

## Federkraft

Die Kraft  $F$ , die von einer Feder ausgeht, ist proportional zu ihrer Dehnung oder Stauchung  $x$ . Es gilt das „Hookesche“ Federgesetz<sup>1</sup>:

$$F = (-)k \cdot x$$

$k$  ... Federkonstante (Einheit: N/m)<sup>2</sup>

Bsp. 1: Eine Feder hat eine Federkonstante von 200 N/m. Wenn man sie nur 50 cm = 0,5 m dehnt, so übt sie klarerweise eine Kraft von 100 N aus. Für kompliziertere Zahlen verwenden wird die Formel. Z.B. für eine Dehnung von  $x = 23$  cm:

$$F = k \cdot x = 200 \cdot 0,23 = \underline{46 \text{ N}}$$

Bsp. 2: Eine sehr starke Feder hat bei 5,4 cm Dehnung eine Kraft von 1,35 kN. Berechnung der Federkonstante:

$$F = k \cdot x \quad | : x$$

$$k = \frac{F}{x} = \frac{1350}{0,054} = \underline{25000 \text{ N/m}}$$

Versuch<sup>3</sup>:

2 verschieden starke Federn auf Stativ aufgehängt  
mit verschiedenen Massen belastet  
Ergebnisse in Diagramm übertragen<sup>4</sup>

---

1 Nach Robert Hooke (1635-1703), einem englischen Universalgelehrten.

Eine gute Erklärung mit Versuchen zeigt das Video [youtube.com/watch?v=di666OMa-v0](https://www.youtube.com/watch?v=di666OMa-v0). Es lohnt sich, es ganz anzusehen.

Warum ist das Minus eingeklammert? An sich wirkt die Federkraft immer in die Gegenrichtung von Dehnung oder Stauchung: Wenn man an einer Schraubenfeder, wie im Versuch gezeigt, eine Kraft (Gewichtskraft) anwendet – sie also dehnt – so zieht die Feder dagegen. Wenn man die Federung eines Autos durch die Gewichtskraft des Fahrzeugs staucht, so wirkt sie auch wieder dagegen. Das ist aber eh so klar, dass wir uns das Minus in der Rechnung sparen und immer mit positiven Werten rechnen.

2 Die Einheit N/m ist intuitiv klar: Wenn man eine (große) Feder um 1 m dehnt, wie viel Newton hält die Feder dagegen. Bei kleinen Federn sind es freilich nur cm, und wir könnten N/cm verwenden. Es ist aber besser, immer bei der SI-Grundeinheit Meter zu bleiben. Achtung also: Wir werden nun immer kN in N und cm in m usw. umrechnen.

3 Lass hier 1/2 Seite Platz für die Ergebnisse. Ich zeige das dann im Unterricht. Schau dir, wenn du nicht da warst, alternativ vom Video [youtube.com/watch?v=PgGrRux0TjU](https://www.youtube.com/watch?v=PgGrRux0TjU) die Sequenz 0:30 - 4:25 (Hier nennt man die Federkonstante  $D$  statt  $k$  und die Dehnung/ Stauchung  $\Delta l$  statt  $x$ . Außerdem rechnet er in N/cm statt N/m. Das soll aber nicht weiter stören.)

4 Das ergibt ein Diagramm wie in Frage 4 vom Fragenkatalog bzw. wie das auf dem genannten Video.

# Hydro- und Aeromechanik

## Hydro- und Aerostatik

### Flüssigkeiten und Gase allg.

Flüssigkeiten:

1. Moleküle (oder Atome) sind (weitgehend) frei beweglich.
2. Sie sind praktisch nicht komprimierbar<sup>5</sup>.

Gase:

3. Moleküle (oder Atome) bewegen sich völlig frei.
4. Sie sind gut komprimierbar.
5. Sie füllen den Raum vollständig aus.

### Druck

Die Größe Druck ( $p$  wie engl. „pressure“) ist definiert durch:  $p = \frac{F}{A}$

$F$ ... (Normal-)Kraft,  $A$  ... Fläche

Beachte: Druck ist *keine* vektorielle Größe!<sup>6</sup>

Einheit:  $[p] = \text{N/m}^2 = \text{Pa}$  (Pascal)<sup>7</sup>

Bsp.: Gewichtsdruck eines:

- Blatts Papier ( $100 \text{ g/m}^2$ ):  $p \approx 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$  <sup>8</sup>
- liegenden Ziegels ( $m = 1 \text{ kg}$ ,  $2 \text{ dm}^2$ )  $\rightarrow$   
 $p \approx 10 \text{ N} / 0,02 \text{ m}^2 = 500 \text{ Pa}$
- aufrechten Ziegels<sup>9</sup> ( $0,5 \text{ dm}^2$ )  $\rightarrow$   
 $p \approx 10 \text{ N} / 0,005 \text{ m}^2 = 2000 \text{ Pa}$

5 Versuch mit Spritze (Luft oder Wasser oder beides): siehe die Videos [youtube.com/watch?v=FDf\\_dN85po0](https://www.youtube.com/watch?v=FDf_dN85po0) und 0:00 - 0:45 von [youtube.com/watch?v=LEWKq6vpLqA](https://www.youtube.com/watch?v=LEWKq6vpLqA) Achtung: Solltest du im zweiten Video ab 0:45 weiter geschaut haben: Der letzte Satz im diesem Video ist falsch! Selbst wenn man ein Gas stark komprimiert, schwirren die Gasteilchen immer noch in großem Abstand voneinander durch den (jetzt kleineren) Raum. Wenn du keine Spritze zuhause hast, kannst du den Versuch auch mit einer Fahrradpumpe machen. Freilich bitte kein Wasser einfüllen. Aber mit Luft und zugehaltener Düse geht es gut. Der starke Widerstand, den du spürst, kommt nicht daher, dass die Gasteilchen keinen Platz mehr hätten, sondern weil sie mit hoher Geschwindigkeit auf den Kolben prallen. Dazu mehr ganz unten.

Noch einfacher: Vergleiche eine verschlossene Plastikflasche voll mit Wasser und einmal mit Luft. Die mit Wasser kannst du unmöglich zusammendrücken. Die mit Luft mit Kraftaufwand doch um ein Stück.

6 Die Kraft ist eine vektorielle Größe, also eine Größe mit Richtungsangabe, und freilich damit auch die Kraft, die den Druck hervorruft. Diese Richtung lassen wir nun einfach weg. Warum kann man das? Wir werden später sehen, dass der Druck sich in Gasen und in Flüssigkeiten ohnehin in alle Richtungen gleichmäßig fortpflanzt. Es gilt ganz allgemein, dass der Druck immer senkrecht (also im rechten Winkel) auf die Fläche geht, auf die dieser Druck ausgeübt wird. Also ist durch die Fläche die Richtung schon vorgegeben. Mach dir darüber aber nun keine zu großen Gedanken.

7 Eine neue Einheit, die wir uns merken. Benannt nach Blaise Pascal (sprich: Bläs Paskal), den du wohl schon aus der Mathematik kennst. Er war ziemlich universal gelehrt und lebte von 1623 bis 1663.

8  $100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$  haben eine Gewichtskraft von ca.  $1 \text{ N}$ . Das wissen wir bereits. Das zeigt auch, dass die Druckeinheit Pa eine sehr kleine ist. So ein Blatt Papier zerdrückt ja wirklich nicht einmal eine Mücke. Da wir aber in SI-Einheiten rechnen müssen, ist es nötig  $\text{N/m}^2$  zu sagen, und nicht z.B.  $\text{N/cm}^2$ .

9 Versuch mit Schaumstoffblock (evtl. Tafel- oder Badeschwamm): Wenn du auf eine solche weiche Unterlage einen Ziegel oder auch dickes Buch legst, einmal liegend und einmal aufrecht, so siehst du, dass es stärker einsinkt, wenn die Aufstandsfläche kleiner ist.

Ein weiterer einfacher Versuch: Nimm einen kurzen Bleistift zwischen Daumen und Mittelfinger und drücke zusammen. Du merkst, dass auf der spitzen Seite der Druck viel höher ist: Es tut weh. Die Kräfte sind aber (nach dem 3. Newtonschen Gesetz) auf beide Finger freilich gleich.

### Alte Einheiten:

- Noch üblich: 1 bar = 100.000 Pa, Meteorologie: 1 mbar = 1 hPa<sup>10</sup>
- eher veraltet: 1 atm (Atmosphäre)  $\approx$  1 bar<sup>11</sup>, 1 atü = 1 atm

### Überdruck<sup>12</sup>

- veraltet: 1 torr (Torricelli) = 1 mm Hg-Säule<sup>13</sup>, 760 torr  $\approx$  1 bar
- wieder da<sup>14</sup>: PSI (pounds per square inch) 1 bar = 14,5 PSI

Merke und rechne nach: 1 Pa entspricht ca. dem Gewichtsdruck von 1 g pro dm<sup>2</sup>, 1 bar dem von 1 kg pro cm<sup>2</sup><sup>15</sup>

---

10 Die Einheit bar ist so normal, dass man sie fast immer verwendet. Merke sie dir jedenfalls.

Zu Gleichheit von hPa (Hektopascal) und mbar (Millibar): 1 hPa = 100 Pa = 100/100.000 bar = 1/1000 bar = 1 mbar. Der Luftdruck in der Meteorologie wurde immer in mbar angegeben. Damit man nicht umrechnen muss, aber trotzdem eine SI-Einheit verwendet, schreibt man statt mbar einfach hPa. Neben Hektolitern ist das so ziemlich das einzige, wo man die Vorsilbe „hekto“ (also 100) benutzt.

11 Wir werden später lernen, dass der Luftdruck auf Meereshöhe ca. 1 bar beträgt.

12 Da, wie wir sehen werden, in der Atmosphäre ohnehin immer ein Druck von rund 1 bar herrscht, interessiert meist nur, wie viel Druck z.B. in einem Fahrradreifen mehr drinnen ist: Anzeige der Luftpumpe: 4 bar, tatsächlich sind das aber ca. 5 bar absolut. Bei 1 bar hätte man einen Patschen, weil dann innen nicht mehr als außen an Druck herrscht.

Allgemein: Die grau gedruckten Einheiten musst du dir alle nicht merken. Zumindest werden sie nicht geprüft.

13 Früher wurde der Druck mit Hilfe einer Glasröhre, die mit Quecksilber gefüllt war, gemessen. Für 1 bar (also den Atmosphärendruck) musste die Säule 760 mm  $\approx$  3/4 m hoch sein. Heute etwas fürs Museum.

14 So wie die Zoll (inches) wieder bekommen, ist auch die Druckeinheit PSI plötzlich wieder auf mancher Luftpumpe zu lesen. Sie ist in Amerika üblich. Es ist der Gewichtsdruck von einem Pfund (454g) auf einen Quadratzoll (2,54<sup>2</sup> cm<sup>2</sup>). Nicht einfach umzurechnen ...

15 Wie kommt man auf diese Regeln:

1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup> = 0,01 N/dm<sup>2</sup>. Und 0,01 N ist ca. die Gewichtskraft von 0,001 kg = 1 g.

1 bar = 100.000 Pa = 100.000 N/m<sup>2</sup> = 1000 N/dm<sup>2</sup> = 10 N/cm<sup>2</sup>. Und 10 N ist ca. die Gewichtskraft von 1 kg.