

## Häufig gestellte Fragen zum Thema "Dehnung"

### Was ist Dehnung?

Die Dehnung ist ein Maß für die relative Längenänderung .

Unter "relativer Längenänderung" versteht man die Zu oder Abnahme der Länge  $\Delta l$  bezogen auf die ursprüngliche Länge  $l_0$ :

Das Formelzeichen für die Dehnung ist  $\epsilon$ .

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Die Dehnung  $\epsilon = \Delta l / l_0$  ist bei Zunahme der ursprünglichen Dehnung positiv (und wird Umgangssprachlich als "Streckung" bezeichnet), oder sie ist negativ (und wird umgangssprachlich als "Stauchung" bezeichnet)

### Woher kommt Dehnung?

Dehnung wird zum Beispiel durch die Einwirkung von Kraft auf ein Material hervorgerufen. Sie kann aber auch durch Temperatur, oder durch die verschiedensten physikalischen Effekte hervorgerufen werden.

Bei einer Dehnung als Reaktion auf eine Kraft spricht man von "Deformation".

Wird die Dehnung durch eine Veränderung der Temperatur hervorgerufen, spricht man von Wärmedehnung.

Durch den magnetostriktiven Effekt und durch den piezoelektrischen Effekt werden Dehnungen durch ein magnetisches bzw. elektrisches Feld hervorgerufen.

### Wie berechnet man Dehnung?

Wir kennen Materialien, die sich bei Einwirkung einer Kraft besonders viel verformen, wie z.B. Gummi, oder besonders wenig verformen, wie z.B. Stahl.

Außerdem gibt es Materialien, die sich besonders viel ausdehnen unter dem Einfluss der Temperatur, wie z.B. Aluminium, oder besonders wenig, wie z.B. Titan.

Der Zusammenhang zwischen Dehnung und ihrer Ursache wird durch Materialkoeffizienten beschrieben (oft auch als "Modul", oder auch unzutreffender als "Konstante"):

Materialkoeffizient	Beschreibung
Elastizitätsmodul	beschreibt den Zusammenhang zwischen der Dehnung und der mechanischen Belastung
Wärmeausdehnungskoeffizient	beschreibt den Zusammenhang zwischen der Dehnung und der Temperatur
piezoelektrischer Modul	beschreibt den Zusammenhang zwischen der Dehnung und der elektrischen Feldstärke
magnetostriktiver Modul	beschreibt den Zusammenhang zwischen der Dehnung und der magnetischen Feldstärke

## Welche Einheit hat die Dehnung?

Die Einheit der Dehnung ist Meter pro Meter: [m/m]

Da die Längenänderung  $\Delta l$  im Vergleich zur ursprünglichen Länge  $l_0$  sehr klein ist, gibt man die Dehnung  $\epsilon$  gerne in Mikrometer pro Meter an: [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ].

Kürzt man die Einheit m/m, bleiben  $10^{-6}$  oder "parts per million" (ppm). Gerne wird die Dehnung auch in Promille (‰) oder in Prozent (%) angegeben.

In den USA steht die Einheit "microepsilon" oder "microstrain" [ $\mu\epsilon$ ] für  $1 \mu\text{m}/\text{m}$

$$10^{-6} \text{ m/m} = 1 \text{ ppm} = 1 \mu\text{m}/\text{m} = 1 \mu\epsilon = 10^{-3} \text{ ‰} = 10^{-4} \%$$

## Wie groß ist die Dehnung?

Ein Stab aus Stahl mit einer Länge von einem Meter dehnt sich um 12 Mikrometer pro Grad Celsius Temperaturänderung.

Ein Stab aus Aluminium dehnt sich um 23 Mikrometer pro Meter pro Grad Celsius, also fast doppelt soviel im Vergleich zu Stahl.

Einen Kraftsensor belastet man bis zu einer Dehnung von 1000 Mikrometer pro Meter (1 Promille).

Baut man einen Kraftsensor aus Aluminium, dann verursachen 44 Grad Celsius Temperaturänderung genauso viel Dehnung, wie die Belastung eines Kraftsensors mit 100% seines vorgesehenen Messbereiches (1000  $\mu\text{m}/\text{m}$ ).

Ein Kraftsensor aus Aluminium erfährt eine Dehnung von 10  $\mu\text{m}/\text{m}$  bei einer Belastung von 1%, bzw. bei einer Temperaturänderung von 0,44 °C.

## Wie unterscheidet man thermische Dehnung von mechanischer Dehnung?

Die Größenordnungen für Wärmeausdehnung und Dehnung infolge einer Kraft machen deutlich, dass die Wärmeausdehnung eine große Fehlerquelle für einen Kraftsensor bedeutet.

Zunächst kann man Wärmeausdehnung nicht unterscheiden von jeder anderen Art von Dehnung. Allerdings dehnen sich die meisten Materialien gleichmäßig in alle Richtungen des Raums, während mechanische Deformation hauptsächlich in Richtung der mechanischen Belastung auftritt. In den anderen Richtungen findet in der Regel sogar eine Deformation mit gegenläufigem Vorzeichen statt wegen des Effekts der "Querkontraktion".

Bei einer Biegebelastung treten sowohl Zonen mit Zug- und Druckbelastung auf.

Diese (und andere) Effekte nutzt man zur Kompensation temperaturbedingter Fehler.

## Wie groß ist die temperaturbedingte Drift bei Messungen mit Dehnungsmessstreifen?

Durch die Anwendung der "Vollbrückenschaltung", der "Selbstkompensation" und durch "Driftabgleich" mit Widerständen erzielt man die geringstmögliche Drift.

Nach der Kompensation von temperaturbedingten Fehler reduziert sich die "scheinbare" Dehnung infolge Temperaturänderung auf eine Größenordnung von

0,01µm/m /°C ... 1,0 µm/m/°C.

## Wie kann man Dehnung messen?

Die Dehnung kann man auf direktem Weg messen mit

- mit Dehnungsmessstreifen ("elektrisch"),
- mit Dehnungsmessstreifen ("optisch"),
- mit spannungsoptischen Methoden,
- mit Reißlack.

## Welche kleinste Dehnung kann man noch auflösen?

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zu den kleinsten erreichbaren Auflösungen:

Auflösung	Technologie
ca. 0,01µm/m ... 0,1µm/m	Metallfolien Dehnungsmessstreifen
ca. 0,001 µm/m ... 0,01 µm/m	Halbleiter Dehnungsmessstreifen
ca. 100 µm/m	Spannungsoptik
ca. 100 µm/m	Reißlack (

## Was ist der Unterschied zwischen Längenmessung und Dehnungsmessung?

Prinzipiell kann man aus einer Längenmessung die Dehnung errechnen, und umgekehrt kann aus einer Dehnungsmessung eine Längenänderung berechnet werden.

Die Dehnungsmessung ist vor allem dadurch gekennzeichnet, dass eine Vergrößerung oder Verkleinerung des Dehnungsmessstreifens keinen unmittelbaren Einfluss auf die Empfindlichkeit der Messung hat:

Der Dehnungsmessstreifen erfasst stets die mittlere (durchschnittliche) Dehnung unter seiner Fläche.

Ein kleinerer Dehnungsmessstreifen eignet sich vor allem dazu, die örtliche Auflösung zu verfeinern (z.B. in der Nähe von Kerben), während ein großer Dehnungsmessstreifen vor allem einen Mittelwert über örtlich variierende Dehnungen liefert (z.B. bei Faserverbundwerkstoffen).

"Mehr Messsignal" durch längere Messgitter gibt es jedenfalls nicht.

## Welche Möglichkeiten gibt es, um das Messsignal zu "vergrößern"?

In erster Näherung haben alle Metallfolien-Dehnungsmessstreifen die gleiche "Empfindlichkeit" (den gleichen "k-Faktor").

Lediglich durch die "Brückenschaltung" als "Voll"- oder "Halbbrücke" und durch die Brückenspeisespannung kann man den Signalpegel beeinflussen.

Durch die Eigenerwärmung bzw. Verlustleistung des Dehnungsmessstreifens lässt sich die Speisespannung nicht beliebig erhöhen.