

**Auszug: Seiten 17 bis 24 aus dem noch nicht veröffentlichten Buch:**

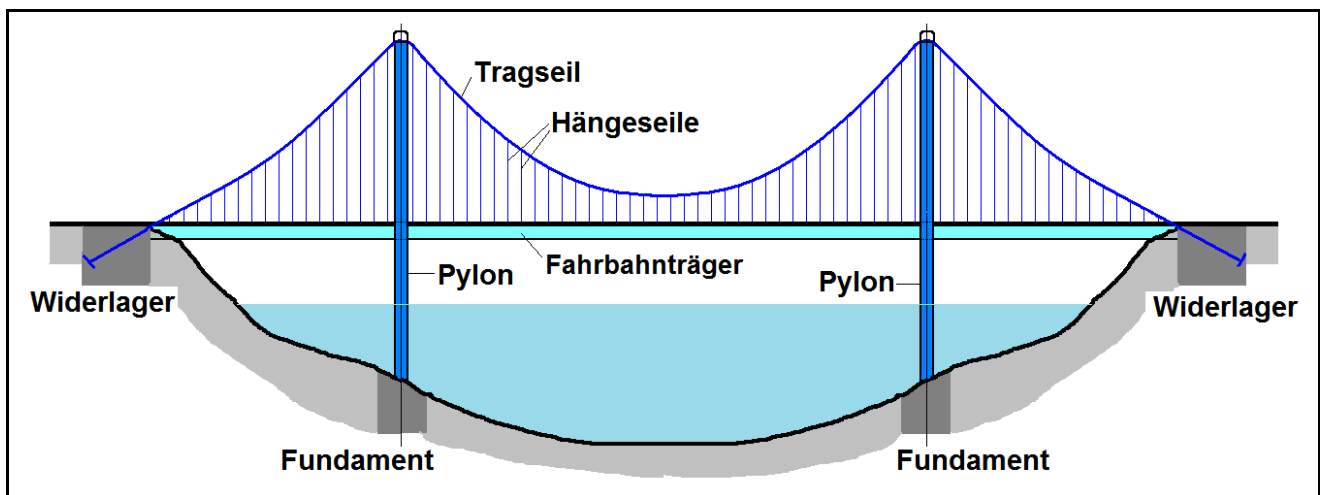
*Otto Praxl*

# Seilstatik

## *Einfache Berechnung von ebenen Seiltragwerken*

*Analogie zwischen Balkenstatik und Seilstatik,  
Seil unter verschiedenen Belastungen, Seillinien,  
Kettenlinie mit waagrechter und geneigter Sehne.*

*Beschreibung der Berechnungsverfahren und Formeln*



### 3. Begriffe der Mechanik

Die Begriffe *Masse*, *Kraft*, *Gewicht* und *Beschleunigung* kennt der Leser aus dem Physikunterricht. Die grundlegenden Definitionen werden hier wiederholt.

#### 3.1. Masse

Die Masse eines Gegenstands gibt die *Stoffmenge* an, die durch die Anzahl der im Gegenstand enthaltenen Atome (Atomgewicht) definiert wird.

Die physikalische Größe *Masse*  $m$  kennzeichnet die Eigenschaft eines Körpers, die sich sowohl in der *Trägheit* (Massenträgheit) gegenüber einer Änderung des Bewegungszustandes wie auch in der *gegenseitigen Anziehung der Massen* (Gravitation) äußert.

Früher unterschied man deshalb zwischen „träger Masse“ und „schwerer Masse“. Physikalisch besteht dieser Unterschied nicht.

Die internationale Maßeinheit für die Masse ist das *Kilogramm* [kg], Untereinheit ist das *Gramm* [g].

**1 kg = 1000 g** (siehe Lit. [13]).

#### 3.2. Massenträgheit

Die *Trägheit* der Masse eines Körpers versucht, den vorhandenen Bewegungszustand beizubehalten. Der einwirkenden Kraft (Beschleunigen oder Bremsen) auf den Bewegungszustand wird ein Widerstand entgegengesetzt.

Wenn der Körper in Bewegung ist und keine Kraft mehr einwirkt, bewirkt die Trägheit, dass er in gleichförmiger Bewegung bleibt.

#### 3.3. Massendichte

Die Masse eines Körpers stellt eine Ansammlung von gleichartigem Material dar, das einen Raum (Volumen) einnimmt. Die Stoffmenge  $m$  bezogen auf das Volumen  $V$  nennt man Dichte des Materials. Die Dichte  $\rho$  (Rho), auch Massendichte genannt, ist der Quotient aus der Masse  $m$  eines Körpers und seinem Volumen  $V$ :

**Formel 14: Massendichte**

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Die Massendichte wird in Gramm pro Kubikzentimeter [ $\text{g/cm}^3$ ] (zahlenmäßig gleichwertig zu [ $\text{kg/dm}^3$ ]) oder in Kilogramm pro Kubikmeter [ $\text{kg/m}^3$ ] angegeben. Bei flüssigen Stoffen ist auch die Einheit Kilogramm pro Liter [ $\text{kg/l}$ ] üblich. Die Dichte ist durch die Festigkeit des Materials bestimmt und ist als intensive Größe unabhängig von seiner Form und Größe.

## 3.4. Kraftbegriff

### 3.4.1. Definition der Kraft

Als Anfangslektüre wird der Wikipedia-Artikel <https://de.wikipedia.org/wiki/Kraft> empfohlen, aus dem wir hier zitieren:

*Kraft ist ein grundlegender Begriff in der Physik. In der klassischen Physik versteht man darunter eine Einwirkung, die einen festgehaltenen Körper verformen und einen beweglichen Körper beschleunigen kann. Kräfte sind zum Beispiel erforderlich, um Arbeit zu verrichten, wobei sich die Energie eines Körpers oder eines physikalischen Systems ändert.*

*Die Kraft ist eine gerichtete physikalische Größe, die durch einen Vektor dargestellt werden kann. Für zwei Kräfte, die am gleichen Punkt angreifen, gilt: sie sind im Gleichgewicht und heben sich auf, wenn sie entgegengesetzt und gleich groß sind. Allgemein gilt, dass sie zu einer resultierenden Kraft zusammengefasst werden, die nach dem Kräfteparallelogramm gebildet wird.*

Die Größe „Kraft“ tritt bei den physikalischen Wechselwirkungen zwischen Körpern auf, wobei auch immer Masse und Energie beteiligt sind.

### 3.4.2. Beschleunigung durch Krafteinwirkung auf eine Masse

Wenn von außen eine Kraft in einer bestimmten Richtung auf den Schwerpunkt eines Körpers einwirkt, wird der Körper in diese Richtung in Bewegung versetzt, er wird dadurch geradlinig beschleunigt (*Beschleunigung*). Bei einer Gegenkraft (Bremsverzögerung) wird er entsprechend abgebremst. Die Beschleunigung ist als Geschwindigkeitsänderung in [m/s] pro Zeiteinheit [s] definiert: [m/s<sup>2</sup>]. Ein negativer Wert wird als Bremsverzögerung (negative Beschleunigung) bezeichnet.

Wenn einer bestimmten Masse  $m$  eine bestimmte Beschleunigung  $b$  erteilt werden soll, ist eine von außen wirkende Kraft  $K$  erforderlich; die Größe dieser Kraft wird durch folgende Formel bestimmt:

**Formel 15: Kraft = Masse mal Beschleunigung**

$$K = m \cdot b$$

Die Kraft  $K$  wird in  $\left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right]$  angegeben.

## 3.5. Gravitation

### 3.5.1. Gravitationsgesetz

Die Gravitation hängt von zwei sich anziehenden Massen  $M$  und  $m$  und dem Abstand  $a$  zwischen ihnen ab. Die Gravitationskraft  $K$  ergibt sich aus dem Gravitationsgesetz von *Newton*:

**Formel 16: Gravitationsgesetz von Newton**

$$K = \frac{M \cdot m}{a^2} \cdot G, \text{ wobei } G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2 \cdot \text{kg}} \right] \text{ die Newtonsche Gravitationskonstante ist.}$$

Hinweis zur Notation in Formeln:

Da die Gravitationskonstante  $G$  eine Konstante ist, wird sie nicht kursiv geschrieben, wogegen das Gewicht  $G$  eine Variable ist, die kursiv geschrieben wird.

### 3.5.2. Schwerkraft

Die **Gravitation** ist eine Kraftwirkung, die sich auf der Erde durch die Schwerkraft bemerkbar macht und die alle freien (nicht unterstützten) Gegenstände nach unten auf den Boden fallen lässt. Die Gravitation geht von jedem massebehafteten Körper aus und bewirkt, dass sich alle Massen gegenseitig anziehen.

Sie nimmt mit der Entfernung ab, lässt sich nicht abschirmen und hat eine unendliche Reichweite. Es gibt keine abstoßenden Kräfte aus Gravitationswirkung.

Das *Gewicht*  $G$  im physikalischen Sinn ist die durch die Erdanziehung verursachte *Kraft*  $G$  auf eine Stoffmenge  $m$  (Masse). Man spricht von *Schwerkraft*. Die Schwerkraft beruht auf der Massenanziehung zwischen einem Gegenstand auf der Erdoberfläche und dem Masseschwerpunkt der Erde im Erdmittelpunkt. Das Gewicht  $G$  ist eine Kraft und wird in  $\left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right]$  angegeben.

Die Schwerkraft hat die Größe

**Formel 17: Schwerkraft = Masse mal Fallbeschleunigung**

$G = m \cdot g$ , wobei  $g$  die Fallbeschleunigung (siehe 3.5.4, Seite 19) auf der Erdoberfläche ist.

### 3.5.3. Gravitationskraft zwischen zwei Massen

Die Gravitationskraft  $K$  wirkt auch zwischen den Gegenständen, mit denen wir täglich umgehen, ist dann aber so schwach, dass sie im Alltag praktisch vernachlässigbar ist.

Die Gravitation wirkt zwar im Weltraum über Millionen Kilometer (Fernwirkung) hinweg, hat aber im Nahbereich zwischen zwei Massen keine praktische Bedeutung.

Beispiel:

Zwischen zwei Massen mit jeweils 1000 kg in einem Abstand von 1 m (Abstand der Schwerpunkte) besteht nach dem Gravitationsgesetz Formel 16 eine Anziehungskraft von

$$K = \frac{M \cdot m}{a^2} \cdot G = \frac{1000 \cdot 1000}{1^2} \cdot 6,67259 \cdot 10^{-11} = 0,0000667259 \text{ [kgm/s}^2\text{]} = 0,0000667259 \text{ [N]}.$$

### 3.5.4. Fallbeschleunigung (Schwerebeschleunigung)

Die *Fallbeschleunigung* hat ihren Namen von fallenden Gegenständen, an denen die Wirkung der Gravitation (Schwerkraft) durch das beschleunigte Fallen der Gegenstände direkt sichtbar wird. Man spricht von „freiem Fall“, bei dem die Fallbeschleunigung direkt aus der Fallhöhe und der Zeit bestimmt werden kann, wenn kein Luftwiderstand zu berücksichtigen ist.

In der Astronomie wird die Fallbeschleunigung auch *Schwerebeschleunigung* genannt. Der Verfasser bevorzugt jedoch die erstere Bezeichnung, weil fallende Gegenstände beschleunigt werden und dies auch beobachtbar ist.

Da das Gewicht als Folge der Gravitation eine Kraft ist, kommt das Wort „Gewicht“ seit 1986 in gesetzlichen Verordnungen (Einheitenverordnung) nicht mehr vor. Auch das Wort *Gewichtskraft* sollte nicht verwendet werden, weil das Gewicht ja selbst die Kraft ist.

Die Kräfte, die auf Bauwerke wirken, sind hauptsächlich Lastwirkungen, die von der Schwerkraft verursacht werden (siehe unter Kapitel 6 ab Seite 34).

### 3.5.5. Ortsabhängigkeit der Fallbeschleunigung

Die Gravitation wirkt immer zwischen den Schwerpunkten der beteiligten Massen. Die Fallbeschleunigung auf der Erdoberfläche ist vom Abstand zwischen dem fallenden Gegenstand und dem Erdmittelpunkt abhängig. Die Erde ist keine exakte Kugel, sie ist an den Polen abgeplattet, der Abstand der Erdoberfläche vom Erdmittelpunkt ist nicht überall gleich. Der Polradius ist um 21385 m kürzer als der Äquatordradius.

Die Erde hat annähernd die Form eines *Rotationsellipsoids*. Die Fallbeschleunigung ist an den Polen am größten, weil die Pole näher am Erdmittelpunkt liegen und deshalb dort die Gravitation am größten ist und dort auch die Zentrifugalbeschleunigung wegfällt. Die Fallbeschleunigung ist am Äquator am niedrigsten. Auf der Erdoberfläche ist die *Fallbeschleunigung* also nicht konstant, sondern ortsabhängig.

### 3.5.6. Größe und Richtung der Fallbeschleunigung

Die Fallbeschleunigung am betreffenden Ort ist die in Größe und Richtung sich ergebende Resultierende aus der Schwerkraft (Gravitation) in Richtung Erdmittelpunkt und der Zentrifugalbeschleunigung rechtwinklig zur Erdachse aus der Erdumdrehung. Ein *Senkblei* (Senkel, Lot) zeigt in diese Richtung.

Fallbeschleunigung  $g$  in Deutschland (entnommen aus Lit. [13], S. 49):

Kiel:  $g = 9,81453 \text{ m/s}^2$  bei  $\varphi = 54^\circ 20' \text{ N}$  und in

Konstanz:  $g = 9,80693 \text{ m/s}^2$  bei  $\varphi = 47^\circ 40' \text{ N}$ .

Ein hypothetischer Wert für eine einheitliche Fallbeschleunigung wurde im Jahre 1901 vom *Internationalen Büro für Maß und Gewicht* mit  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$  festgelegt. Er sollte nach dem damaligen Kenntnisstand für den 45. Breitengrad auf Meereshöhe gelten. Auf den wissenschaftlichen Taschenrechnern ist dieser Wert als Konstante  $g$  noch heute zu finden.

<sup>2</sup>Dieser „Normwert“ hat heute seine ursprüngliche Bedeutung verloren. In den früheren Ausgaben der DIN 1301 wurde er noch angegeben, kommt aber seit 1977 in keiner Norm mehr vor. Die von der Form des Erdkörpers abhängige Fallbeschleunigung eignet sich nicht für eine Normung.

Im nachfolgenden Text wird für die Fallbeschleunigung  $g$  ein gerundeter Wert  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  für die Orte in Deutschland gewählt. Da die Fallbeschleunigung  $g$  von der geografischen Breite  $\varphi$  abhängig ist, muss der genaue Wert bei Bedarf für den betreffenden Ort berechnet oder per Gravimeter gemessen werden.

### 3.5.7. Berechnung der Fallbeschleunigung auf der Erdoberfläche

Die Fallbeschleunigung  $g$  auf der Erdoberfläche kann über das Gravitationsgesetz Formel 16

$$K = \frac{M \cdot m}{a^2} \cdot G \text{ berechnet werden.}$$

Nimmt man noch die Formel 17  $G = m \cdot g$  dazu, wobei  $m$  die beschleunigte Masse und  $g$  die Fallbeschleunigung bedeuten, dann erhält man durch die Gleichsetzung  $K = G$  den mathematischen Ansatz für die Fallbeschleunigung:

$$\frac{M \cdot m}{a^2} \cdot G = m \cdot g. \text{ Nach Umformung kürzt sich die beschleunigte Masse } m \text{ heraus und wir erhalten:}$$

**Formel 18: Fallbeschleunigung an der Erdoberfläche**

$g = \frac{M \cdot G}{a^2}$ , wobei  $M$  die Masse der Erde,  $a$  der Abstand zum Erdmittelpunkt und  $G$  die Newtonsche Gravitationskonstante bedeuten.

### 3.5.8. Fallbeschleunigung für München berechnen

München (geografische Breite  $48^\circ$  Nord) hat bei der Geländehöhe von 520 m ü. NN einen Erdradius  $r_E = 6366,891 \text{ km}$ . Wir entnehmen ihn und die anderen benötigten Größen, fertig berechnet, aus einer Veröffentlichung des Verfassers (Quelle: Lit. [12], Seite 151).

Die Newtonsche Gravitationskonstante beträgt  $G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2 \cdot \text{kg}} \right]$ .

Die Masse der Erde beträgt  $M = 5,9742 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ .

Wir rechnen mit Meter [m] und Kilogramm [kg].

Mit Formel 18 erhalten wir den reinen Gravitationswert:

<sup>2</sup> Dieser Absatz wurde sinngemäß aus Lit. [13], Seite 49, entnommen.

$$g = \frac{M \cdot G}{r_E^2} = \frac{5,9742 \cdot 10^{24} \cdot 6,67259 \cdot 10^{-11}}{6366891^2} = 9,83375 \text{ m/s}^2.$$

Nun müssen wir noch die in München geltende Zentrifugalbeschleunigung subtrahieren, die durch die Erddrehung entsteht und die den Gravitationswert etwas abmindert.

Der rechtwinklige Abstand Münchens von der Erdachse beträgt

$$r_a = \cos 48^\circ \cdot r_E = \cos 48^\circ \cdot 6366,891 \text{ km} = 4260,282 \text{ km}$$

Pro Sterntag<sup>3</sup>, also in 86164,090538 Sekunden, beschreibt München einen Kreis mit genau 360° um die Erdachse mit einem Umfang von

$$u = 2 \cdot r_a \cdot \pi = 2 \cdot 4260282 \cdot \pi = 267681141 \text{ m.}$$

Als Geschwindigkeit der Erdoberfläche, bezogen auf den ruhenden Weltraum, ergibt sich damit

$$v_{\text{Mü}} = \frac{267681141 \text{ m}}{86164,090539 \text{ s}} = 310,6647 \text{ m/s}$$

Die Zentrifugalbeschleunigung beträgt, auf die Richtung des Erdradius projiziert:

$$b = \cos \varphi \cdot \frac{v_{\text{Mü}}^2}{r_a} = \cos 48^\circ \cdot \frac{310,6647^2}{\cos 48^\circ \cdot 4366891} = 0,02101 \text{ m/s}^2$$

Diese muss von der Gravitationskraft subtrahiert werden, weil sie dieser entgegenwirkt.

Für München ergibt sich dann  $g_{\text{Mü}} = 9,83375 - 0,02101 = 9,81274 \text{ m/s}^2$ .

Wie zu erwarten war, liegt der Wert  $g_{\text{Mü}} = 9,81274 \text{ m/s}^2$  für München (520 m ü. NN) zwischen den Werten von Konstanz (9,80693 m/s<sup>2</sup>) und Kiel (9,81453 m/s<sup>2</sup>).

### 3.5.9. Fallbeschleunigung auf der Mondoberfläche

Die Schwerkraft hat die Größe  $G = m \cdot g$ , wobei  $g$  die Fallbeschleunigung ist. Das Gewicht von Gegenständen ist also von ihrer Masse und der momentan herrschenden Fallbeschleunigung abhängig.

Für statische Berechnungen von Bauwerken auf dem Mond muss man außer der Masse der Bauteile auch die Fallbeschleunigung auf der Mondoberfläche wissen. Aus dem Buch „dtv-Atlas Astronomie“ (ISBN 3-423-03008-2) entnehmen wir auf Seite 67 folgende Daten des Mondes:

Fallbeschleunigung auf dem Mond  $g_{M_o} = 1,62 \text{ m/s}^2$ .

Masse des Mondes  $M_{M_o} = 7,350 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ .

Mondradius  $r = 1738,2 \text{ km}$ .

Die angegebene Fallbeschleunigung auf dem Mond wollen wir durch Berechnung nachprüfen:

Wir benutzen die Formel 18  $g = \frac{M \cdot G}{a^2}$  mit  $G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2 \cdot \text{kg}} \right]$  und passen die Bezeichnungen an:

$$g_{M_o} = \frac{M_{M_o} \cdot G}{r^2} = \frac{7,350 \cdot 10^{22} \cdot 6,67259 \cdot 10^{-11}}{1738200^2} = 1,62323 \text{ m/s}^2.$$

Die Schwerkraft auf dem Mond beträgt gegenüber der Erde  $1,62/9,81 = 0,1651$ , also 16,51 % oder etwa ein Sechstel der irdischen Schwerkraft. Die Eigenlasten der Baustoffe und auch die Verkehrslasten betragen auf dem Mond nur ein Sechstel gegenüber der Erde. Bauwerke auf dem Mond können deshalb leichter und höher gebaut werden.

<sup>3</sup> Der Sterntag bezieht sich auf den ruhenden Weltraum, nicht auf die Sonne als Zentralgestirn.

### 3.5.10. Fallbeschleunigung auf der Marsoberfläche

Nach dem Mond ist der Mars der zweite außerterrestrische Himmelskörper, der für einen Besuch für Menschen von der Erde irgendwann in Frage kommt. Deshalb wollen wir die Fallbeschleunigung auch für den Mars angeben. Aus dem Buch „dtv-Atlas Astronomie“ (ISBN 3-423-03008-2) entnehmen wir auf Seite 55 für den Mars den Wert  $g_{Ma} = 3,72 \text{ m/s}^2$ . Gegenüber der Schwerkraft auf der Erde sind dies  $3,72 / 9,81 = 0,3792 = 37,92 \%$ .

## 3.6. Kraft und Gegenkraft

Wenn die Masse  $m$  im Ruhezustand bleiben soll, das System also im Gleichgewicht sein soll, muss zur Kraft  $\mathbf{K}$  eine gleich große **Gegenkraft**  $-\mathbf{K}$  vorhanden sein. Im Ruhezustand, also bei statischem Gleichgewicht, kann eine Kraft nie allein auftreten, sie braucht immer eine gleich große Gegenkraft.

## 3.7. Schnittgrößen

Von außen auf einen Körper einwirkende Kräfte verursachen und erzeugen zwischen den durch gedachte Schnitte getrennten Teilen eines Körpers innere Kräfte (Schnittkräfte<sup>4</sup>) oder Kräftepaare (Schnittmomente). Man spricht von *Schnittgrößen*. Diese Schnittgrößen muss der Bauingenieur bei der Bemessung der Bauteile berechnen.

## 3.8. Formänderungen durch Krafteinwirkung (Verformungen)

Schnittgrößen sind Kräfte und bewirken *Formänderungen* (Verformungen) in elastischen Körpern. Auch diese Formänderungen der Bauteile muss der Bauingenieur berechnen. Dabei müssen Formeigenschaften (Querschnittswerte<sup>5</sup>) und Materialeigenschaften (Elastizitätsmodul  $E$ ) berücksichtigt werden.

## 3.9. Widerstände, Reaktionskräfte

*Widerstände* sind keine ursprünglichen Kräfte, sondern sie werden durch ursprüngliche (originäre) Kräfte „verursacht“. Es sind *Gegenkräfte* oder *Reaktionskräfte*, die durch die originäre Kraftwirkung (Aktionskraft) erzeugt werden und deren Größe von der Größe der originären Kraft abhängt. Belastet man z. B. einen Balken, so wirken in den Auflagern Gegenkräfte nach oben, die *Auflagerreaktionen* genannt werden, die sich aber nach außen nicht zeigen. Auch Reibung ist ein Widerstand, der sich bei Kraftwirkung als Gegenkraft aufbaut. Man unterscheidet zwischen Haft-, Gleit- und Rollreibung, die der Bauingenieur berücksichtigen muss. Die Reibung wird hier nicht behandelt.

## 3.10. Unterscheidung zwischen Masse und Gewicht

Am gleichen Ort sind Masse  $m$  und Gewicht  $G$  über die vorhandene Fallbeschleunigung  $g$  aufgrund der Funktion  $G = g \cdot m$  einander proportional (verhältnismäßig). Deshalb kann aus der Messung der einen Größe der Wert der anderen berechnet werden. Aufgrund dieser Tatsache werden im täglichen Leben die beiden physikalisch verschiedenen Begriffe Masse und Gewicht der Einfachheit halber nicht unterschieden.

Die Physik und die Technik unterscheiden sehr wohl zwischen den beiden Begriffen.

## 3.11. Wichte eines Stoffes

Die **Wichte**  $\gamma$  (Gamma) eines physikalischen Körpers, auch **spezifisches Gewicht** genannt, ist das Verhältnis seines Gewichts  $G$  zu seinem Volumen  $V$ .

<sup>4</sup> Schnittkräfte sind auf die Querschnittsfläche wirkende Kräfte.

<sup>5</sup> Siehe den Fachbeitrag des Verfassers: „Querschnittswerte“, Lit. [11]

**Formel 19: Wichte eines Stoffes**

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \cdot g}{V} . g \text{ ist die Fallbeschleunigung.}$$

Die Wichte des Materials kann man aus seiner Dichte berechnen:

**Formel 20: Wichte aus der Dichte berechnen**

$$\gamma = \frac{m}{V} \cdot g = \rho \cdot g .$$

Die Wichte  $\gamma$  ergibt sich aus der Dichte  $\rho$  multipliziert mit der Fallbeschleunigung  $g$ .

$$\text{Die Maßeinheit der Wichte ist: } [\gamma] = \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right] = \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2} \right] .$$

Der Bauingenieur verwendet die Wichte zur Ermittlung der Eigenlasten von Baumaterial.

## 3.12. Maßeinheiten für die Kraft

In Lit. [13] ist alles über Maßeinheiten zu finden.

### 3.12.1. Nicht mehr gültige Einheiten für die Kraft

Im Bauingenieurwesen wurden früher für Massen, Lasten, Gewichte und Kräfte in gewohnter Weise die Einheiten *Kilogramm* [kg] und *Tonnen* [t] verwendet. Biegemomente wurden in [kgm] oder in [tm] und Materialkennwerte (Spannungen) wurden in [kg/cm<sup>2</sup>] angegeben. Auch *Tölke* hat in seinem 1949 erschienenen Buch „Baustatik“, Lit. [18], noch diese alten Maßeinheiten in den Beispielen verwendet. So wurde es bis 1963 auch noch an den Ingenieurschulen gelehrt.

### 3.12.2. Kilopond und Pond

Seit etwa 1963 setzte sich auch in den Normen und in der Baustatik das Kilopond durch. Das Pond als kleinere Krafteinheit hat im Bauwesen keine Bedeutung.

Alle betroffenen Normen wurden nach und nach geändert und das Kilopond wurde überall eingeführt. Die Umstellung erfolgte in der Praxis fast reibungslos, weil sich nur die Bezeichnungen, nicht aber die Zahlenwerte geändert hatten.

Man wusste, dass eine Masse von 100 kg eine Schwerkraft (Gewicht) von 100 kp erzeugt.

Die Kraft ist durch die Formel: **Kraft = Masse × Fallbeschleunigung** physikalisch definiert.

Definition Kilopond:

**1 kp** (Kilopond) ist die Kraft, mit der die Masse  $m = 1 \text{ kg}$  bei einer Fallbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  von der Erde (Schwerkraft) angezogen wird:

$$1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ kgm/s}^2;$$

$$1000 \text{ kp} = 1 \text{ Mp (Megapond).}$$

Definition Pond:

**1 p** (Pond) ist der tausendste Teil eines Kiloponds. Es ist die Kraft, mit der die Masse  $m = 1 \text{ g}$  bei einer Fallbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  von der Erde (Schwerkraft) angezogen wird:

$$1 \text{ p} = 1 \text{ g} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 9,81 \text{ gm/s}^2;$$

$$1000 \text{ p} = 1 \text{ kp (Kilopond).}$$

Hinweis: Das Kurzzeichen g für Gramm und das Formelzeichen  $g$  für die Fallbeschleunigung werden im Text nur durch die Schreibweise unterschieden.



### 3.12.3. *Newton*

Durch das Einheitengesetz von 1986 wurden in Deutschland SI-Basiseinheiten<sup>6</sup> und abgeleitete SI-Einheiten verbindlich eingeführt. Als Einheit für die Kraft gilt nun das *Newton* [N]. Das *Kilopond* ist als offizielle Maßeinheit nicht mehr zulässig.

Die Einheit *Newton* entstammt, wie auch das *Kilopond*, der physikalischen Beziehung  $K = m \cdot b$  (wobei  $b$  allgemein für die Beschleunigung gesetzt wird) und ist von den SI-Basiseinheiten für **Masse** (Kilogramm [kg]), **Länge** (Meter [m]) und **Zeit** (Sekunde [s]) abgeleitet.

#### Definition Newton:

Um der Masse **1 kg** eine Beschleunigung von **1 m/s<sup>2</sup>** zu erteilen, ist die Kraft von **1 N** (Newton) erforderlich:  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kgm/s}^2$ .

Für die Kräfte in der Baustatik muss nun die Einheit Newton [N] verwendet werden. Die durch die Erdanziehung bewirkte Kraft (Gewicht) muss in Newton [N] angegeben werden.

Das Gewicht  $G$  hängt physikalisch mit der Masse über die Fallbeschleunigung, wie oben beim Kilopond schon erwähnt, zusammen:  $G = m \cdot g$  (Gewicht = Masse  $\times$  Fallbeschleunigung,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Die oben angegebene Definition für das Kilopond wurde erweitert:

**1 kp = 1 kg  $\times$  9,81 m/s<sup>2</sup> = 9,81 kgm/s<sup>2</sup> = 9,81 N.**

Daraus folgt: **1 N  $\approx$  0,102 kp**. Damit die Kopfrechnung vereinfacht wird, rundet der Praktiker bei der Umrechnung auf: **1 kp  $\approx$  10 N**. Aber nicht nur die durch die Erdanziehung verursachte Kraftwirkung, sondern alle Kräfte müssen nun in Newton angegeben werden.

Die Normen wurden daraufhin erneut geändert. Es hatten sich mit dieser erneuten Änderung nicht nur die Einheit für die Kraft, sondern auch die Gütebezeichnungen vieler Baustoffe geändert, weil sie die Belastbarkeit oder die Bruchspannung im Namen trugen, die noch auf das Kilopond aufbauten. Auch sämtliche Bemessungstabellen im Stahlbetonbau änderten sich, weil dort fast alle Bemessungskoeffizienten geändert werden mussten.

Der Wert des Biegemoments von **1 kpm** wird nun als **10 Nm** geschrieben und aus **1 Mpm** werden **10000 Nm** oder **10 kNm**.

Bemerkung: Im gesamten nachfolgenden Text dieses Buches werden die Einheiten Kilopond [kp] und Newton [N] gleichberechtigt nebeneinander verwendet, obwohl das Kilopond nicht mehr offiziell verwendet wird.

### 3.12.4. *Die Einheit Newton ist allgemeingültig*

Da die Maßeinheit *Kilopond* über die Fallbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  an die Erde gebunden ist, kann man das Kilopond nicht für die Berechnung von Kräften auf anderen Himmelskörpern (Mond, Mars) verwenden, weil dort eine andere Fallbeschleunigung herrscht.

Die Maßeinheit *Newton* für die Kraft ist ortsunabhängig und damit allgemeingültig.

<sup>6</sup> SI ist die Abkürzung von „Système International d’Unités“ = Internationales Einheitensystem.