

Paper-ID: VGI_195411



Über das Nivellieren mit geneigter Visur bei optischer Messung der Distanzen unter Verwendung altartiger Universal-Nivellier-Instrumente

Leo Candido

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **42** (4), S. 97–105

1954

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Candido_VGI_195411,  
  Title = {{\U}ber das Nivellieren mit geneigter Visur bei optischer Messung  
    der Distanzen unter Verwendung altartiger Universal-Nivellier-Instrumente},  
  Author = {Candido, Leo},  
  Journal = {{\O}sterreichische Zeitschrift f{{\u}r Vermessungswesen},  
  Pages = {97--105},  
  Number = {4},  
  Year = {1954},  
  Volume = {42}  
}
```



ÖSTERREICHISCHE ZEITSCHRIFT FÜR VERMESSUNGSWESEN

Herausgegeben vom
ÖSTERREICHISCHEN VEREIN FÜR VERMESSUNGSWESEN

Offizielles Organ

des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (Gruppe Vermessungswesen),
der Österreichischen Kommission für Internationale Erdmessung und
der Österreichischen Gesellschaft für Photogrammetrie

REDAKTION:

Hofrat Prof. Dr. h. c. mult. E. D o l e ž a l,
Präsident i. R. Dipl.-Ing. K. L e g o und o. ö. Professor Dipl.-Ing. Dr. H. R o h r e r

Nr. 4

Baden bei Wien, Ende August 1954

XLII. Jg.

Über das Nivellieren mit geneigter Visur bei optischer Messung der Distanzen unter Verwendung altartiger Universal-Nivellier- Instrumente

Von Senatsrat i. R. Dipl.-Ing. Leo C a n d i d o

Vor mehreren Jahren habe ich ein Verfahren beschrieben, das bei Verwendung altartiger Ausrüstung für Tachymetrie eine wesentliche Steigerung der Genauigkeit der Bestimmung des Lattenabschnittes und damit auch der daraus errechneten Distanz sowie des Höhenunterschiedes erzielen läßt *).

Es soll nun gezeigt werden, wie dieses Verfahren auch für die reine Höhenmessung, d. h. als Ersatz für das Nivellieren, mit Erfolg Verwendung finden kann.

Ein Nivellement wird üblicherweise mit horizontaler Visur durchgeführt, d. h. es wird bei einspielender Nivellierlibelle an der Latte der Mittelfaden abgelesen. Bei dieser Art, die als „geometrisches Nivellement“ bezeichnet wird, kann aber je Station nur ein Höhenunterschied bewältigt werden, der etwas kleiner ist als die Höhe der verwendeten Nivellierlatte. Ist diese 3, bzw. 4 m hoch, so wird dieser Höhenunterschied daher kaum größer als 2·70, bzw. 3·70 m sein, denn es wäre unwirtschaftlich, weil zeitraubend, erst lange herumzuprobieren, ob sich nicht doch eine bessere Aufstellung für das Instrument oder die Latte finden ließe und damit ein besserer Effekt erzielt werden könnte.

Ist H die Gesamthöhe, die abzunivellieren ist, wobei auch Gegenge-

*) Zeitschrift des Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines, Jg. 1946, Heft 7/8 und 9/10, Jg. 1947, Heft 23/24 sowie Jg. 1951, Heft 9/10. Siehe auch Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen, Jg. XL, Heft 1 und Heft 2.

fälle positiv zu rechnen sind, so wird demgemäß die Mindestanzahl Z der erforderlichen Stationen bei 3, bzw. 4 m hoher Latte sein:

$$Z \geq \frac{H}{2.70}, \text{ bzw. } Z \geq \frac{H}{3.70}.$$

Wenn nun große Höhenunterschiede zu bewältigen sind, so wird eine beträchtliche Anzahl von Instrumentaufstellungen erforderlich werden, also der Zeitaufwand für die Feldarbeit groß sein.

Solange es sich um Nivellements handelt, bei denen bestimmte Vorschriften hinsichtlich ihrer Durchführung und Genauigkeit eingehalten werden müssen — Feinnivellements u. ä. — wird man geometrisch nivellieren und die bei dieser Ausführungsart mehr oder weniger stark in Erscheinung tretenden Unannehmlichkeiten und Arbeiterschwernisse in Kauf nehmen.

Ist doch jedem Nivelleur hinlänglich bekannt, daß es nicht leicht ist, am oberen Lattenende eine sichere Lesung zu machen, wenn eine hohe Latte verwendet wird, ganz zu schweigen davon, daß es geradezu unmöglich wird, wenn nur einigermaßen Wind weht. Die Latte schwankt dann hin und her und der Lattenträger hat alle Mühe, die an und für sich schwere, nun auch noch dem Winddruck ausgesetzte Latte in ihrer lotrechten Lage zu erhalten, bzw. sie immer wieder in diese Lage zurückzubringen. Auch das Gewicht einer 3, bzw. 4 oder gar 5 m langen Latte spielt eine Rolle, besonders in steilerem Gelände.

Eine große Erleichterung der Feldarbeit sowohl durch Verminderung der Anzahl der Stationen als auch durch Verringerung des Lattengewichtes, der Lattenhöhe und damit auch des Winddruckes läßt sich erzielen, wenn das Nivellement mit *g e n e i g t e r* Zielung durchgeführt wird.

Das Schema dafür geht aus Abb. 1 hervor. Die fiktive Lesung F an der Latte, die horizontaler Visur entspricht, ergibt sich aus der einfachen Beziehung:

$$F = Z - h \quad . . . (1)$$

Darin ist Z die Lesung am Mittelfaden, die sog. „Zielhöhe“.

Für h gilt:

$$h = 100 L \sin \alpha \cos \alpha + c \sin \alpha \quad . . . (2)$$

(Das zweite Glied entfällt bei Instrumenten, die ein sog. Porrosches Fernrohr haben.)

Ist F_r die fiktive Lesung „Rückwärts“, F_v die fiktive Lesung „Vorwärts“, so gilt als Höhenunterschied ΔH vom Punkte „Rückwärts“ zum Punkte „Vorwärts“ genau so wie beim geometrischen Nivellement:

$$\Delta H = F_r - F_v \quad . . . (3)$$

Beim geometrischen Nivellement ist die Lattenlesung nur abhängig von der Empfindlichkeit der Nivellierlibelle und der Schärfe, mit der der Mittelfaden an der Latte abgelesen werden kann, was i. a. durch Schätzung der mm im cm -Intervall der Latte geschieht.

Bei geneigter Visur ist die fiktive Lesung F abhängig nicht nur von der Empfindlichkeit der Versicherungslibelle des Höhenkreises, der Genauigkeit der Ablesung der Neigung der Visur und der Schärfe der Einstellung der Zielhöhe, sondern auch von der Distanz, also von der Schärfe, mit der der Lattenabschnitt L ermittelt werden kann und im Zusammenhange damit auch von den Instrumentkonstanten C und c .

Dazu ist folgendes zu sagen:

Die Zielhöhe kann zumindest ebenso genau bestimmt werden, wie die Lattenlesung beim geom. Nivellement, sie wird aber in der Regel größer sein, weil sie eine Einstellung ist, die scharf auf einen runden Wert erfolgt.

Die Instrumentkonstante c läßt sich derart genau bestimmen, daß sie als fehlerlos angesehen werden kann.

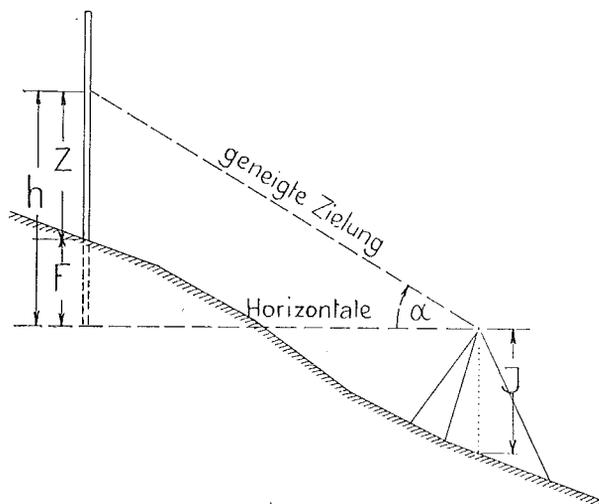


Abb. 1

Die Multiplikationskonstante C kann ebenfalls durch Versuchsreihen ausreichend genau ermittelt werden. Der dabei allenfalls festgestellte Fehler gegenüber dem Werte 100·00 kann rechnerisch berücksichtigt werden — Nomogramm oder kleine Hilfstabelle mit dem Eingange L —, bzw. durch eine einfache, in der Folge noch zur Sprache kommende Zusatzskala an der Latte.

Es können daher die beiden Fernrohrkonstanten für die folgende Untersuchung ausscheiden. In dieser soll ein Bild darüber gewonnen werden, von welcher Größenordnung der zu erwertende mittl. Kilometerfehler eines mit geneigter Visur ausgeführten Nivellements ist.

Es seien folgende Werte für die Genauigkeiten angenommen, wobei ein normales Universal-Nivellierinstrument (Tachymeter) vorausgesetzt ist.

Versicherungslibelle des Höhenkreises:

$$\Delta \alpha_1 = \pm 10''$$

Ablesung des Höhenkreises:

$$\Delta \alpha_2 = \pm 10''$$

Es wird demnach für den mittleren Fehler $\pm \Delta\alpha$ der Neigung der Visur gelten:

$$\Delta\alpha = \sqrt{\Delta\alpha_1^2 + \Delta\alpha_2^2} = \pm 14'' \quad . . . \quad (4)$$

Den größten Einfluß wird der Fehler im Lattenabschnitt haben. Es ist also wesentlich, daß dieser Lattenabschnitt möglichst genau bestimmt wird. Es wurde bereits eingangs ausgeführt, daß diese Möglichkeit auch dann besteht, wenn altartige Meßeinrichtungen (Reichenbach) verwendet werden.

Der mittlere Fehler im 100fachen Lattenabschnitt sei mit $\pm 3 \text{ cm}$ angenommen. Es ist dies ein Wert, der bei der verhältnismäßig kurzen Distanz, die man bei einem derartigen Nivellement anwenden wird, erfahrungsgemäß sicher eingehalten werden kann.

Wir erhalten damit den mittl. Fehler $\pm \Delta F'$ in der fiktiven Lesung F' wie folgt:

$$\Delta F' = 100 \Delta L \sin \alpha \cos \alpha + 100 L (1 - \sin^2 \alpha) \Delta \alpha. \quad . . . \quad (5)$$

Nehmen wir als 100fachen Lattenabschnitt im Mittel 30 m an, als Neigung der Visur 20° , so ergibt sich mit den angenommenen Werten für ΔL und $\Delta \alpha$ der mittl. Fehler in der fiktiven Lesung F' (in cm) wie folgt:

$$\Delta F' = 3 \cdot 0.321 + 3000 (1 - 0.234) \frac{14''}{206265''}$$

$$\Delta F' = \pm 0.963 \pm 0.285$$

$$\Delta F' = \sqrt{0.963^2 + 0.285^2} \doteq \pm 1 \text{ cm} \doteq \pm 10 \text{ mm}.$$

Der mittlere Fehler im Stationshöhenunterschiede ist daher

$$\Delta H = \pm 10 \sqrt{2} \doteq \pm 14 \text{ mm}$$

Dem 100fachen Lattenabschnitt von 30 m und der Neigung von 20° entspricht eine horizontale Distanz von $30 \cos^2 20^\circ$, d. i. 26.4 m oder eine Stationslänge von 53 m .

Es kommen also im Mittel rund 19 Stationen je km. Der mittlere Kilometerfehler ergibt sich daraus mit

$$\mu = \pm 14 \sqrt{19} = \pm 61 \text{ mm}.$$

Dieser Wert ist überraschend klein und kann für viele praktische Fälle in Anbetracht der Vorteile, die das Verfahren bietet, sicherlich hingenommen werden.

Nach dieser theoretischen Erwägung seien nun die Ergebnisse angeführt, die ein nach dem geschilderten Verfahren durchgeführtes Nivellement gebracht hat.

Die Länge des Zuges betrug 1190 m , der dabei bewältigte Höhenunterschied 246 m . Die Anzahl der Stationen war 27, die mittlere Stationslänge demnach 44 m .

Je Station wurde im Mittel ein Höhenunterschied von 9.10 m überwunden.

(Nasenweg auf den Leopoldsberg bei Wien, vom Einstieg an der Heiligenstädterstraße bis zum Ausgang zur Gastwirtschaft bei der Kirche am Leopoldsberg.)

Zur Anwendung gelangte ein Universal-Nivellierinstrument alter Bauart der Firma R. & A. Rost in Wien. Der Höhenkreis war in $20''$ geteilt, erlaubte also noch die Schätzung von $10''$. Es war mit Versicherunglibelle ausgerüstet, deren Empfindlichkeit nicht untersucht wurde, doch kann angenommen werden, daß sie bei $\pm 10''$ lag.

Als Latte diente die untere Hälfte einer 4 m hohen Nivellierlatte der Firma C. Zeiß. Sie trug Doppelfelderteilung (Feldgröße 1 cm) und war bei dem Werte 10 dm mit dem bewußten Plättchen versehen worden, dessen Transversalteilung auf eine Steigung von $1\text{ cm} \dots 5$ Felder aufwies. Diese Transversalteilung war nach rechts und nach links fortgesetzt — die Latte war zu diesem Zwecke durch kleine, beiderseits angeschraubte seitliche Leisten an dieser Stelle etwas verbreitert — und gestattete derart die Einstellung des Fadenkreuzpunktes jeweils auf beide Ränder des weißen Schrägstriches. Die abgelesenen Werte ergaben addiert unmittelbar die cm des 100fachen Lattenabschnittes.

Abb. 2 zeigt ein solches Plättchen, wie es sich dem Beobachter im astronomischen Fernrohre darbietet. Der untere — im Fernrohr obere — Horizontalstrich wird bei der scharfen Einstellung des oberen — im Fernrohr untersten — Horizontalstriches auf einen ganzen cm -Strich der Latte von der Zielmarke weg h i n a u fgerückt. Dieses Hinaufrücken wird nach

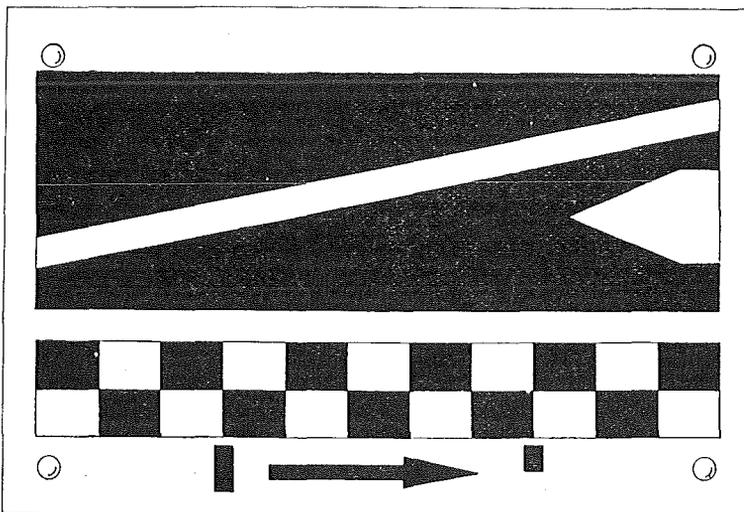


Abb. 2

entsprechender Horizontalverschiebung des Fadenkreuzpunktes jeweils auf die beiden Ränder des weißen Schrägstriches an der transversalen Felderteilung abgelesen. Diese Teilung verläuft im Fernrohrbilde von links nach rechts (Pfeilrichtung), ihre Ablesung bereitet also keine Schwierigkeiten.

Das 2 m hohe Lattenstück besaß in ca. 1·30 m Höhe zwei Handgriffe und war mit fest angebrachter Dosenlibelle ausgerüstet. Zusätzlich zur Verwendung gelangten zwei Streben vom Querschnitt $15 \times 30 \text{ mm}$ und einer Länge von ca. 1·50 m, die am Fußende einen ca. 4 mm starken Nagel trugen, der bis auf 1 cm in die Strebe eingetrieben war.

Die Verbindung der Streben mit den Handgriffen der Latte wurde bloß durch die Hände hergestellt. Die Latte konnte auf diese Art und Weise überraschend rasch in die lotrechte Lage gebracht und in dieser Lage festgehalten werden, wobei infolge Kürze der Latte auch mäßiger Wind keinerlei Unruhe des Lattenbildes verursachte.

Als Zielhöhe wurde nach scharfer Bestimmung des Lattenabschnittes jeweils der dem Mittelfaden nächstgelegene ganze oder halbe Dezimeter gewählt, der Mittelfaden mittels der Fernrohr-Kippschraube scharf darauf eingestellt und für diese Lage der Höhenkreis abgelesen.

(Das Instrument war in normaler Verfassung belassen, d. h. die Neigung der Visur war auf den M i t t e lfaden bezogen, Die Latte wurde l o t r e c h t aufgestellt.)

Die Ablesungen wurden nach sorgfältigem Einspielenlassen der Versicherungslibelle vorgenommen und geschahen nur in einer Kreislage. (K. L. Links.)

Das Nivellement wurde Hin- und Zurück gemacht und die Strecke durch mehrere Repèrepunkte unterteilt.

Der Zeitaufwand betrug je Station im Mittel 8 Minuten. Darin ist schon der Umstand berücksichtigt, daß große Teile des Weges wiederholt zurückgelegt werden mußten, da verschiedenes Gepäck nachgezogen werden mußte. (Instrument-Kistel, Rucksäcke, Aktentaschen, Pflöcke, Farbtiegel usw.). An Personal war nur 1 Mann als Helfer und Aufschreiber beim Instrument und 1 Mann als Lattengeher vorhanden.

Die Berechnung der Werte $100 L \sin \alpha \cos \alpha - Z + c \sin \alpha$ für die Vor- und Rückblicke sowie der fiktiven Lattenlesungen F' erfolgte zuhause. Diese Arbeit erforderte einschließlich der Rechenkontrollen nicht wesentlich mehr Zeit als die Feldarbeit. Sie stellt unleugbar ein Mehr an Arbeit und damit an Zeitaufwand vor gegenüber dem geometrischen Nivellement, bei dem ja diese Werte unmittelbar auf dem Felde abgelesen werden.

Die Bildung der Stationshöhenunterschiede aus den fiktiven Rückwärts- und Vorwärtslesungen, die Summenbildung dieser Unterschiede jeweils zwischen den einzelnen Repèrepunkten, deren Mitteilung, die Bildung des gesamten Höhenunterschiedes zwischen Anfangs- und Endpunkt, die Ausgleichung usw. waren nicht anders als beim geometrischen Nivellement.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle zusammengestellt.

Spalte 1 enthält die Längen zwischen den einzelnen Repèrepunkten, Spalte 2 die Stationierung dieser Punkte, Spalte 3 die Anzahl der Stationen zwischen diesen Punkten, Spalte 4 gibt die Höhenunterschiede von Repèrepunkt zu Repèrepunkt, wie sie sich aus dem Hinwege ergaben, Spalte 5

die des Rückweges. Spalte 6 und 7 enthalten die Differenzen dieser Höhenunterschiede Hin- und Zurück, in Spalte 8 sind die Quadrate dieser Differenzen gebildet. Die Summe der Spalte 8, dividiert durch die Anzahl der Werte gibt einen mittleren Wert für das Quadrat der Differenz, die Wurzel daraus einen mittleren Wert für die Differenz. Damit kann der mittlere Kilometerfehler des Nivellements nach der Formel

$$\mu = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{1000}{L}} \quad \dots \quad (6)$$

berechnet werden, womit sich ergibt

$$\mu = \frac{19 \cdot 2}{2} \sqrt{\frac{1000}{1190}} \doteq \pm 8 \text{ mm.}$$

In Spalte 9 sind nach der selben Formel die mittleren Kilometerfehler der einzelnen Teilstrecken zwischen den Repèrepunkten berechnet. Der *g r ö ß t e* dieser Einzelwerte ergibt sich mit ± 59 , entspricht also genau dem aus der theoretischen Untersuchung hervorgehenden Mittelwerte. Das Mittel aller Einzelwerte ist ± 24 , ist also kleiner als die Hälfte des theoretisch ermittelten Wertes.

In Spalte 10 sind die Quadrate der Werte der Spalte 9 gebildet. Ihre Summe, geteilt durch ihre Anzahl ergibt einen mittleren Wert für das Quadrat, die Wurzel daraus kann wieder als ein mittlerer Kilometerfehler des ganzen Nivellements angesehen werden.

Studienhalber sind in Spalte 11 jeweils die Summen aller Differenzen *d* von Zugsbeginn an zusammengestellt, in Spalte 12 die mit diesen Werten nach Formel (6) berechneten mittleren Kilometerfehler der Strecken jeweils von Zugsbeginn an.

Unter allen diesen Werten werden die aus Spalte 9 und 10 hervorgehenden die Genauigkeit des Nivellements wohl am besten kennzeichnen und am zutreffendsten sein.

Die vorstehenden Ausführungen lassen erkennen, daß ein Nivellement auf tachymetrischer Grundlage in vielen Fällen der Praxis beachtenswerte Vorteile zu bieten vermag, ohne daß der Genauigkeit dadurch wesentlich Abbruch geschieht.

Zum Schlusse noch einige Bemerkungen betreffend die Multiplikationskonstante *C* des Instrumentes:

Bei größerer Genauigkeit in der Bestimmung des Lattenabschnittes, wie sie durch das Plättchen mit Transversalmaßstab erzielbar ist, wird auch die Anforderung an die Genauigkeit der Konstanten *C* höher sein müssen, als sie i. a. üblich ist. Diese Konstante läßt sich, wie schon eingangs erwähnt, aus einer Reihe Messungen von Längen errechnen, deren genauer Wert mittels Meßplatten oder Meßband verhältnismäßig scharf bestimmt wurde.

Nun ist es nicht möglich, diese Konstante, falls sie vom Werte 100 abweicht, zu ändern und auf den genauen Wert 100 richtigzustellen, da

ja der Abstand der beiden distanzmessenden Horizontalstriche auf der Fadenkreuzplatte fest und unveränderlich ist. Es müssen daher beim Tachymetrieren die Lattenabschnitte, beim Nivellieren die errechneten Höhenunterschiede mit Korrekturen versehen werden.

Beim Nivellieren wird die Berechnung dieser Korrekturen keine Umstände bereiten. Diese Korrektur wird dann sein

$$k = \frac{\Delta H}{100} \Delta C \quad \dots \quad (7)$$

wobei ΔH der zu korrigierende Höhenunterschied, ΔC die Abweichung der Multiplikationskonstanten vom genauen Werte 100 ist.

Beim Tachymetrieren sowie immer dann, wenn Distanzen gemessen werden, die man möglichst genau haben will, müssen die Lattenabschnitte mit Korrekturen versehen werden. Für diese kann, wie schon erwähnt, eine Hilfstafel oder ein Nomogramm angelegt werden, aus denen diese Korrekturen, etwa mit dem 100fachen Lattenabschnitte als Eingang, entnommen werden können.

In diese Hilfstafel, bzw. dieses Nomogramm könnte auch ein allenfalls festgestellter Längenfehler der Nivellierlatte einbezogen werden. Die Behelfe gelten dann natürlich nur für ein bestimmtes Instrument in Verbindung mit einer bestimmten dazugehörigen Latte.

Man kann Hilfstafel oder Nomogramm ersparen, wenn man an der Latte eine Hilfsskala anbringt, die diese Korrektur gleichzeitig mit dem Lattenabschnitt ablesen läßt. Diese Hilfsskala kann ziemlich roh angerissen sein, entweder auf der Vorderseite der Latte selbst oder auf einer seitlich an diese angenagelten Holzleiste.

Wäre z. B. die Mult. Konstante 100·14, so erforderte dies auf 100 *m* des 100fachen Lattenabschnittes eine Korrektur von + 14 *cm*, auf kleinere Abschnitte verhältnismäßig weniger. Die Hilfsskala wäre in diesem Falle eine lineare, mit dem Nullpunkte in gleicher Höhe mit der Marke, und mit solcher Intervallgröße, daß 14 von ihnen auf 1 *m* Länge kommen.

Der Vorgang bei der Bestimmung des Lattenabschnittes ist dann der, daß gleich nach Angabe der Lesung am Oberstrich, d. s. die ganzen Meter des Lattenabschnittes, seitlich an der Hilfsskala die Zentimeter der Korrektur abgelesen werden, worauf durch die bekannte Horizontalverschiebung des unteren Fadenkreuzpunktes dieser nacheinander auf die beiden Ränder des weißen Schrägstriches gebracht wird und beidemale die Stellung des Vertikalstriches an der Transversalteilung abgelesen wird. Beide Lesungen werden ebenfalls in Zentimeter zu den ganzen Metern des 100fachen Lattenabschnittes notiert.

Überflüssig zu sagen, daß die Prozedur nur dort erforderlich ist, bzw. erforderlich wird, wo es auf möglichst scharfe Bestimmung des Lattenabschnittes ankommt. Beim Nivellieren nach dem beschriebenen Verfahren wird dies nicht notwendig sein, sondern wird die Berechnung der Korrekturen der Höhenunterschiede nach Formel (7) einfacher und zweckmäßiger sein.

Zusammenstellung der Ergebnisse

Länge <i>L</i>	Statio- nierung	Anzahl der Stationen	Höhenunterschied		Differenz <i>d</i>		<i>d</i> ²	Mittl. Km-Fehler $\mu = \frac{d}{2} \sqrt{\frac{1000}{L}}$	μ^2	[<i>d</i>]	μ'
			hin	zurück	+	-					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19	19	1	+	-							
				3-993	3-996		3	9	11	121	- 3
89	108	2	25-320	25-329		9	81	15	225	- 12	18
35			1	8-557	8-535	22		484	59	3481	+ 10
336	479	7	66-695	66-678	17		289	15	225	+ 27	19
250			6	51-193	51-230		37	1369	37	1369	- 10
168	897	3	30-139	30-133	6		36	7	49	- 4	2
133			3	24-295	24-303		8	64	11	121	- 12
160	1190	4	36-185	36-160	25		625	31	961	+ 13	6
1190			27	246-377	246-364	70	57	2957	192	6552	
			0-013		13		370	24	819		= 10
							19-2		29-6		