

Nickel. Die Schlitze sind 150fach vergrößert, sie zeigen also Ausschnitte, die in Wirklichkeit nur Seitenlängen von weniger als $\frac{1}{3}$ mm haben. Man erkennt in beiden Fällen, daß harte Kristalle, die im Bilde hell erscheinen, in einer weichen Grundmasse eingebettet ruhen, ein Gefüge, das für Lagermetalle als vorteilhaft gilt: die harten Kristalle besitzen die nötige Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung, vermögen sich aber durch Eindrücken in die weichere Grundmasse den kleinen Verlagerungen des Wellenzapfens anzupassen. Ein Unterschied besteht darin, daß in Abb. 133 (links) die Kristalle kleine Abmessungen haben, in Abb. 134 (rechts) dagegen verhältnismäßig groß sind, was erfahrungsgemäß weniger günstig ist; dies rührt von falscher Behandlung — zu langsamer Abkühlung — her, bei der die Kristalle Zeit gehabt haben, zusammenzuwachsen.

Fehler in Werkstücken lassen sich auch dadurch ermitteln, daß man die Stücke mit Röntgenstrahlen durchleuchtet. Das Verfahren hat den Vorteil, daß man keine Proben aus dem Werkstück zu entnehmen braucht (zerstörungsfreie Werkstoffprüfung). Es hat z. B. für die Prüfung von Schweißnähten Bedeutung erlangt.

Aus allem geht hervor, daß die technische Wissenschaft die Stoffe, aus denen sie Maschinen und Bauwerke herstellt, heute nicht mehr als tot ansieht, sondern sie in allen ihren Lebensäußerungen verfolgt, wie der Naturforscher die Pflanze oder den Kristall. Man spricht sogar von einer „Ermüdung“ des Werkstoffes, wenn sein Arbeitsvermögen durch immer wiederkehrende Dehnungen, die über die zulässige Grenze hinausgingen, aufgebraucht und das Gefüge spröde geworden ist. Damit setzt sich die heutige Technik in entschiedenem Gegensatz zu der früheren handwerksmäßigen Behandlung der Baustoffe. Während dort die Erfahrung die einzige Grundlage bildete und ein Maschinenglied, wenn es einmal gebrochen war, bei den nächsten Ausführungen so viel stärker gemacht wurde, bis es schließlich hielt, sucht man heute die Gründe zu erforschen, die den Bruch herbeigeführt haben, obwohl das Stück nach der üblichen Berechnungsweise, die für andere, ähnliche Fälle richtige Abmessungen ergab, stark genug gewesen wäre, und kann dadurch weit sicherer späteren Fehlschlägen vorbeugen.

4. Ausbildung von Bauteilen vom Gesichtspunkte genügender Festigkeit aus.

Der Zweck und treibende Gedanke bei alledem ist vor allem das Bestreben, mit so wenig Werkstoff wie möglich auszukommen, indem man ihn bis an die äußerste Grenze seiner Leistungsfähigkeit ausnutzt. Eine Ausnutzung in diesem Sinne und in diesem Maße ist nur möglich, wenn einerseits die Eigenschaften des Stoffes, an-

derseits aber auch die Einflüsse, die auf den Bauteil wirken, genau bekannt sind.

Ein Bauteil wird in der Weise berechnet, daß man zunächst feststellt, welche äußeren Kräfte darauf wirken, und dann entscheidet, welcher Werkstoff benutzt werden und welche Abmessungen das Stück erhalten soll. Ein Beispiel hatten wir schon in dem Brückenstab nach Abb. 30, S. 16, dessen Belastung 82000 kg betrug und der eine Querschnittfläche von 106 cm^2 erhielt, so daß auf 1 cm^2 770 kg entfielen. Eine Beanspruchung des Werkstoffs in solcher Höhe ist aber nur zulässig, wenn es sich um eine ruhende Belastung handelt, d. h., wenn die Last ihre Größe angenähert unverändert beibehält, denn jetzt findet kein eigentliches Arbeiten und daher auch keine Ermüdung des Werkstoffes statt. In solchen Fällen, wo das Bauglied bald gezogen und bald gedrückt, oder bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gebogen wird, muß die Beanspruchung niedriger gehalten werden als bei ruhender Last.

An und für sich sind Teile, die nur gezogen oder gedrückt werden, leicht in bezug auf Festigkeit zu berechnen, denn es ist lediglich dafür zu sorgen, daß auf 1 cm^2 oder 1 mm^2 ihres Querschnittes nicht mehr als die erfahrungsgemäß zulässige Kraft entfällt. Große Überlegung erfordert aber oft die Auswahl des geeigneten Baustoffes. So kann z. B. für Drahtseile ein weiches, dehnbares Material oder ein sehr widerstandsfähiger, aber harter Stahl verwendet werden, der erst bei einer Belastung von 18000 kg/cm^2 bricht, während gewöhnlicher weicher Stahl nicht mehr als 4000 bis 5000 kg/cm^2 aushält. Man darf diesem hochwertigen Stahl große Belastung zumuten und erreicht dadurch den Vorteil, daß ein dünneres Seil genommen werden kann, das sich auf eine kleinere Trommel aufwickeln läßt und außerdem geringeres Gewicht hat. Indessen ist ein solches Seil teurer als ein anderes, da die Herstellung mehr Schwierigkeiten macht; auch kann für gewisse Verwendungszwecke die Sprödigkeit des Werkstoffes nachteilig sein, so daß das Seil im Betriebe eher zugrunde geht und ersetzt werden muß. Für die endgültige Wahl ist entscheidend, bei welcher Ausführungsart sich ein bestimmter angestrebter Zweck mit dem geringsten Kostenaufwand erreichen läßt.

Häufiger als reiner Zug oder Druck kommt in der Technik der Fall vor, daß die Bauteile auf Biegung in Anspruch genommen werden. Stellen wir uns vor, daß nach Abb. 135 ein Balkonträger, der in eine starke Wand eingemauert ist, 1 m von der Wand entfernt durch ein Gewicht von 2000 kg belastet wird. Dann sagt uns das natürliche Gefühl, daß der Träger an der Stelle, wo er aus der Mauer heraustritt, also bei a , abbrechen wird, wenn er nicht kräftig genug ausgeführt ist.

Für die Widerstandsfähigkeit dieses Balkens kommt es nun nicht allein darauf an, wie groß sein Querschnitt ist, mit anderen Worten, wieviel Werkstoff er enthält, sondern vor allen Dingen auch, wie dieser verteilt ist. Denken wir uns den Träger zunächst einmal als ein dünnes Brett. Wird das Brett flach gelegt, wie in Abb. 136, so wird es durch das Gewicht stark gebogen werden und viel leichter abbrechen, als wenn wir es hochkant stellen, wie in Abb. 137 skiz-

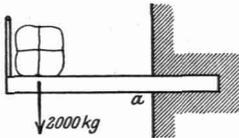


Abb. 135. Auf Biegung beanspruchter Balken (Balkenträger).

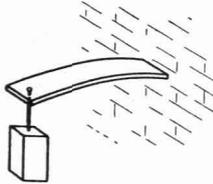


Abb. 136. Biegung eines flach gelegten Brettes.

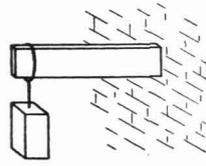


Abb. 137. Biegung eines hochkant gestellten Brettes.

ziert, obwohl in beiden Fällen genau die gleiche Menge Material aufgewendet ist.

Es wird von großer Wichtigkeit sein, zu erkennen, warum wir im zweiten Fall mit denselben Mitteln so viel mehr erreichen, also

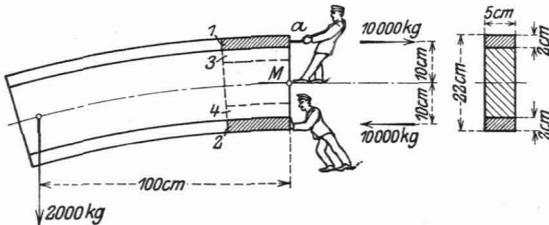


Abb. 138. Innere Kräfte bei Hochkantstellung des Trägers.

den Werkstoff so viel besser ausnutzen. Denn aus dieser Erkenntnis wird sich manches folgern lassen, was uns späterhin, bei anderen Konstruktionen, von großem Nutzen sein kann, wenn es sich darum handelt, einen bestimmten Zweck mit möglichst geringem Werkstoffaufwand zu erreichen.

Nehmen wir nach Abb. 138 an, der Träger hätte rechteckige Querschnittform, und untersuchen wir, um den Widerstand, den der Träger dem Abbrechen entgegengesetzt, also die Tragwirkung des Materials recht verstehen zu können, zunächst nur einmal das oberste und unterste Stück des Querschnittes, das in Abb. 138 stark schraffiert ist, während das übrige als nicht vorhanden gedacht werden möge. Durch die Belastung von 2000 kg wird ein Drehmoment ausgeübt: $2000 \text{ kg} \times 100 \text{ cm} = 200000 \text{ cmkg}$, und diesem Drehmoment

müssen, ebenso wie bei der Brücke in Abschnitt 1, S. 15, die inneren Kräfte in den Baugliedern das Gleichgewicht halten. Schneiden wir den Träger an der Stelle a durch, so könnte das Gleichgewicht hervorgebracht werden durch zwei Männer, von denen der eine am oberen Querschnittelement ziehen, der andere am unteren Element drücken muß. Wird Punkt M als Drehpunkt angesehen, und stellen wir uns vor, daß jeder Mann eine Kraft von 10 000 kg ausübt, so haben wir mit Bezug auf Punkt M zweimal ein Drehmoment $10\,000 \times 10$, zusammen also $2 \times 10\,000 \times 10 = 200\,000$ cmkg, die beiden Leute bringen also das Gleichgewicht mit der äußeren Belastung hervor.

Jetzt denken wir uns den Träger flach gelegt, wie in Abb. 139, und wieder oben und unten je ein Querschnittelement von 10 qcm Flächengröße herausgeschnitten. Es ist klar, daß es dann für die

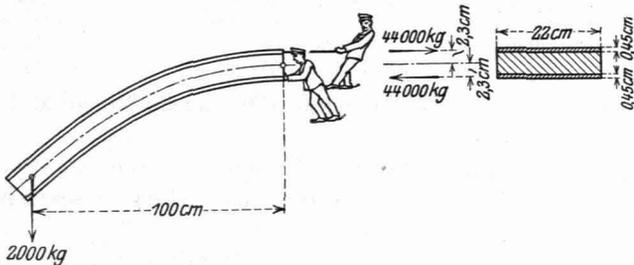


Abb. 139. Innere Kräfte bei flacher Lage des Trägers.

beiden Männer viel schwerer sein muß, Gleichgewicht zu halten, weil sie von dem Punkte M , um den sich der Träger dreht, nur $2,3\text{ cm}$ statt 10 cm entfernt sind, also nur noch einen kleinen Hebelarm haben. Das Drehmoment der Last ist, wie früher, $2000 \times 100 = 200\,000$ cmkg, und damit die beiden Leute dasselbe Drehmoment ausüben, müßten sie jeder $44\,000\text{ kg}$ statt früher $10\,000\text{ kg}$ halten. Diese Kräfte sind nun nichts anderes als die Belastungen der Querschnittflächen von 10 cm^2 Größe. Im ersten Falle kommen also auf 1 cm^2 $\frac{10\,000}{5 \times 2} = 1000\text{ kg}$, im zweiten Falle $\frac{44\,000}{22 \times 0,45} = 4400\text{ kg}$. Wie wir oben gesehen hatten, sind 1000 kg auf 1 cm^2 bei Stahl zulässig, die beiden Elemente könnten also, wenn der Träger hoch steht, die Last tragen; bei dem flachgelegten Träger geht dagegen die Beanspruchung weit über das zulässige Maß hinaus, obwohl dieselbe Menge Werkstoff aufgewandt war.

So viel ergibt sich schon aus dieser Überlegung, daß der Werkstoff viel besser ausgenutzt wird, wenn man dem Träger hohe Form gibt, also den Werkstoff recht weit von dem Punkt M , der die Drehachse für die inneren Widerstandskräfte bildet, entfernt legt. Wenn wir nun einmal den ganzen Rechteckquerschnitt in Abb. 139 an-

sehen, so zeigt sich, daß derjenige Werkstoff, der mehr nach innen liegt, jedenfalls schlechter ausgenutzt wird als der äußere, weil die Widerstandskräfte, die hier ausgeübt werden können, kleineren Hebelarm und daher geringeres Drehvermögen haben. Es kommt aber noch etwas anderes hinzu. Vergleichen wir einmal in Abb. 138, wo der Träger stark gebogen gezeichnet ist, die inneren Schichten 3 und 4 mit den äußeren 1 und 2. Es ist klar, daß die inneren Schichten weniger gedehnt oder zusammengedrückt werden als die äußeren. Daraus geht aber auch hervor, daß diese inneren Schichten weniger Kraft übertragen. Um das zu verstehen, müssen wir uns recht anschaulich vorstellen, was über die Natur des Werkstoffes gesagt ist. Jede Kraft, mit der an einem Stab gezogen wird, bringt eine Verlängerung, eine Dehnung hervor; ein nicht gedehnter Stab überträgt auch keine Kraft. Erst durch die Dehnung werden die inneren Spanningskräfte zwischen den kleinsten Teilchen des Stabes wachgerufen, und je stärker die Dehnung ist, um so größer werden diese Kräfte. Daraus folgt: die Kräfte, die in den Schichten 3 und 4 wirken, sind kleiner als die in den äußersten Elementen, außerdem aber haben sie noch einen kleineren Hebelarm; mit anderen Worten, diese inneren Teile werden aus zwei verschiedenen Gründen schlechter ausgenutzt als die äußeren. Noch schlimmer ist es mit dem Werkstoff, der ganz in der Nähe der Mittellinie des Stabes liegt, denn hier sind die Dehnungen und Verkürzungen überhaupt verschwindend klein.

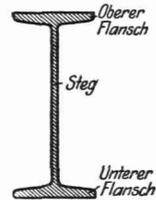


Abb. 140.
I-Träger.

Um den Werkstoff so gut als möglich auszunutzen, oder um so wenig Material wie möglich für einen bestimmten Zweck aufzuwenden, sollte man also den Trägerquerschnitt so gestalten, daß die Hauptmenge des Materials ganz außen, möglichst weit von der Mittellinie entfernt, untergebracht wird und innen nur so viel bleibt, wie erforderlich ist, um die beiden äußeren Materialschichten zusammenzuhalten. Daraus ergibt sich die bekannte Trägerform nach Abb. 140, die aus einem zweifachen lateinischen T entstanden gedacht werden kann und daher als Doppel-T-Träger (geschrieben I-Träger) bezeichnet wird. Die beiden „Flanschen“, die die eigentliche Arbeit tun, sind durch einen dünnen „Steg“ miteinander verbunden, der bei Inanspruchnahme auf Biegung nur verhindert, daß die Flanschen sich gegeneinander verschieben. Fehlen darf der Steg natürlich auch nicht. Wäre der Steg zu schwach und seiner Aufgabe nicht gewachsen, so würden die beiden Flanschen, statt daß der eine gedehnt und der andere zusammengedrückt wird, wie zwei einzelne flach liegende Stäbe wirken, die sehr wenig zu tragen vermögen.