

Paper-ID: VGI_195213



Die Steigerung der Bandmeßgenauigkeit mit einfachen Mitteln

Josef Mitter

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **40** (4, 5), S. 97–102, 134–139

1952

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Mitter_VGI_195213,  
  Title = {Die Steigerung der Bandme{\ss}genauigkeit mit einfachen Mitteln},  
  Author = {Mitter, Josef},  
  Journal = {{{\0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen},  
  Pages = {97--102, 134--139},  
  Number = {4, 5},  
  Year = {1952},  
  Volume = {40}  
}
```



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 1952

XL. Jg.

Die Steigerung der Bandmeßgenauigkeit mit einfachen Mitteln

Von Dipl.-Ing. Josef M i t t e r

(Veröffentlichung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen)

In der Praxis treten immer wieder Fälle auf, die zur weitgehenden Verwendung des Stahlmeßbandes bei der Messung langer Strecken mit hoher Präzision an Stelle optischer oder trigonometrischer Distanzmeßverfahren zwingen. Als e i n f ö r m i g e Massenarbeit auf dem Felde ist jede Vereinfachung ebenso erwünscht, wie die Ausschaltung von Fehlerquellen und womöglich jeder späteren Rechenarbeit, wobei der letztere Punkt aber hinsichtlich der angestrebten Steigerung der Meßgenauigkeit nicht restlos erfüllt werden kann. Die Schaffung sicherer, konstanter und kontrollierbarer Verhältnisse in der Meßmethode scheinen als Hauptvoraussetzung auf.

Die allgemeinste und häufigste Form der Bandmessung erfolgt mit freihängendem Meßband, während die aufliegende Messung den selteneren Sonderfall bildet. Um dem freihängenden Band eine meßtechnisch brauchbare und dabei statisch möglichst feste Lage im Raum zu geben, sind gewisse Zugkräfte erforderlich, die das Band zugleich dehnen und die auf die Meßlänge wirkende Größe des Durchhanges beeinflussen. Werden diese Kräfte nur willkürlich als unkontrollierte Spannung mit der Hand angesetzt und ihre Auswirkungen ebenso wie die des Temperatureinflusses vernachlässigt, so werden die Messungsergebnisse gegen die Eichverhältnisse verfälscht. Die exakte Bandmessung verlangt die volle Berücksichtigung aller auf das Band während der Messung wirksamen äußeren Einflüsse oder besser noch, überall wo es in der Hand des Messenden liegt, eine Vereinfachung derselben durch Schaffung fester und gleichartiger Verhältnisse. Diese Beziehungen gelten allgemein für alle Arten von Meßbändern, doch soll

im speziellen immer an die heute allgemein und für alle Zwecke gebräuchlichen Kurbel-, Roll- (Stampiglien-)bänder gedacht werden und das Ringmeßband wegen der groben Teilungsverhältnisse ausscheiden.

Es ist naheliegend, von den Erfahrungen und Grundsätzen der Basismessung mit Drähten auszugehen und sie in sinngemäß vereinfachter Form auf die Messung mit durchhängendem Band anzuwenden. Im Zuge der vorliegenden Arbeit sollen mehrere Punkte, wie konstante Arbeitsspannung, mechanische Kompensierung der Bandgleichung, Bandgleichungsnomogramme, schärfere Markierung von Zwischen- und Endpunkten usw. behandelt und alle auf das Meßmittel und die Methode einwirkenden Faktoren zusammengestellt und kritisch betrachtet werden. Zusammenfassend soll die Anwendung einer Reihe von bewährten Erfahrungen zur Genauigkeitssteigerung empfohlen werden.

Vor kurzem wurde von M. G. P u w e i n für ingenieurmäßige Streckenmessungen der Durchhang des Bandes als grobes sichtbares Maß für jene Arbeitsspannung angegeben, bei der die Einflüsse aus der elastischen Dehnung und der Temperatur durch die Längenänderung aus dem Durchhang kompensiert werden. Abgesehen davon, daß es sich nur um eine theoretische Möglichkeit handelt, da die meßtechnische Erfassung des Durchhanges auf dem Felde praktisch undurchführbar ist und der Verfasser nur eine grobe Faustregel geben wollte, sollen jedoch die von ihm nach Gleichung (1) für verschiedene Temperaturunterschiede Δt errechneten Durchhangwerte d zu einer kurzen Überlegung benutzt werden.

$$d^3 - \frac{3}{8} (\alpha \Delta t l^2) d - \frac{3}{64} \frac{\gamma}{E} l^4 = 0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

- α Ausdehnungskoeffizient für Stahl pro 1° C
- γ spezifisches Gewicht von Stahl
- E Elastizitätsmodul von Stahl

Es wäre ohne weiteres möglich, statt des Durchhanges jeweils die zugrundeliegende kompensierende Arbeitsspannung mit Hilfe eines Spannungsmessers in die Messung einzuführen und damit ein fehlerfreies Streckenmaß zu erhalten. Berechnet man sowohl die Spannungswerte als auch die Temperatur- und Dehnungseinflüsse, die zu den von P u w e i n für bestimmte Längen angegebenen Durchhangwerten gehören — Gleichungen (2) bis (4) —, so ergibt sich ein sehr variables Bild für die notwendigen Ausgleichsspannungen (Tabelle 1).

$$P = \frac{q\gamma l^2}{8d} \quad \dots \dots (2)$$

$$\Delta l_{\Delta t} = \alpha \Delta t l \quad \dots \dots (3)$$

$$\Delta l_p = \frac{P l}{E q} \quad \dots \dots (4)$$

- P Spannkraft, Zugspannung
- q Bandquerschnitt

(Für alle Untersuchungen wurde mit vollkommen ausreichender Schärfe die Kettenlinie durch eine Parabel, bzw. einen Kreisbogen ersetzt und horizontale Sehne angenommen.)

Tabelle 1

Δt	d		P		$\Delta l_{\Delta t}$		Δl_P	
	$l = 20 m$	$50 m$	$20 m$	$50 m$	$20 m$	$50 m$	$20 m$	$50 m$
$^{\circ} C$	cm		kg		mm		mm	
-20	6	33	16,3	18,9	-4,8	-12,0	+6,2	+17,7
0	14	48	7,0	12,8	0,0	0,0	+2,7	+12,2
+20	22	63	4,5	9,8	+4,8	+12,0	+1,7	+9,3

Δt und d nach Puwein

Die Ermittlung der kompensierenden Meßbandspannung aus Tabellen oder Nomogrammen auf dem Felde aus der genäherten Kenntnis von Δt und l ist leicht möglich, aber die dauernd schwankenden Spannungen bei wechselnden Streckenlängen und die starke Abhängigkeit von der Verlässlichkeit des Meßhilfen führen leicht zu irreparablen Fehlern. Der Meßvorgang wird kompliziert. Dazu kommt noch, daß bei Extremfällen (siehe Tabelle 1) sehr große Zugspannungen eintreten können, deren Erzeugung und Beherrschung schwierig ist. Auch ist die Unruhe in der Behandlung des Meßbandes vom Standpunkt der Konstanz der Bändeigenschaften abzulehnen.

Sind lange Strecken durchzumessen, so erfolgt automatisch eine Unterteilung in gleichlange Teilstrecken und führt dadurch mit Selbstverständlichkeit bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen nach diesem Prinzip zur konstanten Spannung und Vereinfachung. Arbeitet man daher analog a priori mit einer festen Arbeitsspannung, die auch der Eichung des Bandes zugrundegelegt wird, so kann man wie im folgenden gezeigt werden soll, eine weitgehende Vereinfachung in der Meßmethode herbeiführen und bei entsprechender Wahl des Spannungswertes bei durchschnittlichen Temperaturverhältnissen automatisch eine gute genäherte Kompensation erreichen. Die rechnerische Auswertung ist einfach und schematisch anlegbar.

Die auf einem fabriksneuen Rollmeßband eingezählte Temperaturangabe, in der Regel $+20^{\circ} C$, ist die Teilungstemperatur. Bei ihr sind Komparator- und Bandlänge (Soll- und Istlänge) identisch. Das Band wird fast immer spannungsfrei geteilt. (Seltener auch: „Bei 5 kg Zugspannung und $+20^{\circ} C$ genau 20 m“.) Bei der Messung wird das Band meist durchhängend verwendet. Die auf die Ergebnisse einwirkenden Einflüsse sind in der Gleichung (7) dargestellt.

Durch den Gebrauch des Bandes tritt trotz der nur kurzzeitig wirksamen elastischen Dehnungen mit der Zeit eine dauernde Längenänderung, bleibende Dehnung ein, die bei der späteren Komparierung des Bandes im aufliegenden Zustand bei der Eichtemperatur t_e zusammen mit der Dehnung aus der Eichspannung P_e als Längendifferenz a auftritt und einen Maßstabsfehler des Bandes bedeutet: Konstanter Längenfehler, innerer Teilungsfehler. Hierin steckt z. B. auch bei Endmeßbändern — die Teilung beginnt am Ring — der Abstandsfehler des Nullpunktes. Durch die Einführung der Eichspannung wird den bei exakten

Bandmessungen geforderten Bedingungen bereits Rechnung getragen. Sie wird, wie schon angedeutet wurde, in der Höhe der späteren Arbeitsspannung gewählt. Um eine gegenseitige Kompensation der verbleibenden Temperatur- und Durchhängeinflüsse (Maßstabsfehler und absoluter Längenfehler) leichter zu erreichen, ist eine niedrige Eichtemperatur erwünscht. Allgemein sind die beliebigen Messungen $l(t, P)$ bei aufliegendem Band auf die Eichlänge l_e nach der Gleichung

$$\Delta l = l_e - l = l \left[\frac{a}{l_B} + \alpha(t - t_e) + \frac{1}{E q} \Delta P \right] \quad \dots \dots \dots (5)$$

zu reduzieren, worin $\Delta P = P - P_e$ und l_B die volle Bandlänge bedeuten. Das normal immer positive Absolutglied a wird zur Entlastung von Gleichung (5) sofort nach der Eichung durch $a = \alpha \Delta t'$ in das Temperaturglied übergeführt, wo es zu einer erwünschten niedrigeren reduzierten Eichtemperatur t'_e führt:

$$\Delta l = l \left(\alpha \Delta t + \frac{1}{E q} \Delta P \right) \quad \dots \dots \dots (6)$$

worin $\Delta t = t - t'_e$ ist.

Wird das Band durchhängend verwendet, so geht die Gleichung (6) durch den Einfluß des Durchhanges allgemein in die Form

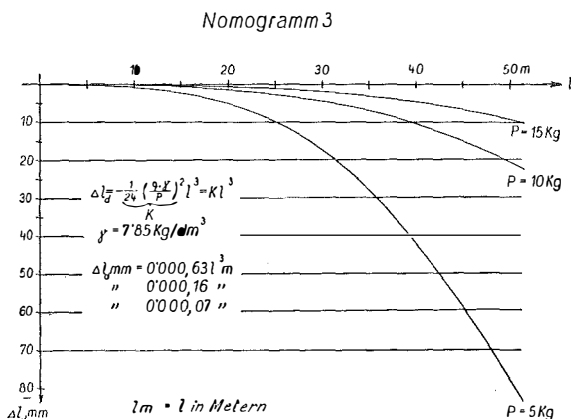
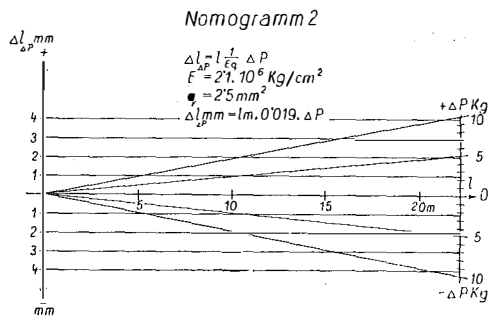
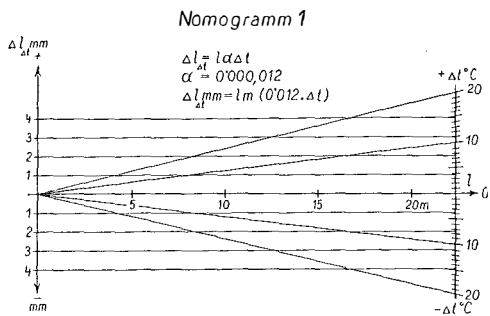
$$\Delta l = l \left[\alpha \Delta t + \frac{1}{E q} \Delta P - \frac{1}{24} \left(\frac{q \gamma}{P} \right)^2 l^2 \right] \quad \dots \dots \dots (7)$$

über.

Die Gleichung (7) enthält noch drei unabhängige Variable: l , P (ΔP) und Δt . Die nachstehenden Nomogramme 1—3, denen die üblichen Banddimensionen (Breite = 13 mm, Dicke = 0,2 mm) zugrunde gelegt sind, zeigen im einzelnen die Einflüsse von Δt und P .

Der Einfluß von Fehlern in den beiden ersten Gliedern ist relativ gering. Als zusätzliches Beispiel sei ein Temperaturfehler von $\pm 5^\circ \text{C}$ in seinen Auswirkungen herausgegriffen, der ohne weiteres möglich ist, da die Temperaturmessung mit dem Schleuderthermometer selbst bei gleichartigen Witterungsverhältnissen nur die Luft-, bzw. Thermometertemperatur ermittelt und nicht die des Bandes. (In Amerika werden bei Präzisionsmessungen nahe den beiden Bandenden Thermometer angeklemt.) Wechselnde Sonneneinstrahlung bringt noch größere Temperaturfehler mit sich. Für $l = 20 \text{ m}$ wird $d_{\Delta l} = \pm 1,2 \text{ mm}$, für $l = 50 \text{ m}$ gleich $\pm 3 \text{ mm}$. Diese Unschärfe kann besonders bei langen Streckenmessungen im Vergleich zur Meßgenauigkeit an sich in Kauf genommen werden, da ihr im allgemeinen der Charakter und die Größenordnung von unregelmäßigen Fehlern zukommen wird.

Der Einfluß einer geänderten oder fehlerhaften Meßspannung auf das Spannungsglied ist, ebenso wie oben, gering. Wird eine fehlerhafte Ermittlung mit der extremen Unsicherheit von $\pm 3 \text{ kg}$ angenommen, so ist $d_{\Delta l}$ bei $l = 20 \text{ m}$ $\pm 1,1 \text{ mm}$, für $l = 50 \text{ m}$ analog $\pm 2,9 \text{ mm}$. Für sie trifft ebenfalls das oben Gesagte zu.



Im Gegensatz dazu steigt aber der Einfluß im Durchhangglied nach der dritten Potenz von l an. Ein Blick auf das Nomogramm 3 zeigt anschaulich die Auswirkungen von Spannungsfehlern als Funktion der Bandlänge, bzw. Streckenlänge. Bei einer extrem hoch angenommenen Spannungsdifferenz von $\pm 5 \text{ kg}$ gegenüber der Sollspannung von 10 kg ergeben sich Fehler $d\Delta l$ von $-11,3 \text{ mm}$ und $+58,8 \text{ mm}$ gegen den Sollwert des Durchhanges bei $l = 50 \text{ m}$. Positive Spannungsfehler ergeben immer geringere Fehler in Δl_d als gleich große negative, d. h. zu starkes Spannen ist relativ weniger schädlich als zu geringes. Instruktiver noch ist aber vielleicht der Einfluß einer leicht möglichen Spannungsschwankung von $\pm 1 \text{ kg}$: Für $l = 20 \text{ m}$ gleich $\mp 0,2 \text{ mm}$, für $l = 50 \text{ m}$ $\mp 3,6 \text{ mm}$.

Eine theoretische Untersuchung über das Anwachsen der Fehlereinflüsse bei Aneinanderreihung von 20 m -Bandlagen und bei der direkten Durchmesserung einer Strecke mit dem 50 m -Band ergibt folgendes Bild:

Der mittlere Fehler einer vollen Bandlage l_B ergibt sich mit

$$\pm m_{l_B} = \pm \sqrt{m_t^2 + m_p^2 + m_d^2 + m_a^2}$$

Der mittlere Fehler einer aus Aneinanderreihung von n vollen Bandlängen entstandenen Strecke L ist gleich

$$\pm m_L = \pm m_{l_B} \sqrt{n}$$

Betrachtet man nun die einzelnen Fehlereinflüsse für sich getrennt für die Strecke L , so nehmen die einzelnen Glieder die folgenden Werte an:

1. $\pm m_t = \pm m_{\Delta t} \alpha l_B \sqrt{n}$
2. $\pm m_p = \pm m_{\Delta P} \frac{1}{E q} l_B \sqrt{n}$
3. $\pm m_d = \pm k \frac{m_{\Delta P}}{P} 2 l_B^3 \sqrt{n}$, k aus (7 a)
4. Der Ablesefehler: $\pm m_a \sqrt{n}$

(Fortsetzung folgt)

Die physikalischen Grundlagen der elektrischen Entfernungsmessung

Von Friedrich Benz

(Veröffentlichung der Österr. Kommission für die Internationale Erdmessung)

(Schluß)

5. Modulation der elektrischen Welle

Nach dem oben Gesagten bestimmt sich die zur Messung geeignete Welle aus den gewünschten Genauigkeitswerten. In der Regel handelt es sich daher, da meist Genauigkeiten von Zentimeter- oder Meterwerten erhalten werden sollen, um Wellenlängen von mehr als 10 m Länge. Andererseits wurde aber weiter oben gezeigt, daß sich nach dem heutigen Stand der Hochfrequenztechnik nur Zentimeterwellen eignen.

Diese Schwierigkeit wird umgangen, wenn man Zentimeterwellen zur Übertragung verwendet, aber diese durch die gewünschten Meterwellen moduliert.

Hiefür eignet sich vor allem die Amplitudenmodulation. Bei ihr wird die Zentimeterwelle, die nun auch Trägerwelle genannt wird, mit der gewünschten Meterwelle, z. B. 40 m oder 7,5 Megahertz (= 7,500.000 Hertz, 1 Hertz ist eine Schwingung — Periode — pro Sekunde) bezüglich ihrer Amplitude geändert. Die Amplitude wird also 7,500.000mal in der Sekunde auf einen positiven und ebensooft auf einen negativen Höchstwert gebracht. Die Ausbreitungsgesetze sind für die modulierte Zentimeterwelle genau die gleichen wie für die gewöhnlich unmodulierte. Abb. 2 zeigt den Verlauf einer amplitudenmodulierten Schwingung.

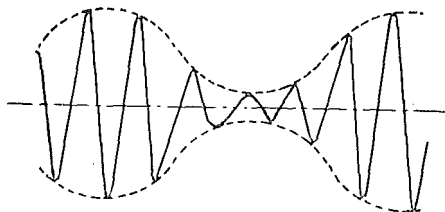


Abb. 2: Amplitudenmodulierte Schwingung

metischen Mittel ($i.l$) als Beobachtungswerte ein und vergleicht diese mit den ausgeglichenen Werten $[i.l]$. Damit ergeben sich die Beobachtungsverbesserungen aus

$$v_{(i.l)} = [i.l] - (i.l).$$

Bei der Abgleichung der Zwischenwinkel auf die Sektoren- oder Hauptzwischenwinkel dagegen erhält man die Verbesserungen

$$v_{i.k} = [i.k] - \widehat{i.k}.$$

Führt man die Stationsausgleichung nach bedingten Beobachtungen durch, so wird man zur Vereinfachung der Stationsausgleichung zuerst die Sektorenwinkel ($i.k$) auf 360° abgleichen und ihre endgültigen Werte sofort für die Berechnung der Widersprüche der Summen der Hauptzwischenwinkel und die Zwischenwinkel gegen die sie überdeckenden Sektorenwinkel benutzen. Diese Anordnung hat, wie schon oben erwähnt, den Vorteil, daß die Normalgleichungen jeweils nur eine Korrelate erhalten, so daß die Werte der Korrelaten unmittelbar aus den Korrelatengleichungen abgelesen werden können. (Fortsetzung folgt)

Die Steigerung der Bandmeßgenauigkeit mit einfachen Mitteln

Von Dipl.-Ing. Josef Mitter

(Veröffentlichung des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen)

(Schluß)

Eine vergleichende Aufstellung der einzelnen mittleren Fehler für die 50 m -Strecke, einmal mit dem 20 m -Band durch Anreihung und einmal direkt mit dem 50 m -Band gemessen, ergibt die folgenden Verhältnisse. (Die Wurzel \sqrt{n} geht hier wegen der halben Bandlänge im ersten Fall in $\sqrt{[p]}$, bzw. $\sqrt{[p]}$ über, worin für volle Bandlängen l_B , $p = 1$, für $\frac{l_B}{2}$, $p = \frac{1}{2}$ ist.)

Tabelle 2

	20- m -Band	50- m -Band
1. $\pm m_t$	$\pm m_{\Delta t} \alpha 20 \sqrt{2 \cdot 25} = \pm m_{\Delta t} \alpha 30$	$\pm m_{\Delta t} \alpha 50$
2. $\pm m_p$	$\pm m_{\Delta p} \frac{1}{E q} 20 \sqrt{2 \cdot 25} = \pm m_{\Delta p} \frac{1}{E q} 30$	$\pm m_{\Delta p} \frac{1}{E q} 50$
3. $\pm m_d$	$\pm k \frac{m_{\Delta p}}{P} \cdot 2 \cdot 20^3 \sqrt{2 \cdot 016} = \pm k \frac{m_{\Delta p}}{P} 23 \cdot 10^3$	$\pm k \frac{m_{\Delta p}}{P} 250 \cdot 10^3$
4.	$\pm m_a \sqrt{3} = \pm m_a 1 \cdot 73$	$\pm m_a$

(Werden die Temperaturverhältnisse während der Vergleichsmessungen als konstant angenommen, so nimmt m_t im ersten Fall den Charakter eines regelmäßigen Fehlers an und geht ebenfalls in die Form $\pm m_{\Delta t} \alpha 50$ über.)

Der Vergleich der korrespondierenden Werte für den Durchhangfehler spricht eindeutig gegen die freihängende Verwendung des 50 m-Bandes in voller Länge.

Die oben gezeigten Unsicherheiten lassen eindringlich die Wichtigkeit der genauen Kenntnis, bzw. Einhaltung der Meßspannung erkennen, die durch die Verwendung eines einwandfreien Spannungsmessers (Zug-, Federwaage) erfolgen muß.

Die Einführung der konstanten Arbeitsspannung bietet die Möglichkeit zur absoluten Vereinfachung der Messung. Stellt man den Einfluß der durchschnittlichen Arbeitstemperatur von $+15^{\circ}\text{C}$ (Eichtemperatur $+5^{\circ}$ bis $+10^{\circ}\text{C}$) den verschiedenen Durchhangeinflüssen bei wechselnden Spannungen gegenüber, so ergeben sich die besten Kompensationen und statisch günstige Bandverhältnisse für 20 oder 30 m Bandlängen bei einer konstanten Spannung von 10 kg, die mit der oberen Meßgrenze der üblichen Zugwaagen etwa zusammenfällt (12 kg).

In Amerika ist für Bänder von 100 Ft ($\approx 30,5\text{ m}$) eine konstante Spannung von 10 lb ($\approx 5\text{ kg}$), über 100 Ft eine solche von 20 lb ($\approx 10\text{ kg}$) vorgesehen bei $t_e = 62^{\circ}\text{F}$ ($+20^{\circ}\text{C}$).

Das dauernde freihändige Arbeiten ist mit dieser Spannung gerade noch gut möglich. Größere Spannungen sind auch auf kurze Zeitdauer mit einfachen Mitteln schwer beherrschbar. Die Länge des Bandes ist für genaue Messungen mit höchstens 30 m zu begrenzen. Das 50-m-Band führt durchhängend, wie oben gezeigt, immer zu großen Unsicherheiten und ist daher für Präzisionsmessungen mit der vollen Länge ungeeignet. (Der Durchhang beträgt bei $P = 10\text{ kg}$ für $l = 20, 30$ und 50 m : $d \approx 0,10, 0,22$ und $0,61\text{ m}$.)

Durch $P = \text{konst.}$ wird das zweite Glied der Gleichung (7) gleich Null und diese Gleichung geht in

$$\Delta l = l(\alpha \Delta t - k l) \quad \dots \dots \dots (7a)$$

über.

Für die Praxis mit konstanter Bandspannung ist der folgende Vorgang einzuhalten. Um den wirklichen (individuellen) Wert für k zu erhalten, wird bei der Eichung des Bandes der Durchhang d_B für die volle Länge l_B empirisch bestimmt (gegebenenfalls auch der Querschnitt q) und nicht aus theoretischen Berechnungen ermittelt. Dehnungsuntersuchungen an sonst gleichen Meßbändern mit tief- und hochgeätzten Teilungen zeigten z. B. für das tiefgeätzte Band einen größeren Durchhang als für das hochgeätzte¹⁾.

Die Ermittlung des Durchhangeinflusses Δl_d erfolgt dann nach der Gleichung

$$\Delta l_d = -\frac{8}{3} \frac{d_B^2}{l_B} \quad \dots \dots \dots (8)$$

für die volle Bandlänge. Für die Annahme $P = \text{konst.}$ ergibt die Gleichung (7a)

$$\Delta l_d = -k l_B^3 \quad \dots \dots \dots (9)$$

¹⁾ Bedingt durch Gewichts- bzw. Querschnittsverschiedenheiten aus der Bearbeitung, die durch die direkte Messung des Querschnittes nicht erfäßbar sind.

Aus den Gleichungen (8) und (9) wird k mit

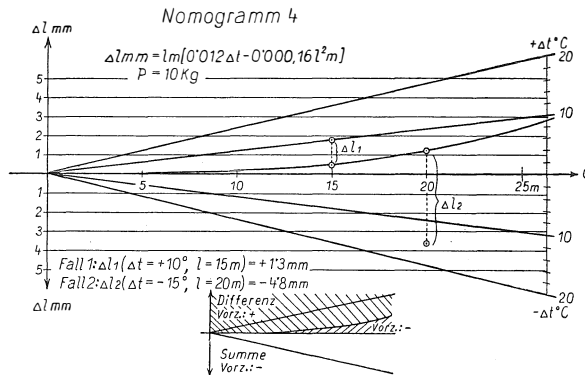
$$k = \frac{8}{3} \frac{d_B^2}{l_B^4} \dots \dots \dots (10)$$

bestimmt.

Diese Berechnung erübrigt sich, wenn der Maßstab der zur Messung des Durchhanges d_B benützt wird (fester Pegel), nach k geteilt ist.

Die Ermittlung des Durchhanges muß, um Δl_d für $l = 20$ und 30 m, auf $\pm 0,1$ mm genau zu erhalten, auf rund 2 mm erfolgen, was leicht möglich ist. k muß daraus für $l = 20$ m auf $12 \cdot 10^{-6}$, für $l = 30$ m auf etwa $4 \cdot 10^{-5}$ genau berechnet werden. Der horizontale Abstand der Aufhängepunkte kann dabei bis $0,18$ m kürzer sein (30-m-Band) als die volle Bandlänge, ohne daß Gleichung (10) ihre Gültigkeit verliert.

Für das Durchhangsglied wird ein Nomogramm nach Muster 3 angelegt und wie Nomogramm 4 zeigt, mit l vereinigt. Dieses gestattet die summarische Entnahme von Δl für beliebige l und t innerhalb einer Bandlänge. Die verwendete Spannwaage ist in regelmäßigen Zeitabständen auf ihre Spannung zu überprüfen.



Wird in diesem Nomogramm die Temperaturskala statt nach Δt direkt nach t beziffert, wobei dem Nullpunkt der Skala die reduzierte Eichtemperatur t'_e zugeordnet wird, so erübrigt sich auch die Bildung von Δt ($= t - t'_e$).

Zur Vervollständigung sind noch kurz die folgenden bekannten und auf die Streckenmessung systematisch wirkenden Einflüsse zu besprechen.

Der Höhenunterschied der Enden des frei hängenden Bandes macht eine Längenkorrektion von der Form

$$\Delta l_{\Delta h} = + \frac{1}{3} \left(\frac{q \gamma}{2P} \right)^2 l \Delta h^2 = + k_1 l \Delta h^2 \dots \dots \dots (11)$$

(Deformation der Bandkurve) notwendig, die aber vollkommen vernachlässigt werden kann, da sie bei $P = 10$ kg für $l = 20$ m erst bei dem Verhältnis $\Delta h : l \approx 0,5 \sim 0,6$ und für $l = 30$ m bei $\approx 0,3$ ($\Delta h = 12$ m, bzw. 10 m) rund 1 mm erreicht.

Der Einfluß der Abweichung aus der Geraden Δl_e ist durch die Beziehung

$$\Delta l_e = - \frac{e^2}{2l} \quad \dots \dots \dots (12)$$

gegeben. Es ist jedoch erst bei $e = 0,20 \text{ m}$ für $l = 20 \text{ m}$, bzw. $e = 0,25 \text{ m}$ für $l = 30 \text{ m}$, eine Korrektur von -1 mm anzubringen, woraus sich ergibt, daß flüchtiges Einrichten genügt.

Weitgehend ideale Verhältnisse würde die Einführung der in Nordamerika schon seit langem nicht nur bei Basismessungen, sondern auch bei Streckenmessungen höherer Genauigkeit verwendeten Invarbänder bringen²⁾. Bei ihnen wäre wegen des geringen linearen Temperaturkoeffizienten $\alpha \approx 1,5 \sim 2,0 \cdot 10^{-6}$ nur mehr der Durchhang zu berücksichtigen. Die Bänder sind aber im Gebrauch sehr empfindlich gegen unsanfte Behandlung. Der gegen Stahl um rund ein Drittel kleinere Elastizitätsmodul $E \approx 1,3 \sim 1,6 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ läßt, abgesehen von der größeren Empfindlichkeit gegen Spannungsdifferenzen, auch auf ein rasches Zunehmen der dauernden Dehnung schließen. Invarbänder sind außerdem nicht in Stampiglienform aufrollbar, sondern verlangen, um keine dauernde Schädigung zu erleiden, Minimalradien von etwa 38 cm beim Aufrollen bei üblichen Banddimensionen.

Im Gegensatz zu der einleitend aus theoretischen Gründe gebrachten Kompensation der äußeren Einflüsse durch variable Zugspannungen kommt einem mechanisch wirkenden Fehlerausgleichsgerät für Stahlbandmaße von W. Stark in vieler Hinsicht praktische Bedeutung zu. Das Gerät gleicht für volle Bandlängen (Ausführung für 20 und 30 m) den konstanten Bandfehler a und den Temperatureinfluß bei gleichzeitiger konstanter Spannung (5 kg) direkt aus. Es wird als Zusatzteil am Anfang des Bandes an Stelle des ersten Dezimeters angeklemt. Die Werte a (und eventuell $-kl^3$) und $l_B \alpha \Delta t$ werden an dem vom Gerät dargestellten Ersatzstück für die ersten 10 cm des Bandes eingestellt. Besonders originell ist dabei die Lösung, $\Delta l_{\Delta t}$ ($t_e = +20^\circ \text{ C}$) mit Hilfe eines drehbaren Ringthermometers mechanisch auszuschalten. Ein Indexstrich gibt den so korrigierten neuen Bandnullpunkt an. Zum Gerät gehört ein Griff mit eingebautem Spanner für fixe Spannung. Das Ausgleichsgerät eignet sich besonders gut zur Eichung auf dem Komparator, da es nach Ausschaltung des Einflusses $l \alpha (t_e - 20^\circ)$ die vorzeichenrichtige Ablesung von a für P_e gestattet. Bei Messung von Längen unter der vollen Bandlänge ist allerdings die rechnerische oder graphische Korrektur des Meßergebnisses notwendig:

$$\Delta l = - (\text{volle Bandlänge} - l) \cdot \left(\frac{a}{l_B} + \alpha \Delta t \right) + (\text{eventuell}) \text{ Differenz des Durchhangsgliedes} \dots \dots \dots (13)$$

Werden so geeichte Bänder ohne Ausgleichsgerät verwendet, so ist bei Endmaßbändern, wenn ausnahmsweise vom Anfang an gemessen wird, auf den eventuellen Nullpunktfehler zu achten.

²⁾ In Deutschland stehen Feinmeßbänder aus Indilatans in der Markscheiderei in Verwendung.

Zusammenfassend ist festzustellen: Für genaue Längenmessungen sind nur geeichte einwandfreie Bänder³⁾, Maximallänge 30 m (Nullpunkt der Teilung vom Anfang abgesetzt) mit konstanter Zugspannung zu verwenden. Zur Erhöhung der Ablesegenauigkeit innerhalb der Bandteilung wird die Einführung von Halbzentimeterstrichen zur Diskussion gestellt. Die Temperaturermittlung (Schleuderthermometer) hat zu erfolgen.⁴⁾

Die Messung erfolgt immer, wenn nicht besondere Verhältnisse das einwandfreie ebene Auflegen gestatten, mit durchhängendem Band. Längere Strecken werden so unterteilt, daß die Teilstreckenlängen etwa 0,10 bis 0,20 m kürzer sind als die Bandlänge. Die Zwischenpunkte werden mit eingerichteten Pföcken und kleinköpfigen Drahtstiften oder Schrauben (nur eingeschlagen) mit senkrecht zur Messungsrichtung gestellten Nuten markiert. Als ideale Lösung sind die im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Triangulierungsabteilung, nach Eberwein eingeführten Meßbandstative aus Holz, ca. 50 cm Beinlänge und abgerundetem Metallknopf mit zentrischem Bohrloch von 2 mm Durchmesser als Marke anzusehen. Sie werden zugleich als Senkelgerüste zur Auflotung der beispielsweise bodengleichen Vermarkungen der Streckenenden (Polygonpunkte) und zur Signalisierung von Hilfspunkten verwendet. (Erzeugerfirma F. K l i n t z, Wien, 19., Zehenthofgasse 20.) Bei der Auflotung ist auf die Verwendung eines einwandfreien Senkels zu achten.

Die Stative brauchen, wie schon gezeigt wurde, nur grob eingefluchtet zu werden. Die Bandmessung erfolgt p r i n z i p i e l l d i r e k t von Marke zu Marke. (Sogenannte horizontale Messungen — Staffeln — sind nicht nur immer mit systematischen, sondern auch mit groben Fehlern aus der Auf- oder Ablotung der Endpunkte von Hand mit Senkeln behaftet und abzulehnen.)

Die zur Reduktion auf den Horizont notwendigen Höhenunterschiede werden entweder direkt nivelliert oder aus Stichmaßen bei geneigter Visierlinie ermittelt. Wenn nicht auch gleichzeitig die Ermittlung von Höhenunterschieden bezweckt wird, genügt in der Regel *cm*-Genauigkeit. Strecken mit nur einem oder ohne Zwischenpunkt können direkt in der Visierlinie der Zenitdistanz gemessen werden, wobei bei Strecken bis 10 m Länge die eventuelle Exzentrizität des Bezugspunktes an der Instrumentenkipkachse nach Gleichung (12) berücksichtigt wird. Das Spannen des Bandes erfolgt, um während der Messung ruhige Verhältnisse zu schaffen, am besten mit geeigneten Spannstäben. Jede Messung erfolgt mehrfach mit veränderter Bandlage bei willkürlicher Verschiebung innerhalb eines 2 dm-Bereiches (Streckenunterteilung auf ca. 19,80, bzw. 29,80 m). Der Nullpunkt des Bandes scheidet aus, so daß jede Meßstrecke aus der Differenz der Ablesungen an den Enden gebildet wird. Die *mm* werden nicht geschätzt, sondern mit einem kurzen, leicht aufsteckbaren durchsichtigen Hilfsmaßstab gemessen, wobei das Band leicht an die Marken angedrückt wird. Diese Methode der mehrfachen unabhängigen Differenzbildung gibt eine vollkommene Unabhängigkeit vom Hilfstechniker, der seine Ablesung auf ein gegebenes Zeichen

³⁾ Im besonderen Feinmeßbänder aus rostfreiem, kohlenstoffarmem Stahl.

⁴⁾ Versuche mit anklemmbaren Bandthermometern sind im Gange.

angibt ohne selbst von der Lesung am anderen Ende Kenntnis zu haben., Als Maximalstreuung bei dreimaliger Wiederholung der Messung sind etwa 3 mm erfahrungsgemäß zulässig, ansonsten unabhängige Wiederholung der gesamten Messung.

Das Meßband gestattet auch bei entsprechender Anordnung der Messung seine Verwendung im Basisentwicklungsnetz von Präzisionspolygonzügen. Unter der Voraussetzung, daß die optischen Lote einer Zwangszentrierungseinrichtung einwandfrei justiert sind, geben sie, wie Dr. L ö s c h n e r in anderem Zusammenhang gezeigt hat, sichere Ablesevorrichtungen auf den Endpunkten der Hilfsbasis für die Bandmessung. Besser noch eignen sich dazu die in letzter Zeit zu Zwangszentrierungen entwickelten, selbständigen Lotgeräte. (Dieser Vorschlag entstammt gewissen, noch nicht abgeschlossenen Erfahrungen mit der Wild'schen Basislatte.)

Trotz der Selbstverständlichkeit sind abschließend der Berechnung der Messungsergebnisse noch einige Worte zu widmen. Die Mittelbildung erfolgt auf 0,1 mm, ebenso die Berechnung der Einflüsse aus der Bandgleichung, Reduktion auf den Horizont, Reduktion auf den Meeresspiegel und Projektionsverzerrung. Die Anbringung der beiden letzten Korrekturen erfolgt erst an der jeweiligen horizontalen Gesamtstrecke. Das Ergebnis wird auf ganze mm auf- oder abgerundet.

Aus den mitgeteilten Grundsätzen und Methoden für Präzisionsbandmessungen ergeben sich in vereinfachter Form entsprechende Folgerungen für gewöhnliche Bandmessungen. Auch dort ist die Einführung der konstanten 10-kg-Spannung zur fast automatischen Kompensation der Bandfehler (Eichung der Bänder erfolgt mit Eichspannung) voll berechtigt. Nicht zuletzt auch zur Schonung der Meßbänder, denn vielfach herrscht die falsche Ansicht vor, daß starkes Spannen allein, weil es den Durchhangeinfluß fast beseitigt, zum richtigen Maß führt. Der Endeffekt sind bis an die Elastizitätsgrenze beanspruchte Bänder und systematische Fehler aus der unkontrollierten Dehnung des Bandes.

Die vorliegende Arbeit stellt, wie schon einleitend erwähnt, keine Geringerschätzung der großen Fortschritte und Möglichkeiten der optischen Distanzmessung dar. Sie will im Gegenteil nur dort, wo das Band besser oder allein am Platze ist, Vorschläge und Richtlinien geben, wie dieses für Präzisions- und gewöhnliche Messungen mit gesteigerter Genauigkeit ausgenützt werden kann.

Literaturverzeichnis:

1. M. G. P u w e i n: Der richtige Durchhang des Stahlmeßbandes. Zeitschrift d. Öst. Ing. u. Arch. Ver., 1952, Nr. 1/2, S. 13.
2. D a l f u ß: Dehnung von Stahlrollbändern. VTR, 1951, Nr. 5, S. 115 ff.
3. K u h l m a n n: Bericht über die Basismessungen des Jahres 1941. Nicht veröffentlicht.
4. A h r e n s: Starksches Fehlerausgleichsgerät für Stahlbandmaße. VTR, 1951, Nr. 10, S. 250 ff.
5. F e n d e s a c k: Fehlerausgleichsgerät für Stahlbandmaße. AVN, 1951, Nr. 10, S. 242 ff.
6. G i g a s: Handbuch für die Verwendung von Invardrähten bei Grundlinienmessungen. R. f. L., Trig. Abt. 1934.
7. D a v i s a n d F o o t e: Surveying. 3. Aufl. 1940, N. Y.