

Mithilfe der Statik die Welt beschreiben



In diesem Kapitel ...

- ▶ Statik und verwandte Gebiete
- ▶ Einführung von Vektoren
- ▶ Körper freischneiden
- ▶ Anwendungen der Statik

Die Statik ist ein Teilgebiet der Physik, das insbesondere in den Ingenieur- und Naturwissenschaften seine Anwendung findet. Während die Physik im Allgemeinen die Welt um uns herum und die darin ablaufenden Vorgänge beschreibt, vom Rauschen der Blätter eines Baumes bis hin zur Reflektion von Licht in einem Teich, ist die Statik viel spezieller.

Die Statik ist Bestandteil der meisten Physikkurse. Wenn Sie in der Oberstufe Physik gehabt haben oder an der Universität eine Physikvorlesung besucht haben, ist es wahrscheinlich, dass Ihnen Teile des Inhalts dieses Buches zumindest vage bekannt vorkommen. Die Newton'schen Gesetze beispielsweise, die am Anfang vieler Physikkurse stehen, sind Grundlage sowohl der Statik als auch der Dynamik.

Physikvorlesungen und -kurse decken üblicherweise eine Vielzahl von Themen ab, aus dem einfachen Grund, dass die Physik viele Anwendungsbereiche hat. Der Inhalt einer Statikvorlesung ist üblicherweise weit mehr eingegrenzt (was nicht von vornherein bedeutet, dass die Statik einfacher ist). Wer auch immer gesagt hat, dass der Teufel im Detail steckt, könnte dabei an die Statik gedacht haben.

Bevor Sie sich jetzt aber verrückt machen, dieses Buch schließen und sich zu fragen beginnen, ob Ihre Entscheidung richtig war, sich mit Statik zu beschäftigen: Seien Sie beruhigt. Wenn ich Ihnen sage, dass die Statik nicht immer einfach ist, so heißt das nicht, dass sie immer schwierig ist. Vor allen Dingen: Wenn Sie einige grundlegende Verfahren, Ideen und Theorien verinnerlicht haben, werden Sie feststellen, dass die Statik eigentlich unkompliziert ist.

Aber nun zu den Details.

Die Themen der Mechanik

Um die Welt um uns herum verstehen zu können, benötigt man Kenntnisse in vielen Bereichen der Physik, darunter auch in der Mechanik. Der Mathematiker Archimedes von Syrakus (287–212 v. Chr.) war wohl der erste Mensch, der systematisch das Verhalten von Körpern mithilfe der Mechanik untersucht hat. Ihm wird der Ausspruch »Gib mir einen Punkt, auf dem ich stehen kann, und ich werde dir die Welt aus den Angeln heben« zugeschrieben. Zu

jenem Zeitpunkt mag dieser Satz großsprecherisch geklungen haben, aber im Prinzip beschreibt er die Rolle der Mechanik (und speziell auch der Statik) sehr zutreffend.

Die *Mechanik* ist eines der Kerngebiete der Physik. Sie beruht auf den Ideen von Sir Isaac Newton und seinen Bewegungsgesetzen. In vielen Fällen werden Mechanikkurse und -vorlesungen für Naturwissenschaftler und Ingenieure zusätzlich zu den üblichen Physikvorlesungen angeboten. In diesen Vorlesungen/Kursen werden die Grundlagen für eine Reihe von Ingenieurwissenschaften gelegt; sie sind üblicherweise nicht auf bestimmte Fächer begrenzt. Die einzelnen Ingenieurwissenschaften erfordern natürlich zusätzliche Vorlesungen, in denen weitere, häufig fortgeschrittene Themen behandelt werden.

Eines dieser Grundlagenthemen ist die Statik. Sie hat nichts mit der Statik zu tun, die zu den elektrischen Schlägen führt, die Sie manchmal austeilen, wenn Sie über einen Teppich gegangen sind, oder die unter manchen Umständen Ihre Haare zu Berge stehen lässt. Die Statik, um die es in diesem Buch geht, untersucht mithilfe der Mechanik das physikalische Verhalten von Körpern, die in Ruhe verbleiben, auch wenn sie *Belastungen* ausgesetzt sind. Was Belastungen sind, wird später in diesem Kapitel erläutert. Das Verhalten eines Balkens in Ihrem Fußboden, wenn Sie mitten in Ihrem Wohnzimmer stehen, ist ein gutes Beispiel für die Anwendung der Statik.

Die *Dynamik*, auf der anderen Seite, beschäftigt sich mit der Bewegung von Körpern. Wenn Sie durch Ihren Flur gehen, sind Ihr Verhalten und seine Wirkung auf Ihr Haus ein Thema der Dynamik. Das Fahren eines Autos auf einer holprigen Straße, das Fließen von Wasser in einem Bach sowie die Bewegung der kleinen Metallkugeln, die an einem Faden hängen und Sie mit ihrem »Klack! Klack! Klack!« entweder quälen oder hypnotisieren, wenn sie gegeneinander stoßen: Sie alle sind Beispiele von dynamischem Verhalten.

Schließlich gibt es noch die *Kontinuumsmechanik* oder *Festigkeitslehre*, die ebenfalls zur Mechanik zählt. Sie beschäftigt sich mit dem Verhalten von Körpern unter Belastung. Sie verwendet Prinzipien sowohl der Statik als auch der Dynamik.

Mit Vektoren arbeiten

Zu den wichtigsten Werkzeugen, die man braucht, wenn man sich mit der Statik beschäftigen will, gehören Vektoren, die in Teil II dieses Buches ausführlich vorgestellt werden. In der »Statik-Küche« stellen Vektoren so etwas wie Grundnahrungsmittel dar, so wie etwa Reis oder Kartoffeln. Die Statik bildet andererseits die Grundlage für ein vollständiges Menü der Ingenieurwissenschaften. Vektoren gibt es in verschiedenen Formen und sie können für verschiedene Zwecke angewendet werden, wie in den Kapiteln 4 und 5 dargestellt wird.

Aber das ist nicht alles. Es gibt verschiedene Methoden, mathematisch mit Vektoren zu arbeiten. Dazu gehört auch das Aufstellen von Vektorgleichungen (Kapitel 6–8).

Arten von Vektoren

Eine ganz wichtige Art von Vektoren, mit denen Sie vertraut werden müssen, sind *Ortsvektoren*. Sie zeigen, wie man von einem Punkt zum anderen kommt. Mit Ortsvektoren ist es einfach, Richtungen anzugeben, Entfernungen zu messen oder auch neue Vektoren zu erzeugen. Dies ist das Thema von Kapitel 5.

Die für dieses Buch wichtigsten Vektoren beschreiben Belastungen oder Kräfte (siehe den nächsten Abschnitt). Kräfte treten beispielsweise auf, wenn Sie in Ihrem Badezimmer auf die Waage treten und dabei daran erinnert werden, dass Sie gestern Abend besser noch etwas trainiert hätten, anstatt noch ein zweites Stück Käsekuchen zu essen. Je höher die Angabe, desto größer ist die Kraft, die Sie auf die Waage ausüben. Kräfte gehören zu den wichtigsten Größen, die in der Statik einen Körper beeinflussen können.

Die Aufgaben von Vektoren

Zu den wichtigsten Aufgaben von Vektoren gehört es, Richtungen festzulegen. Kräfte wirken entlang gerader Linien, aber nicht unbedingt auf einen bestimmten Punkt. Durch Erzeugung von *Einheitsvektoren* (das sind spezielle Vektoren mit einer bestimmten Länge) kann man die Richtung solcher Linien angeben, ohne die genauen Koordinaten oder die Position zu kennen. Auch die Einheitsvektoren werden in Kapitel 5 eingeführt.



Mithilfe von Vektoren kann man auch Drehbewegungen eines Körpers beschreiben, wie in Kapitel 9 erläutert wird.

Man kann mehrere Vektoren zu einem resultierenden Vektor vereinigen, was äußerst hilfreich ist, wenn man es mit mehreren Kräften zu tun hat. Auf der anderen Seite kann man Vektoren auch in Komponenten zerlegen und deren Größe berechnen. Auf diese Weise kann man etwa feststellen, wie groß ein Stuhl sein muss, um ein bestimmtes Gewicht zu tragen, inklusive der Stärke der Stuhlbeine, und sogar wie viele Beine notwendig sind. Für dreidimensionale Statikaufgaben ist die Verwendung von Vektoren unabdingbar. In den Kapiteln 7 und 8 werden die Kombination und die Zerlegung von Vektoren behandelt.

Größen in der Statik

In der Mechanik hat man es mit einer ganzen Reihe von Größen zu tun, die das Verhalten von Körpern beschreiben. Die Liste reicht von der Geschwindigkeit und dem Impuls in der Dynamik bis zu thermischen Effekten sowie Spannungen und Dehnungen in der Mechanik. Glücklicherweise ist diese Liste für die Statik relativ kurz.

- ✓ **Kräfte:** *Kräfte* sind Belastungen, die zu einer Translationsbewegung eines Körpers in Richtung der Kraft führen. Kräfte können auf einen Punkt wirken oder verteilt sein, aber sie bewirken immer, dass ein Körper sich zu bewegen versucht. Man kann Kräfte benutzen, um die Wirkung zweier Körper aufeinander zu beschreiben, wie etwa die Gewichtskraft eines Autos, wenn es über eine Brücke fährt, oder auch den Wasserdruck auf die Hülle eines Unterseebootes.
- ✓ **Drehmomente:** *Drehmomente* oder Momente sind Belastungen, die zur Rotation eines Körpers führen, aber keine Translationsbewegungen hervorrufen. Drehmomente werden üblicherweise durch Dreh- oder Rotationseffekte hervorgerufen, etwa durch den Exzenter eines Motors oder den Stoß eines Körpers mit einem anderen. Ein Beispiel ist ein Schraubenschlüssel, mit dem man eine Schraube dreht und sie dadurch festzieht. Drehmomente werden ausführlich in Kapitel 12 vorgestellt.

Eine der wichtigsten Aufgaben der Statik ist die genaue Beschreibung und Bestimmung der Kräfte und Drehmomente, die auf einen Körper wirken. Wenn ein Elefant auf Ihrem Lieblingsstuhl in Ihrem Wohnzimmer sitzt, ist es natürlich einfach, das Ergebnis dieser Kraftwirkung zu beschreiben: Sie haben einen zerstörten Stuhl und müssen morgen ein Möbelgeschäft aufsuchen. Die meisten Leute fragen sich natürlich: Wie kommt ein Elefant in Ihr Wohnzimmer? Aber der Statiker in Ihnen ist mehr daran interessiert, den Effekt der Masse des Elefanten zu untersuchen und zu bestimmen, welche Kräfte auf den Stuhl, die Beine des Stuhls und schließlich auf den Fußboden übertragen worden sind. Genau hier beginnt Ihre Arbeit als Statiker. (Keine Angst, dazu brauchen Sie weder Kenntnisse in Zoologie noch in Elefanten-Anatomie.)

Da Kräfte und Drehmomente eine so große Rolle in der Statik spielen, ist es erforderlich, sie für alle möglichen Fälle berechnen zu können. In Teil III wird dargestellt, wie man Kräfte und Drehmomente in zwei- und dreidimensionalen Situationen bestimmt. Üblicherweise unterscheidet man in der Statik drei Arten von Belastungen:

- ✓ **Punktkräfte:** *Punktkräfte* sind Kräfte, die auf einen Punkt wirken. Sie treten beispielsweise auf, wenn Sie einen Ball gegen eine Wand werfen oder mit Ihren Schuhen durch Ihre Gewichtskraft den Fußboden belasten. Mehr über Punktkräfte finden Sie in Kapitel 9.
- ✓ **Verteilte Kräfte:** *Verteilte Kräfte* sind Kräfte, die etwa auf eine ausgedehnte Fläche wirken. Dies trifft auf eine Vielzahl von Kräften zu. Das Gewicht von Schnee auf dem Dach Ihres Hauses oder der Druck des Erdbodens auf die Wände Ihres Kellers sind verteilte Kräfte. In Kapitel 10 wird gezeigt, wie man den kombinierten Effekt (oder die *resultierende Kraft*) berechnet, während in Kapitel 11 der Frage nachgegangen wird, wie man den Angriffspunkt dieser Resultierenden bestimmt.
- ✓ **Verteilte Momente:** *Verteilte Momente* sind Belastungen, die einen Körper zu Drehbewegungen verleiten. Wenn Sie mit Ihrer Hand einen Türknopf drehen oder mit einem Schraubenschlüssel eine Mutter anziehen, handelt es sich um Drehbewegungen, die durch Drehmomente hervorgerufen werden. Drehmomente und ihre Erzeugung werden in Kapitel 12 ausführlich erläutert.

Den Dingen auf den Grund gehen: Das Freischneiden von Körpern

Das *Freischneiden von Körpern* (das Erstellen von sogenannten *Freikörperbildern*) ist der Startpunkt jeder statischen Analyse; mit seiner Hilfe kann man die dazu erforderlichen Gleichungen einfach entwickeln. Wenn man einen Körper nicht richtig und vollständig freischneidet, ist es unmöglich, eine Statikaufgabe richtig zu lösen.

Je mehr Sie das Freischneiden von Körpern üben, desto geschickter werden Sie darin werden. Beim Freischneiden von Körpern muss man eine Vielzahl von Aspekten beachten, unter anderem die Dimensionen, die Gewichtskraft, Stützkkräfte sowie all die Arten von Kräften, die in Teil III vorgestellt werden. (In Kapitel 13 finden Sie eine Liste der Punkte, die Sie berücksichtigen müssen.) Man kann größere Systeme in kleine Teilaufgaben zerlegen; diese Vorgehensweise hat Vorteile, weil man in diesen kleinen Skizzen häufig Aspekte findet, die man in einer Gesamtdarstellung übersieht. Diese Themen werden in Kapitel 14 behandelt.

Wenn man Körper freischneidet, auf die mehrere Kräfte und Belastungen wirken, ist es sinnvoll, die dabei entstehenden Freikörperbilder zu vereinfachen. In Kapitel 15 werden dazu mehrere Methoden vorgestellt.

Das Prinzip des Gleichgewichts

Die von Isaac Newton (1642–1727) aufgestellten Gesetze der Bewegung und die Gravitation, die in Kapitel 16 vorgestellt werden, gelten auch heute noch. Das *Gleichgewicht* ist ein Spezialfall dieser Gesetze, bei dem die auf einen Körper wirkende Beschleunigung gleich null ist. Dieser Körper ist daher in einer stabilen (ausbalancierten) Lage. Wenn Sie sich in ihrem Stuhl zurücklehnen, sodass er nur noch auf zwei Beinen steht, werden Sie bemerken, dass es einen Punkt gibt, an dem Sie gerade noch das Gleichgewicht halten (Sie sollten das nicht wirklich versuchen). Wenn Sie sich dann ein bisschen nach vorn beugen, beginnt der Stuhl vorwärts zu rucken, bis er schließlich auf beiden Vorderfüßen steht. Diese einfache Bewegung zeigt, dass das Gleichgewicht nicht aufrecht erhalten wurde. Wenn Sie sich allerdings zu weit zurücklehnen, beginnt der Stuhl zu kippen; wenn sie sich nicht irgendwie abfangen, finden Sie sich auf dem Fußboden wieder. Das hat auch eine gute Seite: Während Sie auf dem Boden liegen und Sterne zählen, sind Sie zumindest in einem neuen Gleichgewichtszustand.

Man kann die Statik im Falle von zweidimensionalen Problemen auf drei grundlegende Gleichungen für das Gleichgewicht reduzieren. Im Fall dreidimensionaler Aufgaben sind es sechs, allerdings sehr ähnliche Gleichungen. Dennoch kann man mithilfe dieser Beziehungen eine Vielzahl von Aufgabenstellungen lösen. In den Kapiteln 17 und 18 finden Sie alles über das Gleichgewicht in zwei bzw. drei Dimensionen.

Anwendungen der Statik

Nachdem Sie nun alles über Belastungen, das Freischneiden von Körpern, das Gleichgewicht und weitere Aspekte der Statik erfahren haben, ist es naheliegend, im nächsten Schritt dieses Wissen in praktischen Anwendungen zu erproben.

In der angewandten Statik werden all die trockenen Grundlagen, die Sie sich bislang angeeignet haben, lebendig und auf die Realität bezogen. Man kann die Prinzipien der Statik für eine Vielzahl von Anwendungen benutzen; zu den wichtigsten gehören unter anderem die Folgenden:

- ✓ **Fachwerke:** *Fachwerke* bestehen aus einer Reihe einfacher Körper, die zu einem Gesamtsystem verbunden sind. Sie werden üblicherweise in Dachkonstruktionen verwendet, aber auch in Brücken, die sich über große Entfernungen spannen. In Kapitel 19 wird die Wirkungsweise von Fachwerken erläutert und gezeigt, wie man mithilfe des *Knotenpunktverfahrens* und des *Schnittverfahrens* die Kräfte innerhalb eines Fachwerks untersuchen kann.
- ✓ **Balken und Biegebalken:** In den meisten Fällen erfahren die Körper, mit denen man es in der Statik zu tun hat, innere Axialkräfte, innere Querkräfte und innere Drehmomente. Sie werden in Kapitel 20 eingeführt. Auf der Kenntnis dieser Kräfte beruht die Auslegung der tragenden Elemente in einem Bauwerk. Die Kräfte führen manchmal zum

Durchbiegen von Balken, sodass sie nicht länger parallel sind. Diese Balken werden *Biegebalken* genannt. In Kapitel 20 wird gezeigt, wie man Querkraft- und Drehmoment-Diagramme erstellt, um diese Vorgänge zu beschreiben.

- ✓ **Rahmen und komplexe Tragwerke:** *Rahmen* und *komplexe Tragwerke* ähneln auf der einen Seite den Fachwerken, zeigen aber auf der anderen Seite auch ein Verhalten wie Balken und Biegebalken. Wenn man genau hinschaut, stellen viele Alltagsobjekte und Werkzeuge entweder einen Rahmen oder ein komplexes Tragwerk dar. Einfache Werkzeuge wie Klammern, Zangen oder Rollen sind Beispiele einfacher komplexer Tragwerke. *Rahmen* sind allgemeinere Balkensysteme, die beim Bau größerer Strukturen eingesetzt werden. Die diesen Elementen zugrunde liegende Statik wird in Kapitel 21 erörtert.
- ✓ **Seilkonstruktionen:** *Seilkonstruktionen* stellen eine einzigartige Bauweise dar, die unter anderem die Grundlage solcher architektonischer Wunderwerke wie *Hängebrücken* bildet. In Kapitel 22 werden die grundlegenden Voraussetzungen von Seilkonstruktionen vorgestellt, zusammen mit den Methoden, die zur Lösung statischer Probleme im Zusammenhang mit dieser Konstruktionsweise erforderlich sind.
- ✓ **Oberflächen unter Wasser:** *Oberflächen unter Wasser* wie etwa Dämme erfahren einen hydrostatischen Druck. Darüber hinaus spielt auch noch das Eigengewicht des Wassers eine große Rolle. Beide Aspekte werden in Kapitel 23 dargestellt.

Eine Diskussion der Statik wäre nicht vollständig ohne eine Betrachtung der *Reibung*, dem Widerstand, den ein Körper erfährt, wenn er sich in Kontakt mit einem anderen Körper bewegt. Die beiden wichtigsten Arten der Reibung sind die *Gleitreibung* (wenn ein Körper gegen eine Oberfläche gleitet) und die *Rollreibung* (wenn der Körper nicht gleitet, sondern rollt, was nichts anderes als eine ständige Kippbewegung ist). Diese Reibungskräfte bewirken eine ganze Reihe wichtiger Effekte; es ist notwendig, sie sowohl beim Freischneiden von Körpern als auch bei der Aufstellung der Gleichgewichtsbedingungen zu berücksichtigen. Die Reibung wird ausführlich in Kapitel 24 beschrieben.