

Längenmaße mit Teilung

Kenngrößen Tolerierung

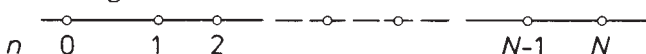
DIN
2268

Measure of length with graduation; parameters, tolerancing

1 Geltungsbereich

Diese Norm gilt für Längenmaße, die mit beliebigen Teilungen dargestellt werden, wie z. B. Strichmaße, Meßspindeln, Interferenzfelder usw. mit ihren entsprechenden Anzeigeeinrichtungen.

2 Kenngrößen



Ein Längenmaß habe längs einer Teilungsgeraden $N+1$ Teilungsmarkierungen, die mit $0, 1, \dots, N$ benannt seien.

2.1 Teilungsabschnitt

Mit Teilungsabschnitt wird eine Länge l zwischen zwei beliebigen Markierungen bezeichnet. Die Kennzeichnung geschieht durch zwei Indizes. Zum Beispiel hat der Teilungsabschnitt zwischen den Markierungen 7 und 15 die Länge $l_{15,7} = l_{7,15}$. Durch die Längen

$$l_{n,k} \text{ mit } n, k = 0, 1, \dots, N, n \neq k$$

sind alle Teilungsabschnitte eines Längenmaßes mit $N+1$ Teilungsmarkierungen erfaßt. Die Gesamtanzahl der Teilungsabschnitte beträgt $(N+1) \cdot N/2$.

2.2 Gesamtteilungslänge

Die Gesamtteilungslänge ist der größte Teilungsabschnitt $l_{N,0}$ und wird durch die erste und letzte Markierung des Längenmaßes gekennzeichnet.

2.3 Teilungsschritt

Der Teilungsschritt ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Markierungen. Seine Länge beträgt

$$l_{n,n-1} \text{ mit } n = 1, 2, \dots, N.$$

Er wird auch Teilstrichabstand, Einzelteilungsintervall oder kurz Intervall genannt. Eine Teilung mit $N+1$ Markierungen besitzt N Teilungsschritte. Haben alle Teilungsschritte die gleiche Länge $l_{n+1,n} = l_{n,n-1}$ mit $n = 1, 2, \dots, N-1$, dann liegt eine gleichmäßige oder lineare Teilung vor.

2.4 Teilungsfehler

Im allgemeinen entspricht der Nennwert oder der durch Hilfsmittel angezeigte bzw. ausgegebene Wert des Teilungsabschnittes eines Längenmaßes nicht dem richtigen Wert. (Der richtige Wert wird durch Vergleich mit einem Normal ermittelt, siehe DIN 1319 Blatt 3.) Dieser Unterschied wird Teilungsfehler genannt, sein Vorzeichen ergibt sich aus

$$F_{n,k} = l_{n,k} \text{ (angezeigter Wert)} - l_{n,k} \text{ (richtiger Wert)} = l_{n,k}^A - l_{n,k}^R.$$

Die Teilungsfehler sind systematische Fehler, die man durch Anbringen einer Korrektur berücksichtigen kann.

2.5 Nullpunktbezogene Teilungsfehler

Da jede Teilung mit $N+1$ Markierungen nur N unabhängige Teilungsabschnitte besitzt, lassen sich alle weiteren $(N-1) \cdot N/2$ Teilungsabschnitte aus den unabhängigen berechnen. Das gleiche gilt für die Teilungsfehler. Es ist daher üblich, nur die auf einen Teilungspunkt (Teilungsmarke) i bezogenen Teilungsfehler anzugeben.

$$F_{n,i} \text{ mit } n = 0, 1, \dots, N, n \neq i.$$

Die Bezugsmarke i kann auch außerhalb der Teilung liegen oder eine beliebig angenommene Lage besitzen.

Im allgemeinen ist der i -Punkt der Anfangspunkt der Teilung und wird Nullpunkt genannt, so daß

$$F_{1,0}, F_{2,0}, \dots, F_{N-1,0}, F_{N,0}$$

die nullpunktbezogenen Teilungsfehler sind.

Wenn die Eindeutigkeit gewahrt bleibt, wird der zweite Index fortgelassen

$$F_1, F_2, \dots, F_{N-1}, F_N.$$

Anmerkung: Berechnung und Darstellung der Teilungsfehler sind im Anhang beschrieben.

2.6 Charakterisierung der Teilung durch ihre Kenngrößen und deren Fehler

Eine Teilung läßt sich durch drei Wertepaare gemäß den Abschnitten 2.6.1 bis 2.6.3 charakterisieren.

Fortsetzung Seite 2 bis 8
Erläuterungen Seite 8

Ausschuß Längenmeßtechnik (ALMT) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

2.6.1 Maximaler Teilungsfehler und sein Teilungsabschnitt

Das erste Wertepaar $A \left(a; \frac{l_{n,k}^A(a)}{m} \right)$ mit $a = \frac{|F_{n,k}|_{\max}}{\mu\text{m}}$

soll den Fehlerbereich einer Teilung kennzeichnen, in dem man die Teilung ohne Korrektur benutzen kann.

$|F_{n,k}|_{\max}$ ist der Betrag des größten aller vorkommenden Teilungsfehler. Er wird in μm und die Länge des Teilungsabschnittes $l_{n,k}^A(a)$, zu denen $|F_{n,k}|_{\max}$ gehört, in m angegeben.

Die Schreibweise $\frac{F_{n,k}}{\mu\text{m}}$ und $\frac{l_{n,k}}{m}$ weist darauf hin, daß in der Klammer nur Zahlenwerte stehen.

Beispiel: Eine mm-Teilung besitze bei dem Teilungsabschnitt $l_{872,356}$ einen Teilungsfehler von $10 \mu\text{m}$ als maximalen Teilungsfehler, dann ist der Kennwert $A(10; 0,516)$.

2.6.2 Maximaler Teilungsfehler der Teilungsschritte

Das zweite Wertepaar $B \left(b; \frac{l_{n,n-1}^A}{m} \right)$ mit $b = \frac{|F_{n,n-1}|_{\max}}{\mu\text{m}}$

kennzeichnet die erzielbare Auflösung der Teilung bzw. der Anzeigeeinrichtung und ihren maximalen Streubereich.

Die Länge des Teilungsschrittes $l_{n,n-1}^A$, bei nichtlinearen Teilungen die Länge des kleinsten Teilungsschrittes $l_{n,k}^A(p_0)$, wird in m , und der größte positive oder negative Teilungsfehler aller Teilungsschritte wird in μm angegeben.

Beispiel: Eine Teilung mit dem Kennwert $B(1; 0,001)$ hat als kleinsten Teilungsschritt 1 mm (bei linearer Teilung handelt es sich also um eine mm-Teilung) und der größte Fehler aller Teilungsschritte beträgt $+1 \mu\text{m}$ oder $-1 \mu\text{m}$.

2.6.3 Maximale Änderung der Teilungsfehler und die zugehörige Länge

Das dritte Wertepaar $C \left(c; \frac{l_{n,k}^A(c)}{m} \right)$ soll über die größte

Änderung der Teilungsfehler in μm je m und über die Länge des betreffenden Teilungsabschnittes in m Auskunft geben. Man ermittelt zunächst den maximalen Betrag der Fehler gleich langer Teilungsabschnitte $|F_{n,n-p}|_{\max}$ für alle p (laufendes $n = 1, 2, \dots, N$ mit festem $p = 1, 2, \dots, N$). Um den Steigungsfaktor c von der Streuung der Fehler der Teilungsschritte unabhängig zu machen, bilde man die p Quotienten.

$$c_{n,n-p}^* = \frac{\frac{|F_{n,n-p}|_{\max}}{\mu\text{m}} - b}{\frac{l_{n,n-p}^A}{m}} \quad \text{mit } b = \frac{|F_{n,n-1}|_{\max}}{\mu\text{m}}$$

und suche dann den größten Wert der $c_{n,n-p}^*$

$$c = \text{Max} \left\{ \frac{\frac{|F_{n,n-p}|_{\max}}{\mu\text{m}} - b}{\frac{l_{n,n-p}^A}{m}} \right\} = \frac{\frac{|F_{n,k}(c)|_{\max}}{\mu\text{m}} - b}{\frac{l_{n,k}^A(c)}{m}}$$

Bei nichtlinearen Teilungen ersetze man $F_{n,n-p}$ durch $F_{n,k}(p)$ und $l_{n,n-p}$ durch $l_{n,k}(p)$.

Beispiel: Eine mm-Teilung mit $b = 1$ habe bei dem Teilungsabschnitt $l_{237,232}^A$ einen Teilungsfehler $F_{237,232} = 3 \mu\text{m}$, woraus sich ein $c_{237,232}^* = 400$ ergibt. Stellt man fest, daß dieser Wert von allen $c_{n,n-p}^*$ der größte ist, dann ist auch $c = \text{Max} \{c_{n,n-p}^*\} = 400$, und die Teilung besitzt den Kennwert $C(400; 0,005)$.

3 Tolerierung

3.1 Tolerierungsgrundsatz

Die Tolerierung erfolgt so, daß für gleich lange Teilungsabschnitte $l_{n,k}$ die gleichen Teilungsfehler $F_{n,k}$ zugelassen sind. Dadurch werden sie von der Wahl des Nullpunktes unabhängig.

$$\frac{T_u}{\mu\text{m}} = - \left(e + d \frac{l_{n,k}^A}{m} \right) \leq \frac{F_{n,k}}{\mu\text{m}} \leq e + d \frac{l_{n,k}^A}{m} = \frac{T_o}{\mu\text{m}}$$

wobei T_u = untere Toleranzgrenze und T_o = obere Toleranzgrenze ist. Mit $F_{n,n} = F_{k,k} = 0$ und $F_{n,k} = F_{k,n}$ gelten diese Toleranzgrenzen für beliebige Kombinationen $n, k = 0, 1, \dots, N$.

Das Toleranzfeld ist für jeden Teilungsabschnitt $l_{n,k}$ gegeben durch die Breite $2e$, die sich proportional der Länge $l_{n,k}$ mit dem Faktor $2d$ vergrößert. Die Zahlenwerte e und d geben die Toleranzklasse $TK \ e/d$ an.

Beispiel: Eine Längenteilung soll der Toleranzklasse $TK \ 2/3$ angehören, dann beträgt die untere Toleranzgrenze der Fehler für alle Teilungsabschnitte

$$T_u = - \left(2 + 3 \frac{l_{n,k}^A}{m} \right) \mu\text{m}$$

und die obere Toleranzgrenze

$$T_o = + \left(2 + 3 \frac{l_{n,k}^A}{m} \right) \mu\text{m}$$

3.2 Tolerierungsstufen

Die Stufung der Tolerierung soll möglichst so geschehen, daß e und d ganze Zahlen sind. In besonderen Fällen können e und bzw. oder d auch in Zehnteln oder Hundertsteln angegeben werden.

Bei vielen meßtechnischen Aufgaben sind bestimmte Mindestforderungen an die Tolerierung zu stellen. Die hierfür zu benutzenden Teilungen und deren Toleranzklassen werden in gesonderten Normen behandelt (siehe Erläuterungen).

3.3 Prüfung der Toleranzklasse

Zur Prüfung der Einhaltung der durch die Toleranzklasse gegebenen Toleranzgrenzen sollen ein rechnerisches, zwei graphische und ein Näherungsverfahren angegeben werden.

3.3.1 Rechnerisches Verfahren

Das rechnerische Verfahren entspricht weitgehend dem der Bestimmung der Kennwerte (siehe Abschnitt 2.6) einer Teilung. Nachdem alle Teilungsfehler $F_{n,k}$ bestimmt worden sind, sucht man die größten positiven oder negativen Teilungsfehler $|F_{n,n-p}|_{\max}$ aller gleich langen Teilungsabschnitte und prüft zunächst, ob

$$\frac{|F_{n,n-1}|_{\max}}{\mu\text{m}} \leq e,$$

dann errechnet man alle

$$\frac{\frac{|F_{n,n-p}|_{\max}}{\mu\text{m}} - e}{\frac{l_{n,n-p}^A}{m}}$$

und sucht den größten dieser Werte, der dann kleiner oder höchstens gleich d sein muß.

$$\text{Max} \left\{ \frac{\frac{|F_{n,n-p}|_{\text{max}}}{\mu m} - e}{\frac{l_{n,n-p}^A}{m}} \right\} \leq d$$

3.3.2 Graphische Verfahren

Hat man alle Teilungsfehler $F_{n,k}$ bestimmt und graphisch aufgetragen (siehe Anhang A 2.1.4), so braucht man nur das Toleranztrapez mit den Geraden $e + d \cdot l_{N,0}$ und $-e - d \cdot l_{N,0}$ einzutragen, um zu sehen, ob die Toleranzgrenzen eingehalten werden.

Liegen nur die nullpunktbezogenen Teilungsfehler $F_{n,0}$ graphisch vor, dann muß man die Mitte der linken Seite des Toleranztrapezes von $l_{0,0}$ beginnend bis $l_{N-1,0}^N$ nacheinander auf alle N Teilungsfehler $F_{n,0}$ mit der Mittellinie parallel zur Abszisse legen und prüfen, ob alle folgenden $F_{n,0}$ sich innerhalb des Trapezes (Fehlergrenzen) befinden.

3.3.3 Näherungsverfahren

Eine überschlägige Bestimmung der Toleranzklasse gewinnt man, indem man stichprobenartig eine Anzahl Teilungsschritte und verschieden lange Teilungsabschnitte bis zur Gesamtlänge mißt und daraus sowohl den maximalen positiven oder negativen Fehler des Teilungsschrittes als auch den Teilungsabschnitt mit seinem größten positiven oder negativen Steigungsquotienten abschätzt. Die Abschätzung der Werte e und d wird bei der Angabe der Toleranzklasse durch zwei Klammern gekennzeichnet TK (e/d).

Anmerkung: Die im Anhang 2.1 beschriebene lineare Teilung erfüllt die Toleranzklasse TK 2/3 und die im Anhang A 2.2 beschriebene beliebige Teilung die Toleranzklasse TK 2/0.

Ein Interferenzfeld im sichtbaren Wellenlängenbereich hat bei Temperaturschwankungen zwischen 10 und 30 °C und Luftdruckschwankungen zwischen 990 und 1040 mbar die Toleranzklasse TK 0,5/20. Bei einem Laserinterferometer der Toleranzklasse TK 0,5/3 muß die Temperaturkorrektur auf 2 K und die Luftdruckkorrektur auf 3 mbar richtig sein.

Anhang A

Berechnung und Darstellung der Teilungsfehler

A 1 Allgemeine Berechnung der Teilungsfehler aus $N + 1$ voneinander unabhängigen Teilungsfehlern und deren Umrechnung

A 1.1 Nullpunktbezogene Teilungsfehler

Gegeben seien die nullpunktbezogenen Teilungsfehler einer Teilung mit $N + 1$ Markierungen

$$F_{0,0}, F_{1,0}, F_{2,0}, \dots, F_{N,0}.$$

Wegen der Gleichbehandlung aller Markierungen und zur Vereinfachung der Rechnungen ist der Teilungsfehler $F_{0,0} = 0$ hinzugefügt. Das gleiche gilt bei den folgenden Betrachtungen für alle auftretenden Teilungsfehler $F_{n,n} = 0$.

Die Teilungsfehler $F_{n,k}$ aller Teilungsabschnitte erhält man durch die Differenzen

[illegible]

Es sei darauf hingewiesen, daß bei der Differenzbildung durch Umkehren der Reihenfolge auch eine Vorzeichenumkehr notwendig wird.

$$F_{k,n} = -(F_{k,0} - F_{n,0}) = F_{n,k} \text{ wie oben mit } n, k = 1, 2, \dots, N \text{ und } n > k$$

Beim Vergleich zweier Maßstäbe ist es manchmal erforderlich, einen Maßstab gegen den anderen um 180° zu drehen. Dann ist es bequem, die auf den Endpunkt bezogenen Teilungsfehler zu kennen. Man erhält diese aus den nullpunktbezogenen Teilungsfehlern, wenn die nullpunktbezogenen Teilungsfehler von dem Teilungsfehler der Gesamtteilungslänge abgezogen werden.

$$F_{nN} = -(F_{n0} - F_{N0}) = F_{N0} - F_{n0} \text{ mit } n = 0, 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

Sollen die Fehler auf eine beliebig zu wählende Marke (*i*-Punkt) bezogen werden, dann gilt:

$$\begin{aligned} F_{n,i} &= F_{n,0} - F_{i,0} \quad \text{mit } n = i, i+1, \dots, N \text{ und} \\ F_{n,i} &= -(F_{n,0} - F_{i,0}) \text{ mit } n = 0, 1, 2, \dots, i-1 \end{aligned} \quad (3)$$

Auf eine beliebige Konstante C bezogene Teilungsfehler berechnen sich zu

$$F_{n,c} = F_{n,0} - C \text{ mit } n = 0, 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

Die angegebenen Umrechnungsformeln sind natürlich auch nach entsprechender Umformung anwendbar, wenn man die nullpunktbezogenen Teilungsfehler aus den endpunkt-, i -punkt- oder C -punktbezogenen Teilungsfehlern errechnen will.
z. B. $F_{n,0} = F_{n,c} + C$.