

MECHANIK

**Physikalische Grundlagen
vom technischen Standpunkt**

Erster Teil

STATIK

von

Dr Heinrich Blasius

Dozent i R der Ingenieurschule in Hamburg

Sechste veränderte Auflage

mit 261 Bildern und 111 Aufgaben



1962

**BOYSEN & MAASCH VERLAG
HAMBURG**

VORWORT

Ich nenne meine Bücher „physikalische Grundlagen vom technischen Standpunkt“, weil es mir nicht in erster Linie auf die Darstellung der technischen Anwendungen, sondern auf die Darstellung der Grundlagen ankommt. Ich betrachte die Grundlagen aber auch wiederum nicht vom wissenschaftlichen Standpunkt, wo man bestrebt ist, alles aus einer Reihe notwendiger und hinreichender Prinzipien abzuleiten, um so ein auf möglichst wenig Stützen ruhendes Lehrgebäude zu errichten, sondern vom psychologischen Standpunkt, wo man dem forschenden und schaffenden Geist auf die Spur kommen und dadurch die Sache wirklich verstehen, sich in sie einfühlen will. Und dafür scheint mir die technische Fragestellung nicht nur eine brauchbare Anregung, sondern der gegebene Ausgangspunkt zu sein. Denn jede Wissenschaft entsteht aus dem Problem.

1. Drei Stufen hat das menschliche Erkenntnisvermögen: * Es nimmt die Eindrücke der Außenwelt auf, nimmt sie gedächtnismäßig zur Kenntnis.* Es arbeitet Verfahren zu ihrer Verwertung, Begriffe zu ihrer Beherrschung aus. * Es strebt nach Vollständigkeit, nach einem geordneten, übersichtlichen System.

„Lernen“, „Schaffen“, „Ordnen“ sind diese drei Tätigkeiten des Geistes. Er verhält sich „rezeptiv“, „produktiv“, „kritisch“.

Bei der Darstellung der technischen Physik wird man sich mit der ersten Stufe nicht begnügen, wird nicht nach fertigen Formeln rechnen lernen wollen. Man will studieren, nicht lernen. — Die dritte Stufe taugt nicht zur Einführung in die Wissenschaft, sie ist ihre Vollendung. Es ist ein Erbeil griechischer Philosophie und der Scholastik, wenn unser höherer Unterricht, auch manchmal der technische, Definition und Beweis anstatt der Fragestellung an die Spitze stellt.

In der Geschichte der Wissenschaft stehen die „Prinzipien“ nicht am Anfang. Der schaffende Geist arbeitet nicht systematisch, sondern induktiv. Er geht aus von einer Sonderaufgabe, bildet versuchsweise Rechenverfahren, nach Analogie, in Verallgemeinerung ähnlicher Fälle, und sichert diese Versuche, diese Ansätze durch Vergleich mit der Erfahrung, der Messung.

Indem er so von verschiedenen Anregungen ausgeht, findet er verschiedene Lösungsmöglichkeiten: durch Zeichnung, durch Rechnung; nach Kraftgleichgewicht, nach Arbeitssatz; Momente für verschiedene Achsen. Dadurch erst entsteht die Frage nach der Vereinbarkeit der verschiedenen Methoden, die kritische Frage. Hier erst ist die Stelle, wo der Beweis gefordert wird, die Ableitung jedes anderen Verfahrens aus einer möglichst kleinen, aber an sich willkürlichen Reihe experimentell erwiesener Grundsätze, Axiome zwecks Sicherung der Verfahren

Es handelt sich nicht darum, „alles zu beweisen“, sondern die Widerspruchslosigkeit der verschiedenen Verfahren sicherzustellen. Logik schafft nichts Neues, sie formt nur um.

2. Diesen natürlichen, historischen Weg suche ich nachzubilden. Ich stelle zuerst eine auch zahlenmäßig bestimmte Sonderaufgabe und entwickle daran und dafür die Methode. Ähnliche besondere Aufgaben schließen sich an. Die Lösungen werden verallgemeinert und verbessert, und man abstrahiert daraus leicht das Typische, was allen gemeinsam ist. Das Allgemeine versteht sich dann leicht von selbst.

Die Voranstellung der Aufgabe gibt der Entwicklung der Gedanken das Ziel. Man sieht den Erfolg. Man hat ein Urteil, wann die Entwicklung fertig ist. — Man darf eben über der Darstellung der Erkenntnisse nicht versäumen, erst einmal die Fragestellung klar zu machen. — Der Hörer will ja auch bei einer Ableitung nicht nur die Richtigkeit der Schlüsse, der Umformungen einsehen, sondern auch den Grund, „warum es so gemacht wird“, „wie man auf die Idee gekommen ist“. Das sieht man am besten am Sonderfall. Der Hörer verlangt nach der heuristischen Darstellung, die ihn die Lösung finden läßt, nicht nach der dogmatischen, die ihn nur belehrt.

Am Sonderfall bekommt man auch schon gleich bei der Entwicklung der Gedanken eine deutlichere Vorstellung vom Inhalt, vom Sinn der Sätze, als wenn man vom Allgemeinen, vom Abstrakten ausgeht und erst danach das Gelernte auf Beispiele anwendet. „Abstrahieren“ ist ein geistiger Vorgang, der voraussetzt, daß Einzelkenntnisse bereits vorhanden sind, von denen das Allgemeine „gelöst“ werden soll. Man muß also erst Einzelkenntnisse schaffen. Allerdings muß man sich dann auch wieder von ihnen lösen. — Es kommt auch bei der abstrakten Darstellung leicht dazu, daß der Beweis dem Hörer wieder entschwindet, und nur die Regel bleibt und schematisch angewendet wird. Damit fällt man zurück auf die erste Stufe, das rezeptive Lernen. Wird aber der Beweisgedanke am Sonderfall entwickelt, so wird er auch im Sonderfall immer wieder erschaut. — Man wird gewiß nicht in jedem einzelnen Anwendungsfall von vorn anfangen wollen, aber man muß jederzeit imstande sein, auf die Grundlagen zurückzugehen. Sonst steht man neuen, vom Gewohnten abweichenden Aufgaben ratlos gegenüber.

Auch die Begriffe werden erst am Sonderfall klar. Begriffe: Maßzahl, Einheit, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Trägheit, Masse, Moment, Arbeit, Reibungswinkel, Federkonstante fassen eine Summe von Erfahrungen zusammen und heben das Gemeinsame daran heraus. Der Lehrer, der Begriffe definiert, hat die Vorstellung der Fälle, auf die sie passen, im Unterbewußtsein. Der Hörer muß diese Vorstellung mit haben. Man muß ihm also zuerst Erfahrung vermitteln. Es handelt sich um die Darstellung der Begriffsbildung, nicht um die Begriffsdefinition. Wir fragen nicht nach dem Wesen der Dinge. Metaphysik treiben wir hier nicht. Begriffe sind der Ausdruck von Rechengewohn-

heiten, sind die Zahlgrößen, die in den Gleichungen Vorkommen, für die sie ja geschaffen sind. Es kommt weniger darauf an, die Definition zu formulieren, als mit den Begriffen Aufgaben zu lösen. Hic Rhodus, hic salta! Begriffe versteht man erst, wenn man sieht, wie man mit ihnen rechnet.

3. Man braucht den geschichtlichen Weg nicht genau zu wiederholen. Die Wissenschaft hat Umwege gemacht, veranlaßt durch die zufälligen Aufgaben, die ihr von außen gestellt wären. Aufgabe des Unterrichts ist es, die Aufgaben in der Reihenfolge der Schwierigkeit zu stellen, Vorsehung zu spielen. Nicht das technische Interesse ist für die Auswahl der Aufgaben maßgebend, sondern die Steigerung in der Entwicklung der Gedanken, der Bildungswert.

Ein solcher quasihistorischer, freigeschichtlicher Weg erfordert eine gewisse psychologische Einfühlung: Ein Verfahren muß an einem zureichenden Beispiel entwickelt werden, nicht zu schwierig, aber auch nicht trivial, sondern typisch. — Vereinfachte Verfahren würdigt man erst, wenn man sieht, wie man es auf natürlichem Wege machen würde, und warum man vereinfachen kann. — Allgemeine Gesichtspunkte kann man erst nach einer gewissen Erfahrung erfassen. Man muß „im Bilde“ sein, muß ihre Tragweite übersehen. Nichts ohne erkennbares Ziel! — Ein Begriff kann erst eingeführt werden, wenn er gewissermaßen „in der Luft liegt“, wenn man Fälle kennt, die seine Einführung fordern. Erst die Sache, dann der Name! — Überhaupt nichts zu früh! Der Lehrer der Grundlagen muß vieles zunächst verschweigen können. — Auch die kritischen Fragen müssen sich zwanglos einordnen. — Die quasihistorische Darstellung verhält sich zur systematischen, wie ein Roman zum psychologischen Lehrbuch.

Solche Darstellungsart führt leicht zu einer gewissen epischen Breite und zu Wiederholungen. Das öftere Vorkommen desselben Gedankens erweist eben seine Tragweite. Andererseits suche ich die Ausdrucksweise im Einzelnen knapp zu halten, um den Gedankengang, die Schlüsse hervortreten zu lassen und um übersichtlich zu bleiben.

Vollständigkeit in der Darstellung der technischen Aufgaben habe ich nicht erstrebt. Allerdings führt die Darstellung der Methoden schon von selbst dahin, daß man das Wesentlichste berührt. Ich wollte aber weder über Maschinenteile, noch über Baukonstruktionen schreiben, sondern zum Studium derselben vorbereiten. Die systematischen Lehrbücher, die es auch geben muß, sollen hier anschließen.

4. Gerade am Beispiel der Mechanik mit ihrer Mannigfaltigkeit der Methoden und den verschiedenen allgemeinen Gesichtspunkten, die sie durchdringen, läßt sich die Arbeit des schaffenden Geistes, die Methodenbildung, trefflich darstellen.

Ich begründe den Kraftbegriff rein statisch und benutze ihn, ohne mich zu Anfang auf die Formulierung einer Definition einzulassen. Das ganze Buch ist die Definition des Kraftbegriffs. — Ich suche den zeich-

nerischen und den rechnerischen Verfahren, dem analytischen Gesichtspunkt des Gleichgewichts und dem synthetischen der Zerlegung in gleicher Weise gerecht zu werden und ihren Ideengehalt herauszuarbeiten. Eine gewisse Vorliebe für das Rechnen will ich nicht verleugnen. Ist doch der Zwang, bis zum Zahlenergebnis durchzudringen, ein gutes Erziehungsmittel zum konzentrierten, sachlichen Denken. — Den Arbeitssatz in seiner ausgebildeten Form bringe ich erst ziemlich spät: Er führt in seinen wirklichen Anwendungen auf durchaus nicht einfache geometrische Überlegungen.

Mathematische Schwierigkeiten suche ich zu vermeiden. Sie lenken die Aufmerksamkeit von dem eigentlichen Inhalt der Gesetze ab. Ich baue Statik und Festigkeitslehre mit elementaren Hilfsmitteln auf und benutze Differential- und Integralrechnung erst spät in Festigkeit, Dynamik und Hydraulik; auch da nur an Stellen, wo sie wesentlich ist.

5. Das Buch ist erwachsen aus meinem langjährigen Unterricht an der Ingenieurschule zu Hamburg, geht jedoch in manchen Sonderausführungen über diesen hinaus. Manche Aufgaben können beim ersten Unterricht übergangen oder vom Lehrer durch ähnliche Aufgaben ersetzt werden. So kann das Buch dem Ingenieur auch noch nach seinem Studium in der Praxis zum Weiterstudium dienen. Es dürfte auch dem Universitätsstudenten als Gegengewicht zur kritischen Darstellung und dem Hochschulstudenten beim Studium der Grundlagen von Nutzen sein. Es soll dem Lehrer der allgemeinen Schulen Anregungen zur Ausgestaltung seines Unterrichts auf der Grundlage der technischen Fragestellungen geben und mathematisch begabten Schülern und Interessenten jeder Art zum Selbststudium dienen. — 31. 8. 1932.

Die gegenwärtige

6. AUFLAGE

erscheint 50 Jahre nach dem Beginn meiner Lehrtätigkeit an der Ingenieurschule Hamburg (Ostern 1912). Die Art, in der ich seitdem unterrichte, ergab sich aus meinem Studium. Dieses war mir nicht etwa leicht gefallen. Zwar war einzusehen, was algebraisch herauskommt, wenn man einsetzt und umformt. Aber wie kommt man darauf, es gerade so zu machen? Durch Mathematik wird man überführt, nicht überzeugt. Dieses Wort Schopenhauers hat mich immer verfolgt. Ich suchte nach der heuristischen Darstellung im Sinne der produktiven Tätigkeit des menschlichen Geistes, nicht der rezeptiven, auch nicht etwa der kritischen. — Man muß die Wissenschaft aus dem Problem entwickeln. Die Technik ist nicht „Anwendung“ einer für sich bestehenden Theorie, sondern ihr „Gegenstand“. Theorie ist Antwort auf die physikalisch-technischen Fragestellungen. So faßte ich schon gegen Ende meines Studiums den Plan, die Mechanik aufzubauen an Hand einer Reihe wohlgeählter Beispiele von steigender Schwierigkeit.

Diese Unterrichtsmethode, die ich nun seit 50 Jahren ausübe, ist nicht leicht zu befolgen. Sie setzt voraus, daß man nicht nur die üblichen Formeln ableitet, um daran einige Zahlenbeispiele anzuhängen. Man muß vielmehr vom Zahlenbeispiel ausgehen. — Man soll auch nicht Beweise aus Axiomen vortragen. Axiome sind vielmehr Erfahrungstatsachen, die selbst erst klargemacht werden müssen an Hand von Beispielen. Aus ihnen leitet man dann andere Tatsachen ab, um die Widerspruchslöslichkeit der verschiedenen Lösungsmethoden nachzuweisen (Gleichgewicht — Energiesatz; graphisch — rechnerisch). — Man muß vielmehr bei jedem Beispiel seinen Bildungswert herausarbeiten, den es für die Erläuterung des jeweils darzustellenden Gesetzes der Mechanik hat (Erkenntnis der wirkenden Kräfte, Wahl der Komponenten- und Momentengleichungen, Schnittpunkte). — Arbeitsschule! — aber unter straffer Führung! — Die heuristische Darstellung ist wohl ein labiler Zustand zwischen der dogmatischen und der kritischen. Der Lehrer gleitet leicht ab zu den fertigen Formeln, zu den Axiomen. Beispiele sind aber überzeugender als Theorie.

An meiner Darstellungsart habe ich natürlich auch bei dieser Auflage nichts geändert. Im Anfang habe ich die Formänderung durch Schub fortgelassen. Sie kommt in der Statik noch nicht vor. An einigen Stellen habe ich den Wortlaut leicht verbessert, in Abschnitt N Einiges hinzugefügt. Dieser Abschnitt enthält „vermischte Aufgaben“, die vorn den knappen Aufbau der Grundlagen sprengen würden. Die alten Auflagen seit der dritten können aber unbedenklich weiter benutzt werden.

Die Aufgaben sind in 13 Abschnitte eingeteilt, die ich jetzt A—N nenne. Ich habe aber nicht mehr durehnummeriert, sondern in jedem Abschnitt neu angefangen. Dann nennt man bei jedem Zitieren den Abschnitt mit. Auch die Bilder sind nicht mehr durchnummeriert, sondern tragen die Nummer des Beispiels, zu dem sie gehören.

Das Rechnen mit Benennungen ist konsequent durchgeführt. Der Formelbuchstabe gilt als Größe = Maßzahl mal Benennung, nicht als Maßzahl allein. Die Formeln sind Größengleichungen, nicht Maßzahlgleichungen, mit Ausnahme einiger in der Praxis gebräuchlicher, nicht zu umgehender Formeln. — In den Bezeichnungen habe ich mich der Schreibweise Kilopond und Megapond angeschlossen (Din 1301). Das „Gewicht“ habe ich in A6 als Schwerkraft eingeführt (Din 1305), ohne noch von dem Unterschied Kraft und Masse, kp und kg zu reden, was ja auch vor der Einführung des kp nicht nötig war. Vom Unterschied der Maßsysteme spreche ich erst in N 3—6.

Die Zeichen im Text -> ... sind für sich verständlich.

Hamburg, am 1 Juli 1962

H. Blasius