

Das Lebenswerk von Ludwig Prandtl

An der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich wurde im Juni dieses Jahres eine Strömungstagung durchgeführt, die vom Fachausschuß für Strömungsforschung des Vereines Deutscher Ingenieure in Gemeinschaft mit der Fachgruppe für Maschineningenieurwesen des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins und der Abteilung für Maschineningenieurwesen der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich, veranstaltet wurde.

Professor Dr. Albert Betz von Göttingen — ein langjähriger Mitarbeiter des vor einem Jahr verstorbenen Professors Ludwig Prandtl — hat am Abschluß der Tagung das Lebenswerk dieses bedeutenden Wissenschaftlers der Strömungsforschung geschildert. Wie öffentlichem nachstehend diesen Vortrag im Wortlaut, der nicht nur einen guten Überblick über die Grundbegriffe der Strömungslehre gibt, sondern auch zeigt, mit welchem Geist wissenschaftliche Arbeit zu leisten ist.

Die Strömungslehre ist heute ein Wissensgebiet so groß und mannigfaltig, daß es kaum mehr jemanden gibt, der es vollständig überblickt und beherrscht. Es ist daher schwer, sich in die Zeit vor einem halben Jahrhundert zurückzudenken, in der von all dem fast nichts vorhanden war. Man kannte wohl einige praktisch wichtige Erfahrungstatsachen. Man hatte auch eine ziemlich weit ausgebaute Theorie der Potentialströmungen, aber es war beispielsweise vollständig unverständlich, wie die großen Energieverluste und damit die Widerstände bewegter Körper zustande kommen. Wenn man nämlich die Energieverluste abschätzte, die in einer Potentialströmung durch die Zähigkeit der Flüssigkeit auftreten, so war das in den meisten Fällen so wenig, daß es praktisch gar keine Rolle spielt. Das Fehlen einer richtigen Vorstellung von der Entstehung der Verluste war sehr störend, weil man ja damit auch keine Möglichkeit hatte, wirksame Wege zur Verminderung der Verluste anzugeben. Auf dem 3. Internationalen Mathematiker-Kongreß hielt in Heidelberg im Jahre 1904 ein junger Mechanikprofessor der Technischen Hochschule Hannover einen Vortrag, in dem klar und überzeugend dargetan wurde, wie die Zähigkeit, deren Wirkung im Innern der Flüssigkeit belanglos ist, in einer dünnen Schicht an der Oberfläche der festen Begrenzungen der Strömung, die er *Grenzschicht* nannte, wie diese Zähigkeit, auch wenn sie noch so klein ist, starke Wirkungen hervorruft. Da nämlich die Flüssigkeit an der Wand haftet, so muß unter dem Einfluß der Zähigkeit ein allmählicher Übergang von der an der Wand ruhenden Schicht zur Außengeschwindigkeit stattfinden. Je kleiner die Zähigkeit ist, um so dünner wird diese Übergangsschicht, so daß wegen des starken Geschwindigkeitsgradienten trotz der geringen Zähigkeit merkliche Schubspannungen auftreten. Auch die starke Beeinflussung der gesamten Potentialströmung wurde verständlich, wenn die Grenzschicht bei Druckanstieg nicht mehr in das Gebiet höheren Druckes eindringen kann und sich ablöst. Sehr eindrucksvolle Versuche, die der Vortragende in einem kleinen mit Hand betriebenen Wasserkanal in Hannover ausgeführt hatte (vgl. Abb. 1), mußten die Zuhörer von der Richtigkeit der vorgetragenen Theorie überzeugen. Insbesondere zeigten sie die starken Wirkungen der Grenzschichtablösung. Dieser junge Professor war Ludwig Prandtl, und sein Vortrag war die Geburtsstunde der modernen Strömungslehre. Nun war der Weg frei geworden, um die technisch wichtigen Strömungsvorgänge zu verstehen, theoretisch zu verfolgen und die gewonnenen Erkenntnisse praktisch zu verwerten. Dieser Weg bis zu dem heutigen Standpunkt war freilich lang und mühsam, und viele tüchtige Klöpfe waren an seiner Überwindung beteiligt. Aber auch hier hat Prandtl in der Folgezeit wesentlich und vielfach entscheidend beigetragen. Vollständig

ebene wesentlich größer ist als in der anderen, also z. B. einer hochkant beanspruchten Reißschiene. Mit dem Arbeitsgebiet, das ihm später die größten Erfolge verdankt, der Strömungslehre, kam er zum erstenmal durch eine Arbeit bei der MAN in Berührung. Er sollte dort den erstaunlich hohen Leistungsbedarf einer Spülschleppanlage aufklären und Mittel zu ihrer Verminderung finden. Die Art, wie er die Aufgabe angegriff und erfolgreich durchführte, war bereits kennzeichnend für seine spätere, so fruchtbare Arbeitsweise. Er verfolgte die ganze Leitung stellte an verschiedenen Querschnitten derselben den Energiefluß fest und konnte so aus dessen Abnahme die in den einzelnen Abschnitten verlorene Energie feststellen. Da, wo sich merkwürdig große Verluste ergaben, konnte er dann die Vorgänge genauer untersuchen und die Ursachen dieser Verluste feststellen. So teilte er durch scharfe logische Ueberlegung die zunächst verwickelte und unübersichtliche Aufgabe in einzelne Teilaufgaben auf, welche klar und leicht zu durchschauen sind.

Bereits im Jahre 1901 wurde er als Professor für technische Mechanik an die Technische Hochschule Hannover berufen. Hier konnte er sich den schon erwähnten kleinen, von Hand betriebenen Wasserkanal, mit dem er sich die Vorgänge in der Grenzschicht und ihre Folgen klar machte und seine Grenzschichttheorie nachprüfen konnte (Abb. 1 zeigt Prandtl bei der Arbeit an diesem Kanal und Abb. 2 und 3 einige damit aufgenommene Strömungsbilder). Die geschickte Verbindung von Theorie und Experiment, die fast alle Arbeiten Prandtl's auszeichnet, tritt bereits hier deutlich und erfolgreich zutage. Das Experiment wird durch theoretische Überlegungen gesteuert und die Theorie wird durch das Experiment angesetzt und kontrolliert.

Die großen Leistungen Prandtl's machten auch auf Felix Klein, den großen Organisator der mathematischen und verwandten Wissenschaften, einen starken Eindruck. Er erkannte die ungewöhnliche Begabung dieses jungen Gelehrten und holte ihn 1904 nach Göttingen. Felix Klein hatte sich vorgenommen, die große Kluft, die zwischen den technischen Wissenschaften und den an der Universität gepflegten reinen Grundwissenschaften zu überbrücken und eine fruchtbare Verbindung zwischen beiden herzustellen. Denn schief er an der Göttinger Universität Institute für angewandte Wissenschaften und berief Prandtl mit der Leitung des neu gegründeten Instituts für angewandte Mechanik, was über das, was ihm zweifellos für diese Aufgabe geeignet. Die Bedeutung eines Ingenieurs, wie es Prandtl sowohl seiner Ausbildung wie seiner ganzen Denkwelt nach war, an eine Universität mit ihrer ganz anders gerichteten Einstellung war etwas sehr Ungewöhnliches. Aber Prandtl's scharfes logisches Denken, seine Fähigkeit, verwinkelte Vorgänge auf ein-

...genet starkem. Je kleiner die Länge ...
 ... so dünner wird diese Ueberzugsschicht, so
 ... daß wegen des starken Geschwindigkeitsabfall-
 ... ten trotz der geringen Zähigkeit merkliche Schicht-
 ... spannungen auftreten. Auch die starke Beeinflussung
 ... der gesamten Potentialströmung wurde ver-
 ... ständlich, wenn die Grenzschicht bei Druckanstieg
 ... nicht mehr in das Gebiet höheren Druckes eindrin-
 ... gen kann und sich ablöst. Sehr eindrucksvolle Ver-
 ... suche, die der Vortragende in einem kleinen mit
 ... Hand betriebenen Wasserkanal in Hannover aus-
 ... geführt hatte (vgl. Abb. 1), mußten die Zuhörer
 ... von der Richtigkeit der vorgetragenen Theorie
 ... überzeugen. Insbesondere zeigten sie die starken
 ... Wirkungen der Grenzschichtabsaugung. Dieser
 ... junge Professor war Ludwig Prandtl, und sein
 ... Vortrag¹ war die Geburtsstunde der modernen
 ... Strömungslehre. Nun war der Weg frei geworden,
 ... um die technisch wichtigen Strömungsvorgänge zu
 ... verstehen, theoretisch zu verfolgen und die gewon-
 ... nen Erkenntnisse praktisch zu verwerten. Dieser Weg
 ... bis zu dem heutigen Standpunkt war freilich lang
 ... und mühsam, und viele fähige Köpfe waren an
 ... seiner Ueberwindung beteiligt. Aber auch hiezu
 ... hat Prandtl in der Folgezeit wesentlich und
 ... vielfach entscheidend beigetragen. Vielleicht
 ... ist gerade das an Prandtls Schaffen am meisten zu
 ... bewundern, daß er so viel Neuland bearbeitete,
 ... daß er da, wo andere hilflos nicht mehr weiter
 ... konnten, einen Weg in dieses Neuland schuf.

Schon seine Dissertation in München 1900 als
 Schüler und Assistent von A. Föppl fand starke
 Beachtung. Er hatte darin das Ausknicken eines
 auf Biegung beanspruchten Stabes behandelt,
 dessen Querschnittsabmessung in der Biegungs-

¹ L. Prandtl, Ueber Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner
 Reibung. Verh. des III. intern. Mathematikerkongresses,
 Heidelberg 1904. B. G. Teubner, Leipzig 1905 (Neudruck
 in L. Prandtl und A. Betz, Vier Abhandlungen zur Hydro-
 dynamik und Aerodynamik. Göttingen 1927. Ausliefe-
 rung durch Springer-Verlag).

...schen und erlangten einen Preis. Das Experiment
 ... wird durch theoretische Überlegungen gestützt
 ... und die Theorie wird durch das Experiment an-
 ... gezeigt und kontrolliert.

Die großen Leistungen Prandtls machten auch
 auf Felix Klein, den großen Organisator der
 mathematischen und verwandten Wissenschaften,
 einen starken Eindruck. Er erkannte die unge-
 wöhnliche Begabung dieses jungen Gelehrten und
 holte ihn 1904 nach Göttingen. Felix Klein hatte
 sich vorgenommen, die große Kluft, die zwischen
 den technischen Wissenschaften und den an der
 Universität gepflegten reinen Grundwissen-
 schaften zu überbrücken und eine fruchtbare Verbin-
 dung zwischen beiden herzustellen. Dazu schuf
 an der Göttinger Universität Institute für ange-
 wandte Wissenschaften und betraute Prandtl mit
 der Leitung des neu gegründeten Instituts für an-
 gewandte Mechanik, war dieser doch wie kein
 zweiter für diese Aufgabe geeignet. Die Berufung
 eines Ingenieurs, wie es Prandtl sowohl seiner
 Ausbildung wie seiner ganzen Denkweise nach
 war, an eine Universität mit ihrer ganz anders
 gerichteten Einstellung war etwas sehr Ungewöhn-
 liches. Aber Prandtls scharfes logisches Denken,
 seine Fähigkeit, verwickelte Vorgänge auf ein-
 fache Grundprobleme zurückzuführen, brachten
 ihm auch die uneingeschränkte Wertschätzung
 seiner Universitätskollegen ein, selbst dann, wenn
 die Verschiedenheit der Denkweise und die Ver-
 schiedenheit der Ausdrucksmittel manchmal das
 gegenseitige Verständnis erschwerte. Seine Schü-
 ler waren der Sachlage entsprechend zum großen
 Teil Ingenieure. Aber gerade sein Verständnis für
 die reinen Wissenschaften und seine guten Ver-
 bindungen mit ihren Vertretern ermöglichten es
 ihm, auch Schüler aus diesen Kreisen zu gewinnen,
 anzuleiten und deren anders gearbete Grundaus-
 bildung für die Ingenieuraufgaben nutzbringend
 zu verwerten. Prandtls Arbeit hat ganz wesentlich

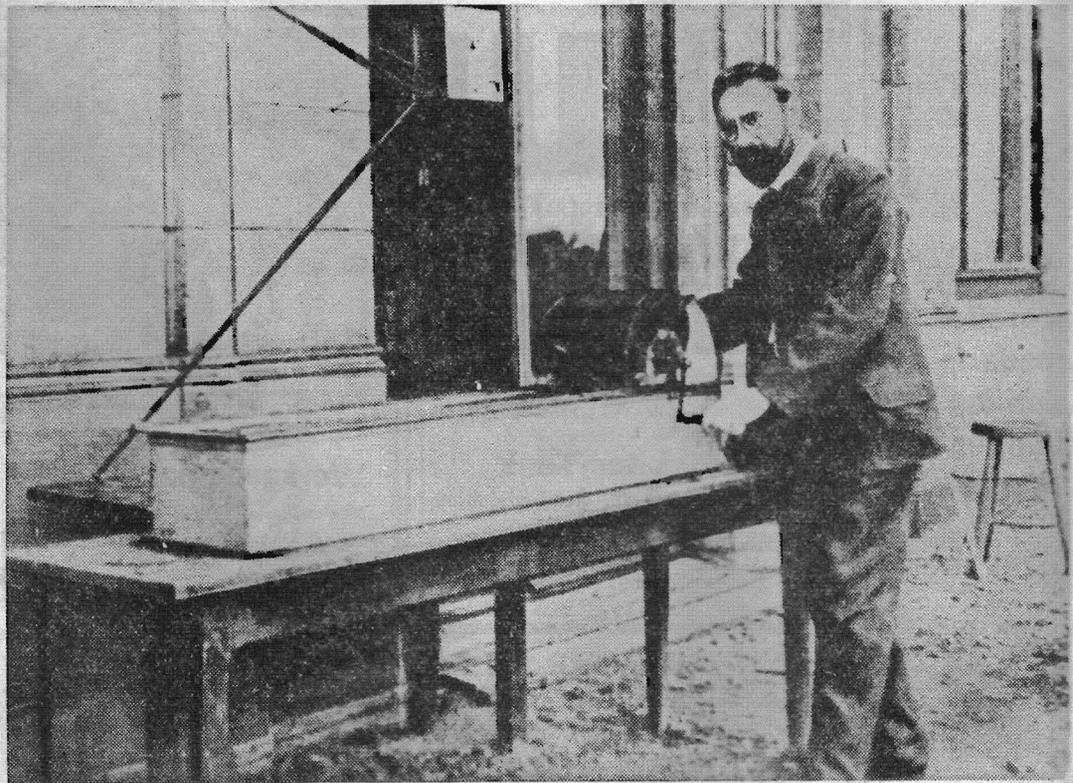


Abb. L. Prandtl an seinem Wasserkanal in Hannover

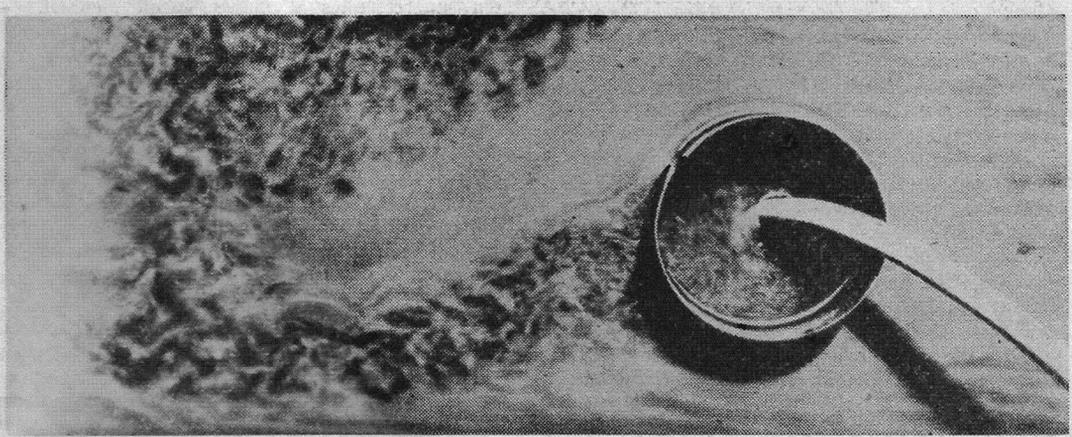


Abb. 2. Strömung um einen Zylinder mit Grenzschichtabsaugung



Abb. 3. Strömung um zwei rotierende Zylinder («Schiff ohne Widerstands»)

dazu beigetragen, das Ansehen der Ingenieure und ihrer Wissenschaft auch in den ihnen fernere stehenden Kreisen stark zu heben.

Die ersten Arbeiten in Göttingen dienten der theoretischen Berechnung der Grenzschichten. Aber bald nahm er ein neues Problem in Angriff, die Strömung kompressibler Gase. Er fand auch hierbei grundsätzliche Dinge, die zum Teil auch heute noch von großer Bedeutung sind, wie beispielsweise die sog. *Meyer-Strömung*². Diese betrifft die Uberschallströmung um eine Kante. Sie ergab für einen Standardfall besonders einfache, durchsichtige und praktisch weitgehend verwertbare Zusammenhänge. Für die Versuche diente ein Druckkessel, in dem komprimierte Luft gespeichert war, die dann kurzzeitig durch die Versuchsleitung ausströmte. Hierdurch wurden die verhältnismäßig großen Leistungen, die für hohe Geschwindigkeiten nötig sind, mit einfachen Mitteln ermöglicht. Später (1924) hat Prandtl die Anordnung insofern abgeändert, als er statt des Ueber-

gen. Ich erinnere mich noch, daß mir eines Tages das Licht aufging, daß sich dadurch ja ein Widerstand ergibt, den man theoretisch berechnen kann. Als ich dies Prandtl sagte, hatte er sich das aber natürlich längst selbst überlegt. Das waren die ersten Anfänge der *Tragflügeltheorie*, die allmählich zu einem immer umfangreicheren und immer wichtigeren Wissensgebiet anwuchs, dessen praktische Bedeutung Sie ja alle kennen. Es hatte Bedeutung nicht nur wegen des induzierten Widerstandes, sondern ermöglichte auch die Berechnung des Abwindes hinter dem Flügel und mancher anderen bei Tragflügeln auftretenden Erscheinungen. Eine sehr wichtige Ergänzung der Tragflügeltheorie konnte er 1935 auf dem internationalen Volta-Kongreß in Rom vortragen. Es handelt sich dabei um eine Theorie der «tragenden Flächen», die mit dem neuen Begriff des Beschleunigungspotentials arbeitet und auch bei Uberschallgeschwindigkeit anwendbar ist.

Bei der Grenzschichttheorie, deren Grundgedanke so außerordentlich klar und einfach ist,

gen. Ich erinnere mich noch, daß mir eines Tages das Licht aufging, daß sich dadurch ja ein Widerstand ergibt, den man theoretisch berechnen kann.

Als ich dies Prandtl sagte, hatte er sich das aber natürlich längst selbst überlegt. Das waren die ersten Anfänge der *Tragflügeltheorie*, die allmählich zu einem immer umfangreicheren und immer wichtigeren Wissensgebiet anwuchs, dessen praktische Bedeutung Sie ja alle kennen. Es hatte Bedeutung nicht nur wegen des induzierten Widerstandes, sondern ermöglichte auch die Berechnung des Abwindes hinter dem Flügel und mancher anderen bei Tragflügeln auftretenden Erscheinungen. Eine sehr wichtige Ergänzung der Tragflügeltheorie konnte er 1935 auf dem internationalen Volta-Kongreß in Rom vortragen. Es handelt sich dabei um eine Theorie der «tragenden Flächen», die mit dem neuen Begriff des Beschleunigungspotentials arbeitet und auch bei Ueberschallgeschwindigkeit anwendbar ist.

Bei der Grenzschichttheorie, deren Grundgedanke so außerordentlich klar und einfach ist, machte die mathematische Beherrschung erhebliche Schwierigkeiten. Eine ganz neue Situation trat auf, als Prandtl erkannte, daß die Grenzschicht nicht nur laminar, sondern auch turbulent strömen kann. Bei Widerstandsmessungen an Kugeln hatte *O. Föppl* in Göttingen einen anderen Wert der Widerstandsbeiwerte gefunden als Eiffel. *Eiffel* hatte dann festgestellt, daß die Kugel zwei Widerstandsbeiwerte besitzt, von denen die eine bei niedrigen Geschwindigkeiten, die andere bei höheren Geschwindigkeiten auftritt. Diese Feststellung war zunächst sehr niederdrückend, da sie die Grundlage der ganzen Modellversuche erschütterte, die ja darauf aufgebaut war, daß die Kraftbeiwerte für Modell und Großausführung ungefähr die gleichen sind. Prandtl erkannte nun, daß der Unterschied der Widerstandsbeiwerte dadurch verursacht war, daß im einen Fall die Grenzschicht laminar, im anderen turbulent strömte. Das bedeutete zwar eine Erschwerung der Modelltechnik. Zur Uebertragung von Modell auf Großausführung mußte man jetzt auch verlangen, daß die maßgeblichen Grenzschichten beim Modell den gleichen Zustand wie beim Original haben müssen, also entweder in beiden Fällen laminar sind oder in beiden Fällen turbulent. Aber man konnte auch abschätzen, wann und wo der Uebergang laminar-turbulent stattfindet, und dadurch Fehlschlüsse wegen mangelnder Uebertragbarkeit im allgemeinen vermeiden. Für die Grenzschichtforschung selbst hatte sich aber eine neue große Aufgabe aufgetan: die Gesetze der Turbulenz zu erforschen. *Prandtl* und *v. Kármán* waren die bahnbrechenden Forscher auf diesem Gebiete. Genaue Untersuchungen über die Strömung in Rohrleitungen brachten wichtige, allgemein anwendbare Gesetzmäßigkeiten zutage. Die Einführung des Begriffs des «Mischungsweges» durch Prandtl erleichterte wesentlich die Deutung der Versuchsergebnisse.

Die *ersten größeren Arbeiten* in diesem Kanal befaßten sich mit *Ballonmodellen*³ und einfachen *Tragflügelmodellen*⁴. Es ergab sich, daß bei Körpern, deren Widerstand im Verhältnis zu ihren Abmessungen sehr klein ist, wie es bei den Luftschiffen zutrifft, die Druckverteilung nur sehr wenig von der einer verlustlosen Potentialströmung abweicht und sich daher ziemlich genau mit einfachem Verfahren berechnen läßt. Bei den Tragflügelmessungen ergab sich ein starker Einfluß der Spannweite auf die Luftkräfte, sowohl auf den Auftrieb senkrecht zur Anströmrichtung, vor allem aber auf den Widerstand in Richtung der Anströmung. Dies regte Prandtl dazu an, über den Einfluß der Flügelenden nachzudenken, über den Abfall der Zirkulation, über die abgehenden Wirbel und deren Strömungsfeld. Diese Gedanken nahmen auch uns, seine Mitarbeiter, stark gefan-

gen. Ich erinnere mich noch, daß mir eines Tages das Licht aufging, daß sich dadurch ja ein Widerstand ergibt, den man theoretisch berechnen kann. Als ich dies Prandtl sagte, hatte er sich das aber natürlich längst selbst überlegt. Das waren die ersten Anfänge der *Tragflügeltheorie*, die allmählich zu einem immer umfangreicheren und immer wichtigeren Wissensgebiet anwuchs, dessen praktische Bedeutung Sie ja alle kennen. Es hatte Bedeutung nicht nur wegen des induzierten Widerstandes, sondern ermöglichte auch die Berechnung des Abwindes hinter dem Flügel und mancher anderen bei Tragflügeln auftretenden Erscheinungen. Eine sehr wichtige Ergänzung der Tragflügeltheorie konnte er 1935 auf dem internationalen Volta-Kongreß in Rom vortragen. Es handelt sich dabei um eine Theorie der «tragenden Flächen», die mit dem neuen Begriff des Beschleunigungspotentials arbeitet und auch bei Ueberschallgeschwindigkeit anwendbar ist.

Bei der Grenzschichttheorie, deren Grundgedanke so außerordentlich klar und einfach ist, machte die mathematische Beherrschung erhebliche Schwierigkeiten. Eine ganz neue Situation trat auf, als Prandtl erkannte, daß die Grenzschicht nicht nur laminar, sondern auch turbulent strömen kann. Bei Widerstandsmessungen an Kugeln hatte *O. Föppl* in Göttingen einen anderen Wert der Widerstandsbeiwerte gefunden als Eiffel. *Eiffel* hatte dann festgestellt, daß die Kugel zwei Widerstandsbeiwerte besitzt, von denen die eine bei niedrigen Geschwindigkeiten, die andere bei höheren Geschwindigkeiten auftritt. Diese Feststellung war zunächst sehr niederdrückend, da sie die Grundlage der ganzen Modellversuche erschütterte, die ja darauf aufgebaut war, daß die Kraftbeiwerte für Modell und Großausführung ungefähr die gleichen sind. Prandtl erkannte nun, daß der Unterschied der Widerstandsbeiwerte dadurch verursacht war, daß im einen Fall die Grenzschicht laminar, im anderen turbulent strömte. Das bedeutete zwar eine Erschwerung der Modelltechnik. Zur Uebertragung von Modell auf Großausführung mußte man jetzt auch verlangen, daß die maßgeblichen Grenzschichten beim Modell den gleichen Zustand wie beim Original haben müssen, also entweder in beiden Fällen laminar sind oder in beiden Fällen turbulent. Aber man konnte auch abschätzen, wann und wo der Uebergang laminar-turbulent stattfindet, und dadurch Fehlschlüsse wegen mangelnder Uebertragbarkeit im allgemeinen vermeiden. Für die Grenzschichtforschung selbst hatte sich aber eine neue große Aufgabe aufgetan: die Gesetze der Turbulenz zu erforschen. *Prandtl* und *v. Kármán* waren die bahnbrechenden Forscher auf diesem Gebiete. Genaue Untersuchungen über die Strömung in Rohrleitungen brachten wichtige, allgemein anwendbare Gesetzmäßigkeiten zutage. Die Einführung des Begriffs des «Mischungsweges» durch Prandtl erleichterte wesentlich die Deutung der Versuchsergebnisse.

Die Beschäftigung mit der Turbulenz brachte Prandtl auch wieder meteorologischen Aufgaben näher. Dieses Wissensgebiet hat Prandtl an sich von jeher mit beschäftigt, war er doch vor dem Ersten Weltkrieg Ballonführer gewesen. Die Arbeiten der Bjerknes-Schule hatten auch ihn zu meteorologischen Studien veranlaßt. Es war daher nicht zu verwundern, daß er die Erkenntnisse über turbulente Vorgänge auch auf den Wind in der

³ Th. Meyer, Ueber zweidimensionale Bewegungsvorgänge in einem Gas, das mit Ueberschallgeschwindigkeit strömt. Mitt. über Forschungsarb. an d. Geb. des Ing.-Wesens, H. 62 VDI-Verlag, Berlin 1908.

⁴ G. Fuhrmann, Widerstands- und Druckmessungen an Ballonmodellen. Z. für Flugt. und Motorluftsch. 1 (1910) S. 130.

⁵ O. Föppl, Winddruck auf gewölbte Platten von verschiedenem Wölbungspfeil.

O. Föppl, Einfluß des Seitenverhältnisses auf die Windkräfte bei gewölbten Platten. Z. für Flugt. und Motorluftsch. 1 (1910), S. 129 und S. 193.

Atmosphäre übertrug, der ja auch nur eine ausgedehnte Grenzschichtströmung ist. Um den starken Einfluß der Erddrehung auf die Vorgänge zu studieren, baute er ein eigenes rotierendes Laboratorium.

So hat Prandtl schon sehr früh zu den wichtigsten Teilgebieten der Strömungslehre den Grund gelegt: Zur Grenzschichttheorie, zur Turbulenz, zur Gasdynamik, zur Tragflügeltheorie, zur Versuchstechnik der Windkanäle und zu manchen Gebieten kleineren Umfangs. Aber er hat sich nicht nur mit der Schaffung der ersten Grundlagen begnügt, sondern war auch an dem weiteren Ausbau dieser Dinge beteiligt; bei einigen hat er an diesem Ausbau sogar den Hauptteil beigetragen. Auch außerhalb der Strömungslehre war er schöpferisch tätig. Insbesondere verdankt ihm die Theorie der plastischen Verformung sehr wertvolle Beiträge. Mit diesen Problemen war er hauptsächlich in den Jahren nach dem Ersten Weltkrieg beschäftigt. 1920 erschienen zwei Arbeiten von ihm: «Ueber die Härte plastischer Stoffe» in den Göttinger Nachrichten und «Ueber die Eindringungsfestigkeit (Härte) plastischer Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden» in der ZAMM. Dadurch wurde eine Reihe von Arbeiten anderer Forscher angeregt. Ein sehr schöner Beitrag war auch die 1928 in der ZAMM erschienene Arbeit «Ein Gedankenmodell zur kinetischen Energie fester Körper».

Prandtl hatte den Wunsch, neben dem Windkanal noch Einrichtungen zur Untersuchung allgemeinerer Aufgaben der Strömungslehre zu erhalten. Es war auch bereits vorgesehen, daß er im Rahmen der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft ein derartiges Institut erhalten sollte. Der Erste Weltkrieg machte aber die Ausführung dieser Pläne unmöglich. Da aber andererseits gerade für den Krieg der ursprüngliche kleine Windkanal von 2×2 m Querschnitt, 10 m/s Maximalgeschwindigkeit und 34 PS Antriebsleistung nicht mehr ausreichte, wurde nach den Plänen von Prandtl ein größerer Kanal mit 4 m² Querschnitt der Meßstrecke, über 50 m/s Geschwindigkeit und rund 300 PS Antriebsleistung gebaut. In ihm waren die inzwischen gewonnenen Erfahrungen weitgehend verwertet. Er wurde das Muster des sog. Göttinger Windkanaltyps, das den meisten späteren Windkanälen in aller Welt als Vorbild diente. Erst im Jahre 1924 gelang es, Prandtls Wunsch zu erfüllen: Das Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung, verbunden mit der Aerodynamischen Versuchsanstalt, wurde geschaffen. In diesem Institut hat Prandtl im wesentlichen seine große Forschungsarbeit geleistet.

Kennzeichnend für Prandtls Arbeitsweise war ein unausweichlicher Drang, Probleme, die auftauchten, aufzuklären. Er hatte dabei das ungewöhnliche Geschick, verwickelte Vorgänge in einzelne Teilaufgaben aufzulösen, welche klar zu durchschauen sind. Vor vielen Jahren sagte einmal ein junger Physiker: «Wenn man zu faul ist, über ein auftretendes Problem nachzudenken, so braucht man es nur Prandtl zu erzählen. Entweder kann er sofort die Sache klarstellen, weil er selbst schon längst über das gleiche Problem nachgedacht hat, oder die Anregung wird ihm keine Ruhe lassen und er wird die Lösung in einigen Tagen sagen.» Zu diesem Forschungstrieb kam ein ebenso unüberwindlicher Drang, das, was er erkannt hatte, anderen mitzuteilen. Wie sehr Prandtls Umgebung diesen Lehrtrieb kannte, zeigt folgende Episode: Bei einer gesellschaftlichen Veranstaltung von jüngeren Dozenten stand u. a. auf dem Programm: «Vorführung und Erläuterung von Kreiselexperimenten durch Professor Prandtl». Prandtl selbst bekam dieses Programm nicht zu sehen. Aber zur gegebenen Zeit tauchte an seinem Tisch ein kleiner Spielzeugkreislauf auf und gab ihm Anlaß, gerade das zu tun, was ohne sein Wissen auf dem Programm stand, wobei sich ein großer Zuhörerkreis um seinen Tisch versammelte. Nach einiger Zeit wurde ihm auch das Programm zu Gesicht gebracht. Er machte ein etwas verdutztes Gesicht, stimmte dann aber in das allgemeine Gelächter mit ein.

Prandtl war sehr musikalisch. Er besuchte nicht nur regelmäÙig Konzerte, sondern spielte auch selbst ausgezeichnet Klavier, und zwar meist ohne Noten, teils aus dem Gedächtnis, teils aber auch nach eigener Phantasie. Er besaß ein ungewöhnlich gutes Gehör. Er konnte z. B. einem Geräusch, etwa dem eines Gebläses, ohne weiteres die Frequenzen angeben, die darin auftraten, und daraus Schlüsse auf die Ursachen dieses Geräusches ziehen. Vielleicht hing diese besondere Begabung zum Teil damit zusammen, daß seine obere Hörgrenze merklich niedriger lag als bei normalen Menschen, so daß ihn die meist vorhandenen vielen hohen Töne bei der Erkennung der übrigen nicht störten. Auf jeden Fall stellte er auch diese Fähigkeit in den Dienst seiner Forschung. Ich erinnere mich, als wir im Ersten Weltkrieg das Gebläse für den neuen Windkanal entwickelten, traten beim Drosseln unstabiler Störungen auf. Das Gebläse heulte und der Wirkungsgrad wurde schlecht. Prandtl stellte auf Grund dessen, was er hörte, fest, daß es sich um eine Störung handeln müsse, welche relativ zum Laufgrad mit einer Geschwindigkeit umlief, die ein

Bruchteil der Umlaufgeschwindigkeit des Laufrades war. Diese Erscheinung ist jetzt, fast vierzig Jahre später, für die Strahltriebwerke von allgemeinerem Interesse geworden und mit dem gleichen Ergebnis genauer untersucht worden.

Es gibt heute Rechenmaschinen, welche so Erstaunliches leisten, daß man sich ernstlich fragte, ob es Dinge gäbe, die sie grundsätzlich nicht könnte, die also dem Menschen vorbehalten sind. Nun was Prandtl machte, kann eine automatische Maschine nicht leisten. Es war etwas, was den ganzen Menschen, nicht nur seine routinemäßige Ausbildung erforderte. Deshalb kann man auch seine wissenschaftliche Arbeit nicht von der ganzen übrigen Tätigkeit trennen.

Neben der Musik bestand seine Erholung vor allem in Wanderungen in der Natur. In Göttingen konnte man ihn regelmäßig auf Spaziergängen in den Wäldern treffen. Seinen Urlaub verbrachte er teils am Starnbergsee, teils in den Allgäuer Bergen, vor allem in Mittelberg im Walsertal. Dort bestieg er noch bis ins hohe Alter die Berge und wußte im Winter sich auch der Ski zu bedienen.

Der Schülerkreis von Prandtl war nicht besonders groß, wie etwa bei einem Ordinarius an einer Technischen Hochschule. Seine Vorlesungen waren meist nur mäßig besucht, etwa zwanzig bis fünfzig Hörer. Es lag dies zum Teil an dem für eine Universität ungewohnten Fachgebiet, das doch stark ins Ingenieurmäßige ging. Auch war sein Vortrag nicht sehr fließend. Aber er verstand es, denen, die ihn hörten, und vor allem denen, die bei ihm arbeiteten, etwas mitzugeben, was ihnen vielfach für ihr ganzes Leben eine neue Richtung gab. Er steckte alle an mit seiner so erfolgreichen wissenschaftlichen Denkweise, die den Dingen immer auf den Grund ging. Die meisten der bei ihm ausgeführten Arbeiten waren bedeutungsvoll, und manche seiner Mitarbeiter gehören heute zu den anerkannten Spitzen der Wissenschaft, wie zum Beispiel v. Kármán, Ackeret, Busemann, Tollmien, Schlichting und andere.

Dem ingenieurmäßigen Denken Prandtls war jeder äußere unwahre Schein und jede Unzweckmäßigkeit ein Greuel. Dies beschränkte sich aber nicht nur auf seine Forschungsarbeit, sondern wirkte sich auch auf allen anderen Gebieten aus. Wenn er etwas für richtig erkannt hatte, setzte er sich auch energisch dafür ein, unbekümmert darum, ob ihm das vielleicht schaden könnte. Als im April 1945 Göttingen vor der Besetzung stand und die Frage Verteidigung oder Uebergabe unstritten war, ging er mit zwei anderen angesehenen

Männern zum damaligen Gauleiter und erreichte, daß die sinnlose Verteidigung mit ihren unabsehbaren Verlusten an Menschen und Werten unterblieb.

Prandtls wissenschaftliche Leistungen wurden in der ganzen Welt anerkannt. Er war Mitglied vieler Akademien des In- und Auslandes, Ehrendoktor verschiedener Hochschulen und erhielt zahlreiche sonstige zum Teil sehr hohe Auszeichnungen, zuletzt noch das große Verdienstkreuz der Bundesrepublik. Er konnte sich über solche Anerkennungen seiner Arbeit herzlich freuen, blieb aber trotzdem persönlich außerordentlich einfach und bescheiden. Mit großer Herzengüte und Hilfsbereitschaft verband er einen starken Sinn für Gerechtigkeit, so daß alle, die mit ihm zu tun hatten, nicht nur den großen Forscher, sondern auch den liebenswerten Menschen schätzen lernten.

Ludwig Prandtl ist am 15. August vergangenen Jahres für immer von uns gegangen. Sein Leben war in ungewöhnlichem Maße erfüllt mit Leistungen von unschätzbarem Wert. Sie werden noch lange wirksam sein und auch in unserer schnelllebigen Zeit verhindern, daß er in Vergessenheit gerät. Aber wir wollen nicht nur sein Andenken ehren, sondern daraus auch eine Mahnung und Verpflichtung ableiten, das, was er geschaffen hat, weiter zu führen. Insbesondere wollen wir uns seine so erfolgreiche Arbeitsweise zum Vorbild nehmen, die, stets auf der Wirklichkeit der experimentellen Erfahrung fußend, allen Dingen theoretisch so weit nachging, daß die Zusammenhänge klar wurden. Diese Mahnung möchte ich sowohl an die sogenannten Praktiker wie an die Theoretiker richten. Keine dieser beiden Richtungen darf Selbstzweck sein. Der Praktiker soll bestrebt sein, auch die Theorie zu verstehen und zu bewerten, und der Theoretiker soll sich bemühen, den Bedürfnissen der Praxis zu dienen. Er soll sich schon bei seiner Aufgabenstellung davon leiten lassen, vor allem aber seine Ergebnisse so darstellen, daß sie der Praktiker verstehen und mit Nutzen verwenden kann. In dieser Hinsicht ist viel zu wünschen. Dazu ist nämlich nötig, nicht nur Rechenmaschine zu sein, sondern forschender Mensch, wie es uns Prandtl so wirkungsvoll gezeigt hat. Er hat wie selten jemand die Verbindung der praktischen Bedürfnisse und der theoretischen Bearbeitung gepflegt, und wir werden sein Andenken am besten dadurch ehren, daß wir dieser Richtung, die leider vielfach stark vernachlässigt wird, mehr Aufmerksamkeit schenken.