

1 Einführung

1

1.1 Einordnung der Statik

Die Mechanik und damit auch die Statik ist ein Teilgebiet der Physik. Sie ist die Lehre von den Kräften und Bewegungen. Der Teil der Mechanik, der insbesondere für technische Anwendungen relevant ist, wird auch als *Technische Mechanik* bezeichnet. Die Aufteilung der Mechanik zeigt das folgende Diagramm.

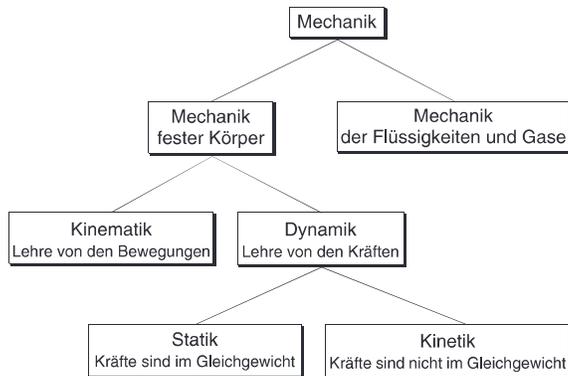


Bild 1.1 Einordnung der Statik

Die Statik ist die Lehre von den Kräften, die sich im Gleichgewicht befinden. Sie ist also ein Teilgebiet der *Dynamik*. Häufig wird der Begriff *Dynamik* irreführend als Gegensatz zur Statik verwandt. Eigentlich ist damit die *Kinetik* gemeint, also mechanische Vorgänge, die mit beschleunigten Bewegungen einhergehen.

Die Statik der Baukonstruktionen, also die Berechnungsverfahren, die speziell auf die Erfordernisse der Baukonstruktionen zugeschnitten sind, wird als *Baustatik* bezeichnet.

Die Methoden der Statik bzw. der Mechanik basieren auf Abstraktionen und Idealisierungen der Wirklichkeit. Die tatsächliche Konstruktion eines Bauwerks wird auf ein gedankliches Modell reduziert. Diese Abstraktion bereitet dem Studienanfänger häufig Schwierigkeiten, da nicht immer ersichtlich ist, welche Bedeutung manche Begriffsbildungen in der Realität besitzen.

Die Reduktion des wirklichen Bauwerks auf das mechanische Modell eines Tragsystems ist eine Aufgabe, die das Können erfahrener Ingenieure voraussetzt. Es kommt dabei darauf an, die wesentlichen Einflüsse zu berücksichtigen, aber alles zu vernachlässigen, was von untergeordneter Bedeutung ist.

Erst durch die Vereinfachung der äußerst komplizierten Wirklichkeit wird eine Berechnung überhaupt erst möglich. Die Baustatik betrachtet das idealisierte Tragwerk, das *Statische System*. Der Prozess der Modellbildung wird in diesem Buch nicht behandelt, er wird als bereits durchgeführt vorausgesetzt.

1.2 Kräfte

1.2.1 Der Kraftbegriff

Die Kraft ist eine physikalische Größe, die wir aus unserer Erfahrung kennen. Kräfte sind nicht sichtbar, ihre Existenz kann nur durch ihre Wirkung erkannt werden. Wenn wir Gegenstände heben oder tragen, spüren wir eine Wirkung in unseren Muskeln, die wir als Kraft bezeichnen.

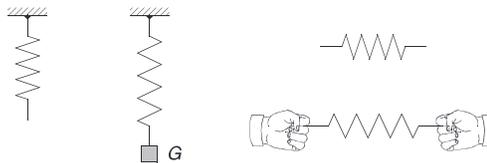


Bild 1.2 Kräfte als Ursache von Verformungen

Eine weitere alltägliche Erfahrung einer Kraftwirkung entsteht beim Verformen von Gegenständen. Um eine Schraubenfeder oder ein Gummiband zu dehnen, müssen Muskel- oder andere Kräfte wirken. Die dargestellte Schraubenfeder in *Bild 1.2* verlängert sich, wenn ein Gewicht angehängt wird oder wenn an beiden Enden gezogen wird.

Wir haben also eine Vorstellung davon, was eine Kraft ist. Diese Vorstellung ist eine Abstraktion, die wir als Ursache einer bestimmten Wirkung zuordnen.

Eine strenge Definition des Kraftbegriffs ist nicht möglich. Kräfte sind die Ursache von Form- und Bewegungsänderungen. Sie sind durch ihre *Größe*, ihre *Richtung* sowie durch ihren *Richtungssinn* gekennzeichnet, d. h., sie haben *vektoriellen Charakter*. Ein weitere wichtige Bestimmungsgröße ist der Angriffspunkt der Kraft.

Dass die Wirkung einer Kraft nicht nur von ihrer Größe abhängt, ist auch aus der Erfahrung geläufig. Die in *Bild 1.3* dargestellten Kräfte haben auf den rechteckigen Gegenstand, auf den sie einwirken, unterschiedliche Wirkungen, auch wenn sie dieselbe Größe haben. Aus diesem Grunde ist der Kraftvektor kein freier, sondern ein gebundener Vektor.

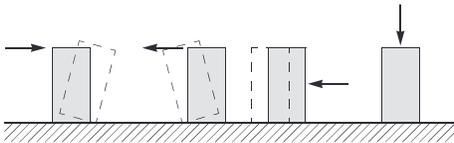


Bild 1.3 Unterschiedliche Wirkungen einer Kraft

Neben der Muskelkraft ursprüngliche Vorstellung einer Kraftwirkung ist die der *Gewichtskraft*. Sie ist eine Folge der Gravitation, also der Eigenschaft zweier Körper (Massen), sich gegenseitig anzuziehen. Die irdische Gewichtskraft stellt die Kraft dar, mit der ein Körper an der Erdoberfläche durch die Masse der Erde angezogen wird. Sie ergibt sich als Sonderfall des Gravitationsgesetzes:

$$\mathbf{G} = m \cdot \mathbf{g}$$

wobei m die Masse des Körpers und g die mittlere Erdbeschleunigung darstellt. Diese Kraft wirkt in Richtung des Erdmittelpunktes und kann in guter Näherung als senkrecht angesehen werden. Die mittlere Erdbeschleunigung beträgt:

$$g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

1.2.2 Darstellung der Kraft

Kräfte werden als gerichtete Strecke, als Pfeil veranschaulicht. Die Länge des Pfeils kennzeichnet die Größe der Kraft (mathematisch: der Betrag des Vektors), die Neigung des Kraftpfeils die Richtung und die Pfeilspitze

den Richtungssinn. Vektoren werden durch Fettdruck gekennzeichnet.

Da aus der zeichnerischen Darstellung des Kraftvektors Richtung und Richtungssinn unmittelbar zu entnehmen ist, schreibt man in der Regel nur den Betrag der Kraft hinzu.

Die Einheit der Kraft ist das Newton [N], eine aus den Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems SI (Système International d'Unité) abgeleitete Größe.

Die Kraft 1 N erteilt der Masse 1 kg die Beschleunigung $1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, es gilt: $1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$.

1.2.3 Einteilung der Kräfte

Kräfte lassen sich nach unterschiedlichen Gesichtspunkten einteilen.

Ein Unterteilungsgesichtspunkt ist die *Verteilung* der Kraft. Der bisher betrachtete Begriff der in einem Punkt angreifenden sogenannten Einzelkraft stellt eine Idealisierung dar. Diese Idealisierung ist annähernd nur dann gegeben, wenn z. B. mit einer Nadelspitze auf einen Körper gedrückt wird (*Bild 1.4a*).

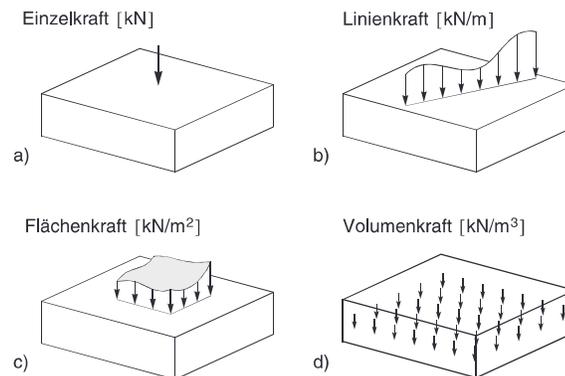


Bild 1.4 Unterschiedlich verteilte Kräfte

Auch eine linienförmig verteilte Kraft, auch *Linienkraft* oder Streckenlast genannt, stellt eine Abstraktion dar, die sich annähernd realisieren lässt, wenn man z. B. mit einer Messerschneide gegen einen Körper drückt (*Bild 1.4b*).

In der Wirklichkeit treten Kräfte nur in verteilter Form als *Volumen-* oder *Flächenkräfte* auf. Der in *Bild 1.4d* dargestellte Quader hat eine in seinem Volumen gleichmäßig verteilte Masse, wenn das Material, aus dem er besteht, homogen, also überall gleich ist. Aus diesem Grund ist natürlich auch seine Schwerkraft gleichmäßig innerhalb des Volumens verteilt. *Schwerkräfte* sind daher immer *Volumenkräfte*.

Flächenkräfte treten in der Berührungsfläche zweier Körper auf, siehe *Bild 1.4c*. Beispiele hierfür sind der Wasserdruck oder das Gewicht von Estrich und Fußbodenbelag auf einer Deckenplatte, das auf dieser verteilt wirkt.

Eine weitere Art der Einteilung ergibt sich aus der Unterscheidung von eingepprägten oder einwirkenden Kräften einerseits und Reaktionskräften andererseits. *Eingepprägte Kräfte* ergeben sich durch physikalische Gesetze und sind vorgegeben, man spricht auch von Lasten. Beispiele sind die Gewichtskräfte, Wasserdruck oder auch Reibung. *Reaktionskräfte* stellen Zwangskräfte dar, die sich aus den Bindungen eines Körpers ergeben, sie sind zunächst unbekannt.

Es werden noch *äußere* und *innere Kräfte* unterschieden. Während äußere Kräfte von außen auf einen Körper einwirken, werden innere Kräfte durch gedankliches Zerschneiden eines Körpers sichtbar gemacht. Sie werden an einem der Teile des durch den Schnitt getrennten Körpers zu äußeren Kräften.

1.2.4 Kräftesysteme

Ein Kräftesystem ist eine *Gruppe von Kräften*, die unter einem bestimmten Gesichtspunkt zusammengefasst werden können. So bilden alle auf einen Körper einwirkenden Kräfte ein Kräftesystem. Wirken alle Kräfte in einer Ebene, so spricht man von einem *ebenen* Kräftesystem, ist dies nicht der Fall, liegt ein *räumliches* Kräftesystem vor. Ein Kräftesystem, bei dem sich die Wirkungslinien aller Kräfte in einem Punkt schneiden, ist eine *zentrales Kräftesystem*.

Ziel der folgenden Betrachtungen ist es, die Wirkung von Kräftesystemen auf einen starren Körper zu beurteilen.

1.3 Der starre Körper

Unter dem bereits verwendeten Begriff des Körpers versteht man ein mit Materie gefülltes Volumen. Ein starrer Körper ist ein Körper, der sich unter der Wirkung von Kräften nicht verformt. Da jeder reale Körper deformierbar ist, stellt die Annahme der Starrheit eine Idealisierung dar. Durch die Modellvorstellung des starren Körpers wird seine Bewegung in der Ebene auf drei Freiheitsgrade eingeschränkt. Unter einem *Freiheitsgrad* versteht man eine unabhängige Bewegungsmöglichkeit. Obwohl sich jeder Körper verformt, sind diese Verformungen in der Regel jedoch so klein, dass sie gegenüber den Abmessungen des Körpers vernachlässigbar sind und daher die Modellvorstellung der Starrheit annähernd zutrifft. Einen festen Körper, dessen Verformungen infolge von Kräften nur sehr klein sind, bezeichnet man als steif.

1.4 Axiome der Mechanik

Die Mechanik baut auf Axiomen auf. Axiome sind Grundgesetze, die unbeweisbar sind und auf der Erfahrung basieren. Die nachfolgend angegebenen Axiome sind die Grundlage aller weiteren Betrachtungen.

Trägheitsaxiom (1. Newtonsches Gesetz)¹

Jeder Körper verharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, solange er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, diesen Zustand zu ändern.

Newtons Grundgesetz der Mechanik (2. Newtonsches Gesetz)

Die Bewegungsänderung ist der bewegendenden Kraft proportional und erfolgt in Richtung der bewegendenden Kraft, d. h., Kraft und Beschleunigungsvektor sind proportional.

$$\mathbf{F} = \sum \mathbf{F}_i = m\ddot{\mathbf{x}}$$

¹ Isaac Newton, engl. Physiker, Mathematiker u. Astronom, 1643 - 1727. In seiner Schrift „Philosophiae naturalis principia mathematica“ (1687) veröffentlichte er u. a. die Newtonschen Axiome.

Reaktionsaxiom (3. Newtonsches Gesetz)

Die wechselseitige Wirkung zweier Körper aufeinander ist gleich groß und von entgegengesetzter Richtung (Aktion gleich Reaktion).

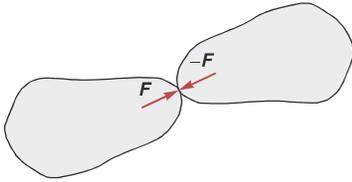


Bild 1.5 Reaktionsaxiom

Verschiebungsaxiom

Kräfte können am starren Körper beliebig auf ihrer Wirkungslinie verschoben werden, sind also *linienflüchtige Vektoren*.

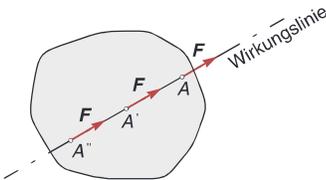


Bild 1.6 Verschiebungsaxiom

Parallelogrammaxiom

Die Wirkung zweier Kräfte mit gleichem Angriffspunkt ist ihrer vektoriellen Summe äquivalent. Zwei Kräfte F_1 und F_2 können also durch eine einzige Kraft R wirkungsgleich ersetzt werden, wenn die Kraft R aus der Parallelogrammkonstruktion in Bild 1.7 gebildet wird.

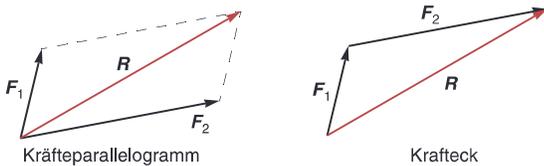


Bild 1.7 Parallelogrammaxiom

1.5 Das Schnittprinzip

Das Schnittprinzip stellt eines der wichtigsten Prinzipien der Mechanik dar. Erst durch seine Anwendung gelingt es, innere Beanspruchungen sichtbar zu machen. Der Körper wird gedanklich zerschnitten, um Aussagen über

die inneren Kräfte machen zu können, die die getrennten Teile des Körpers aufeinander ausüben.

Wird die Schraubenfeder aus Bild 1.2 in Bild 1.8 durch einen Schnitt durchtrennt, so müssen die beiden dargestellten Kräfte wirksam sein, damit die wechselseitige Wirkung beider Teile aufeinander nicht verloren geht.

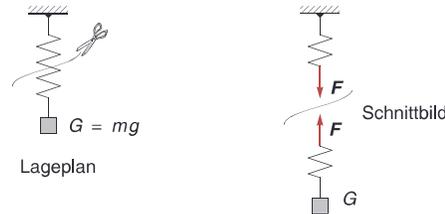


Bild 1.8 Beispiel zum Schnittprinzip

Aus dem *Reaktionsaxiom* folgt, dass die freigeschnittenen Kräfte immer entgegengerichtete Doppelgrößen sind. Der obere Teil der Feder zieht mit einer genau so großen Kraft am unteren Teil, wie der untere am oberen Teil. Das Schnittprinzip besteht in der folgenden axiomatischen Aussage:

Ist ein Körper im Gleichgewicht, so ist auch jeder Teil des Körpers im Gleichgewicht, der durch gedachte Schnitte herausgetrennt wurde.

1.6 Gleichgewicht

Die Statik ist die Lehre von den Kräften, die sich im Gleichgewicht befinden. Wann sind Kräfte im Gleichgewicht? Diese Frage beantwortet das Trägheitsaxiom sowie das Newtonsche Grundgesetz.

Ein ruhender Körper bleibt im Zustand der Ruhe, wenn er unter der Wirkung eines Kräftesystems F_i keine Beschleunigung erfährt. Dieser Ruhezustand wird als *Gleichgewichtszustand* bezeichnet. Ein Kräftesystem, das auf einen Körper wirkt, befindet sich im Gleichgewicht, wenn es den Körper nicht beschleunigt.

Die gleichförmige geradlinige Bewegung ist ebenfalls ein Gleichgewichtszustand, aber in der Baustatik ohne Bedeutung.

Die Gleichgewichtsbedingung ergibt sich daher als Sonderfall des Newtonschen Grundgesetzes:

$$\sum F_i = 0$$

2 Das zentrale Kräftesystem

Ein zentrales Kräftesystem ist dadurch gekennzeichnet, dass sich die Wirkungslinien aller Kräfte in einem Punkt schneiden. *Bild 2.1* zeigt ein aus vier Kräften bestehendes Kräftesystem. Die Darstellungen a) und b) sind völlig gleichwertig, da nach dem Verschiebungsaxiom alle Kräfte auf ihrer Wirkungslinie verschoben werden können.

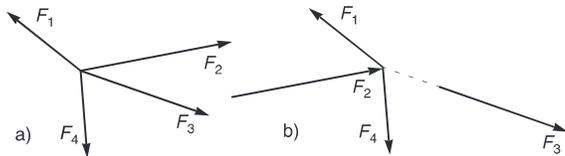


Bild 2.1 Zentrales Kräftesystem

2.1 Grafische Behandlung

Obwohl zeichnerische Verfahren keine praktische Bedeutung mehr haben, sind sie aufgrund ihrer Anschaulichkeit weiterhin wichtig, da sie den Einblick in die Zusammenhänge im Umgang mit Kräften erleichtern.

Für die zeichnerische Darstellung von Kräften ist es erforderlich, einen Kräftemaßstab zu wählen. Mithilfe dieses Maßstabs werden die Kräfte im *Kräfteplan* entsprechend ihrer Größe und Richtung dargestellt. Der *Lageplan* definiert den Angriffspunkt und die Richtung der Kräfte. In der Regel werden die Kräfte im Lageplan durch unmaßstäbliche Pfeile dargestellt und ihr Betrag durch eine Zahlenangabe festgelegt. Es ist allerdings auch möglich, die Größe der Kraft mithilfe eines Kräftemaßstabs durch die Länge des Pfeils anzugeben.

2.1.1 Resultierende eines zentralen Kräftesystems

Ziel ist die Reduktion des zentralen Kräftesystems, d. h., es soll durch eine einzige Kraft wirkungsgleich ersetzt werden. Diese Kraft ist die Resultierende des Kräftesystems.

Für die zeichnerische Ermittlung der Resultierenden werden nacheinander jeweils zwei Kräfte mithilfe der

Parallelogrammkonstruktion bzw. des Kräftecks zusammengefasst. Die Zwischenresultierende lässt man dabei fort. Die dabei entstehende Konstruktion ist das Kräfteck, siehe *Bild 2.2*.

Damit lässt sich die Resultierende nach folgender Vorschrift bilden:

Die Resultierende eines Kräftesystems ergibt sich, indem man alle Kraftpfeile hintereinander zeichnet. Die Verbindung des Anfangs der ersten Kraft mit der Spitze der letzten Kraft ist die Resultierende des Kräftesystems.

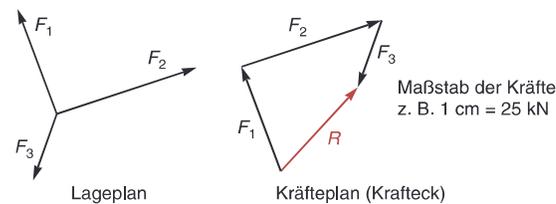


Bild 2.2 Resultierende eines zentralen Kräftesystems

2.1.2 Zerlegung einer Kraft in zwei vorgegebene Richtungen

Die Zerlegung einer Kraft ist die Umkehrung der vorherigen Aufgabenstellung der Reduktion des Kräftesystems. Gegeben ist nunmehr eine Kraft, die durch zwei andere Kräfte, deren Richtung vorgegeben ist, wirkungsgleich ersetzt werden soll.

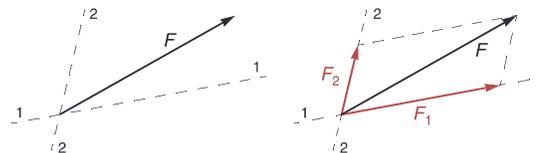


Bild 2.3 Zerlegung einer Kraft

Die zeichnerische Lösung dieser Aufgabe ergibt sich unmittelbar aus der Parallelgrammkonstruktion in *Bild 2.3*. Es werden Parallelen zu den vorgegebenen Richtungen durch die Spitze der Kraft gezeichnet. Die

Schnittpunkte der Linien ergeben die Spitze der gesuchten Kraft.

Die Zerlegung einer Kraft in mehr als zwei Richtungen ist nicht eindeutig möglich.

2.2 Rechnerische Behandlung

Zur rechnerischen Behandlung werden die Kräfte in einem *kartesischen Koordinatensystem* als Vektoren dargestellt. Dies entspricht der Zerlegung der Kraft in Richtung der Koordinatenachsen. Für den Fall des ebenen Kräftesystems ist dies in *Bild 2.4* dargestellt. Im Folgenden werden Vektoren durch Fettdruck gekennzeichnet.

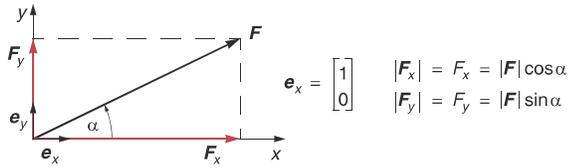


Bild 2.4 Vektorielle Darstellung einer Kraft

Jeder Kraftvektor kann durch seinen Betrag und einen Einheitsvektor, der die Richtung der Kraft beschreibt, dargestellt werden. Ein Einheitsvektor ist ein Vektor, dessen Betrag gleich eins ist. Beschreibt dieser Einheitsvektor die Richtung der Koordinatenachsen, so wird er als Basisvektor bezeichnet. Formal ergibt sich damit die Parallelogrammkonstruktion als Vektorsumme. Die Darstellung erfolgt für ein räumliches Kräftesystem, im ebenen Fall entfallen alle Größen mit dem Index z .

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y + \mathbf{F}_z = F_x \mathbf{e}_x + F_y \mathbf{e}_y + F_z \mathbf{e}_z$$

$\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ sind die Basisvektoren, F_x, F_y, F_z die Komponenten von \mathbf{F} bezüglich der Basis.

F_x, F_y, F_z sind die Projektionen der Kraft \mathbf{F} auf die Basisvektoren $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$.

Es ist üblich, die Beträge der Komponenten in einer Klammer übereinander zu schreiben:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix}$$

Wird nur mit einer Basis gearbeitet, so unterscheidet man häufig nicht zwischen Komponenten und Projektionen. Die Projektionen F_x, F_y, F_z werden dann auch als die Komponenten der Kraft \mathbf{F} bezeichnet. Wir werden von dieser Bezeichnungsweise auch Gebrauch machen, da wir nur in kartesischen Koordinaten arbeiten werden.

2.2.1 Resultierende des Kräftesystems

Die rechnerische Ermittlung der Resultierenden erfolgt für zwei Kräfte durch Bildung der Vektorsumme:

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &= \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \\ &= (\mathbf{e}_x F_{x1} + \mathbf{e}_y F_{y1} + \mathbf{e}_z F_{z1}) + (\mathbf{e}_x F_{x2} + \mathbf{e}_y F_{y2} + \mathbf{e}_z F_{z2}) \\ &= \mathbf{e}_x (F_{x1} + F_{x2}) + \mathbf{e}_y (F_{y1} + F_{y2}) + \mathbf{e}_z (F_{z1} + F_{z2}) \\ &= \mathbf{e}_x R_x + \mathbf{e}_y R_y + \mathbf{e}_z R_z \end{aligned}$$

Die Erweiterung auf mehr als zwei Kräfte ist offensichtlich.

Für n Kräfte \mathbf{F}_i gilt:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n F_{xi} \\ \sum_{i=1}^n F_{yi} \\ \sum_{i=1}^n F_{zi} \end{bmatrix}$$

Beispiel 2.1

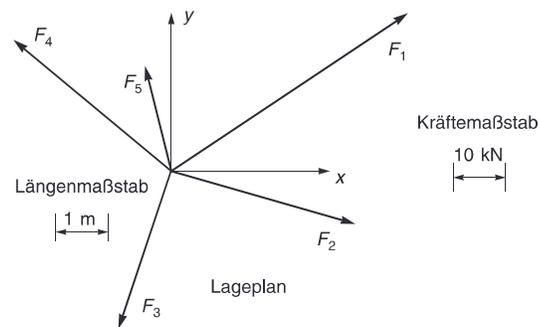


Bild 2.5 Zentrales Kräftesystem

Gegeben ist das zentrale Kräftesystem im Lageplan in *Bild 2.5*. Die Größe der Kräfte (Betrag) ist dabei nicht

Sachwortverzeichnis

- A**
 Abbauprinzip 124
 Absolutpol 131
 Abzählkriterium 122
 Aktionskräfte 36
 Aufbauprinzip 125
 Auflager 34
 Auflagerkräfte 35
 Auflagersymbole 34
 Äußere Kräfte 13
 Axiome 13
- B**
 Balken 35
 Bewegungsmöglichkeiten 34
 Bezugslinie 43
 Bezugspunkt 35
 Biegemoment 44
- C**
 Cremonaplan 100, 104
- D**
 Determinante 128
 Differenzialgleichung 47
 Doppelgröße 43
 Drehmoment 27
 Drehrichtung 27
 Drehsinn 27
 Drehwinkel 131
 Dreigelenkbogen 77, 84
 Dreigelenkrahmen 78
 Dreigelenktragwerke 77
 Dreiwertiges Lager 35
 Dynamik 28, 30, 32
 Dynamik der Streckenlast 38
 Dynamik 11
- E**
 Ebenes Kräftesystem 13
 Eingeprägte Kräfte 13
 Einspannung 35
 Einwertige Lager 34
 Einzelkraft 12
 Ersatzbalken 105
- F**
 Firstgelenk 77
 Flächenkraft 12, 13
 Flächentragwerke 41
 Freiheitsgrad 130, 132
 Freiheitsgrade 34
- Fußgelenk 77
- G**
 Geknickter Träger 67
 Gekrümmte Stabachse 70
 Gekrümmte Stabachse 70
 Gelenkdreieck 72
 Gelenkkette 26
 Gelenkkräfte 72, 78
 Gelenkträger 73
 Gemischte Systeme 106
 Gerberträger 73
 Gestrichelte Linie 43
 Gewichtskraft 12
 Gleichgewicht 32
 Gleichgewichtsbedingungen 32
 Gravitation 12
- H**
 Hauptpol 131
- I**
 Innere Kräfte 13
 Innerlich statisch unbestimmt 64
- K**
 Kämpfergelenk 77
 Kinematik 130
 Kinematische Kette 131
 Kinematische Unverschieblichkeit 125
 Kinetik 11
 Klaffung 88
 Knick 88
 Koeffizientenmatrix 128
 Koordinatensystem 33
 Kraft 11
 Krafteck 19, 24
 Kräftegleichgewichtsbedingung 32
 Kräftepaar 27
 Kräftesystem 13
 Kraftvektor 12
 Kragarm 62
 Kreuzprodukt 29
- L**
 Lagerausbildungen 34
 Lagerkräfte 34
 Lagrange'sche Befreiung 142
 Linienkraft 12
 Lokales Koordinatensystem 43
- M**
 Mechanik 11, 13
 Mittelbare Lasteinleitung 166
 Moment 27
 Moment einer Einzelkraft 28
 Momentanpol 131
 Momentengleichgewichtsbedingung 32
 Momentenlinie 46
 Momentensatz 29, 30
 Momentenvektor 29, 30
- N**
 Nebenpol 132
 Newton 12
 Newtons Grundgesetz der Mechanik 13
 Normalenvektor 44
 Normalkraft 43
 Normalkraftgelenk 88
 Nullstäbe 102
- P**
 Pendelstab 34, 37
 Platte 41
 Pol 25
 Polplan 25, 133
 Polplansätze 133
 Polstrahl 131
 Polstrahlen 25
- Q**
 Querkraft 43, 54
 Querkraftgelenk 88
- R**
 Räumliches Kräftesystem 13
 Reaktionskräfte 13, 36
 Reduktion 24, 29, 38
 Reduktionspunkt 30
 Relativpol 132
 Resultierendes Moment 38
 Richtungssinn 12
 Riegel 77
 Ritterschnitt 104
 Rollenlager 34
 Rotation 130
- S**
 Schale 41
 Scheibe 41, 72
 Scheitelgelenk 77
 Schlusslinie 36

Schnittgröße 42, 44
Schnittgrößenermittlung 41
Schnittgrößenvorzeichen 44
Schnittmoment 44
Schnittprinzip 14, 35, 41
Schnittufer 44
Schwerkraft 13
Seileck 25, 26
Seilpolygon 26
Seilstrahlen 25
Spreizung 88
Stabachse 43
Stäbe 41
Stabfaser 44
Stabkräfte 37
Stabkrümmung 44
Stabpolygon 26
Starrer Körper 34
Statisch äquivalent 28
Statische Bestimmtheit 41, 122

Statische Unbestimmtheit 122
Statische Unterbestimmtheit 122
Statisches Moment 27
Stiel 77
Streckenlastfunktion 38
Stützkräfte 35, 37
Stützlinie 26, 89
Systemaufbau 122

T

Torsion 150
Torsionsmoment 150
Trägheitsaxiom 13
Transformation der Kräfte 71
Translation 130

U

Unverschieblichkeit 136

V

Vektoreigenschaft des
Momentes 29
Versatzmoment 28
Verschiebliche Einspannung 34
Verzweigte Systeme 64, 166
Volumenkraft 12, 13
Vorzeichen der Schnittgrößen 43

W

Wanderlast 161
Wertigkeit eines Auflagers 34
Wirkungslinie 14, 24, 27, 29, 30

Z

Zentralachse 24, 30
Zugband 77
Zustandslinien 45, 46
Zweiwertige Lager 34
Zwischenreaktionen 72, 78, 123