

M E C H A N I K
PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN
VOM TECHNISCHEN STANDPUNKT

DRITTER TEIL
K I N E M A T I K
D Y N A M I K
H Y D R A U L I K

VON
DR. HEINRICH BLASIUS
STUDIENRAT AN DEN
TECHNISCHEN STAATSLEHRANSTALTEN
ZU HAMBURG



1935
VERLAG VON BOYSEN & MAASCH
HAMBURG

VORWORT.

Indem ich mit diesem Bande meine elementare Mechanik abschlieÙe, möchte ich noch einmal rechtfertigen, warum ich die gewiß nicht kleine Zahl der Mechanikbücher noch um eines vermehre; welche Lücke ich glaubte, ausfüllen zu müssen.

1. Der Gedanke, der meinen Büchern zugrunde liegt, stammt aus meiner Studienzeit. Es fiel mir schwer, die wissenschaftliche Darstellungsart anzunehmen. Da geht man aus von den allgemeinen Bewegungsgleichungen des Punktes, von den Differentialgleichungen der Hydrodynamik, von den „Prinzipien“ der Mechanik. Man integriert diese Gleichungen und wendet sie dann gewiß auch auf einfache Beispiele an. Nun sieht man zwar leicht ein, daß eine Zeile aus der anderen durch mathematische Umformung folgt. Aber wie man auf die Idee kommt, diese Umformung, jenen Ansatz zu machen, das war nicht immer ersichtlich. Nur die formale Logik, nicht das Erkenntnisverfahren wurde klar. Ich suchte nach dem System in den Lösungen, — die Mathematik gilt ja als systematische Wissenschaft, — und scheiterte natürlich; — bis dann die Erkenntnis kam, daß hier ja garkein System vorliegt, daß man hier eine Sammlung von Methoden hat, die aus verschiedenen Anlässen entstanden sind, deren Findung oft dem Zufalle, einer Analogie oder der Anschauung von der betr. Aufgabe zu danken ist.

Die Lösungsmethoden sind deshalb auch dem Einzelfalle angepaßt und führen oft einfacher zum Ziele, als die Ableitung aus den allgemeinen Gleichungen. Mit den Grundgleichungen hat man dann alles unter einen Hut gebracht, vervollständigt und abgerundet. Das ist gut so und muß auch so sein. Aber man versteht es nicht ohne vorherige Kenntnis der Einzelfälle. Den allgemeinen Erkenntnissen liegt eben eine große Erfahrung zugrunde. Der Studierende hat sie noch nicht. Bei dem Lehrer ist sie bereits ins Unterbewußtsein versunken. Seine Erfahrung ist dem Menschen ja auch nur kurze Zeit und nie insgesamt gegenwärtig. Er spricht aus Erfahrung, kann aber damit allein noch keine Vorstellung erwecken, wenn er nicht Erfahrung herstellt und an Erfahrung anknüpft. Da liegt die Schwierigkeit des Unterrichtens. Die allgemeine Schule kommt nicht so weit, solche Erfahrung in größerem Umfange herzustellen. Der Hochschulunterricht fängt zu hoch an. Hier besteht eine Lücke. Das ist nicht Schuld des einzelnen Lehrers, sondern ein Organisationsfehler.

Auch als ich dann durch meine Tätigkeit an Versuchsanstalten und technischen Lehranstalten mit der Technik in engere Fühlung kam, merkte ich, wie die Quelle zahlreicher Mißverständnisse in dem fehlenden Zusammenhange zwischen der Theorie und ihrem Gegenstande zu suchen war. So faßte ich den Plan, die Theorie aus einzelnen Aufgaben heraus aufzubauen, die physikalischen Grundlagen vom technischen Standpunkte aus darzustellen.

2. Ich möchte nicht mißverstanden werden, wenn ich vom technischen Standpunkte spreche. Mir liegt eine romantische Verherrlichung der Technik so ferne wie die Verachtung derselben. Es kommt nicht darauf an, die technischen Höchstleistungen anzustaunen, ebenso wie die großen Zahlen der Astronomie im Sinne einer gewissen populären Literatur. Aber die Gedankengänge nachzudenken, wie man zu den Ergebnissen der Technik und der Forschung gelangt ist, das hat Bildungswert. Es kommt hier nicht auf den Erfolg an, sondern auf das Verfahren. Wie der Mensch sich Werkzeuge und Verfahren schafft, um seine Lebensbedürfnisse zu befriedigen, gehört zur Kultur seines Zeitalters, ob es sich nun um die Schäftung des Steinbeiles handelt, um die Ausbildung eines Brückenträgers oder um die Gestaltung der Dampfmaschine. Hier liegen geistige Leistungen vor, die noch lange nicht genügend gewürdigt sind; zumal nicht in der allgemeinen Schule. Ein „humanistischer“ Unterricht, der doch den Menschen in seinem Denken, Handeln und Fühlen zum Gegenstande haben soll, darf an der physikalisch-technischen Denkweise nicht vorbeigehen. Diese sachliche Denkweise dient auch nicht nur der Beherrschung der Natur. Sie wird auch noch auf anderen Gebieten fruchtbar werden, zB. dem wirtschaftlichen, wird dort Ansichten durch Einsichten ersetzen.

Aber nicht allein deswegen gehe ich von den Anwendungen aus, und auch nicht allein von den technischen. Sondern vor allem deswegen, weil die Theorie ja im Hinblick auf die Anwendungen entstanden ist. Sie sind ihr Gegenstand, ohne den sie nicht zu verstehen ist: Geometrie, Trigonometrie und die Theorie der Krümmung von Kurven und Flächen sind aus den Bedürfnissen des Vermessungswesens erwachsen. Die Lösung von Differentialgleichungen wurde durch die Untersuchung der Schwingungen und verwandter Probleme gefordert. Die Betrachtung der Dampfmaschine gab die Anregung zu Untersuchungen der Wärmelehre. Die Mechanik ist durch die Fragen der Himmelsmechanik, der Ingenieurwissenschaften aus bestimmten Aufgaben heraus weitgehend entwickelt worden. Es ist nicht Banausentum, wenn der Studierende fragt, „wozu braucht man das?“ Es ist das Bedürfnis nach gegenständlicher Darstellung, die Frage nach dem Sinn

der Begriffe, ein logisches Bedürfnis. — Er soll nur nicht fragen, „wozu brauche ich das?“

3. Die Forderung, die Theorie durch Beispiele zu belegen, ist nicht neu. Jeder Lehrer und jedes Lehrbuch bemühen sich, Beispiele zu bringen. Es genügt aber nicht, erst die Theorie zu entwickeln und die erlangten Formeln danach auf Beispiele anzuwenden. Das führt leicht zu dem Zustande, daß die Theorie wieder vergessen wird, daß man nach fertigen Formeln arbeitet. Das darf nicht sein. Im Beweise steckt ja die Vorstellung vom Mechanismus des Vorganges, von der Spannungsverteilung im Balken, von den Trägheitskräften bei beschleunigter Drehung. Diese Vorstellungen müssen in jedem Anwendungsfalle wieder lebendig sein, wenn er richtig beurteilt werden soll. Deshalb muß man sie nicht am allgemeinen Fall, sondern an den einzelnen Beispielen entwickeln.

Wenn es richtig ist, wie oft gesagt wird, daß man erst durch die Beispiele die Sache versteht, dann ist es falsch, die Beispiele hinter die Theorie zu stellen, dann muß man vom Beispiel ausgehen. Dem Beispiel entnimmt man die Fragestellung und entwickelt an ihm die Theorie, nicht allgemein, sondern wie sie eben auf das betr. Beispiel paßt. Weitere Beispiele dienen der Befestigung der Vorstellung, der Verallgemeinerung. Man darf nicht Formeln, zB. den Impulssatz ableiten, damit man sie hat, und sich beim Beispiel auf sie berufen kann. Sondern jede Formel muß als Antwort auf eine konkrete Frage herauskommen. Die Betrachtung des ballistischen Pendels, der Ramme, des Ruderbootes erst führt hin zum Impulssatz. Dieser Weg erscheint dem formalen Menschen umständlicher, führt aber tiefer. Man muß auch verschiedene Wege gehen, um die verschiedenen Vorstellungen, die zur Lösung führen (Trägheitskräfte, Energie) auszubilden und gegeneinander abzugrenzen. Die Zusammenfassung erst, nicht eine „Einleitung“ gibt eine Übersicht über das Gebiet. So ist es auch geschichtlich gewesen. Spezielle Methoden haben die allgemeinen Sätze vorbereitet. Der induktive Weg ist dem deduktiven vorhergegangen. So gehe auch ich einen zwar abgekürzten, aber gleichsam geschichtlichen, „quasihistorischen“, freigeschichtlichen Weg.

Ich beginne auch sofort mit dem Zahlenbeispiel. Der Sinn der algebraischen Buchstaben wird durch Zahlwert und Benennung viel besser erfaßt, als durch die Definition. Positive Angaben über den Zahlwert erst geben ein lebendiges Bild von den vorkommenden Größen. Man muß mit den Grundgleichungen in der Art der Regeldetri rechnen können. Das ist lehrreicher, als die durch Eliminationen abgeleiteten Formeln anzuwenden. Aus dem

Rechnen mit den physikalischen Gleichungen erwächst dann das Bedürfnis, gewissen Größen, dem Trägheitsmoment, dem Impuls, der Winkelgeschwindigkeit, einen Namen zu geben. Dann kommt die Definition von selbst. Man versteht auch solche Begriffe erst, wenn man mit ihnen rechnen kann, wenn man vermittelt der Energie des stoßenden Körpers eine Federbeanspruchung ausgerechnet hat. Durch die Gleichungen erst erhalten die Begriffe ihren Sinn. Daß man den Zahlwert der kinetischen Energie eines Körpers ausrechnet, damit ist noch nichts geleistet. Er bildet erst die eine Seite einer Gleichung.

4. Die Reihenfolge der Beispiele ist nicht gleichgültig. Nicht das technische Interesse ist für die Auswahl maßgebend, sondern der Bildungswert und das Gefühl für das, was der Studierende bereits zu ertragen vermag. Das zu erläuternde Grundgesetz muß erst in einen kleinen, dann in immer größere Zusammenhänge hineingestellt werden. Das führt schließlich zu umfangreichen Einzeldarstellungen über Zahnräder, Kurbelgetriebe, Regler, Planetenbewegung, Luftballon, Turbine, die sich über mehrere Seiten erstrecken. Man scheue sich nicht, Zeit und Geduld daran zu wenden. Man kann einzelne solcher Beispiele auslassen, aber nicht alle. Es kommt nicht auf die einzelne Sonderaufgabe an, wohl aber darauf, daß man überhaupt und nicht zu wenig Sonderaufgaben durchdacht hat. Gerade indem man einen größeren Zusammenhang nach allen Richtungen hin aufklärt, fällt Licht zurück auf die Grundlagen, fällt Licht voraus auf den Zweck der Entwicklungen. Es kommt gerade darauf an, innerhalb einer gewissen Fülle die Elemente wiederzuerkennen, zu merken, wie sie aus solchen Zusammenhängen überhaupt erst abgezogen sind. Das eben trägt zur Ausbildung des selbständigen Denkens und zur Sicherheit in der Handhabung der Theorie bei. Wer sich dieser Schule unterwirft, gelangt auf einen höheren Standpunkt den Dingen gegenüber. Man bekommt ein Bild von der Tragweite der physikalischen Gesetze und gewinnt Erfahrung. Andernfalls bleibt nur das Gerippe der Grundgleichungen stehen und das ist eben unverständlich ohne die Anschauung von dem, was es tragen soll.

Kritik bringe man nicht zu früh. Man hat ja allerdings Hemmungen, einen Satz auszusprechen, ehe alle Voraussetzungen, unter denen er gilt, geklärt sind. Das ist ja einer der Gründe für die Entstehung des formalen Unterrichts. Der Studierende, der noch nicht ahnt, worauf das alles hinausläuft, versteht das nicht. Die axiomatische Festlegung der Grundlagen war ja auch erst das Ergebnis einer langen Entwicklung. Der produktive Geist arbeitet unbekümmerter. Er denkt sich die Zentrifugalkraft im

Schwerpunkt des Körpers vereinigt und rechnet damit. Erst nachher kommen ihm Bedenken und er verlangt den Beweis. Erst muß etwas da sein, ehe man es kritisieren und zu einem System ordnen kann. Das eben ist der induktive Weg der Naturerkenntnis. Die Kritik der Begriffe, das systematische Erforschen komplizierter Erscheinungen, die theoretische Verallgemeinerung von Problemen haben an ihrer Stelle ihre volle Berechtigung. Aber dem Studierenden muß man zuvor Stoff bieten. So erzielt man eine erfrischende Gegenständlichkeit statt der tiefsinnigen Betrachtungen über Parallelenaxiom, Relativität, Grenzwerte.

5. An Vorkenntnissen soll man möglichst wenig voraussetzen; jedes Beispiel mit den Methoden behandeln, die ihm angemessen sind; nicht die allgemeinen Verfahren der Lösung statisch unbestimmter Aufgaben entwickeln, um den Balken auf 3 Stützen zu berechnen. Wenn man die Überzeugung von der Richtigkeit einer Formel nur darauf gründet, daß sie als Ergebnis einer langen mathematischen Umformung herauskommt, so versäumt man, die Anschauung herzustellen. Die mathematische Entwicklung ist am Platze bei komplizierteren Aufgaben, wo die Anschauung versagt. Es ist im Gegenteil eine Nebenaufgabe des physikalischen Unterrichtes, die Rolle, die die Mathematik in der Naturerkenntnis spielt, klar zu machen, zu zeigen, wie Algebra die Tatsachen widerspiegelt. Hilfswissenschaften müssen an ihrem Gegenstande entwickelt werden. Erst dann wird der Sinn der mathematischen Fragestellungen (Eliminieren, Auflösen), der Sinn des Rechnens mit negativen Zahlen, mit der „Zahl“ ∞ u. dergl. klar.

Es ist bequem für den Physiker, wenn er über das ganze Rüstzeug der Mathematik verfügen kann. Es ist bequem für den Mathematiker, wenn er sich bei seinen Beispielen beliebig auf physikalische Vorkenntnisse berufen kann. Aber dieser Widerspruch zeigt schon, daß die Sache organisiert werden muß. Das greift eben alles ineinander. Der Physiker wird $bt^2/2$ nicht mit Integralrechnung ableiten, der Mathematiker wird bei der Besprechung der Differentialgleichungen nicht gleich die elektrischen Schwingungen als Beispiel wählen dürfen. Man kommt in der Mechanik natürlich nicht ohne etwas Algebra und Trigonometrie aus; später nicht ohne die Vorstellung vom Differential und Integral. Das muß vorher und zwischendurch an Hand geometrischer Beispiele entwickelt sein. Vom Standpunkt der freigeschichtlichen Darstellung entsteht so die Aufgabe, zu jeder Theorie die Gruppe von Beispielen ausfindig zu machen, an der sie am zweckmäßigsten entwickelt werden kann, die Anwendungen und die Hilfsmittel richtig zueinander zu schalten und gleichzeitig miteinander zu entwickeln. Es wäre ein pädagogisches Problem, die

Algebra aus der Notwendigkeit der Umformung und Auflösung geometrischer und einfacher physikalischer Formeln und Gleichungen heraus zu entwickeln.

6. Man wendet mir ein, daß die formale Unterrichtsmethode, die die Schwierigkeiten trennt, einfacher sei. Sie ist es bestimmt für den Lehrer. Mein Weg ist nicht ohne Gefahren. Der gleichzeitige Aufbau von Stoff und Hilfsmittel verlangt in jedem Augenblick besonders sorgfältiges Abwägen, ruhige Darstellung, psychologische, nicht nur sachliche, fachliche Einstellung. Aber kann man sie trennen? „Wer will was Lebendiges erkennen und beschreiben, sucht erst den Geist herauszutreiben. Dann hat er die Teile in seiner Hand. Fehlt leider nur das geistige Band.“

Auch der Studierende neigt oft dazu, die Definitionen, die der Lehrer gibt, hinzunehmen, die Sätze, die abgeleitet werden, sich einzuprägen und auf späteres Verständnis zu hoffen. Aber das ist erst recht gefährlich. Leicht wird das Verständnis für immer durch's Gedächtnis ersetzt. Es muß das Ziel jedes Unterrichtes, jeder Erziehung sein, den Studierenden nicht formal anzulernen, sondern ihm den wahren Zusammenhang der Dinge zu zeigen, seine Urteilsfähigkeit auszubilden.

Ich habe versucht, solche Bücher zu schreiben. Es liegt in der Natur der Sache, daß ich sie nicht für einen begrenzten Leserkreis geschrieben habe, sondern für Alle, denen es auf das Verständnis der Grundlagen ankommt: Für den Studierenden der Universitäten, der Hoch- und Mittelschulen, für den Ingenieur der Praxis, der seine Grundlagen befestigen will, für den Lehrer nicht nur der technischen, sondern namentlich auch der allgemeinen Schulen, der Beispiele sucht. Ich schrieb sie auch als Material für eine künftige Unterrichtsreform. Zwischen einem propädeutischen und dem kritischen Unterricht, zwischen der Kenntnisnahme der Naturerscheinungen und dem Aufbau des Systems muß der Studierende den produktiven Geist in seiner Mannigfaltigkeit, in seinem Zielstreben erfassen.

Bergedorf, den 14. November 1934.

H. Blasius.