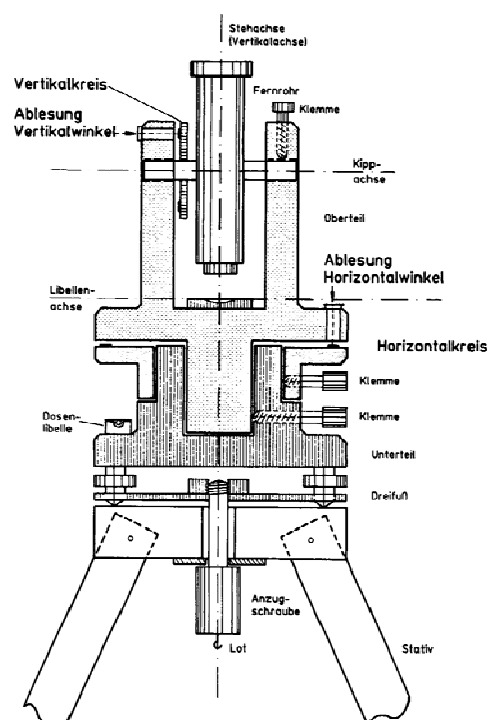
Die Aufnahme von Polygonzügen erfolgt durch die Messung sämtlicher Teilstrecken und die Messung der Winkel in jedem Punkt, wobei entweder die Richtungswinkel mit der Bussole oder die Brechungswinkel mit dem Theodolit gemessen werden.

Hier erfolgt zunächst die Beschreibung des Vorgehens mit dem Theodolit. Besonderheiten, die sich bei der Aufnahme mit der Bussole ergeben, werden weiter unten zusammengefasst.

Die Auswahl der Polygonpunkte richtet sich nach dem Vermessungszweck; i.a. wird man dem Verlauf von Strassen oder Wegen o.ä. folgen. Die Einzelstrecken sollen so liegen, dass andere noch aufzunehmende Objekte möglichst unkompliziert angebunden werden können. Die Länge einer Einzelstrecke soll beim Theodolit nicht unter 50 m und unter normalen Umständen nicht über 200 – 300 m liegen. Die Teilstrecken sollen also relativ lang sein, wodurch der ungünstigen Fortpflanzung der Winkelfehler entgegengewirkt wird.

Um die Gesamtlage des Polygonzuges zu bestimmen, muss dieser an einen in der Nähe liegenden trigonometrischen Punkt angeschlossen werden.

Grundsätzlich sollen in der Nähe liegende Punkte Bestandteil des Polygonzuges sein.



Für die Feldaufnahme gilt Folgendes:

Die einzelnen Punkte sind mit lotrecht stehenden Fluchtstäben zu markieren. Der Theodolit wird an seinem Standpunkt genau über dem Polygonpunkt zentriert. Bei beidem ist große Sorgfalt nötig, da sonst Fehler bei der Winkelmessung entstehen.

In jedem Punkt wird die Entfernung zum vorhergehenden und zum nächsten Punkt gemessen. Die Streckenmessung erfolgt doppelt, die zweite Messung kann als Sicherungsmessung aufgefasst werden. Der Mittelwert beider Messungen gilt als beste Näherung an die wahre Entfernung. Die Entfernung wird i.a. mit elektronischen Distanzmessern erfasst.

Der Brechungswinkel zwischen zwei Strecken ergibt sich aus der Differenz der beiden Horizontalkreisablesungen bei der Peilung zum rückwärtsliegenden und zum vorwärtsliegenden Punkt.

Der Neigungswinkel wird über die Vertikalkreisablesung bestimmt. Sämtliche gemessenen Größen werden im Aufnahmeformular notiert. Zusätzlich wird eine Lageskizze angefertigt, in die die gemessenen Punkte eingezeichnet werden.

Soll ein mit Theodolit vermessener Polygonzug in eine Karte eingetragen werden, so muss in mindestens einem Punkt auch eine Richtung bestimmt werden (Bussole), um ihn richtig in das Koordinatensystem einhängen zu können.

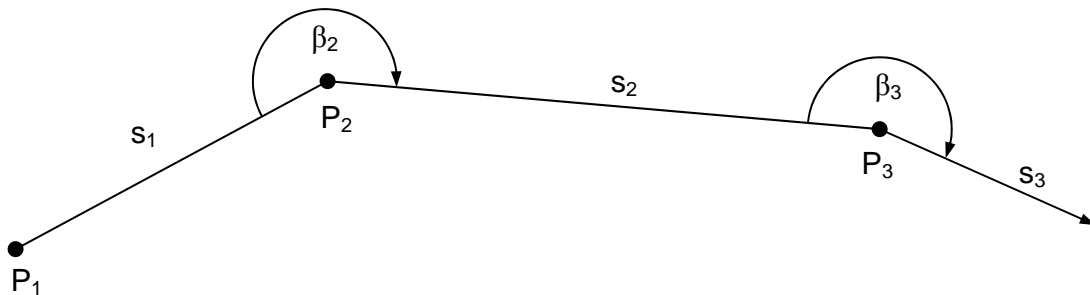


Abbildung 6.5: Aufnahme eines Polygonzuges mit dem Theodolit.

Aufnahme mit der Bussole

Mit der Bussole wird in jedem Punkt nicht der Brechungswinkel der angrenzenden Strecken, sondern der Richtungswinkel, d.h. der Winkel zwischen Nordrichtung und der nächsten Strecke, gemessen.

Soll der gemessene Polygonzug korrekt in ein rechtwinkliges Koordinatensystem übertragen werden (GAUß-KRÜGER o.ä.) so ist bei der Bestimmung des Richtungswinkels zusätzlich die Nadelabweichung zu berücksichtigen (**Die Nadelabweichung ist der Unterschied zwischen Magnetisch-Nord und Gitter-Nord des verwendeten Koordinatensystems**).

Bestimmt man in einem Gerätestandpunkt die Richtungswinkel beider angrenzender Strecken, so kann jede zweite Ecke übersprungen werden (Sprungstandverfahren). Misst man in jedem Punkt beide Richtungswinkel, so liegen für jede Strecke zwei Richtungswinkel vor (von beiden Strecken aus gemessen). Das Sprungstandverfahren ist schneller, aber wegen fehlender Sicherungsmessung ungenauer.

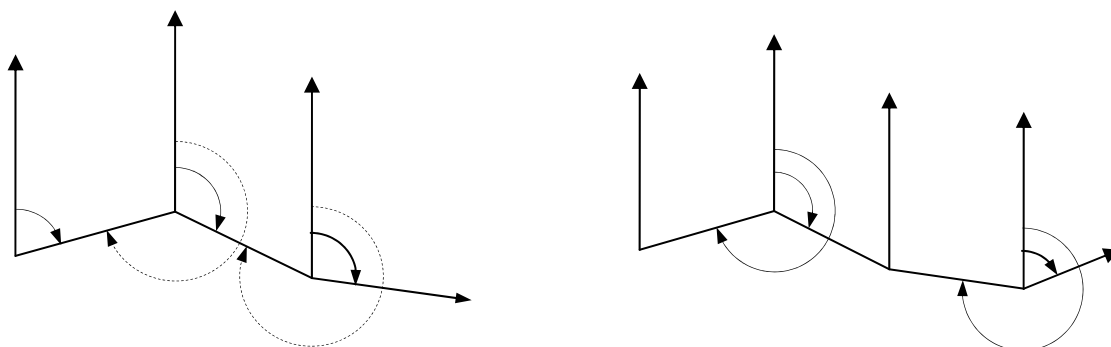


Abbildung 6.6: Aufnahme eines Polygonzuges mittels Bussole, rechts Sprungstandverfahren.

Die Einzelstrecken im Bussolenzug sollen mit 50 – 80 m relativ kurz gehalten werden (s.u.). Bei Vermessungsaufgaben in der praktischen Forsteinrichtung sind z.T. keine hochgenauen Ergebnisse nötig; es reicht dann die Verwendung von Handbussolen (z.B. Suunto) und Schrittmaß (oder Ultraschallentfernungsmesser). Derart gewonnene Ergebnisse sollten noch vor Ort anhand einer Karte auf Plausibilität geprüft werden.



Abbildung 6.7: Suunto Taschenbussole und BREITHAUPT Tachymeterbussole (Abb. Aus dem Katalog der Fa. Grube).

Fehlerfortpflanzung bei Polygonzügen

Die Auswirkung einer fehlerhaften Winkelmessung mit dem Theodolit bzw. beim Bussolenzug zeigt folgende Abbildung:

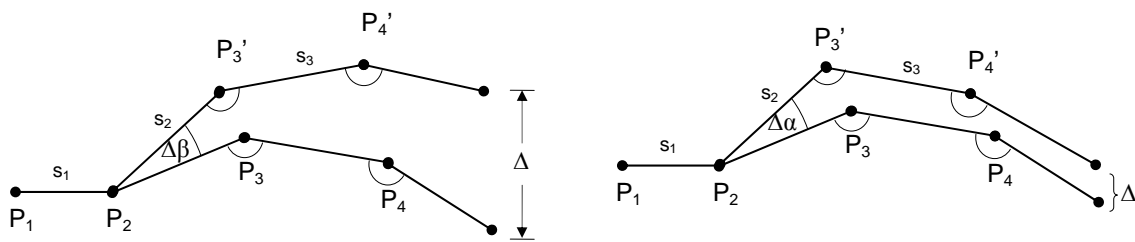


Abbildung 6.8: Fehlerfortpflanzung bei einer Polygonzugaufnahme mit Theodolit (links) und Bussole (rechts).

Bei einer Bussole erfolgt mit jeder Messung eine – von vorherigen Messungen unabhängige – Richtungsbestimmung. Aus einer fehlerhaften Ermittlung eines Richtungswinkels resultiert daher „nur“ eine Parallelverschiebung des Polygonzuges. Die Einzelstrecken sollen deshalb kurz gehalten werden, die gesamte Verschiebung durch fehlerhafte Winkelmessung bleibt dann relativ gering.

Bei der Messung mit dem Theodolit wirkt sich eine fehlerhafte Winkelmessung stärker aus, da durch die Messung des Brechungswinkels in einem Punkt P₂ nicht die absolute Richtung der folgenden Strecke s₂ bestimmt wird, sondern ihre relative Lage zur vorhergehenden Strecke s₁. Nach einer fehlerhaften Winkelmessung schert der Polygonzug also immer weiter auseinander, der Fehler pflanzt sich in viel stärkerer Weise auf den gesamten Polygonzug fort als es beim Bussolenzug der Fall ist. Daher sollen möglichst wenige Winkel (bzw. möglichst lange Strecken) gemessen werden.

6.4 Polygonierung und Berichtigung der Messdaten

In einem geschlossenen Polygonzug beträgt

die Summe der Innenwinkel = $(n-2) \cdot 200 \text{ gon}$

die Summe der Außenwinkel = $(n+2) \cdot 200 \text{ gon}$

Diese Werte werden bei der Überprüfung und Berichtigung der Messergebnisse verwendet.

Bevor die Koordinaten der einzelnen Eckpunkte berechnet werden und eventuell eine Karte angefertigt wird, ist ein Ausgleich der (unvermeidlichen) Messfehler vorzunehmen. Ein solcher Ausgleich geschieht in drei Schritten:

1. Winkelabschlussfehler

Zwischen Sollsumme der Außenwinkel (entsprechendes gilt auch für die Innenwinkel) und der sich aus der Messung ergebenden Summe wird eine Differenz bestehen:

$$f_{\beta} = (n + 2) * 200 gon - \sum \beta_i$$

Diese Differenz wird als Winkelabschlussfehler bezeichnet. Ist der Fehler nicht zu groß, so wird er auf die einzelnen Winkel gleichmäßig verteilt. Zu groß ist er, wenn er die per Verwaltungsvorschrift festgelegten Fehlergrenzen überschreitet.

Liegen die Brechungswinkel nicht als Messung direkt vor (Bussolenzug), so müssen sie vorher rechnerisch ermittelt werden (s. Kap. 6.2).

2. Korrektur der Richtungswinkel

Mit den aus 1. resultierenden korrigierten Brechungswinkeln wird nun für jeden Punkt des Polygonzuges der Richtungswinkel berechnet nach:

$$\alpha_{n,n+1} = \alpha_{n-1,n} + \beta_n \pm 200 gon$$

Am Ende der Richtungswinkelbestimmung können die Berechnungen dadurch überprüft werden, dass sich für den Richtungswinkel der ersten Strecke am Anfang und am Ende der Berechnungen derselbe Wert ergeben muss.

3. Streckenfehler

Mit den so ermittelten Richtungswinkeln und den gemessenen Strecken werden nun die Koordinaten aller Punkte berechnet. Sinnvollerweise listet man für jede Strecke und ihren Richtungswinkel die Werte

$$s_i * \sin \alpha \qquad s_i * \cos \alpha$$

auf (= Koordinatendifferenzen zwischen Anfangs- und Endpunkt der Strecke s, für die x- und y-Koordinaten). Die Summe dieser Werte müsste im geschlossenen Polygonzug 0 werden, da Anfangs- und Endpunkt des Polygonzuges im Idealfall identisch sind. Aufgrund von Messfehlern ergibt sich ein Widerspruch. Der Streckenabschlussfehler folgt aus den Werten

$$f_y = 0 - \sum s_i * \sin \alpha_i \qquad (\text{Streckenfehler in y-Richtung})$$

$$f_x = 0 - \sum s_i * \cos \alpha_i \qquad (\text{Streckenfehler in x-Richtung})$$

nach

$$f_s = \sqrt{f_y^2 + f_x^2}$$

Ist der Fehler nicht zu groß (Fehlergrenzen!), so wird er auf die einzelnen Streckenabschnitte verteilt: Die Streckenfehler in y- und x- Richtung werden jeweils proportional zu den gemessenen Koordinatendifferenzen zugeteilt D.h. um den Anteil des Gesamtfehlers zu ermitteln, mit dem eine Strecke korrigiert werden muss, muss die Koordinatendifferenz zwischen Anfangs- und Endpunkt der Strecke ins Verhältnis gesetzt werden zur Summe der Beträge aller Koordinatendifferenzen (gilt getrennt jeweils für die Korrektur der y- und der x- Koordinaten).

Nach Beseitigung bzw. Verteilung des Winkel- und Streckenabschlussfehlers können die endgültigen Koordinaten berechnet werden; der Endpunkt muss sich genau mit dem Anfangspunkt decken.

Für den offenen Polygonzug erfolgt die Fehlerberechnung in ähnlicher Weise; der Brechungswinkel der letzten Strecke ergibt sich aus dem der ersten Strecke und der Summe der Brechungswinkel nach

$$\alpha_{Schluß} = \alpha_{Anfang} + \sum \beta \pm n * 200 gon$$

wobei n ganzzahlig ist.

Daraus kann dann der Winkelabschlussfehler bestimmt werden.

7 Flächenberechnung

Ist eine durch gerade Linien begrenzte Figur vorgegeben bzw. vermessen, so kann die Fläche, die durch diese Linien begrenzt ist, berechnet werden.

Die Flächenermittlung ist (neben der Lagebestimmung) i.a. ein obligatorischer Bestandteil der Stückvermessung. Nach der Art der Berechnung unterscheidet man:

Flächenberechnung ohne vorliegende Karten:

1. Flächenberechnung aus örtlich gemessenen Daten
2. Flächenberechnung aus Koordinaten

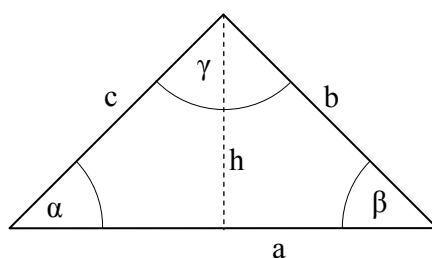
Flächenberechnung mit Hilfe von Karten:

3. Halbgrafische Flächenermittlung
4. Grafische Flächenermittlung

7.1 Flächenberechnung aus örtlich gemessenen Daten

Die zu berechnende Fläche wird in einfache geometrische Figuren zerlegt. Grundfiguren der Flächenberechnung sind Dreiecke und Trapeze:

$$\begin{aligned} 2F &= a \cdot b \cdot \sin \alpha \\ &= b \cdot c \cdot \sin \gamma \\ &= c \cdot a \cdot \sin \beta \end{aligned}$$



$$2F = h \cdot a$$

Abbildung 7.1: Dreieck

Der Wert h ist i.a. nicht gemessen. Sind nur die Seitenlängen a, b und c bekannt, so ergibt sich die Fläche nach der Dreiecksformel:

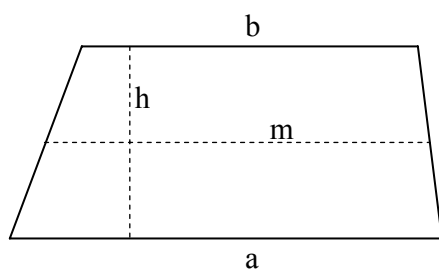
$$F = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

mit $s = \frac{a+b+c}{2}$

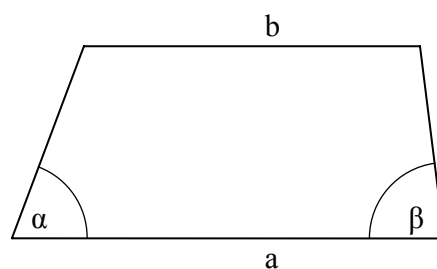
Die Dreiecksfläche kann auch aus zwei Seiten und dem eingeschlossenen Winkel berechnet werden:

$$\begin{aligned} 2F &= a \cdot b \cdot \sin \alpha \\ &= b \cdot c \cdot \sin \gamma \\ &= c \cdot a \cdot \sin \beta \end{aligned}$$

Trapez



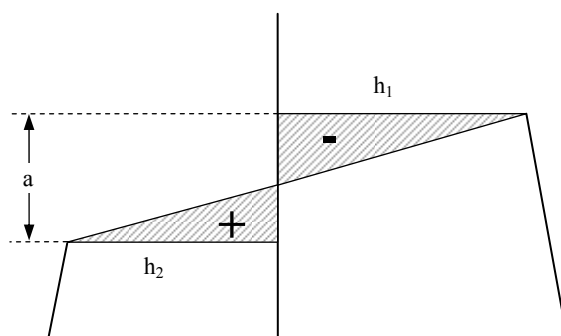
$$2F = h * m = h * (a + b)$$



$$2F = \frac{a^2 - b^2}{\cot \alpha + \cot \beta}$$

Abbildung 7.2: Trapez

Im verschränkten Trapez ist:



$$2F = a * (h_2 - h_1)$$

Abbildung 7.3

Ein verschränktes Trapez entsteht, wenn die Aufnahmelinie eine Grenzstrecke schneidet.

In der Regel wird zunächst die doppelte Fläche 2F berechnet, um den Faktor ½ in den Berechnungen zu vermeiden. Erst am Ende der Berechnung wird die Gesamtfläche durch 2 geteilt.

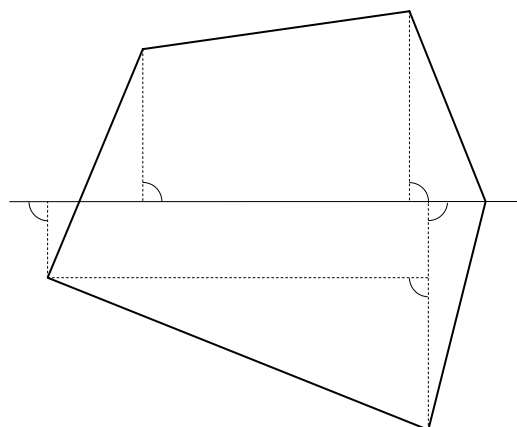


Abbildung 7.4: Flächenberechnung mit Hilfe einer Zerlegung in Teilflächen.

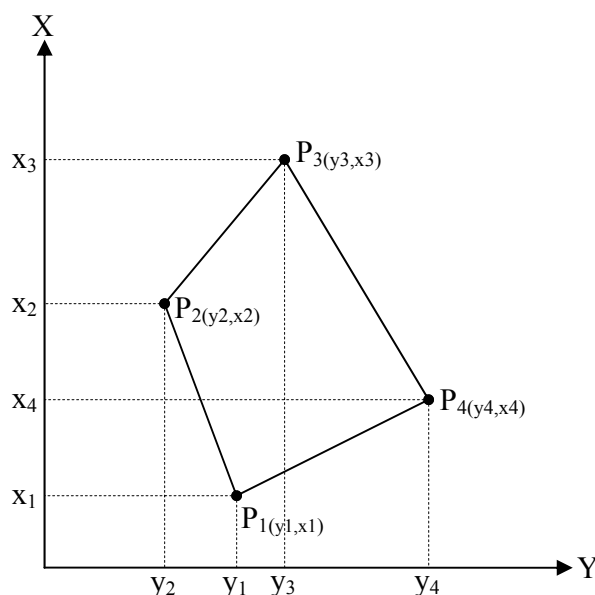


Abbildung 7.5: Flächenberechnung über Koordinaten

Gegeben sind die Koordinaten des Vielecks $P_1P_2P_3P_4$. Die Flächenberechnung geschieht über Zerlegung in Teilflächen.

$$F_{P_1P_2P_3P_4} = F_{X_1P_1P_4X_4} + F_{X_4P_4P_3X_3} - F_{X_1P_1P_2X_2} - F_{X_2P_2P_3X_3}$$

Berechnet man die Flächen dieser 4 Hilfstrapeze, so ergibt sich – nach entsprechender Umformung – allgemein für die Vielecksflächen nach Koordinaten:

$$2F = \sum \{(x_i + x_{i+1}) * (y_{i+1} - y_i)\} \quad \text{bei einer Projektion der Punkte auf die y-Achse}$$

oder

$$2F = \sum \{(x_i - x_{i+1}) * (y_i + y_{i+1})\} \quad \text{bei einer Projektion der Punkte auf die x-Achse}$$

(GAUß'sche Trapezformeln).

Multipliziert man die Klammerausdrücke aus und ordnet nach steigendem Y (oder steigendem X), so findet man durch diese Umformung die GAUß'sche Dreiecksformel:

$$2F = \sum \{y_i * (x_{i-1} - x_{i+1})\}$$

$$2F = \sum \{x_i * (y_{i+1} - y_{i-1})\}$$

Für beide Formeln (GAUß'sche Trapez- und Dreiecksformel) müssen die Figuren im Urzeigersinn durchnummeriert sein; bei einer entgegengesetzten Reihenfolge ergeben sich negative Flächen.

8 Stückvermessung

Eine Geländefläche aufnehmen heißt, Daten über ihre Lage (Längen, Winkel, Koordinaten etc.) so zu bestimmen, dass sie lagemäßig eindeutig in einem Plan oder einer Karte festgehalten werden kann. Die Aufnahme ist damit Grundlage für alle weiteren Berechnungen (Fläche, Grenze ...).

Mit der Stückvermessung sollen kleinere Geländeflächen aufgenommen werden (Grundstück, Flurstück, Waldstück, Gebäude); Hilfsmittel sind Längenmess- und Rechtwinkelgeräte beim Rechtwinkel- und Einbindeverfahren, Theodolit und Entfernungsmesser beim Polarverfahren.

Bei allen drei Verfahren werden zweckmäßigerweise die Eckpunkte und Brechungspunkte der Grenzlinien vermessen. Grundsätzlich sollen während der Aufnahme Kontrollmessungen gemacht werden; und zwar nicht nur Rückmessungen (Doppelmessungen), sondern auch Kontrollstreckenmessungen, mit denen über geometrische Beziehungen die eigentlichen Messungen kontrolliert werden können. Beispielsweise können bei der Aufnahme eines Vieleckes einige Diagonalen gemessen werden, über deren Länge die Richtigkeit der Messungen überprüft werden kann.

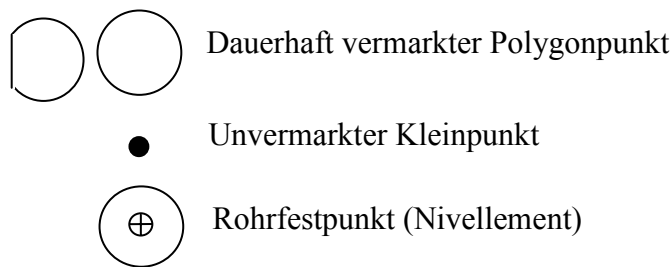
Die Lagepläne werden an Vermessungspunkte oder topografische Punkte (also an bereits vermessene Punkte) angebunden.

Während der Aufnahme wird ein Feldbuch geführt (Riß). In diesem werden in einer möglichst maßstäblichen Skizze sämtliche Mess- und Kontrollwerte eingetragen und eindeutig bezeichnet. Über die Anfertigung von Vermessungsrissen in ihrer endgültigen Form und die zu verwendenden Zeichen gibt es eine DIN-Vorschrift (DIN 18702).

Das Feldbuch bildet den Ausgangspunkt für die Erstellung des Plans oder Karte.

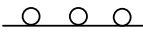
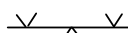
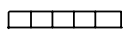
8.1 Einige Grundsätze zum Führen eines Feldbuches

- Jeder Messpunkt im Riß wird durch einen Punkt bezeichnet, der nicht durchgezogen werden darf. Es gibt verschiedene Zeichen je nach Funktion der Punkte (Polygonpunkt, Nivellierpunkt ...) und ob sie vermarktet sind oder nicht.







- Längenmaße werden quer zur Messlinie neben die entsprechenden Punkte geschrieben. Das Maß am Ende einer Messlinie wird doppelt unterstrichen, an Einbinde- oder Schnittpunkten einfach.
- Auf freien Flächen erfolgt die Angabe der Nutzungsart mittels Abkürzungen (W = Wiese, A = Acker ...)
- Auf jedem Riß wird die Nordrichtung durch einen Pfeil angegeben.
- Weitere spezielle Zeichen gibt es zur Unterscheidung und Beschreibung von


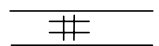
- Grundstücksgrenzen und topografische Grenzen (ob Eigentumsgrenze, Grenze von Nutzungsarten etc.)

- Grenzeinrichtungen ( Hecke  Zaun  Mauer ...)

- Grenzpunkten von  Stein  Hügel  Baum ...)

- Vermessungslinien ( Gebäudeseiten,  Polygonseiten,  oder einfache Messungslinien ...)

- Vermessungszeichen ( rechte Winkel (eingemessen oder abgeschätzt), ...)

-  Verlängerung von Messlinien  Parallelität von Linien,

8.2 Rechtwinkelfverfahren

Orthogonalverfahren, Koordinatenverfahren

Durch oder neben der aufzunehmenden Fläche wird eine Gerade abgesteckt. Diese gilt als Abszissenachse eines örtlichen Koordinatensystemes.

Von dem aufzunehmenden Geländepunkten aus wird das Lot auf die Abszisse gefällt. Die Länge des Lotes ist die Ordinate des Punktes. Vorteilhaft an diesem Verfahren ist v.a. seine Ähnlichkeit mit rechtwinkligen Koordinatensystemen, was Folgeberechnungen erleichtern kann.

Aus wirtschaftlichen Gründen (Längenmessung mit dem Massband) sollen die Ordinaten möglichst nicht über 30 m lang sein.

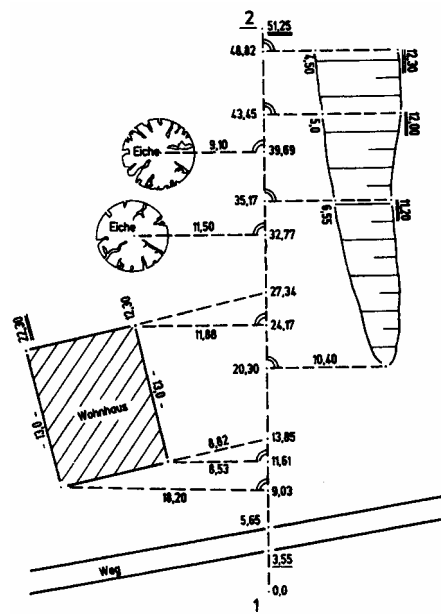


Abbildung 8.1: Rechtwinkelfverfahren

8.3 Einbindeverfahren

Ein Dreieck ist durch die Lage seiner drei Seiten eindeutig bestimmt. Für einfache Stückvermessungen genügt es daher, über die aufzunehmende Fläche einen aus Dreiecken aufgebauten Rahmen von Grenz- oder Messungslinien zu legen.

Die übrigen Grenzstrecken (Hausseite etc.) werden verlängert und ihre Schnittpunkte mit dem Rahmen eingemessen.

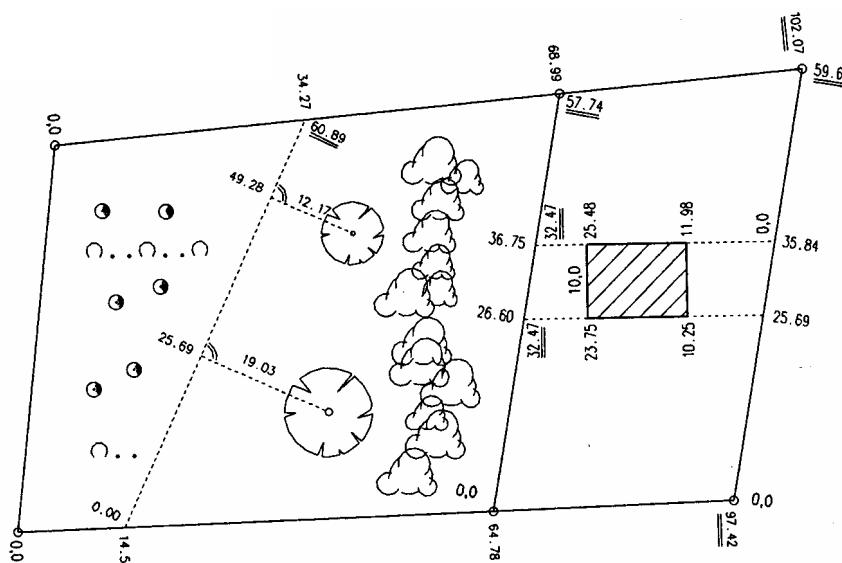


Abbildung 8.2: Einbindeverfahren

8.4 Kombiniertes Verfahren

Für die Vermessung größerer Gebiete werden Rechtwinkel- und Einbindeverfahren kombiniert angewendet. Gleichmäßige Teilflächen lassen sich mit dem Einbindeverfahren einfacher und schneller einmessen, unregelmäßige Grenzzüge werden mit dem Rechtwinkelverfahren aufgenommen.

In der Regel werden größere Flächen von Polygonzügen begrenzt sein. Man wird dann in diese Grenzlinien Messungslinien einbinden, auf die die einzelnen Geländepunkte rechtwinklig aufgenommen werden.

8.5 Polarverfahren

In entsprechend übersichtlichen Gelände kann die gesamte Aufnahme (oder zumindest Teilaufnahmen) von einem Punkt aus durchgeführt werden. Gemessen wird der Richtungswinkel und die Entfernung zum einzumessenden Punkt. Die Winkelmessung erfolgt mit dem Theodolit, die Entfernungsmessung tachymetrisch oder elektronisch.

Es erfolgt also im Grunde eine Aufnahme der Polarkoordinaten vom Gerätepunkt P aus.

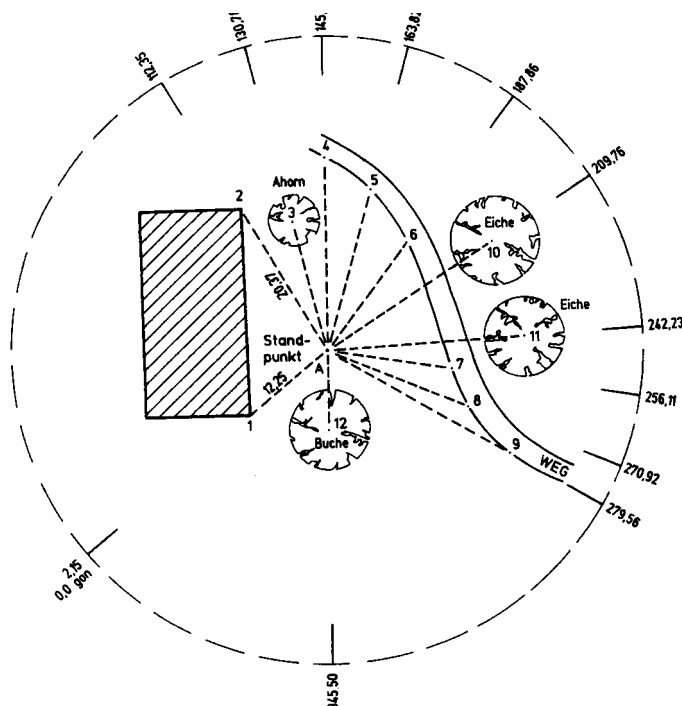


Abbildung 8.3: Polarverfahren

9 Landesvermessung

Die Landesvermessung umfasst

- die Festlegung eines Landesdreiecknetzes
- die Bestimmung eines Landeshöhennetzes
- die Grundstücksvermessung
- die topografische Aufnahme des Geländes

9.1 Landesdreiecksnetz

Soll ein Land zusammenhängend vermessen werden, so wird das Gebiet mit einem Netz von Festpunkten überzogen, den „Trigonometrischen Punkten“ (TP). Diese TP sind als Ecken eines aus Dreiecken bestehenden großen Netzes aufzufassen (Landesdreiecknetz). Es bildet die Grundlage für alle weiteren Vermessungsaufgaben (topografische Landesvermessung, Grundstücks- und Katastervermessung), für die die TP als Bezugspunkte herangezogen werden, um die absolute Lage bestimmen zu können.

Solche Netze sind mehrstufig angelegt (Dreiecksnetze verschiedener Ordnung):

Hauptdreiecknetz	Seitenlänge 30 – 50 km; möglichst gleichschenklige Dreiecke, auf Bergspitzen, Hügeln, evtl. markante Gebäude (Kirchturm).
II. Ordnung	Seitenlänge 10 – 20 km
III. Ordnung	Seitenlänge 3 – 10 km
IV. Ordnung	Seitenlänge 1 - 3 km

Als letzte Verdichtungsstufe werden dann die Polygonzüge eingehängt. Im Durchschnitt existiert pro 2 km² ein Festpunkt.

Topografische Punkte sind durch Steinfeiler mit Platte vermarkt. Genaue Listen über die TPs führen die Landesvermessungsämter. Diese Listen enthalten u.a. die Rechts- und Hochwerte der Punkte im GAUß-KRÜGER-Koordinatensystem, ihre Höhe über NN, sowie eine Beschreibung des Geländes.

Die Elemente des Landesdreiecknetzes sind Winkel und Strecken.

Triangulation: Durch Messen der Winkel in allen TPs ist die Form (Proportion) des Dreiecknetzes festgelegt. In größeren Abständen werden Seitenlängen sehr genau gemessen (Dreiecksbasen), mit deren Hilfe dann über ein Basisvergrößerungsnetz die absolute Größe des Dreiecknetzes bestimmt werden kann. Dieses verfahren wurde v.a. früher verwendet, als die Präzisionsstreckenmessung sehr aufwendig war. Heute geht man mehr und mehr zur **Trilateration** über, bei der (mit elektronischen Entfernungsmessern) die Seitenlängen und Diagonalen des Dreiecknetzes vermessen werden.

Die genannten Vermessungsaufgaben werden mit außerordentlicher Genauigkeit durchgeführt, da die Ergebnisse praktisch als Grundlage für sämtliche Folgemessungen genommen werden.

Um das Hauptdreiecksnetz auf dem Bezugsellipsoid zu orientieren, müssen in einigen TPs die Nordrichtung und die geografischen Koordinaten bestimmt werden (astronomische Ortsbestimmung).

In der heutigen Praxis der Festpunktvermessung kommt in der Regel ein kombiniertes Verfahren aus Triangulation und Trilateration zur Anwendung.

9.2 Landeshöhennetz

Die gleiche Aufgabe, die dem Landesdreiecknetz bei der Lagebestimmung von Punkten zukommt, erfüllt für die Höhen das Landeshöhennetz.

Hierzu muss zunächst eine Bezugshöhe definiert werden (NN = Normalnull). Sie wurde für Deutschland erstmals 1879 festgelegt als 37 m unter der Sternwarte Berlin liegend.

Für die Maschenweite des Landeshöhennetzes gilt dasselbe wie für das Landesdreiecknetz. Die Höhenwerte werden durch Feinnivellements mit sehr hoher Genauigkeit bestimmt:

Höhennetz I. Ordnung 4 mm/km

Höhennetz II. und III: Ordnung 7 mm/km

Die Nivellementnetze werden seit Jahrzehnten nachgemessen bzw. verdichtet und neu gemessen. Teilweise wurden Unterschiede bis 10 cm festgestellt.

Höhenfestpunkte werden ebenfalls dauerhaft vermarktet, und zwar mit Rohren, Rammpfahlbolzen, Pfeilerbolzen oder Mauerbolzen.

10 Grundlagen der Satellitennavigation

Satellitennavigationssysteme dienen zur dreidimensionalen Ortsbestimmung auf der Erdoberfläche. Dabei dienen nicht, wie bei anderen Vermessungs- und Ortsbestimmungsverfahren, feste Punkte auf der Erdoberfläche als Bezugspunkte, sondern Satelliten, die in einer Erdumlaufbahn kreisen.

GPS (NAVSTAR-GPS = Navigation System with Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System) war das erste Satellitennavigationssystem, das vom Pentagon zu militärischen Zwecken eingerichtet wurde. Hauptbestandteil des Systems sind 24 Satelliten (21 Satelliten plus 3 aktive Reservesatelliten), die auf 6 festgelegten Bahnen in einer Entfernung von 20 000 Km die Erde umkreisen, und so eine Ortsbestimmung zu jeder Zeit und an jedem Ort auf der Erdoberfläche ermöglichen.

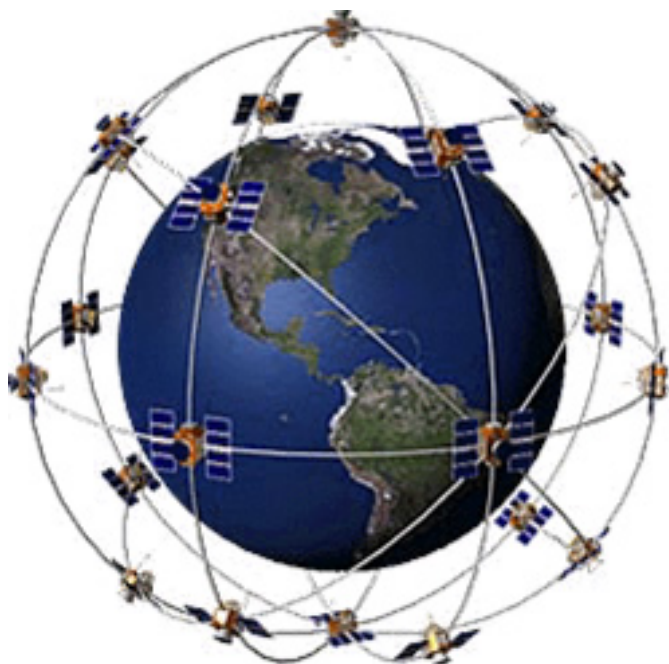


Abbildung 10.1: GPS Satelliten

Die Position aller Satelliten (die sog. „Bahndaten“) sind zu jedem Zeitpunkt bekannt und in einem Erdgebundenen geozentrischen Koordinatensystem registriert (WGS84 = World Geographic System). Eine Position auf der Erdoberfläche kann dadurch eindeutig bestimmt werden, dass die Abstände zu drei Satelliten gleichzeitig gemessen werden. Hierzu verwendet man GPS-Empfänger, die die vom Satelliten ausgesandten Signale entschlüsseln.

Das Funktionsprinzip ist dabei folgendes: Die zu der jeweiligen Empfangskonstellation gehörenden Satelliten verfügen über Atomuhren für extrem genaue Zeitmessungen. Die ausgesendeten Signale der Satelliten enthalten verschlüsselte Informationen über den genauen Sendezeitpunkt. Ein Empfangsgerät auf der Erde besitzt einen Speicher mit den Koordinaten der jeweiligen Satellitenumlaufbahn, wodurch es möglich ist, die empfangenen Signale einem Satelliten zuzuordnen und die Laufzeit des Signals (und somit die Entfernung zum Satelliten) zu berechnen.

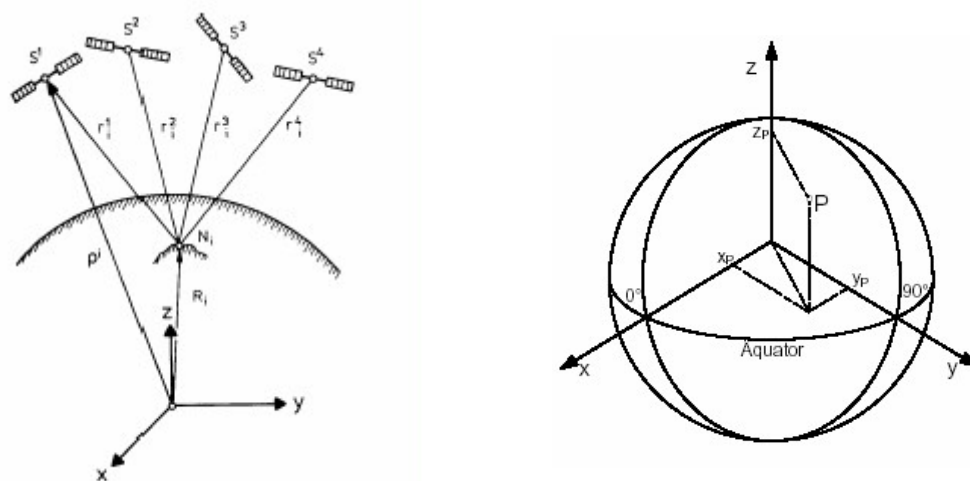


Abbildung 10.2: Dreidimensionale Positionsbestimmung im geozentrischen Koordinatensystem.

10.1 Zur Entfernungsmessung

Die Entfernungsmessung über die Laufzeit eines elektromagnetischen Satelliten-Signals ergibt sich aus:

$$s = c t$$

mit

s = Strecke

c = Lichtgeschwindigkeit

t = Laufzeit des Signals.

Die Lichtgeschwindigkeit, mit der sich die Signale fortbewegen ist $c = 300\,000\text{ km/sec} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$.

Die hohe Geschwindigkeit der Signale stellt eine hohe technische Anforderung in Bezug auf die Entfernungsmessung, da sehr genaue Zeitmessungen erforderlich sind. Soll beispielsweise eine Strecke auf 1m genau bestimmt werden, so muss die Zeitmessung auf $3.3 \cdot 10^{-9}$ Sekunden genau erfolgen (= 3.3 Nanosekunden).

Weiterhin ist die *sehr genaue Synchronisation* aller Uhren des Systems erforderlich.

Die Satelliten verfügen hierzu über sehr kurzzeitstabile Quarzuhren und langzeitstabile, sehr teure Atomuhren. Normale GPS-Empfänger haben lediglich „billige“ Quarzuhren, deren größere Fehler unvermeidlich zu Messfehlern führen. Um diese Messfehler zu verringern, wird eine „permanente“ Entfernungsmessung durchgeführt. D.h. die Entfernungsbestimmung zu den jeweiligen Satelliten geschieht über einen längeren Zeitraum und wird durch die Mittlung der berechneten Entfernungen genauer je länger gemessen wird.

Die mit Hilfe der Uhren bestimmten Entfernungen werden als Pseudostrecken bezeichnet. Um genauere Strecken (und damit Positionsbestimmungen) zu erhalten, werden die Signale von insgesamt 4 Satelliten verwendet. Der vierte Satellit dient dabei zum „Ausgleich“ des Uhrenfehlers, und ist somit eine Referenz für die verschiedenen Zeitmessungen.

10.2 Zur Genauigkeit von Positionsbestimmungen mit GPS

Es ist leicht zu erkennen, dass die Genauigkeit der Positionsbestimmung von vielen Faktoren beeinflusst wird:

- Die Erde dreht sich während des Messvorganges
- Die Satelliten bewegen sich (mit etwa 4km/sec.)
- Die Signallaufzeit wird durch den aktuellen Zustand der Atmosphäre beeinflusst.
- Signalüberlagerungen (bei vorheriger Reflexion) .
- Das Signal kann durch den Betreiber künstlich verfälscht werden.
- Andere Fehlerquellen (Bedienungsfehler, Softwarefehler, ...).

Weiterhin hat die räumliche Verteilung der „angepeilten“ Satelliten am Himmel einen entscheidenden Einfluss auf die erreichbare Genauigkeit der Positionsbestimmung. Aus **geometrischen Gründen** wird die Positionsbestimmung ungenauer, wenn die verwendeten Satelliten eng beieinander stehen. Wenn die jeweiligen Satelliten nahe am Horizont stehen, ergeben sich Ungenauigkeiten aufgrund der längeren Laufzeit durch die Atmosphäre, wodurch eine Verzögerung der Signale eintreten kann (**atmosphärische Gründe**).

Die optimale Satellitenkonstellation ist vorhanden, wenn ein Satellit im Zenit steht und die anderen in gleichmäßiger Verteilung 15° über dem Horizont stehen.

Signalüberlagerungen

Werden GPS Messungen nahe bei Gebäuden, Autos, Wasseroberflächen oder sonstigen gut reflektierenden Objekten gemacht, kann es sein, dass das direkte Signal von reflektierten Signalen überlagert wird.

Wenn möglich, sollte daher ein Mindestabstand eingehalten werden (z.B. 10m bei Autos).

10.2.1 Berechnung von Genauigkeitswerten: Geometric Dilution of Precision (GDOP)

DOP ist das geläufigste Maß zur Quantifizierung der Genauigkeit. Es wird von der Software im Empfänger aus einer Reihe von Genauigkeitsinformationen berechnet.

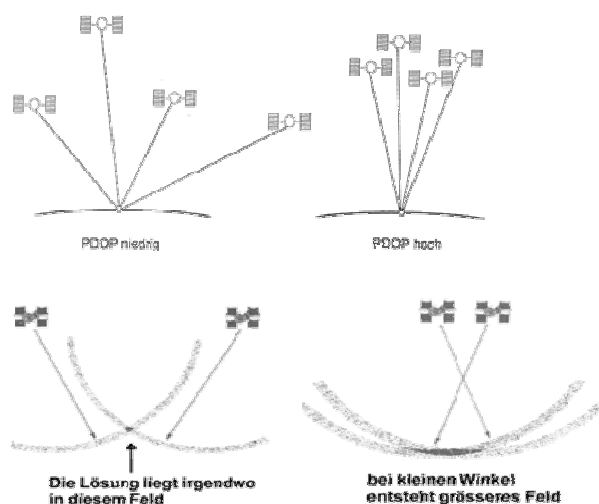


Abbildung 10.3: Abhängigkeit der Genauigkeit von der Satellitenkonstellation.

10.3 DGPS (Differentielles GPS) zur Steigerung der Genauigkeit

Eine Reihe der genannten Störfaktoren kann nicht sicher quantifiziert werden (z.B. die aktuelle Zusammensetzung der Atmosphäre und ihre Einfluss auf die Signallaufzeit). Allerdings wirken diese Einflüsse auf *benachbarte Punkte* gleich, so dass die relative Positionsbestimmung (die Lage der Punkte zueinander) wesentlich genauer ist als die absolute (im WGS84). „Benachbart“ meint hierbei Entfernungen bis zu etwa 100 Km. Das Prinzip des DGPS ist es, die Abweichung der Messung zu den tatsächlichen Koordinaten auf der Erdoberfläche zu quantifizieren. Hierzu erfolgt simultan mit der GPS Messung am Messpunkt eine GPS-Messung auf einem Punkt mit bekannten absoluten Koordinaten. Aus der Differenz zwischen den bekannten (korrekten) Koordinaten und den aus der Messung am Referenzpunkt bestimmten, kann die Abweichung berechnet und zur Korrektur für andere Messpunkte verwendet werden.

Die durch DGPS erreichte Genauigkeit hängt vom Empfängergerät (der verwendeten DGPS-Methode) und von der Entfernung zur Referenzstation ab.

Unterschiedliche Anwendungsbereiche und sehr unterschiedliche Gerätepreise.

Für eine DGPS- Messung stehen drei unterschiedliche Vorgehensweisen zur Verfügung:

1. Festes Aufstellen eines GPS Empfängers auf einem bekannten Punkt und Registrieren der Position. Direkte Funkverbindung (da die Messungen zeitgleich sein sollen) zum GPS, mit dem die Einmessung von Punkten erfolgt: Echtzeit-Positionsbestimmung.
2. Verwendung fest eingerichteter Referenzstationen (entsprechende Dienste sind in vielen Regionen verfügbar und meist kostenpflichtig):
 - a. Echtzeit: Empfang der Korrekturinformation über Rundfunk und direkte, korrigierte Positionsbestimmung im Feld.
 - b. Postprocessing: Einmessung mit GPS, Speicherung aller Punkte (incl. Zeitpunkt der Messung). Spätere Korrektur mit Hilfe der Informationen (Positionsbestimmungen), welche an den feststehenden Referenzstationen registriert werden.

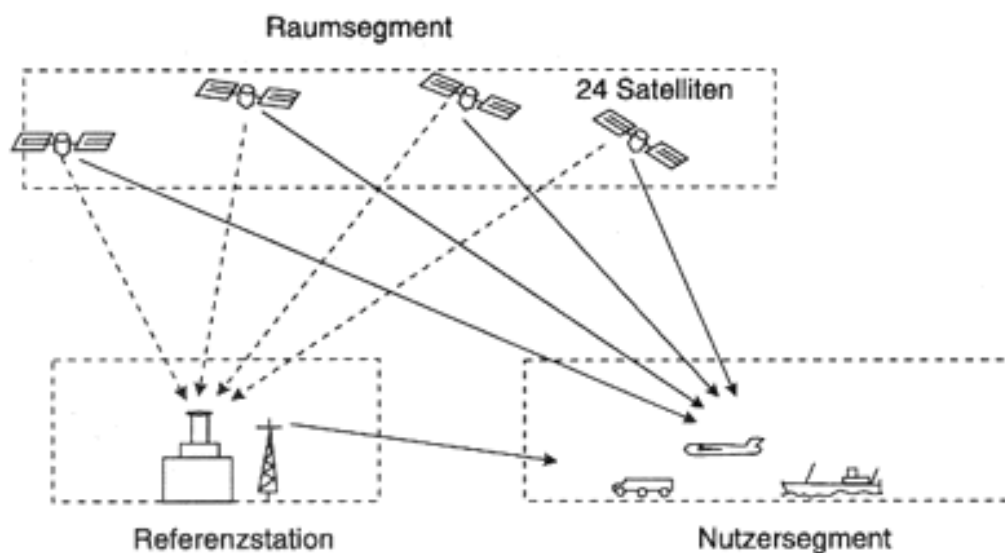


Abbildung 10.4: Funktionsprinzip des DGPS.

Ein Beispiel für einen GPS-Referenzdienst ist SAPOS = **Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung**.

Der Dienst verfügt über eine Echtzeitvernetzung in den meisten Regionen die über das Rundfunknetz in definierten Frequenzbereichen (UKW und Langwelle) ausgestrahlt wird.

Die Stationsdichten betragen dabei bis zu 60km.

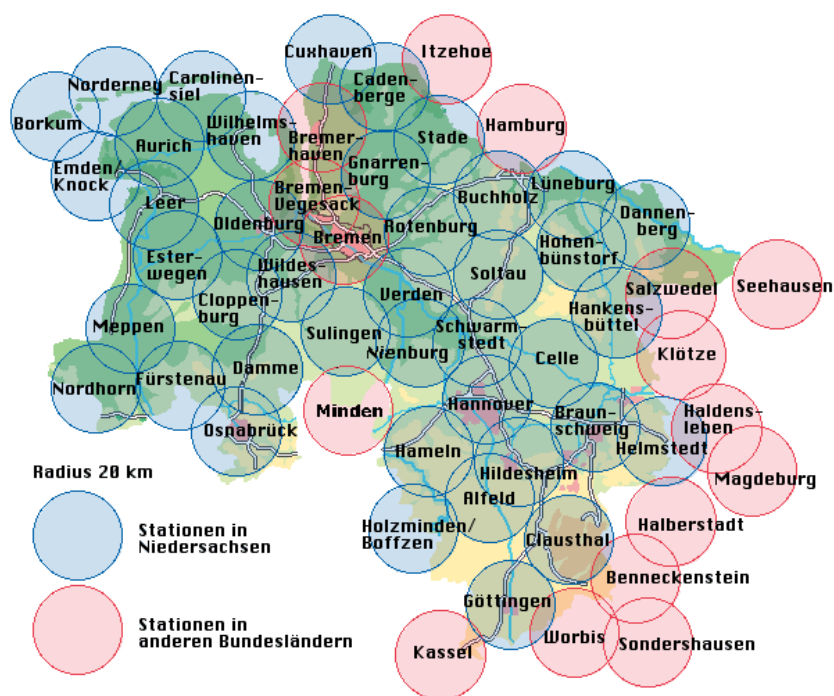


Abbildung 10.5: Beispiel SAPOS für Niedersachsen, Rundfunkübertragung über NDR 2
(<http://www.sapos.de>)

Sapos bietet verschiedene Datensätze an, die je nach Format und Übertragung entweder zur Echtzeitkorrektur oder zum Postprocessing verwendet werden können.

10.4 GPS Grundaufgaben und forstliche Einsatzmöglichkeiten

Die Aufgaben, die sich mit einem GPS Empfänger verwirklichen lassen, kann man in 5 Bereiche einteilen:

- Location: *Bestimmung einer dreidimensionalen Position auf der Erdoberfläche.*
- Navigation: *Navigation von einer Position zu einer nächsten.*
- Tracking: *Überwachung von Bewegungen.*
- Mapping: *Erstellung von Karten.*
- Timing: *Korrekte Zeitangaben.*

Forstliche Einsatzmöglichkeiten für GPS sind vielfältig Einige Beispiele sind:

- Vermessung von Waldwegen, Flächen etc.
- Positionsbestimmung und Auffinden von Probeflächen
- Forstinventur
- Transportoptimierung / Routenplanung bei Holztransporten

Allerdings ergeben sich bei der Verwendung von GPS Empfängern im Wald einige spezifische Probleme. Die Abschirmung durch das Kronendach kann bei Belaubung zu Empfangsproblemen führen, die die Genauigkeit einschränken oder eine Positionsbestimmung im Bestand unmöglich machen.

10.5 Weitere Satellitennavigationssysteme

GPS wurde hier in vielen Zusammenhängen gleichbedeutend mit „Satellitennavigationssystem“ verwendet. Entwicklung- und Installationskosten des Systems werden mit rund €12 Mrd angegeben. Da die Lebensdauer der GPS-Satelliten ca. 7-8 Jahre beträgt, müssen ältere Satelliten ständig durch neue ersetzt werden.

Neben GPS gibt jedoch weitere Satellitennavigationssysteme:

- **GLONASS: Russisches Satellitennavigations-System**

Das Russische Satellitennavigationssystem GLONAS (**Global Navigation Satellite System**) das vom russischen Verteidigungsministerium betrieben wird, ist seit 1982 im Aufbau. Die volle Operationsbereitschaft des Systems war für 1995 geplant. Die Satelliten sind bei diesem System lediglich auf 3 Umlaufbahnen verteilt, die einen größeren Neigungswinkel haben. In 2001 waren 15 aktive Satelliten vorhanden, wobei es eine relativ hohe Frequenz von Satellitenausfällen gibt. Geplant ist eine Gesamtzahl von 24 Satelliten.

Einige Satellitenempfänger ermöglichen den gleichzeitigen Empfang von GPS und GLONAS Signalen, was zu einer Steigerung der erreichbaren Genauigkeit führt.

	GLONASS	GPS
No of satellites	15	27
No of orbital planes	3	6
Orbital inclination	64.8°	55°
Orbit altitude	19,130 km	20,180 km
Period of revolution	11h15m40s	11h58m00s
Datum	PZ-90	WGS-84
Time reference	UTC(Russia)	UTC(NO)
Signalling	FDMA	CDMA
L1 carrier frequency	1598-1604 MHz	1575 MHz
L2 carrier frequency	1243-2063 MHz	1227 MHz
Code rate (C/A)	511 kbps	1023 kbps
Code rate (P)	5.11 Mbps	10.23 Mbps

- **GALILEO: Europäisches Satellitennavigations-System**

Die Errichtung des Europäischen Navigationssystems GALILEO wurde 2002 beschlossen. Galileo ist für zivile Zwecke konzipiert und unterliegt nicht wie GPS und GLONASS einer nationalen militärischen Kontrolle. 2008 soll das Netz mit allen 30 Satelliten (27 + 3 Ersatz)

voll funktionsfähig sein. Ein erster Test-Satellit soll bereits Ende 2005 mit einer russischen Sojus-Rakete gestartet werden. Im Januar 2003 kam die Leitung der ESA mit Russland überein die GLONASS-M Satelliten zum Testen von Hardware für das zukünftige System GALILEO der EU zu nutzen. Experten halten eine Kombination von GLONASS und GALILEO zu einem Gemeinschaftssystem von Russland und der EU für möglich. Da GLONASS bisher keine bemerkenswerte zivile Nutzung ermöglicht hat, wird GALILEO als einzige Konkurrenz für das GPS System der Amerikaner angesehen.

Die Genauigkeit des Systems wird voraussichtlich höher sein als beim GPS, da zum einen ein integriertes Signal fortlaufend über den Systemfehler informiert, und die Konstellation der Umlaufbahnen bzw. die höhere Anzahl an Satelliten eine bessere Abdeckung ermöglicht. Dabei sind die geplanten Kosten für den Aufbau des Systems mit 3,2 Mrd. Euro relativ niedrig.

Literaturhinweise

- Bauer, M., 1997:** Vermessung und Ortung mit Satelliten. 4. Aufl., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Brinker, R., 1977:** Elementary Surveying. Th. Y. Crowell Company, New York
- Dietz, P.:** Skripten zur Vorlesung Wegebau. Freiburg
- Drake, J.:** Taschenbuch für Vermessungsingenieure, 8. Auflage, Dümmler Verlag Bonn.
- Großmann, W., 1975-83:** Vermessungskunde. 3 Bde., Sammlung Göschen.
- Hake, G., 1976/82:** Kartographie. 2 Bde., Sammlung Göschen.
- Hake, G., Grünreich, D., Meng, I., 2002:** Kartographie. 8. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Kleinn, C., 1985:** Einführung in die Vermessungslehre. Für Forststudenten. Universität Freiburg, Abteilung für Forstliche Biometrie. Vorlesungsscript.
- Volquardts, H., 1975:** Vermessungskunde. 2 Bde., B.G. Teubner Verlag, Stuttgart.
- Werner, H., Kurth, H., 1991:** Forstvermessung und Karten. Verlag für Bauwesen GMBH, Berlin.
- Wilhelmy, H., 1972:** Kartographie in Stichworten. 2. Aufl., F.Hirt Verlag, Kiel.
- Wittke, H., 1971:** Einführung in die Vermessungstechnik. 4.Aufl., Dümmler Verlag, Bonn.
- Wittke, H., 1971:** Geodätische Formelsammlung. Dümmler Verlag, Bonn.