

Messungen

Die Physik versucht, die Wirklichkeit und ihre Strukturen zu verstehen. Sie geht aus von Beobachtungen und Überlegungen. Dann führt sie Messungen durch, um die Vorstellungen, die sie hat, zu überprüfen und, wenn nötig, zu verbessern. In einem Experiment werden Messungen so durchgeführt, daß man bestimmte Effekte sehr deutlich sieht und andere Einflüsse möglichst wenig wirksam sind. Die Ergebnisse der Messung führen zu einer besseren Beschreibung der Natur. Die Ergebnisse von Überlegungen und Messungen führen zu einer gedanklichen Struktur, die man als Theorie bezeichnet. Eine Theorie erlaubt es, Dinge vorherzusagen, die bisher noch nicht gemessen sind. Neue Experimente ermöglichen dann, die Theorie zu überprüfen, und, wenn nötig, sie zu verändern oder gar zu verwerfen.

Messunsicherheiten

Wenn wir eine bestimmte Größe messen, z. B. eine Länge, so zeigt es sich oft, dass wiederholte Messungen nicht das exakt gleiche Ergebnis liefern, und dass unser Messgerät nur eine bestimmte Genauigkeit hat. Mit einem Zentimetermaß z. B. sind all unsere Längenmessungen nicht genauer als 1 mm. Diese begrenzte Genauigkeit wird verursacht durch viele unbekannte Einflüsse. Wenn wir damit eine Länge $l = 247$ mm messen, so liegt der wahre Wert der gemessenen Länge zwischen $247 \text{ mm} - 1 \text{ mm} = 246 \text{ mm}$ und $247 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 248 \text{ mm}$. Wir haben hier eine Messunsicherheit von ± 1 mm. Deshalb ist es nicht sinnvoll, das Ergebnis mit zu vielen Stellen anzugeben, z. B. $247,33785 \pm 1$ mm. Das korrekte Ergebnis ist: 247 ± 1 mm. Für jeden gemessenen Wert benötigt man den gemessenen Wert, die Einheit und eine Abschätzung der Messunsicherheit. Wenn l das Symbol für die Länge ist, so wird ihre Messunsicherheit von ± 1 mm als absolute Messunsicherheit bezeichnet und mit dem Symbol Δl dargestellt. Die relative Messunsicherheit $\delta l = \Delta l / l$ gibt dann die Messunsicherheit als Prozentsatz des Ergebnisses an.

Wie groß ist meine Messunsicherheit, wenn verschiedene gemessene Größen an meinem Ergebnis beteiligt sind?

Wenn alle unbekannt einflüsse, die mein Messergebnis stören, positiv oder negativ sein können, und wenn wir x , Δx , y und Δy kennen, dann gilt:

$$\Delta(x + y) = \Delta(x - y) = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

$$\delta(x \cdot y) = \delta(x / y) = \delta(x) \cdot \delta(y)$$

Genauigkeit and Streuung

$$\Delta(x + x + x) = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta x)^2 + (\Delta x)^2} = \sqrt{3(\Delta x)^2} = \sqrt{3} \Delta x$$

$$\delta(x + x + x) = \Delta(x + x + x) / (x + x + x) = \sqrt{3} \Delta x / (3 x) = \Delta x / (\sqrt{3} x) = \delta(x) / \sqrt{3}$$

Wenn Messungen wiederholt werden, werden die relativen messunsicherheiten kleiner. Die Streuung der Messwerte gibt an, wie dicht unsere Meßwerte beieinander liegen.

Falls jedoch der für die Messung verwendete Maßstab um 2 mm zu kurz ist, werden die Messungen immer zu kleine Werte liefern, ganz egal, wie oft die Messung wiederholt wird. Die Genauigkeit gibt an, wie weit mein gemessener Wert vom wahren abweicht, Hohe Genauigkeit bedeutet, dass die Ergebnisse der Messung sehr nahe an den wirklichen Werten liegen. Man kann die Genauigkeit dadurch erhöhen, dass man gut bekannte Längen möglichst genau misst und dann die gemessenen Werte mit den wirklichen Werten vergleicht. Dieser Vergleich erlaubt dann, aus den gemessenen Werten (den Rohdaten) die wahren Werte zu ermitteln.

Ergebnisse angeben

Gut dokumentierte Ergebnisse einer Messung sollten die folgenden Angaben enthalten:

- 1) Die Rohdaten, d. h. die Werte, wie sie gemessen wurden,
- 2) Die verwendeten Korrekturen dieser Mess und die Begründung, warum diese Korrekturen verwendet wurden,
- 3) die korrigierten Messwerte und
- 4) eine Abschätzung der Genauigkeit der korrigierten Messwerte.

Funktionen

Oft führt man Messungen durch, um zu sehen, wie eine der Messgrößen eine andere Messgröße beeinflusst. Wir betrachten dazu ein sehr einfaches Beispiel: Eine Spiralfeder ist an ihrem oberen Ende aufgehängt, und an ihr unteres Ende hängt man verschiedene Massen m . Für jede dieser Massen notieren wir die Strecke x , um die die Feder durch die Masse m länger wird. Die Ergebnisse notieren wir in der folgenden Tabelle:

m	0,0 kg	1,0 kg	2,0 kg	3,0 kg	5,0 kg	10,0 kg
x	0,0 cm	2,1 cm	4,2 cm	6,3 cm	10,5 cm	23,0 cm

Wenn wir für eine Masse $m = 1,5$ kg wissen wollen, um welche Strecke x sich die Feder dadurch verlängert, können wir einfach die Masse 1,5 kg anhängen und die Verlängerung messen. Es gibt jedoch noch einen anderen Weg: In der Tabelle sehen wir, dass für Massen bis zu 5 kg die Verlängerung x sich verdoppelt, wenn die Masse m sich verdoppelt, dass x sich verdreifacht, wenn m sich verdreifacht und dass x sich verfünffacht, wenn m sich verfünffacht. Dieses Verhalten können wir durch eine einfache mathematische Formel beschreiben:

$$x = m \cdot 2,1 \text{ cm/kg.}$$

Wenn ich in diese Gleichung m einsetze, kann ich daraus x berechnen. Diese einfache Formel erspart uns eine Menge Schreibarbeit und erlaubt uns, x für andere Werte von m zu berechnen, z. B. 1,25 kg, 0,247 kg und 4,95 kg. Diese Formel gilt für Massen von 0 bis 5 kg.

Mit dieser Formel können wir auch Werte v on x vorhersagen für Massen, die außerhalb des Geltungsbereichs der Formel liegen. Dieses Verfahren nennt man Extrapolation. Für $m = 10,0$ kg sagt die Formel einen Wert von 21 cm voraus, der nicht weit entfernt liegt vom gemessenen Wert von 23 cm. Für eine Masse von $m = 5000$ kg liefert die Formel jedoch den Wert $x = 10500$ cm, der offensichtlich völlig absurd ist. Extrapolationen liefern oft sehr gute Abschätzungen, aber es muss immer überprüft werden, ob sie korrekte Ergebnisse liefern.