

c) Außer den seither betrachteten, eine nur einäugige Beobachtung erfordernden Entfernungsmessern gibt es noch den auf dem stereoskopischen oder räumlichen Sehen beruhenden, also zweiäugige Beobachtung verlangenden Raumbildentfernungsmesser oder **stereoskopischen Entfernungsmesser**, bei dem die Grundstrecke im Standpunkt liegt. Dieser Entfernungsmesser wird in zwei Bauarten hergestellt; bei der einen werden die Entfernungen mit Hilfe eines räumlichen Maßstabes und bei der anderen mit einer räumlich bewegbaren Marke gemessen. Bei der zuerst angegebenen Ausführung kann man zwischen den einzelnen Strichen oder Marken des im Gesichtsfeld erscheinenden räumlichen Maßstabes die jeweilige Entfernung unmittelbar ablesen. Bei der zweiten Ausführung ist im Gesichtsfeld eine im Raum freischwebende Marke vorhanden, die mittels einer Schraube räumlich bewegt werden kann; stellt man die Marke — räumlich gesehen — über den Zielpunkt, so kann man dessen Entfernung an der Trommel der auf die Marke wirkenden Schraube ablesen. Das Instrument mit räumlichem Maßstab im Gesichtsfeld kann freihändig benutzt werden; dasjenige mit räumlich bewegbarer Marke erfordert eine feste Aufstellung auf einem entsprechenden Stativ.

Die Firma C. Zeiß fertigt drei, für topographische Zwecke in Frage kommende stereoskopische Entfernungsmesser mit Grundstrecken von 36, 50 und 70 cm Länge und festem Maßstab im Gesichtsfeld. Das Instrument mit 36 cm langer Grundstrecke kann zur Messung von Strecken von 30—1000 m benutzt werden; dabei hat man mit Fehlern von mindestens 0,1 bzw. 50 m zu rechnen. Das Instrument mit 50 cm langer Grundstrecke dient zur Messung von Strecken von 100 m an, wobei man mit einem Fehler von mindestens 0,5 m zu rechnen hat; bei 500 m langen Strecken muß man mit Fehlern von mindestens 10 m und bei 1000 m mit 50 m rechnen. Das Instrument mit 70 cm langer Grundstrecke kommt für Strecken von 100—5000 m Länge in Frage; die zu erwartenden Fehler sind mindestens 0,1 m bei 100 m, 10 m bei 1000 m und 250 m bei 5000 m.

5. Der Fadenentfernungsmesser.

Der Fadenentfernungsmesser oder auch Okularfadenentfernungsmesser ist ein wichtiger Bestandteil des Tachymetertheodolits und der Kippregel; wie schon oben angegeben wurde, ist er ein Entfernungsmesser mit veränderlicher Grundstrecke im Zielpunkt und mit unveränderlichem mikrometrischen Winkel im Standpunkt. Der nur 30 bis 60 Minuten große mikrometrische Winkel ε ist bestimmt durch die Brennweite f des Objektivs eines Fernrohrs und zwei, zu beiden Seiten des eigentlichen Horizontalfadens auf der Fadenplatte des Fernrohrs in unveränderlichem Abstand aufgezoogene bzw. angegebene „Distanzfäden“. Soll die horizontale Entfernung E zwischen zwei in derselben Höhe gelegenen Punkten S und Z gemessen werden, so stellt man das entfernungsmessende Fernrohr in S und in Z einen auf einer Latte angegebenen Maßstab mit Zentimeter- oder Dezimeterteilung vertikal auf und liest an diesem den mit E veränderlichen Abschnitt l zwischen

den beiden Distanzfäden ab; man erhält dann E als Funktion von l und den Abmessungen des Fernrohrs.

Für das meistbenutzte Ramsdensche Fernrohr (Abb. 29) mit der Objektivbrennweite f , dem Fadenabstand a und dem Abstand d zwischen Objektiv und Fernrohrmitte¹ ist

$$E - (d + f) = \frac{f}{a} l \quad \text{oder} \quad E = (d + f) + \frac{f}{a} l$$

oder

$$E = c + kl, \quad \text{wobei} \quad c = d + f \quad \text{und} \quad k = \frac{f}{a}.$$

Da a , d und f unveränderliche Größen sind, so sind auch c und k unveränderlich; c heißt die Additionskonstante und k die Multiplikationskonstante des Fernrohrs. Der Fadenabstand a wird meist derart gewählt, daß k eine runde Zahl — z. B. gleich 100 — ist. Der mikrometrische Winkel ε hat seinen Scheitel in dem äußeren Brennpunkt F des Objektivs, der auch anallaktischer Punkt heißt.

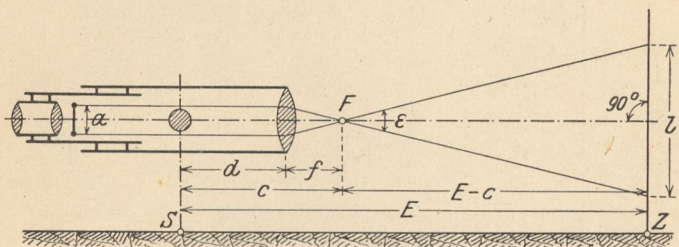


Abb. 29. Wirkungsweise des Fadenentfernungsmessers eines Fernrohrs nach Ramsden.

Bei dem Fernrohr nach Ramsden erfolgt die Bestimmung der Konstanten c und k getrennt. Man erhält c genügend genau durch unmittelbares Abmessen² von d und f aus $c = d + f$. Für die Konstante k genügt unmittelbare Abmessung von f und a nicht; man bestimmt k dadurch, daß man mehrere Entfernungen das eine Mal mittelbar mit dem Fadenentfernungsmesser und das andere Mal unmittelbar mit Meßlaten oder einem Meßband mißt. Ist E_i eine unmittelbar gemessene Entfernung und l_i der entsprechende Abschnitt an dem Maßstab, so ist $k = \frac{E_i - c}{l_i}$. Man führt die Bestimmung von k in der Weise aus, daß man für mehrere Punkte in am besten ungerunden Entfernungen zwischen 30 und 60 m zuerst die Abschnitte l bestimmt und sodann vom Brennpunkt F aus die Entfernungen $E - c$ mißt.

Beispiel für eine Konstantenbestimmung. An einem Fernrohr Ramsdenscher Art wurde abgemessen $d = 14$ cm und $f = 21$ cm,

¹ Ist das Fernrohr mit einem Theodolit verbunden, so liegt die „Fernrohrmitte“ in der Umdrehungsachse des Theodolits.

² Die Brennweite f kann man dadurch bestimmen, daß man die Objektivlinse herauschraubt und dann mit ihr das Bild eines sehr weit entfernten Gegenstandes (Sonne) auf einem Papier auffängt; in den meisten Fällen genügt es, mit dem Fernrohr einen weit entfernten Gegenstand einzustellen; f ist dann gleich dem Abstand zwischen Objektiv und Fadenkreuz. Vielfach ist f vom Mechaniker angegeben.

so daß $c = d + f = 35$ cm ist. Zur Bestimmung von k wurden 10 Punkte benutzt; die Messung ergab bei ungefähr horizontaler Lage des Fernrohrs und vertikaler Stellung des Maßstabes in den Streckenendpunkten die folgenden Werte:

Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	$E - c$ * m	k **
1	1,100	0,382	38,83	101,65
	1,482			
2	1,100	0,397	40,30	101,51
	1,497			
3	1,100	0,418	42,41	101,46
	1,518			
4	1,100	0,436	44,28	101,56
	1,536			
5	1,100	0,450	45,66	101,47
	1,550			
6	1,000	0,471	47,81	101,51
	1,471			
7	1,000	0,489	49,64	101,51
	1,489			
8	1,000	0,509	51,68	101,53
	1,509			
9	1,000	0,526	53,42	101,56
	1,526			
10	1,000	0,547	55,53	101,52
	1,547			

Damit erhält man im Mittel $k = 101,53 \pm 0,02$. Für das Fernrohr gilt somit die Gleichung $E = 0,35 + 101,53 l$.

Die Berechnung von E auf Grund der Gleichung $E = c + kl$ geschieht am einfachsten mit Hilfe der Gleichung $E = k_0 l + \Delta E$, in der

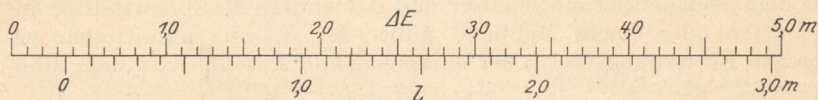


Abb. 30. Tafel zur Bestimmung von ΔE bei der Gleichung $E = 100l + \Delta E$ eines entfernungs-messenden Fernrohrs.

k_0 gleich einer runden Zahl — also z. B. gleich 100 — angenommen wird, und $\Delta E = c + (k - k_0) l$ ist; die ΔE -Werte kann man dabei mittels einer graphischen Tafel bestimmen. Eine solche Tafel zeigt für die Gleichung $E = 0,35 + 101,53 l = 100 l + \Delta E$ die Abb. 30.

* Die Strecken $E - c$ wurden mit Meßblättern gemessen.

** Da k in der Nähe von 100 liegt, so setzt man zur Berechnung der einzelnen k -Werte $k = 100 + \Delta k$; damit erhält man $E - c = kl = 100 l + l \Delta k$ und $\Delta k = \frac{(E - c) - 100 l}{l}$. Die Berechnung der Δk -Werte kann man mit Hilfe des Rechenschiebers ausführen.

Bei dem Fernrohr mit innerer Einstellinse kann man die Gleichung zur Berechnung einer Entfernung E aus dem Maßstababschnitt l ebenfalls auf die Form bringen $E = c + kl$; dabei sind aber c und k infolge des veränderlichen Abstandes zwischen der inneren Einstellinse und dem Objektiv nicht unveränderlich, sondern von E bzw. l abhängig. Liegt k in der Nähe eines runden Wertes k_0 — z. B. 100 — so schreibt man

$$E = c + kl = k_0 l \pm \Delta E,$$

wobei ΔE eine Funktion von l ist. Die Bestimmung der Werte ΔE für bestimmte runde Werte von l — z. B. $l = 0,20; 0,40; \dots 1,00; 1,20 \dots 2,00$ m — geschieht in ähnlicher Weise wie die Bestimmung von k beim Ramsdenschen Fernrohr; nur mißt man dabei zweckmäßigerweise die Entfernungen E und nicht $E - c$. Die Genauigkeit der einzelnen ΔE -Werte kann man in einfacher Weise dadurch erhöhen, daß man für jeden l -Wert mehrere, in E nur um wenige Dezimeter verschiedene Punkte wählt.

Beispiel. Für ein Fernrohr mit innerer Einstellinse, dessen Multiplikationskonstante in der Nähe von 100 liegt, wurden zur Bestimmung der ΔE -Werte der Gleichung $E = 100 l + \Delta E$ 10 Gruppen von je 6 Punkten benutzt; die Messung der Strecken E mit Meßblatten und der Abschnitte l an dem vertikal aufgestellten Maßstab und bei ungefähr horizontalem Fernrohr ergab die nachstehenden Werte:

Gruppe	Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	E m	Gruppe	Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	E m
I	1	1,644 1,450	0,194	19,51	III	1	2,164 1,570	0,594	59,55
	2	1,647 1,450	0,197	19,70		2	2,178 1,580	0,598	59,74
	3	1,6485 1,450	0,1985	19,91		3	2,180 1,580	0,600	59,94
	4	1,651 1,450	0,201	20,15		4	2,171 1,570	0,601	60,10
	5	1,652 1,450	0,202	20,31		5	2,173 1,570	0,603	60,27
	6	1,655 1,450	0,205	20,48		6	2,183 1,580	0,603	60,47
II	1	1,915 1,520	0,395	39,50	IV	1	2,422 1,630	0,792	79,58
	2	1,917 1,520	0,397	39,70		2	2,437 1,640	0,797	79,76
	3	1,918 1,520	0,398	39,88		3	2,428 1,630	0,798	79,98
	4	1,910 1,510	0,400	40,05		4	2,439 1,640	0,799	80,15
	5	1,911 1,510	0,401	40,25		5	2,441 1,640	0,801	80,30
	6	1,913 1,510	0,403	40,45		6	2,444 1,640	0,804	80,44

Gruppe	Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	E m	Gruppe	Punkt	Ablesungen am Maßstab m	l m	E m
V	1	2,722 1,730	0,992	99,52	VIII	1	3,590 2,000	1,590	159,54
	2	2,735 1,740	0,995	99,75		2	3,592 2,000	1,592	159,70
	3	2,725 1,730	0,995	99,99		3	3,593 2,000	1,593	159,92
	4	2,731 1,730	1,001	100,15		4	3,594 2,000	1,594	160,12
	5	2,741 1,740	1,001	100,30		5	3,598 2,000	1,598	160,28
	6	2,735 1,730	1,005	100,47		6	3,605 2,000	1,605	160,46
VI	1	3,013 1,820	1,193	119,51	IX	1	3,890 2,100	1,790	179,55
	2	2,995 1,800	1,195	119,70		2	3,892 2,100	1,792	179,70
	3	3,016 1,820	1,196	119,90		3	3,895 2,100	1,795	179,87
	4	3,017 1,820	1,197	120,15		4	3,897 2,100	1,797	180,09
	5	3,019 1,820	1,199	120,31		5	3,901 2,100	1,801	180,29
	6	3,022 1,820	1,202	120,48		6	3,905 2,100	1,805	180,47
VII	1	3,290 1,900	1,390	139,53	X	1	3,940 1,950	1,990	199,51
	2	3,293 1,900	1,393	139,71		2	3,945 1,950	1,995	199,76
	3	3,295 1,900	1,395	139,91		3	3,948 1,950	1,998	199,95
	4	3,299 1,900	1,399	140,09		4	3,950 1,950	2,000	200,18
	5	3,301 1,900	1,401	140,29		5	3,950 1,950	2,000	200,31
	6	3,302 1,900	1,402	140,47		6	3,952 1,950	2,002	200,50

Gleicht man die Messungen gruppenweise in der in der Abb. 31 angedeuteten Weise graphisch aus, so erhält man für die runden Werte von E die folgenden Werte von ΔE :

$$\begin{array}{rcccl}
 E = & 20,00 & 40,00 & 60,00 & 80,00 & 100,00 \text{ m} \\
 \Delta E = + & 0,05 & 0,08 & 0,03 & 0,19 & 0,22 \text{ m} \\
 E = & 120,00 & 140,00 & 160,00 & 180,00 & 200,00 \text{ m} \\
 \Delta E = + & 0,31 & 0,33 & 0,47 & 0,33 & 0,29 \text{ m.}
 \end{array}$$

Unterzieht man auch diese Werte einer graphischen Ausgleichung (Abb. 32), so ergeben sich die Werte

$E =$	0,00	50,00	100,00	150,00	200,00 m,
$\Delta E = +$	0,00	0,11	0,22	0,33	0,44 m

und damit die in der Abb. 33 angegebene Tafel.

Da das Huygenssche Fernrohr sich weniger für die Entfernungsmessung eignet, so wird es kaum mehr dazu verwendet.

Bei dem nach Porro benannten oder anallaktischen Fernrohr ist die Additionskonstante c gleich Null, so daß $E = kl$; die Bestimmung der Multiplikationskonstanten k geschieht in derselben Weise wie beim Ramsdenschen Fernrohr.

Das im vorstehenden über den Fadenentfernungsmesser Gesagte gilt nur für den Fall, daß Standpunkt und Zielpunkt gleich hoch liegen, so daß die Zielung über den mittleren Horizontalfaden horizontal oder senkrecht zu dem vertikal gehaltenen Maßstab ist; der allgemeine Fall wird später behandelt.

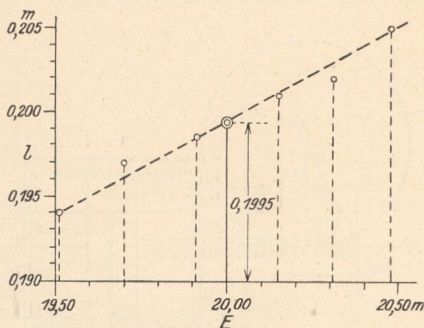


Abb. 31. Ausgleichung einer Gruppe von Beobachtungen bei der Bestimmung der Multiplikationskonstanten eines entfernungsmessenden Fernrohrs mit innerer Einstelllinse.

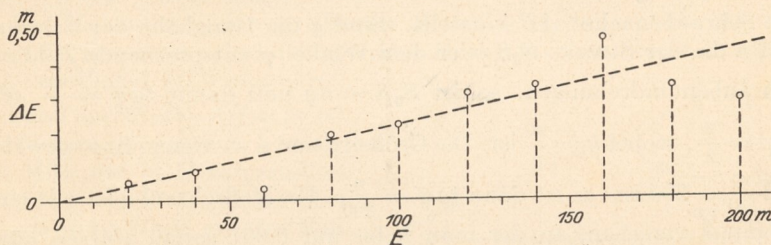


Abb. 32. Ausgleichung der Werte verschiedener Gruppen von Beobachtungen bei der Bestimmung der Multiplikationskonstanten eines entfernungsmessenden Fernrohrs mit innerer Einstelllinse.

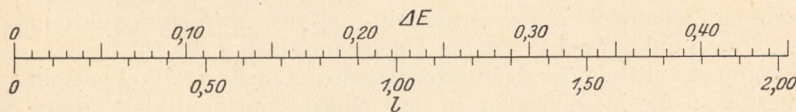


Abb. 33. Tafel zur Bestimmung von ΔE bei der Gleichung $E = 100 l + \Delta E$ eines entfernungsmessenden Fernrohrs.

6. Der Schraubenentfernungsmesser.

Beim Schraubenentfernungsmesser liegt — wie schon früher angegeben wurde — die unveränderliche Grundstrecke b im Zielpunkt und der veränderliche mikrometrische Winkel ε im Standpunkt; die Messung von ε erfolgt nicht unmittelbar in Gradmaß, sondern mittelbar mit Hilfe seiner Tangens. Die Bestimmung des Tangenswertes des Winkels ε geschieht mittels einer horizontal oder vertikal wirkenden Meßschraube; da die Verwendung einer horizontal wirkenden Schraube