

Gedanken zum Ingenieurunterricht

Von H. Blasius, Hamburg

Als langjähriger Lehrer der Ingenieurschule Hamburg (jetzt i. R.), oft mit Organisations- und Lehrplanfragen beschäftigt, erlaube ich mir hier einige Bemerkungen zum Ingenieurunterricht. Um gegenständlich zu sprechen, denke ich dabei in erster Linie an den Maschinenbauer der Ingenieurschule. Vieles wird sich auch sinngemäß auf andere Fakultäten und auf die Techn. Hochschulen übertragen lassen.

1. Das Problem liegt hier anscheinend sehr einfach, im Gegensatz zu dem Bildungsproblem an den allgemeinen Schulen: Wir sollen unsere Studenten für die Praxis tauglich machen. Zu diesem Zweck geben wir ihnen eine **theoretische** Ausbildung: Elementare und höhere Mathematik, Physik, Technologie, und eine **konstruktive**, meist im Kraftmaschinenbau. — Und dann besuchen sie uns mal wieder und erzählen, was sie getan haben: Kaum einer hat jemals einen Differentialquotienten gebildet. Mancher handelt mit alten Autos oder ist sonst ein halber Kaufmann oder Verwalter. Aber auch wer Konstrukteur geworden ist, konstruiert Kältemaschinen, Packmaschinen, Staubabscheider, alles andere, nur keine Kraftmaschinen. Und das geschieht nach Dubbel, Haeder, nach Kurven, Tabellen, die sich die Firma für den Hausgebrauch zurechtgemacht hat. — Wenn man also die Ausbildung rechtfertigen will, so muß man sie nicht nach ihrem unmittelbaren Nutzen beurteilen, sondern nach ihrem **Bildungswert**.

2. Die Vorstellungen vom Differentialquotienten und vom Integral sind jedenfalls notwendig zum Verständnis geometrischer und physikalischer Sachverhalte: Wachstumsgeschwindigkeit, Beschleunigung, Krümmung, Schwingungen, Spannungsfeld, elektromagnetisches Feld, zum **Verständnis der fertigen Formeln**, nach denen gearbeitet wird, auch dann, wenn man die Formel nicht analytisch bildet. — Die Begriffe dürfen aber nicht etwa abstrakt vorgetragen werden, im Vertrauen darauf, daß die Anwendungen schon noch im Konstruktionsunterricht oder in der Praxis kommen werden. Was man nicht in der Schule begriffen hat, erklärt einem in der Praxis kein Mensch. Vielmehr ist der Mathematiker selbst für die Anwendung seiner Lehren verantwortlich. Er muß sie also von vornherein

vom technischen Standpunkt vortragen, sie aus den Fragestellungen der Technik heraus entwickeln. Er darf seine Aufgabe nicht darin sehen, eine Rechenregel nach der anderen abzuleiten und einzuüben. Es ist nicht notwendig, daß der Student perfekt integrieren lernt. Hauptsache, daß er mit den Begriffen Vorstellungen verbindet.

3. Mechanik (Statik, Festigkeit, Kinematik, Dynamik, Hydraulik), Wärme-, Elektrizitätslehre sind die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften. Auch sie müssen von vornherein **vom technischen Standpunkt** vorgetragen werden. Zu scheiden zwischen Physik und technischer Mechanik, zwischen Wärmephysik und technischer Wärmelehre führt nur zu Doppelarbeit an trivialen Grundbegriffen, zu Zeitverlust. In Hamburg ist das seit 30 Jahren vereinigt, ohne daß sich Schwierigkeiten ergeben hätten. Nur Akustik und Optik ist als Physik übriggeblieben, weil man ja hier nicht von der Integration der Wellengleichung ausgehen wird, sondern von der experimentellen Tatsache der Wellenfortpflanzung.

4. Um eine Mechanikaufgabe zu lösen, genügt es nicht, die **Theorie** der Kraftecke und der Kräftepaare, der Trägheitskräfte, Biegemomente, Trägheitsmomente zu lernen. — Die wirkenden Kräfte zu erkennen, ist vielmehr bei jeder neuen Aufgabe ein Problem für sich. Das muß man an immer neuen Beispielen **vormachen**. Der Unterricht in Mechanik, ebenso in Wärme-Elektrizitätslehre muß also **vom Beispiel ausgehen** und muß seine Begriffswelt aufbauen aus allen Anwendungsgebieten: Bauwesen, Maschinenwesen (Geschwindigkeitspläne, Kurbelgetriebe, Verzahnungsgesetz, Kreisprozesse), auch Himmelsmechanik, so daß durch die Mannigfaltigkeit der Aufgaben ein **Gefühl für die Wirkung der Kräfte** erzeugt wird. Sonst bleibt es Theorie, und der Ingenieur bleibt den fertigen Formeln der Praxis ausgeliefert. Man muß ihn wappnen gegen den Einfluß der Praxis, wo man im Drang der Geschäfte oft auf genaues Durchdenken verzichtet. Der Unterricht ist eben kein verkleinertes Abbild der Praxis, sondern ihre Ergänzung, ihr Fundament.

5. Der Konstruktionsunterricht war noch vor 40 Jahren überwiegend auf den Kolbendampfmaschinenbau abgestellt. In den Maschinenelementen behandelte man im voraus die Teile derselben: Schraube, Keil, Kolben, Pleuelstange, Lager, Kupplung, Zahnräder. Das ist inzwischen erheblich aufgelockert entsprechend der zunehmenden Mannigfaltigkeit der Konstruktionsaufgaben und der Fertigungsprobleme. Man sollte überhaupt **Maschinenteile und Fertigung** in eine Hand legen, zu einem Fach verschmelzen; — auch zugleich einfache **Kostenberechnungen** anstellen. Immer wird gepredigt, man solle billig konstruieren. Das ist trivial. Die Konstruktionsidee des Studenten wird ihm als zu teuer abgelehnt. Solche Behauptung ist nicht überzeugend, wenn man ihm nicht vorrechnet, wie teuer das wird.

6. Der Unterricht in **Maschinenteile** muß in größerer **Mannigfaltigkeit** ausgestaltet werden. Sie spielen die Rolle der Vorbereitung der Spezialfächer nur in der Idee, nicht hinsichtlich der Einzelteile. Es muß ein Lager, eine Pleuelstange vorgekommen sein. Es ist aber nicht notwendig, nicht erwünscht, daß es gerade die Pleuelstange der Dampfmaschine ist. Man soll auch nicht alle Kupplungen, alle Vernietungen, alle Verzahnungen durchnehmen, überall nur einfache Fälle, z. B. keine unterschrittenen Zähne. Gewiß, sie kommen vor. Aber kann man alles durchnehmen, was vorkommt?

7. Für den Maschinenteile-Unterricht braucht man Statik und Festigkeitslehre. Man ist verführt, Formeln, die in Mechanik noch nicht vorgetragen wurden, einfach anzugeben, z. B. $bh^2/6$. Hierzu fehlt dann aber die Einsicht. Man beginne also im I. Semester **intensiv mit Mechanik** (5 Doppelstunden). Dann ist am Ende des I. Semesters $P/F + M/W$ abgehandelt. Den Schwerpunkt der Maschinenteile lege man dann ins II. und III. Semester. Im I. spreche man in wenigen Stunden nur über Fertigung, Zeichnen, Projektionslehre, nicht zu vergessen perspektivisches Skizzieren. — Im II. Semester beginnt dann der **Konstruktionsunterricht**. Auch hier gehe man **vom Beispiel aus**, statt systematisch die einzelnen Teile durchzusprechen. Man stelle einfache Aufgaben: Flaschenzug, Winde, Lore, Waage, Greifer, hydraulische Presse, Getriebe, Bremsen, einfache mechanische Leiter, und löse sie vor den Studenten. Dabei kommen die Teile von selbst vor, und man sieht, wie sie vorkommen, an einem (kleinen) Ganzen, für einen bestimmten Zweck. Nachdem man so das **Konstruieren vorgemacht** hat, lasse man die Studenten im III. Semester solche Aufgaben selbst lösen.

8. Der Unterricht in **Maschinenkonstruktion** geht gewöhnlich so vor sich, daß die Konstruktionsteile der Reihe nach durchgenommen werden: — Haken, Seile, Flaschenzüge, Trommeln, Bremsen, ... — Düsen, Schaufeln, Geschwindigkeitspläne, Wellen, Scheiben, ... — Diagramme, Kolben, Zylinder, Ventile, Schwungrad, ... — systematisch für alle Möglichkeiten. Das alles ist größtenteils **Mechanik und Wärmelehre**, teils gröber, teils feiner, als es dort oder in Maschinenteilen schon gemacht worden ist. In Mechanik erscheinen die Aufgaben als Beispiele nach Methoden geordnet, im Kraftmaschinenbau nach Maschinen geordnet, also aus einer anderen Perspektive gesehen. Man kann also auf vieles schon verweisen, braucht es nicht nochmals umständlich darzustellen.

9. In Wärmelehre wird man z. B. den **Explosionsdruck** aus dem Heizwert berechnen. Im Brennkraftmaschinenbau gibt man die erreichbare mittlere Druckdifferenz an oder übliche Wirkungsgrade; mit gutem Grund, denn aus dem Heizwert kommen die Temperaturen und Drücke viel zu hoch heraus. Und doch ist es nötig, auf den physikalischen Zusammenhang hinzuweisen, nicht nur mit unverbindlichen Worten, sondern rechnerisch durchgeführt. Überhaupt soll man Gedanken nicht nur

andeuten, sondern bis zu Ende **durchdenken**. — In Mechanik im I. Semester wird man zufrieden sein, wenn man für eine **gegebene** Anordnung die Kräfte und Beanspruchungen berechnet hat. Im Konstruktionsunterricht stellt man die weitergehende Frage nach der **günstigsten Anordnung**. Das kann man meist erst dann lösen, wenn man in der Behandlung der direkten Fragen eine gewisse Sicherheit erreicht hat.

10. Nach der Theorie der Teile geht der Student nun an seinen ersten **Entwurf**: Eine vollständige Maschine soll er konstruieren, möglichst ohne Vorlage. Wenn er dann anfangen will zu **rechnen**, wird er belehrt, daß man das **schätzen** und allenfalls nachrechnen müsse. Er hat ja aber noch keine Konstruktionserfahrung. Kein Wunder, daß seine Arbeit langsam vor sich geht, daß er schon nicht weiß, wo er die erste Mittellinie hinlegen soll. Und dann schilt der Dozent, der Student wisse immer noch nicht, daß er Doppelpassungen, scharfe Ecken, ungleiche Wanddicken zu vermeiden habe. Er weiß es, aber das zuvor Gesagte kommt trotzdem vor, denn selbstverständlich ist dies alles erst nach langer Übung.

11. Ich meine, es ist zu viel verlangt, **nach theoretischer Anweisung konstruieren** zu sollen. Man muß dem Studenten das **Konstruieren vormachen**. Man muß **von der Konstruktionsaufgabe ausgehen**: Gleich in der ersten Stunde fange man z. B. an: Es soll ein Säulendrehkran gebaut werden: 4 t Last, Ausladung 3 m, Hubgeschwindigkeit 2 m/sec. ... Es soll eine Turbine gebaut werden: 500 PS, 10 atü, 3000/Min. ... bzw. ein Dieselmotor; ... ein Kessel: 5000 kg Dampf/St, 12 atü, 300° ... Dabei kommt dann die Berechnung der Teile von selbst, eines nach dem andern. Aber man sieht das Ziel, den Gang der Handlung, die Herkunft der gegebenen, der bereits bestimmten Größen. Indem der Hörer sich auf eine bestimmte Aufgabe konzentriert, wird er nicht durch soundsoviele andere Möglichkeiten verwirrt. Das kommt später. Der Mensch lernt nicht durch **Deduktion** aus allgemeinen Prinzipien, wie unsere philologische Schule uns eingepflicht hat, sondern durch **Vormachen und Nachmachen**. Das Allgemeine versteht sich dann leicht von selbst. Was einer für 4 Rollen begriffen hat, kann er auch für 6, ohne daß eine Formel für n Rollen vorliegt. — Hat der Hörer erst einmal das Konstruieren so **mitgemacht**, dann geht nachher sein eigener Entwurf um so schneller, nicht nur mit anderen Zahlen, sondern auch an einem ganz anderen Typ, und ohne vieles Eingreifen des Dozenten. Jetzt muß der Dozent jedem einzelnen helfen und immer wieder dasselbe sagen. Privatunterricht ist gut, aber teuer. Schulunterricht ist billiger, weil das Gesprochene gleich von 30 gehört wird. — Man wende nicht ein, daß das Ausgehen vom Beispiel zu viel Zeit kostet. Es ist z. T. nur eine Umordnung dessen, was gesagt werden muß. Man spart die Zeit später wieder ein. Und wenn wirklich ein paar Spezialitäten darum fallen — was zum Verstehen nötig ist, muß geschehen.

12. Aber wie soll man im Unterricht an der Tafel maßstäblich konstruieren: Cremonaplan, Tangentialdruckdiagramm, Geschwindigkeitsplan? — Im Augenblick genügt eine **Skizze**, die Berechnung der Hauptstäbe nach Ritter, der Geschwindigkeiten nach Komponenten, Schätzung der Diagrammflächen, wie man es ja auch tut, wenn man selbst etwas Neues macht. Wo eine genaue Konstruktion nötig wird, kann es bis zur nächsten Stunde geschehen. — Der Dozent muß auch mal Vorsehung spielen, wo gewisse **Verhältnisse gewählt** werden müssen: Verteilung der Übersetzung, l/d beim Zylinder, c/u bei Turbinen. Über die günstigste Wahl kann man zunächst nur das Nötigste, nachträglich mehr reden, wenn das erste Beispiel vorbei ist; ebenso über Umsteuerung, Nachladen, Schwingungen, Überdruckstufen, Spaltverluste. Auch in der Entwicklung der

Technik hat man nicht gleich den günstigsten Fall gewählt, nicht gleich alle Besonderheiten berücksichtigt. Der Mensch ist nicht imstande, sogleich alles bis ins kleinste zu durchdenken. Er muß überhaupt erst mal **durchkommen**. Das erste Konstruktionsbeispiel muß **kurz und übersichtlich** sein, bei 4 Stunden/Woche vielleicht 5 Wochen, alles Wesentliche enthalten, nicht mehr; der erste eigene Entwurf ebenso. Es soll ja nicht gleich die modernste Turbine erstehen. Das überläßt man neidlos den großen Firmen, die mehr Zeit daran wenden können. Der Student soll kein perfekter Turbinenbauer werden. Jedes Konstruktionsfach ist nur **Beispiel für das Konstruieren**.

13. Angesichts der fortschreitenden **Spezialisierung** der Technik wird oft erwogen, die Ausbildung zu spezialisieren, den Starkströmer, den Fernmelder auszubilden, den Schiffsmaschinenbauer, den Flugzeugbauer, den Verfahreningenieur. Aber es ist im Grunde ganz gleichgültig, **was man vorträgt. Alles ist nur Beispiel!** Als der Flugzeugbau anfing, ohne daß schon eine solche Abteilung bestand, da haben sich unsere Maschinenbauer im Flugzeugbau durchaus bewährt. Und als der Flugzeugbau aufhören mußte, ging es den Flugzeugbauern im Maschinenbau ebenso. Wenn man einen früheren Schüler wiedersieht, der ein paar Monate lang mit Kältemaschinen beschäftigt war, mit Tuchtrocknung, mit Klimaanlage, so spricht er darüber wie ein alter erfahrener Praktiker bzw. Konstrukteur. Wer überhaupt technisch denken gelernt hat und intelligent ist, findet sich leicht in alles hinein. Der Jungingenieur wird ja doch nicht gleich mit dem Gesamtentwurf betraut. Und wenn man ihn zu früh spezialisiert, so schädigt man ihn in seiner Freizügigkeit.

14. Es brauchte also auch nicht der **Kraftmaschinenbau** zu sein, an dem das Konstruieren gelehrt wird. — Aber dieser enthält doch viele reizvolle konstruktive und theoretische Probleme, Einfluß der Trägheitskräfte, Reglerfragen u. a. m. Er ist auch am meisten durchgearbeitet, vielleicht sogar schon zu sehr, so daß der Hörer schon zu viel „Methoden“ vorgesetzt bekommt, bei denen seine gestaltende Phantasie zu wenig beansprucht wird. — Man findet auch am leichtesten Dozenten dafür. Für Verfahrenstechnik z. B. findet man

wohl jemanden, der z. B. Schwefelsäureanlagen gebaut hat, aber man kann ihn nicht ausnutzen, denn er würde Papierfabrikation, Steinbrecher, Glühöfen zu lehren ablehnen.

15. Zu erwägen wäre im letzten Semester ein Fach, in dem man eine gewisse **Fülle von Konstruktionen** durchnimmt, namentlich **Arbeitsmaschinen**: Dieselramme, Wärmepumpe, Nähmaschine, Zählwerke, Webstühle, Landmaschinen, Fahrradbau, Bagger, pneumatische Getreideförderung ... vielleicht 6 St/Woche; keine bloßen Beschreibungen, keine erschöpfende Darstellung, nur ein grober Entwurf, nach zwei Wochen ein neues Thema. Es würde der **Auflockerung** des durch die Kraftmaschinen einseitig geschulten Denkens dienen. — Aber das wird so leicht niemand unterrichten wollen. Er fühlt sich nicht Fachmann genug, aber das schadet doch nichts. Wir brauchen als Dozenten **Konstrukteure, nicht Fachspezialisten**. — Wenig ergiebig sind Fächer wie Heizung und Lüftung: Kesselbau wird sowieso gelehrt. An Heizkörpern und Rohrleitungen ist nicht viel zu konstruieren; es handelt sich hierbei um eine Fülle von Zahlenangaben, Übergangszahlen, Luftverbrauch, die man einfach wissen muß. Wer da hineinkommt, eignet sich das schnell an; er braucht es nicht mitzubringen.

16. Zusammengefaßt: In allen theoretischen und konstruktiven Fächern **gehe man aus vom Beispiel!** Dann spricht man gegenständlich. Nicht Wissen vermitteln, sondern **Fähigkeiten entwickeln!** Dabei kommt eine genügende Wissensmenge von selbst, und sitzt auch fest. Nicht vollständig sein wollen, nicht dem Phantom des Allgemeinen nachjagen! Das Allgemeine kommt von selbst. Der Mensch lernt durch **Vormachen und Nachmachen!** Er arbeitet nach **Analogie und Erfahrung**. Die muß man dem Hörer durch ein **wohlgeordnetes System von Aufgaben** verschaffen. — Man soll auch keinen fließenden Vortrag halten, wie wenn ein Philosoph über Goethe spricht, sondern man soll **Fragen aufwerfen** und Zeit zum Nachdenken und Rechnen lassen, nicht lange Theorie diktieren, nur Skizzen und Rechnungen mit-schreiben lassen. — Den Studenten wendig zu machen, so daß er sich in alles hineinendenken kann, das ist unsere **Bildungsaufgabe**.