

ELEMENTE DER NATURWISSENSCHAFT

Zeitschrift

herausgegeben von der Naturwissenschaftlichen Sektion am Goetheanum, Dornach

Zum Erscheinen der Qualitäten Zug und Druck in der Mechanik

Georg Maier

Der Unterschied zwischen Ziehen und Drücken ist uns vom Erleben eigener aktiver Kraftanstrengung bekannt. Ziehen wir mit den Händen an einem Seil, etwa um einen schweren Wagen zu bewegen, kann es uns auch bewusst werden, wie zugleich unsere Füße gegen ein geeignetes Widerlager gestemmt werden müssen. In der Absicht, eine Zugwirkung auszuüben, stellen wir so einen gespannten Zustand her, in dem zugleich Zug- und Druckkräfte räumlich getrennt auftreten. Im folgenden wird versucht, unterschiedliche Qualitäten von Zug und Druck aufzuzeigen, die diesen gespannten Zustand als polarisierten Zustand erkennen lassen.

Inwiefern kann uns die Physik bei der Suche nach solchen Qualitäten zu Hilfe kommen? In seiner Geschichte der Quantentheorie weist *F. Hund* auf die Abkehr vom Augenschein als Grund für die Erfolge der Physik. Als erste Stufe dieser Abkehr nennt er das Konzept der *Punktmechanik*. Unter Einbeziehung des Vektors der Trägheitskraft (Masse · Beschleunigung) ist im Massenpunkt die Summe der Kraftvektoren gleich Null. Die Summe der äusseren Kraftvektoren kann sich für die Beobachtung nur in der Beschleunigung selbst bemerkbar machen. Tatsächlich ist auch der Begriff der äusseren Kraft in der Punktmechanik entbehrlich, da diese Kraft nur als räumliche Ableitung des Potentials auftritt.

In der *Elastomechanik* ist eine infinitesimale Ausdehnung der Körper zugelassen. Kräfte, die sich für die Dynamik des Schwerpunkts aufheben, führen hier immerhin zu einer räumlichen Kompression oder Dilatation des festen Körpers, beschrieben als Spannungszustand. Während die resultierende äussere Kraft der Punktmechanik neben ihrem Betrag nur eine Richtung besitzt, ist hier schon eine qualitative Unterscheidung zwischen Zug- und Druckspannung möglich. Allerdings ist dieser Unterschied im Bereich der elastischen Verformung nur durch das Vorzeichen der Längenänderung gegeben.

In der *technischen Mechanik* ist ein noch geringerer Grad der Abkehr vom Augenschein erreicht. Eine statische Betrachtung muss das Verhalten von Bauformen aus unterschiedlichen Werkstoffen unter äusserer Belastung beschreiben. Hier wird eine über das Vorzeichen der Spannung im Volumenelement hinausgehende Unterscheidung von Zug und Druck möglich.

Aus der Erfahrung kennt man das flexible Seil mit einem gegenüber seiner Länge geringen Durchmesser als geeignetes Mittel zur Übertragung von Zugkräften. Unter Belastung nimmt es die Richtung der angelegten Zugkraft an. Für diese Aufgabe eignen sich auch Ketten oder lange Stäbe. Der Zug in einem Seil kann als Sinnbild für einen Kraftvektor genommen werden.

Die Demonstration der vektoriellen Addition von Kräften geschieht so stets an einer Anzahl von Seilen, die auf Zug belastet sind und die in einem Punkt verknüpft werden. Zwei Seile, die von einem «Punkt» ausgehen (das bedeutet ein Knoten in einem Seil), streben in eine Gerade, drei Seile spannen eine Ebene auf. Eine Umkehrung der Krafrichtung auf Druck ist beim Seil nicht möglich. Es legt sich dann in Windungen oder hängt durch, ohne Kräfte zu übertragen.

Nun kann man versuchen, die vektorielle Addition von Druckkräften, statt mit Seilen, mit Stäben (etwa Bleistiften) vorzuführen. Man stelle sich die dem Zugversuch am Seil entsprechende Anordnung vor: Zwei Stäbe, die in einer gemeinsamen Ausgangsgeraden liegen, berühren sich innen gegenseitig. Nun werden sie von ihren äusseren freien Enden her aufeinandergedrückt. Eine derartige Anordnung ist nicht stabil. Der Berührungspunkt wird nun in die zur Ausgangsgeraden senkrechte Ebene ausweichen. Diese Ebene enthält die möglichen Richtungen des Ausbrechens. Welche Richtung in dieser tatsächlich eingeschlagen wird, hängt vom «Zufall» ab. Ebenso verlässt eine Anordnung von drei Stäben, deren Richtungen der geplanten vektoriellen Addition Genüge leisten, die ursprünglich gemeinsame Ebene. Erst eine geeignete räumliche Anordnung von vier Stäben führt zu einem stabilen Gebilde.

Wird ein langer Stab auf Druck belastet, so biegt er sich aus der Geraden heraus. Je nachdem, wie er dabei eingespannt wurde, nimmt er bei genügender Belastung verschiedenerlei geschlängelte Formen an (*Eulersche Knickbedingungen*). Die Biegung ist aber keine reine Druckbelastung. Weitere interessante Instabilitäten findet man bei Druck innerhalb dünner Schalen. So falten sich Rohre zu regelmässigen Mustern, wenn sie um die Achsenrichtung auf Druck belastet werden (*J. W. Geckeler*). Ein Rohr, das für einen bestimmten hydrostatischen Innendruck eine geeignete Wandstärke hat, wird bei dem gleichen Aussendruck sich irgendwo einbeulen und dann in sich zusammenbrechen (vgl. die Dimensionierung grosser Vakuumbehälter).

Die hier angedeuteten Instabilitäten fordern für Zug- oder Druckbelastung die Anwendung verschiedenartig geformter Bauelemente. Als anschauliches Beispiel sei hier die Verbindung von Eisenbahnwagen genannt. Zur Übertragung von Zugkräften dient die gelenkig ausgebildete Kupplung, die stets die Zugrichtung einnehmen kann. Dagegen dienen zur Übertragung von Druckkräften die Puffer, die in einer möglichst zur Druckrichtung senkrechten Fläche aufeinanderstossen. Im belasteten Zustand muss für eine weitere Verbindung der Flächen nicht gesorgt werden.

Wir sind nun in der Lage, die für eine Zug- oder Druckbelastung typische Situation zu schildern: Wachsende Zugbeanspruchung führt zur Annäherung der Saite an die Linie. Es tritt eine einschnürende Tendenz auf, die schliesslich zum Riss führen wird. Dank der Verformbarkeit realer Materialien müssen zwei Gegenstände, die gegeneinander gedrückt werden sollen, zunächst nicht vollständig in der zur Druckrichtung senkrechten Ebene aufeinander aufliegen. Die gemeinsame Berührungsfläche vergrössert sich von selbst bei zunehmender Druckkraft-Übertragung.

Die Hinwendung zum Augenschein belohnt uns durch das Erscheinen der Qualitäten des in die Linie strebenden Zuges und des in die Fläche sich ausbreitenden Druckes.

Bei Zug schnürt sich das Material gezielt in die Linie ein, bei Druck breitet es sich unbestimmt in die Fläche aus.

Diese für Zug und Druck charakteristischen Gebärden zeigen sich an alltäg-