

13.3 Höhenmessung

Die „Höhe eines Punktes“ ist sein lotrechter Abstand von einer Bezugsebene (NN; vgl. Kap. 12.2.3). Gemessen werden stets Höhenunterschiede zwischen Punkten, aus denen die absoluten Punkthöhen berechnet werden können. Grundsätzlich werden zwei Verfahren unterschieden:

- geometrische Höhenbestimmung,
- trigonometrische Höhenbestimmung.

Die barometrische Höhenbestimmung spielt in der Vermessungspraxis keine Rolle mehr, sie wird hier nicht behandelt.

13.3.1 Geometrische Höhenbestimmung (Nivellement)

13.3.1.1 Nivellierinstrumente

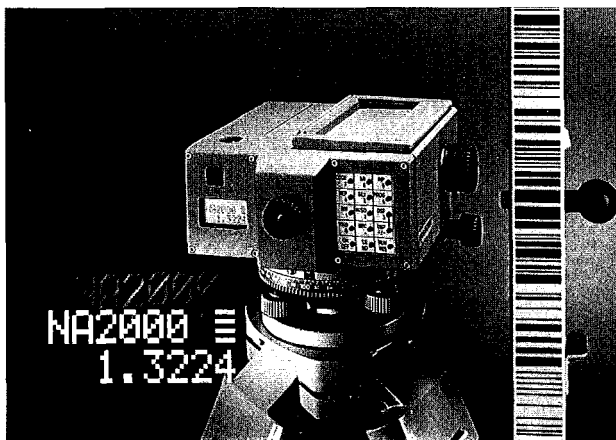
Nivellierinstrumente (auch: Nivelliere) sind speziell für die geometrische Höhenmessung konzipierte Vermessungsinstrumente.

Einfache Nivelliergeräte (Wasserwaage, Schlauchwaage, Setzlatte, Handnivellier) dienen in erster Linie zum Herstellen der Horizontalen über kurze Entfernungen (vgl. Kap. 14.4.2)

Libellennivelliere bestehen aus Fernrohrträger, Zielfernrohr mit Strichkreuz und Röhrenlibelle zum genauen Horizontieren des Zielstrahles. Libellennivelliere sind durch *Kompensatornivelliere* (auch *automatische Nivelliere* genannt) fast völlig verdrängt worden. Hier erfolgt über eine Pendelaufhängung die Feinhorizontierung des Zielstrahles automatisch.

Die Ablesung erfolgt an Latte mit Zentimetereinteilung (vgl. Kap. 13.4.1.2)

Digitale Nivelliere arbeiten elektronisch. Ein horizontaler Messstrahl tastet eine auf der Latte aufgebrachte Codierung ab, leitet daraus systemintern die Höhe ab, zeigt sie digital an und speichert den Wert (Abb. 10 c).



10 c Digitales Nivellier, rechtscodierte Nivellierlatte.

Rotationslaser (Lasernivelliere) (vgl. Kap. 14.1.6.2) funktionieren wie folgt: Bei horizontiertem Instrument wird mittels eines rundum kreisenden Laserstrahls eine horizontale Bezugsebene errichtet. Ein an einer Teleskoplatte angebrachter höhenverstellbarer Sensor reagiert auf das Auftreffen des Laserstrahles mit einem akustischen Signal. Die Höhe des Sensors kann an der Latte abgelesen werden. Die besonderen Vorteile des Rotationslasers liegen darin, dass zur Messung nur eine Person erforderlich ist, bzw. dass verschiedene Personen gleichzeitig mit einem einzigen Instrument arbeiten können (Abb. 10 d).

Wichtiger Bestandteil der Nivellier-ausrüstung ist, neben dem zum Instrument gehörenden *Stativ*, die *Nivellierlatte*. Für Libellen- und Kompensatornivelliere gibt es eine breite Auswahl an Latte. Vier-Meter-Holzlatte sind massiv, aber schwer. Leicht handhabbar, jedoch relativ instabil sind Fünf-Meter-Teleskoplatte. Einfachste Ausführung ist der Drei-Meter-Geometerstab (Nivellierzollstock). Für Präzisionsnivellements gibt es spezielle Latte mit Halb-Zentimeter-Teilung. Messstäbe für Lasernivelliere tragen einen höhenverstellbaren Sensor, Latte für digitale Nivelliere eine Codierung (Abb. 10 c).

Weitere Ausrüstungsgegenstände sind Latte-richter zum Senkrechtstellen der Latte und Latte-untersetzer (Frosch) für das Aufstellen auf einem Wechsellpunkt.

Die meisten optischen Nivelliere verfügen über Distanzstriche.

Entsprechend der erreichbaren Genauigkeit werden die Instrumente in Klassen eingeteilt:

Baunivelliere sind Instrumente niedriger und mittlerer Genauigkeit. Auf einem Kilometer Doppelnivellement wird mit ihnen eine Genauigkeit von zehn Millimeter/km erreicht.

Ingenieurnivelliere heißen Instrumente mit hoher Genauigkeit (drei Millimeter/km).

Als *Fein-* oder *Präzisionsnivelliere* kommen Instrumente höchster Genauigkeit (** ein Millimeter/km) zum Einsatz.

Nivelliere sind Präzisionsinstrumente. Ihre Zuverlässigkeit ist von sachgemäßer Handhabung und Bedienung abhängig. Folgendes ist zu beachten:

Instrumente stets

- in trockenen, temperierten Räumen aufbewahren,
- an der Luft trocknen lassen, nicht in feuchtem Zustand verpackt lassen,
- möglichst erschütterungsarm transportieren.

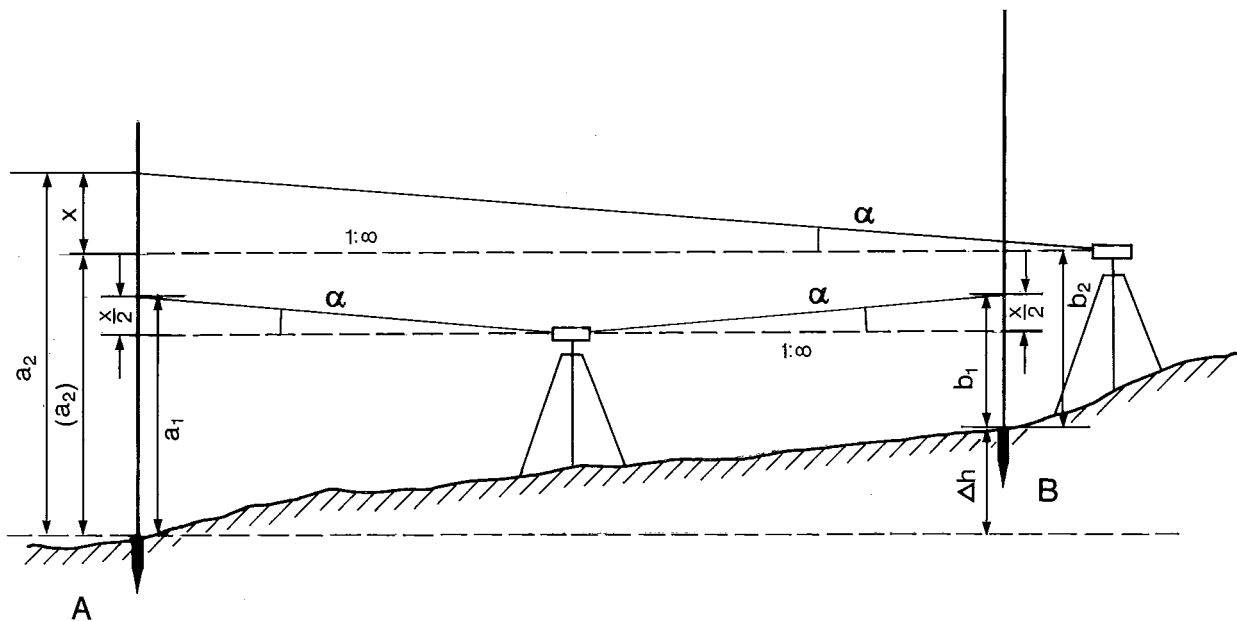
13.3.1.2 Handhabung optischer Nivelliere

a) Aufstellen des Instrumentes und Messvorgang:

- Das Stativ mit annähernd horizontalem Stativteller aufstellen
- Beine fest in den Boden treten
- Nivellier aufschrauben und horizontieren
- Messlatte senkrecht aufstellen
- Latte anzielen



10 d Rotationslaser, der Sensor ist auf die Schaufel der Planierdrape montiert.



11 Untersuchung des Nivelliers durch „Nivellieren aus der Mitte“ (Nivellierprobe).

Der Soll-Unterschied Δh berechnet sich zu

$$\Delta h = a_1 - b_1.$$

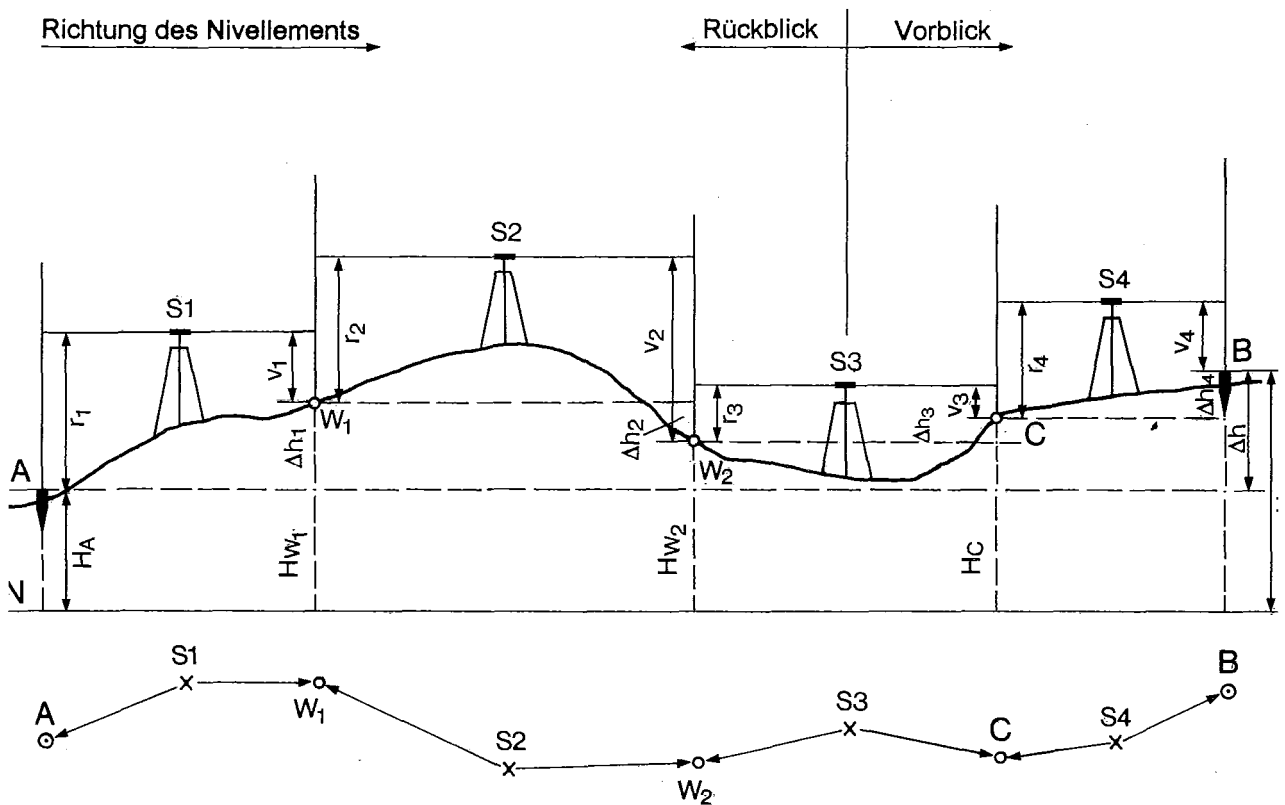
Der mit δ bezeichnete Ziellinienfehler wirkt sich dabei nicht aus.

Der gemessene Höhenunterschied ist fehlerfrei.

Die Sollablesung (a_2) berechnet sich für den zweiten Schritt aus

$$(a_2) = b_2 + \Delta h.$$

Die Abweichung δ zwischen Sollablesung und tatsächlicher Ablesung bezeichnet den Ziellinienfehler.



12 Nivellementszug (Streckennivellement) zwischen zwei entfernt liegenden Festpunkten A und B zur Ermittlung der Höhe des Neupunktes C.

- Ablesung am Horizontalstrich, Millimeter werden geschätzt.
- Der abgelesene Wert ist der senkrechte Abstand des aufgenommenen Punktes von der Zielachse.

b) Prüfung und Justierung

Die wichtigste Anforderung an ein Nivellierinstrument ist, dass bei einspielender Röhrenlibelle bzw. bei funktionierender Automatik (Kompensator) die Zielachse horizontal verläuft. Ein Abweichen aus der Horizontalen führt bei ungleichen Zielweiten zu Messfehlern. Die Überprüfung erfolgt durch das sogenannte „Nivellieren aus der Mitte“: Im ersten Schritt wird in der Mitte zwischen zwei festen Lattenstandpunkten (Abstand ca. 40 bis 60 m) in ebenem oder schwach geneigtem Gelände das Nivellier aufgestellt und der Höhenunterschied zwischen beiden Punkten A und B bestimmt (Abb. 11). Verläuft der Zielstrahl nicht horizontal, sondern weicht nach oben oder unten ab, wird bei Messungen mit gleichen Zielweiten dennoch der wahre Höhenunterschied ermittelt, da der Fehler bei der Differenzbildung eliminiert wird.

Im zweiten Schritt wird das Instrument so dicht bei Punkt B aufgestellt, dass das Lattenbild gerade noch scharf gestellt werden kann (je nach Instrument 0,9 bis 1,5 m). Der Höhenunterschied wird erneut bestimmt. Ein Fehler des Zielstrahles kann bei der kurzen Zielung zu Punkt B vernachlässigt werden, wirkt sich jedoch bei der langen Zielung zu Punkt A in voller Höhe aus. Weicht das Ergebnis der zweiten Messung mehr als drei bis fünf Millimeter

vom zuerst bestimmten fehlerfreien Höhenunterschied ab, muss das Instrument einer Werkstatt zur Reparatur bzw. Justierung übergeben werden.

13.3.1.3 Nivellierverfahren

a) Streckennivellement (Abb. 12)

Aufgabe: Zu bestimmen ist die Höhe eines Neupunktes C. Bekannt sind die absoluten Höhen zweier Festpunkte A und B, welche nicht gleichzeitig von einem Instrumentenstandpunkt aus zu sehen sind.

Lösung: Zwischen den Höhenfestpunkten A und B wird unter Einschluss des Punktes C ein Streckennivellement (Nivellements zug) gemessen. Dabei werden die in Messungsrichtung liegenden Ablesungen als „Vorblick“, die in entgegengesetzter Richtung erfolgten als „Rückblick“ bezeichnet.

- Das Nivellier wird auf dem Standpunkt S_1 aufgestellt und horizontalisiert.

- Die erste Lattenaufstellung erfolgt auf dem Festpunkt A.
- Der Rückblick r_1 wird abgelesen.

Nun wird die Latte auf dem ersten Wechsellpunkt W_1 aufgestellt. Dieser sollte etwa gleichweit vom Instrument entfernt liegen wie Punkt A (Schrittmaß genügt). Als Wechsellpunkte eignen sich eindeutig festlegbare, stabile Punkte. Sind solche - etwa auf Sandboden oder im Wald - nicht vorhanden, sollte ein Lattenuntersetzer verwendet werden.

- Auf W_1 wird der Vorblick v_1 abgelesen.

A-Dorf, Lkr. B-Hausen
Grabung Lindenbain

Verm. Form. F 1

Nivellement

Blatt:.....

Datum: 16. 2. 95 Instr.: Freiberg Nr.: 22 2120 Beobachter: Bert Hold Prüfer:							
Ablesung			Höhen- unter- schied Δh	Höhe H	Punkt		Bemerkungen
r	z	v			Nr.	Lage	
1	2	3	4	5	6		7
2 386 ⁺²				175 350	3700	HB Hauptstr. 27 (A)	
7 927 ⁺²		0 873					
0 668 ⁺²		3 396					
2 014 ⁺²		0 492		175 576	25	OK Pf Lindenbain (C)	
		1 174		176 418	3607	HB Lindenweg 9 (B)	
6 995		5 935	Δh_{Soll}	+ 1 068	(Ende - Anfang)		
$\Delta h_{\text{Ist}} = \sum r - \sum v = + 1 060$							
			$V = \text{Soll} - \text{Ist} + 0 008$				

13 Nivellementsaufschrieb. Zahlenbeispiel zu Abb. 12.

- Das Instrument wird auf dem Standpunkt S_2 aufgestellt.
- Die auf W_1 verbleibende Latte wird zum neuen Instrumentenstandort gedreht. Am Instrument wird zu W_1 der Rückblick r_2 abgelesen.
- Diese Vorgänge wiederholen sich, bis der Vorblick auf dem neu zu bestimmenden Punkt C abgelesen werden kann, und werden fortgesetzt, bis auf dem Festpunkt B der letzte Vorblick abgelesen worden ist. Punkt C entspricht einem vermarkten Wechsellpunkt.

Als Kontrollrechnung werden gleich nach Abschluss der Messung – noch im Gelände – die Höhenunterschiede überprüft (Abb. 13):

Der Gesamthöhenunterschied (Sollhöhenunterschied) $Dh_{\text{Soll}} = H_B - H_A$ (Spalte 5 in Abb. 13) muss im Rahmen der Messgenauigkeit gleich der Summe der gemessenen Einzelhöhenunterschiede (Isthöhenunterschied) Dh_{Ist} (Spalte 3) sein, d. h. von der Summe der Rückblicke (Spalte 1) ist die Summe der Vorblicke (Spalte 3) abzuziehen.

Die aufgetretene Differenz wird gleichmäßig auf die Rückblicke verteilt. Danach kann die Höhe des Punktes C errechnet werden.

Merke: Ein Streckennivellement sollte stets an verschiedenen Punkten an- und abgeschlossen werden.

Tip vom Praktiker:

Beim Streckennivellement ist immer nur einer „unterwegs“. Begegnen sich Lattenträger und Beobachter, sind alle bis dahin gemessenen Werte unbrauchbar, d. h. es muss mit

der Messung von vorn begonnen werden. Empfehlenswert ist es deshalb, bei langen Nivellements wiederauffindbare Wechsellpunkte einzuschalten (auf denen der Lattenuntersetzer natürlich nicht verwendet werden darf), um bei einem Missgeschick am letzten fehlerfreien Wechsellpunkt wieder beginnen zu können.

b) Flächennivellement

Müssen Höhenwerte zahlreicher, im Messbereich des Instruments liegender Punkte bestimmt werden, ergibt sich folgender Messungsablauf:

Das Instrument wird an einem Punkt so aufgebaut, dass die Ziellinie über den aufzunehmenden Punkten liegt. Die Latte wird auf einem Höhenfestpunkt aufgestellt, der Rückblick wird abgelesen. Die Höhe des Zielstrahles wird errechnet nach der Formel $l = H_A + r$.

Diese Höhe ist durch Messung zu einem zweiten Festpunkt zu kontrollieren. Alle nachfolgend abgelesenen „Zwischenblicke“ sind von diesem Wert zu subtrahieren. Bei länger andauernden Messungen von einem Standpunkt aus, etwa wenn das Instrument morgens am Grabungsrand aufgestellt wird und zu verschiedenen Zeiten immer wieder Höhen bestimmt werden sollen, sind wiederholte Kontrollen der Bezugshöhe durchzuführen.

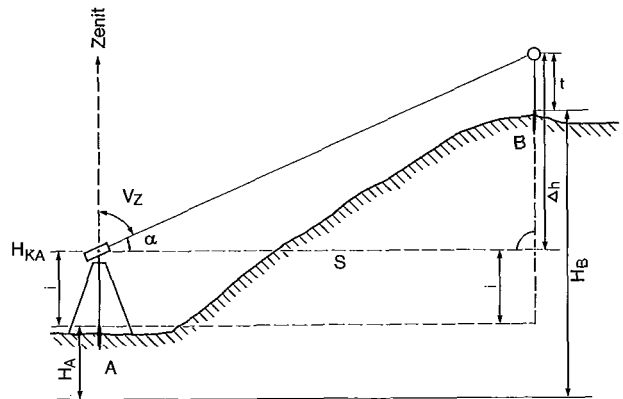
Die Einzelwerte sind mit besonderer Sorgfalt abzulesen, da sie nur sehr umständlich und nicht durchgreifend kontrolliert werden können.

13.3.1.4 Genauigkeit des Nivellements

- Die Genauigkeit des Nivellements ist abhängig von
- Empfindlichkeit des Kompensators bzw. der Röhrenlibelle
 - Vergrößerung des Fernrohres (Fernrohre von Nivellieren der unteren Genauigkeitsstufe vergrößern 10- bis 15-fach, Instrumente höchster Genauigkeit besitzen Fernrohre mit 35- bis 50-facher Vergrößerung)
 - Zielweite
 - Genauigkeit der Lattenteilung
 - Sichtverhältnissen (Wetter)
 - Ablesegenauigkeit
 - Senkrechtstellung der Latte und Achtsamkeit an den Wechsellpunkten.

13.3.2 Trigonometrische Höhenbestimmung

Die trigonometrische Höhenbestimmung erfolgt mittels Theodolit. Die Ziellinie ist gegenüber der Horizontalen beliebig geneigt. Der Höhenunterschied wird aus dem gemessenen Vertikalwinkel und der Entfernung zwischen Standpunkt und Zielpunkt berechnet (Abb. 14). Die erreichbare Genauigkeit liegt bei wenigen Zentimetern. Sie ist abhängig von der Art und Genauigkeit der Streckenmessung. In der Praxis kommt die trigonometrische Höhenbestimmung vor allem in der Tachymetrie zur Anwendung (siehe Kap. 13.5.1).



14 Trigonometrische Höhenmessung
Der Höhenunterschied errechnet sich aus dem Höhenwinkel

$$\Delta h = s \cdot \tan \alpha$$

Die Höhe des Punktes B errechnet sich dann zu:

$$HB = HA + i + \Delta h - t$$

Dabei bedeuten: HB = Höhe des Punktes B, HA = absolute Höhe des Punktes A, i = Instrumentenhöhe (Höhe der Kippachse) über dem Messpunkt (Punkt A), t = Höhe der Ziellinie über Punkt B.

Verm.-Ing. Thomas Gerlach
Landesamt für Archäologie
mit Landesmuseum für Vorgeschichte
Japanisches Palais
01 097 Dresden