

M E C H A N I K

**Physikalische Grundlagen
vom technischen Standpunkt**

Zweiter Teil

E L A S T I Z I T Ä T und F E S T I G K E I T

von

Dr Heinrich Blasius

Oberstudienrat an der Ingenieurschule zu Hamburg

**Dritte Auflage
unveränderter Abdruck
der zweiten neubearbeiteten Auflage
mit 196 Figuren und 84 Aufgaben**



1949

**BOYSEN + MAASCH VERLAG
HAMBURG**

VORWORT

Der vorliegende Band gibt ebenso wie meine Wärmelehre und meine Statik einen Lehrgang in Form einzelner lose aneinander gereihter Aufgaben, denen die Fragestellung entnommen wird, an denen die Verfahren entwickelt werden, fortschreitend vom Besonderen zum Allgemeinen. Ich beginne zB mit dem rechteckigen Balken, schlieÙe daran die Berechnung einfacher Biegemomente und gehe dann erst zum allgemeinen Querschnitt über, um die beiden Schwierigkeiten der Biegemomente und der Trägheitsmomente zu trennen. Ebenso habe ich die Untersuchung der Spannungen auf schiefen Schnitten da eingebaut, wo sich das Bedürfnis danach ergab, bei Biegung und Torsion. Mit solchen allgemeinen Betrachtungen soll man nicht beginnen. — So wird im GroÙen wie im Kleinen jede Theorie, jede Formel aus einer Aufgabe heraus entwickelt in scheinbar zwangloser Auswahl. So war es ja auch bei der historischen Entwicklung der Wissenschaft.

Es besteht aber bei dieser quasihistorischen Anordnung des Stoffes natürlich doch eine gewisse Stufenfolge der Aufgaben. Man muß ja die Voraussetzungen für die späteren Aufgaben schaffen, die Anregung zur Entwicklung derselben aber aus einfacheren Aufgaben gewinnen. Das Buch ist keine Aufgabensammlung, auch kein Handbuch zum Nachschlagen, sondern ein Lehrbuch in Form eines Systems von Beispielen. Die Grundaufgaben, die man nicht übergehen kann, lassen sich dabei alle zwanglos einordnen. Die meisten ändern Aufgaben lassen sich durch ähnliche von gleicher Schwierigkeit ersetzen. — Ich benutze im Unterricht das Buch in der Weise, daß ich den Lehrgang nur im Allgemeinen einhalte, im Einzelnen aber möglichst andere Aufgaben vortrage und die Aufgaben des Buches zur Lektüre empfehle. Die Erziehung des Studierenden zum Lesen wird ja leicht versäumt. Gerade dafür scheinen mir kurze Einzeldarstellungen geeignet zu sein.

Vollständigkeit erstrebe ich nicht. Ich will nicht für jeden Einzelfall die Formel ableiten, sondern an Einzelfällen zeigen, wie man Formeln macht. Ich will nicht Kenntnisse, sondern Erfahrung herstellen, und eine gewisse Gewandtheit in der Handhabung der Verfahren erzielen. Erfahrung gewinnt man nicht aus Theorie, sondern aus Einzelfällen. Erfahrung kann man dem Lernenden nicht durch Erzählen übermitteln. Man muß ihn Erfahrung machen lassen. Gewandtheit entsteht nicht durch Regeln, sondern durch Vormachen und Nachmachen; und zwar durch das Durchführen der Aufgabe bis zum letzten Zahlenergebnis. — Nach je etwa 30 Aufgaben ist eine Zusammenfassung eingeschaltet, um außer der Erfahrung die theoretische Übersicht über

das Erarbeitete zu gewinnen, aus den Bausteinen ein Ganzes zu machen. Das kann sinngemäß nur nachträglich geschehen. Vom Allgemeinen' auszugehen, ist dogmatisch.

Im Einzelnen habe ich mich bemüht, nicht bloß die Formeln abzuleiten und danach zu rechnen, sondern die Vorstellungen zu entwickeln, aus denen sie fließen, und zu zeigen, wie die Vorstellung durch die Formel zum Ausdruck kommt. Nur zu gern rechnet der Studierende nach fertigen Formeln und vergißt den „Beweis“. Gerade im Beweis abeij stecken ja die Vorstellungen von den wirkenden Kräften, die heuristischen Gedankengänge, die zur Lösung führten, und die Voraussetzungen, unter denen die Formel gilt. Gewiß ist die Formel notwendig, um nicht immer wieder von vorn anfangen zu müssen. Aber man muß doch jederzeit imstande sein, auf die Grundlagen zurückzugehen, muß jeden Einzelfall aus den Grundlagen heraus entwickeln können. Dann erst kann man von Verständnis reden. Ich habe deshalb überall die Grundlage der Festigkeitslehre, die Idee vom Gleichgewicht am Teilkörper, besonders betont. Auch der Kritik an der grundlegenden Annahme, dem Geradlinengesetz, habe ich oft Raum gegeben. Ist doch die elementare Festigkeitslehre im Grunde nur der Ausbau einer Näherungslösung der Randwertaufgabe. Und wenn man auch in der elementaren Festigkeitslehre nicht von dieser Auffassung ausgehen kann, so muß man doch zu ihr hin führen.

In den mathematischen Hilfsmitteln habe ich mich nach Möglichkeit beschränkt. Die Mathematik ist ein unentbehrliches Hilfsmittel, weil sie weiter reicht, als unsere Vorstellung. Aber eben darin liegt auch die Gefahr, daß sie die Vorstellung verschleiert, daß sie diese ersetzt, wo sie möglich ist. Das muß vermieden werden. Mechanik ist kein Tummelplatz für mathematische Methoden. Vielmehr muß jede Aufgabe mit Hilfsmitteln behandelt werden, die der Vorstellung so nahe wie möglich angepaßt sind. Will man höhere Methoden zeigen, so muß eine Aufgabe gestellt werden, wo sie wirklich nötig sind. Mechanik wird nicht durch Mathematik klar. Man muß im Gegenteil die Mathematik von ihrem Gegenstande her verstehen lernen. So werden Vorstellungen wie die der Krümmung an Hand der Biegeaufgaben, bei denen sie gebraucht werden, entwickelt. Andererseits fordere ich an mathematischer Ausbildung eine gewisse Gewandtheit im Aufstellen von Proportionen, im Gebrauch von Sinus und Cosinus, im Einsetzen und Umformen und in der Lösung einfachster Gleichungen. Auf die Deutung der in Proportionalitätsrechnungen vorkommenden Größen wie Spannungsanstieg, Widerstandsmoment, lege ich Wert. Im Zusammenhang damit auch auf das Rechnen mit Benennungen.

In der Fassung habe ich größte Kürze erstrebt. Ich wollte möglichst mannigfaltige Beispiele bieten, sie vollständig durchführen und doch das Buch nicht übermäßig anschwellen lassen. Ich wollte namentlich auch die Übersicht über den Gedankengang erhalten, die bei größerer Breite

leicht verloren geht. Es ist ein Unterschied zwischen Vortrag und Lehrbuch. Soviel wie man im Unterricht spricht, kann man doch nicht schreiben. Gerade zum Gebrauch neben dem Unterricht wird daher eine kurze Fassung dienlich sein. Zum Selbststudium aber werden doch nur Menschen gelangen, die ein Gefühl für die Sache in sich haben, bei denen es nur der Andeutung bedarf, um die Vorstellung zu erwecken. Auch diesen Selbstdenkern ist mit einer großen Breite nicht gedient, mit einem Aufwand an Worten, durch den sie sich nur durchwühlen müssen, um das Wesentliche zu finden. Andererseits darf auch nichts Wesentliches unausgesprochen bleiben; und manches wird zur Abrundung des Bildes erörtert werden, auch wenn es für den unmittelbaren Zweck nicht nötig ist. Insofern spreche ich manche Erläuterung der Formeln aus, die bei einer dogmatischen Darstellung fehlt.

So suche ich überall die Vorstellung und die Schluß weise scharf herauszuarbeiten. Darin liegt der Wert des Studiums der Mechanik auch für den, der nicht die Technik als Beruf erwählt, zB auch für den Schüler der allgemeinen Schulen. Hier kommt die Mechanik mE oft zu kurz. — Wie man vom Problem zur Lösung gelangt: über Versuche, Spekulationen, Analogien, wie man Berechnungsverfahren ausbaut: solche produktiven Gedankengänge durchzumachen, hat Bildungswert; nicht so sehr wegen des Ergebnisses, als wegen des Verfahrens. Es ist ein Ausschnitt aus einem Teil der menschlichen Kultur und zugleich eine Denkübung, die um so höher zu veranschlagen ist, als es sich hier nicht, wie zB bei den Sprachen* um konventionelle Ausdrucksformen handelt, sondern um eine Sache; wobei übrigens das Problem, den sprachlichen Ausdruck für die Sache zu finden, keineswegs fehlt. Der Unterricht in den exakten Wissenschaften ist die hohe Schule der Objektivität.

Aber ob Techniker oder Nichttechniker, — die Frage, die der Unterricht der Grundlagen zu beantworten hat, ist doch überall die gleiche: Jeder Studierende, indem er staunend die Gedankengänge erlebt, steht vor der Frage: Wie ist solche Naturerkenntnis möglich? Das ist die Kernfrage jedes Unterrichts. Auch der Techniker muß ein Bild von der Arbeit des Forschers haben. Wenn man mit dieser philosophischen Einstellung äußerste Gegenständlichkeit verbindet, so dient man beiden gleichermaßen.

Die **2. Auflage** ist Neubearbeitet: Zwar an der Darstellungsart ist grundsätzlich nichts geändert. Aber der Wortlaut des Textes ist vielfach neu gefaßt, die Beispiele vermehrt, die zerstörten Figuren neu gezeichnet, verbessert, vermehrt. Das Ziel ist bedeutend weiter hinausgeschoben. Die Berechnung unsymmetrischer Querschnitte ist ein besonderer Abschnitt geworden. Neu aufgenommen wurde die Berechnung von Steifrahmen, Ringen, Zweigelenkbogen, dickwandigen Gefäßen, Behältern, Platten, rechteckigen Wellen, Knicken von Rohren unter

äußerem Überdruck, Biegung und Knicken, überhaupt Durchbiegung bei gleichzeitigem Zug oder Druck und manches Andere.

Der Inhalt der Statik gilt als bekannt, nicht gerade jede Einzelheit, aber die Grundlagen. Festigkeitslehre ist Gleichgewicht am Teilkörper, setzt also Statik voraus. Der Berechnung der inneren Spannungen muß die Berechnung der äußeren Kräfte, zB der Lagerdrucke von Wellen, vorausgehen. Der erste Teil jeder größeren Aufgabe ist Statik, der zweite Festigkeitslehre. — Andererseits muß man in der Statik wissen, daß die Berechnung der Kräfte geschieht zwecks Bemessung der Querschnitte. Man braucht auch die Elastizitätslehre bei statisch unbestimmten Anordnungen mit Vorspannungen. Ich habe daher die Statik begonnen mit einem Abschnitt (II) über Festigkeit und Elastizität und diesen schon reichlich ausgestattet mit einfachen Aufgaben. Danach beschränkten wir uns auf die Entwicklung der Methoden zur Konstruktion und Berechnung der Stützkräfte, der Gleichgewichtsbedingungen, und nun beginnt hier die Berechnung der inneren Spannungen. Wenn ich hier trotzdem wieder mit „Zug, Druck, Schub“ beginne, so ist dies keine Einführung, keine Neudarstellung, sondern Rückblick und Ausgestaltung, namentlich um zu zeigen, daß schon die einfachsten Maschinenteile statisch unbestimmt sind.

Ich halte es für verkehrt, Festigkeitslehre parallel Statik zu unterrichten. Erst eine gründliche Kenntnis der Statik schafft Verständnis für die Betrachtung der Kräfte am Teilkörper. Die Berechnung der Fachwerke nach Ritter ist ein Vorbild für die Berechnung der Biegemomente. Auch die Berechnung und Deutung der Begriffe Trägheits- und Widerstandsmoment ist durchaus nicht einfach zu verstehen; nicht wegen der Integralrechnung, die dabei entbehrlich ist, — elementare Ableitung ist besser, auch Näherung genügt, — sondern weil die Bildung solcher Begriffe als Ausdruck für die Gesamtwirkung der Flächenteilchen eine gewisse Denkschulung voraussetzt. Oft hilft man sich, indem man zB $bh^2/6$ angibt, bh^2 läßt sich „erklären“, $1/6$ wird geglaubt. So etwas ist schädlich. Unkontrollierte Kenntnisse verbauen den Weg zum Verständnis der Zusammenhänge. Sinn des Unterrichts ist nicht, ein paar Formeln zu lehren, sondern Vorstellungen zu entwickeln. — Auch der Beginn des Unterrichts in Maschinenteilen sollte hinausgeschoben werden, bis Grundlagen aus Statik und Festigkeitslehre vorhanden sind. Er kann dann die verfügbare Zeit mit besserem Wirkungsgrad ausnutzen. Eine Mechanik, die nicht abstrakt, sondern an Hand praktischer Beispiele entwickelt wird, arbeitet dem Unterricht in Maschinenteilen auf beste vor.

In der **3. Auflage** sind nur einige Druckfehler verbessert.

Bergedorf, am 18 Mai 1933

Hamburg, am 13 Dezember 1948

H. Blasius.