

V. Die Messwerkzeuge.

Einleitung.

644. Die Messungen im Materialprüfungswesen bezwecken meistens die Feststellung der ursprünglichen Abmessungen, der während des Versuches eintretenden und der nach dem Versuch verbleibenden Formänderungen.

Die Messwerkzeuge zur Feststellung der ursprünglichen Form und der bleibenden Formänderungen nach dem Versuch unterscheiden sich in der Regel fast gar nicht von den im Maschinenbau auch sonst gebräuchlichen Messwerkzeugen. Ich werde mich daher mit ihrer Aufzählung begnügen.

Die Werkzeuge zur Feststellung der Formänderung während des Versuches erfordern dagegen tieferes Eingehen, soweit die Grundsätze und die Theorie der Instrumente nicht schon in früheren Absätzen behandelt sind.

A. Messen und Messwerkzeuge.

a) Messen.

645. Das Messen besteht in dem Vergleichen eines Unbekannten mit Bekanntem; beim Längenmessen sind die unbekanntes Längen mit bekannten Längen, den Maassstäben, unmittelbar oder mittelbar zu vergleichen. Der unmittelbare Vergleich geschieht meistens, indem man den Maassstab an die zu messenden Körper anlegt. Der mittelbare Vergleich wird mit Hilfseinrichtungen ausgeführt, auf welche erst die zu messende Länge übertragen wird, um dann am Maassstabe festgestellt zu werden.

Das Messen ist eine Kunst, die erlernt sein will und sehr grosse Aufmerksamkeit sowie Zuverlässigkeit der Person und der Instrumente erfordert, wenn vollkommene Leistung verlangt wird.

646. Keine Messung kann mit absoluter Genauigkeit ausgeführt werden; jede Messung ist vielmehr mit Fehlern behaftet, deren Quelle [Ursache] sowohl in der Person des Messenden, als auch in dem

benutzten Messwerkzeug, sowie in der Art und Weise wie das Werkzeug benutzt wird und endlich in den äusseren Umständen, unter denen es das eine oder das andere Mal benutzt werden muss, liegt. Je nach der Art der Verfahren unterscheidet man bestimmte Gattungen von Fehlerquellen:

- a) Die Fehler der Person, die persönlichen Fehler; Uebung, Geschicklichkeit, Sehschärfe, Gefühlsschärfe, Gemüthszustand u. s. w. spielen eine Rolle.
- b) Fehler des Instrumentes; Unrichtigkeit der Maassstäbe, Unrichtigkeit der Theilung, Strichschärfe, Ungenauigkeit der Bewegungen u. s. w. sind von Einfluss.
- c) Fehler der Methode; die Art und Weise, wie eine Messung durchgeführt, ein Messinstrument benutzt wird, die Anordnung der Messung u. s. w. können zu Fehlern von verschiedener Grössenordnung führen.
- d) Fehler äusseren Ursprungs; Wärmeänderungen, Feuchtigkeitsänderungen u. s. w. können den Maassstab oder den gemessenen Körper verändern: die Art der Beleuchtung, bequeme oder unbequeme Lage des Maassstabes u. a. m. können Ursache von Fehlern sein.

Fehlerquellen der genannten Arten kommen fast immer mehr oder minder gleichzeitig zur Wirkung.

647. Man scheidet die Fehlerquellen auch vornehmlich noch nach solchen, die regelmässig zu einer einseitigen Beeinflussung des Messungsergebnisses führen, das Messungsergebniss also positiv oder negativ gegen den wahren Werth der gemessenen Länge verschieben; man pflegt Fehler dieser Art zusammenfassend die methodischen Fehler zu nennen, zum Unterschied von denjenigen, die lediglich von unbekanntem Ursachen, vom Zufall, abhängen und das Ergebniss gleichmässig im positiven wie im negativen Sinne beeinflussen. Diese Fehler belegt man mit der gemeinsamen Bezeichnung der zufälligen Fehler.

Die Aufgabe und die Kunst des Beobachters besteht darin, dass er die Fehlerquellen möglichst unschädlich, das Ergebniss so weit wie irgend möglich frei von methodischen Fehlern macht und die zufälligen Fehler auf das kleinste Maass beschränkt oder ihre Grösse festzustellen sucht.

Als erste Regel der Messkunst gilt, dass die methodischen Fehler zu vermeiden oder rechnerisch festzustellen und zu verbessern sind. Der Beobachter muss also die Fehlerquellen und die Gesetze, nach denen sie wirken, kennen oder in besonderen Untersuchungsreihen feststellen. Auch die Anwendung verschiedener Methoden zur Feststellung der gleichen Grössen oder der Wechsel in der Anordnung der Messungen können die methodischen Fehler ausschliessen.

Die zufälligen Fehler einer Messungsreihe sind als Ganzes bestimmten mathematischen Gesetzen unterworfen, die in zahlreichen Werken über die Ausgleichsrechnung und in den physikalischen Handbüchern (*L 103, 104*) oft sehr ausführlich entwickelt sind. Da bei den Versuchen im Materialprüfungswesen am meisten einfache wiederholte Beobachtungen der gleichen Grössen vorkommen [Messungen und Wägungen], so will ich die einfachen Begriffe hier kurz aufzählen, im Uebrigen aber auf die Specialliteratur verweisen.

648. Zufällige Fehler sind solche Fehler, die im Einzelnen keinerlei Gesetzmässigkeit zeigen, sondern lediglich durch den Zufall bedingt sind. Unter einer grossen Zahl von Beobachtungen der gleichen Grösse werden nahezu ebensoviel positive wie negative Fehler gleicher Grösse gefunden, und die kleinen Fehler sind zahlreicher als die grossen.

Hat man die gleiche Grösse durch oft wiederholte Messungen beobachtet, so kommt das Mittel aus allen Messungen der wahren Grösse am nächsten; das Mittel aus allen Beobachtungen ist in diesem Falle der wahrscheinlichste Werth für die gemessene Grösse. Die kleinen Fehler in der Messungsreihe werden sich gegenseitig aufheben, die groben Fehler kommen nur vereinzelt vor, und, soweit sie sich nicht aufheben, werden sie in ihrer Wirkung durch die Mittelbildung verringert.

Aus der Häufigkeit, mit welcher in einer Messungsreihe Fehler von bestimmter Grösse vorkommen, kann man sich ein Bild von der Zuverlässigkeit bilden, mit welcher die Arbeit ausgeführt worden ist. Da man den wahren Werth der gemessenen Grösse nicht kennt, so rechnet man bei der Fehlerrechnung mit dem wahrscheinlichsten Werth der Grösse; im vorausgesetzten Falle also mit dem Mittelwerth. Für jede Messung

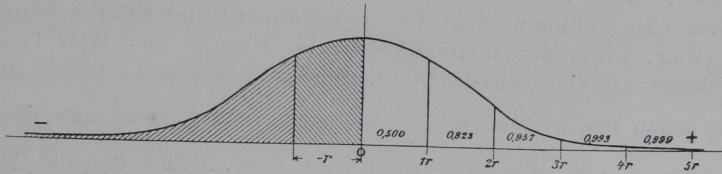


Fig. 435.

bildet man die Differenz zwischen dem gefundenen Werth und dem Mittel und bezeichnet diese Differenz als den Fehler der einzelnen Messung. Wenn diese Fehler einer Messungsreihe rein vom Zufall abhängen, so müssen offenbar grosse und kleine Fehler, positive und negative regellos auf einander folgen. Daher ist es ein Zeichen für die Zuverlässigkeit der Beobachtung, wenn die Vorzeichen regellos stehen und keine gesetzmässigen Häufungen und Anordnungen sich zeigen. Ferner müssen Fehler gleicher Grössenordnung [namentlich die kleinen] nahezu so oft positiv wie negativ auftreten. Dass die Summe aller positiven und negativen Fehler gleich Null ist, ist nach der vorausgesetzten Art der Fehlerbestimmung selbstverständlich. Ist die Zahl der Einzelbeobachtungen, d. h. der Fehler, gross, so muss die Häufigkeit der positiven und negativen Fehler gleicher Grösse ein bestimmtes Gesetz liefern. Ordnet man also die Fehler einer grossen Beobachtungsreihe nach Fehlern gleicher Grösse und gleichen Vorzeichens, so muss eine einwandfreie Reihe das in Fig. 435 dargestellte Bild liefern. Die Kurve hat für die kleinen Fehler ein Maximum und verläuft nach beiden Seiten symmetrisch. Die schraffierte Fläche auf der linken Seite stellt demnach die Summe aller negativen Fehler einer grossen Beobachtungsreihe dar. Diejenige Ordinate, die diese Fläche in zwei gleiche Theile theilt, schneidet als Abscisse die Fehlergrösse $-r$ ab; Gleiches gilt für die positive Seite der Figur. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fehler kleiner

als $\pm r$ ist, ist also ebenso gross als die Wahrscheinlichkeit dafür, dass er grösser als $\pm r$ ist. Die Grösse $\pm r$ ist ein charakteristisches Maass für die Güte der Messung; man nennt sie den wahrscheinlichen Fehler der Beobachtung.

Ist m die [grosse] Anzahl der Beobachtungen [Fehler], so ist nach Vorstehendem die Zahl der Fehler, die kleiner als $\pm r$ sind, gleich $m \cdot 0,500$ und nach dem bekannten Gesetz, nach dem die Häufigkeit der zufälligen Fehler verläuft, ist die Zahl der Fehler bis zur Grösse von:

$$\begin{aligned}\pm (0 \text{ bis } 1r) &= m \cdot 0,500 \\ \pm (0 \text{ bis } 2r) &= m \cdot 0,823 \\ \pm (0 \text{ bis } 3r) &= m \cdot 0,957 \\ \pm (0 \text{ bis } 4r) &= m \cdot 0,993 \\ \pm (0 \text{ bis } 5r) &= m \cdot 0,999\end{aligned}$$

Hiernach ist also zu erwarten, dass ein Fehler, der grösser ist als $5r$ unter 1000 Fehlern nur einmal vorkommt. In Fig. 435 habe ich in die rechte Hälfte die vorgenannten Zahlenwerthe eingetragen. Man erkennt aus Voraufgehendem leicht die Bedeutung des wahrscheinlichen Fehlers für die Beurtheilung der Güte der Beobachtung.

649. Ohne mich auf den Gegenstand weiter einzulassen, will ich hier noch kurz anführen, dass der wahrscheinliche Fehler einer Beobachtung, sowie der wahrscheinliche Fehler des Mittelwerthes der Beobachtungsreihen, aus der Differenzenreihe von m Beobachtungen A, A', A'' u. s. w. gegen den Mittelwerth $\frac{\sum A}{m}$ bestimmt wird, indem man die Differenzen $\Delta = A - m, \Delta' = A' - m, \Delta'' = A'' - m \dots$ bildet und die Quadrate $\Delta^2, \Delta'^2, \Delta''^2 \dots$ summirt. Aus $\sum \Delta^2$ folgt dann der wahrscheinliche Fehler der einzelnen Beobachtung:

$$r = \pm 0,67449 \sqrt{\frac{\Delta^2}{m-1}}$$

[Für die Rechnung: $\log 0,67449 = 0,8289755 - 1$]

und der wahrscheinliche Fehler des Mittelwerthes der Beobachtungsreihe:

$$r_m = \pm 0,67449 \sqrt{\frac{\Delta^2}{m(m-1)}}$$

Man kann, wie man sieht, die absolute Grösse der Werthe r und r_m durch die Vermehrung der Beobachtungen gleicher Güte verringern, indessen ist es immer vorzuziehen und meistens auch wirtschaftlicher, die Grösse Δ^2 durch die Anwendung möglichster Sorgfalt klein zu halten.

Ueber die weitere Benutzung der Ausgleichrechnung geben die im Literaturverzeichnis genannten Werke Aufschluss (*L 103, 104, 252*).

b) Maassstäbe.

650. Die für Längenmessungen benutzten Maassstäbe sind entweder Strichmaassstäbe oder Endmaassstäbe. Die Strichmaassstäbe sind auf einer Fläche mit Stricheintheilung versehen, durch die mit Untertheilen der