

Jakob Ackeret und die Geschichte der Machschen Zahl

Autor(en): **Rott, Nikolaus**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **101 (1983)**

Heft 21

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-75150>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Jakob Ackeret und die Geschichte der Machschen Zahl

Von Nikolaus Rott, Zürich

Als Jakob Ackeret im Jahre 1928 im Alter von 30 Jahren zum Privatdozenten an der Eidgenössischen Technischen Hochschule ernannt wurde, hatte er schon bedeutende Leistungen vollbracht. Nach dem Abschluss des Maschineningenieur-Studiums im Jahre 1920 an der ETH war er für ein Jahr Assistent bei *Aurel Stodola* (1859–1942) und wurde nachher Mitarbeiter von *Ludwig Prandtl* (1875–1953) in *Göttingen*, wo er wesentliche Beiträge zum Aufbau des Aerodynamischen Institutes geleistet hat. 1925 veröffentlichte er die berühmten *Ackeretschen Formeln* für den Auftrieb und Widerstand von dünnen Überschallprofilen. Er schrieb einen Artikel über Gasdynamik für das «Handbuch der Physik», der im Jahre 1927 erschienen ist. Im gleichen Jahr zog er wieder nach Zürich und wurde Chefingenieur bei Escher Wyss, wo er die Grundlagen für die moderne aerodynamische Behandlung von Turbinen und Axialkompressoren legte.

«Der Luftwiderstand bei sehr grossen Geschwindigkeiten» war der Titel seiner Antrittsvorlesung an der ETH am 4. Mai 1929. Bei der Definition der Ähnlichkeitsparameter einer zähen kompressiblen Strömung bemerkte er, dass es sehr nützlich wäre, für das wichtige Verhältnis Fluggeschwindigkeit (oder Strömungsgeschwindigkeit) v zu Schallgeschwindigkeit a einen eigenen Namen zu geben. Er schlug vor, diesen Ausdruck als «*Machsche Zahl*» zu bezeichnen. Dies hatte sofort einen grossen Erfolg, und heute ist dieser Name nicht nur den Fachleuten bekannt (wie z. B. «*Reynoldsche Zahl*»), eine Bezeichnung, die von *Prandtl* vorgeschlagen wurde), sondern ist auch dem breiten Publikum geläufig.

Ackerets Antrittsvorlesung wurde in der «Schweizerischen Bauzeitung» vom 12. Oktober 1929 (Bd. 94, Nr. 15: 179–183) veröffentlicht; er schrieb hier wörtlich: «In der Aerodynamik höherer Geschwindigkeiten tritt das Verhältnis v/a dauernd auf. Es empfiehlt sich deshalb, eine abkürzende Bezeichnung einzuführen. Da der bekannte Physiker *Ernst Mach* auf unserem Gebiete die grundlegende Bedeutung dieses Verhältnisses besonders klar erkannt und durch geniale experimentelle Methoden bestätigt hat, scheint es mir sehr berechtigt, v/a als Machsche Zahl zu bezeichnen.» Die Arbeit von Ernst Mach (1838–1916), auf die Ackeret Bezug genommen hat, ist der be-

kannte Artikel, den Mach (zusammen mit *P. Salcher*) im Jahre 1887 in den Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften in Wien veröffentlicht hat. Hier wurde die *Kopfwelle von Geschossen zum ersten Male sichtbar gemacht* und fotografiert. Das Experiment, das auf der von *August Toepler* im Jahre 1864 erfundenen *Schlierenmethode* basiert, war bahnbrechend zu seiner Zeit; so wurden z. B. die Aufnahmen von Mach und Salcher in der Veröffentlichung noch als Holzschnitte wiedergegeben!

Neben den Experimenten gab Mach auch eine *theoretische* Erklärung zur Entstehung der Kopfwelle. Er zeichnete das Bild eines *Machschen Kegels*, wie es heute überall zu finden ist, als umhüllende einer Reihe von Kugelpulsen, die entlang der Bahn des Geschosses erzeugt worden sind und die mit der Schallgeschwindigkeit anwachsen. Diese theoretische Erklärung ist jedoch schon vierzig Jahre früher, im Jahre 1847, von *Christian Doppler* (1803–1853) angegeben worden. Ackeret war sich dieser Tatsache wohl bewusst, aber er pflegte zu sagen, dass Dopplers Name so stark mit dem «Effekt» oder «Prinzip» verbunden ist, dass eine neuerliche Verwendung dieses Namens zu Konfusionen führen könnte. Auch schien es ihm wichtig zu sein, den Experimentator zu ehren, und so blieb es bei der Machschen Zahl.

Andererseits ist es klar, dass die gleichen Gedankengänge, die zur Entdeckung des *Doppler-Effektes* geführt haben, bei konsequenter Weiterführung auch zur Entdeckung des *Doppler-Machschen Kegels* führen mussten. Ich werde später einige historische Bemerkungen zu diesem Thema geben; sie basieren auf dem Material, das ich als Doktorand unter der Leitung von Professor Ackeret gesammelt habe.

Zunächst aber möchte ich über die Forschungsarbeiten berichten, die am Institut für Aerodynamik in Zürich unter der Leitung von Professor Ackeret über Phänomene bei hohen Machzahlen durchgeführt worden sind.

Ackeret wurde im Herbst 1931 zum ausserordentlichen Professor an der ETH gewählt. Er begann unverzüglich mit der Planung des Institutes für Aerodynamik. Die zwei wichtigsten Einrichtungen, die er vorsah, waren die beiden grossen Windkanäle, die Ackeret in Zusammenarbeit mit seinem vertrauten

Konstrukteur *Johann Egli* entworfen hat. Ackeret war ja nach einer Aussage von *Kármáns* der erfolgreichste praktische Ingenieur unter den wissenschaftlichen Pionieren der modernen Flüssigkeitsmechanik. Er hat auch seine Beziehungen zu Escher Wyss während seiner ganzen Schaffensperiode aufrechterhalten und hat an vielen konstruktiven Arbeiten aktiv mitgewirkt, z. B. an dem Entwurf von *Verstellpropellern*, sowohl für Schiffe wie auch für Flugzeugpropeller. Seine wichtigste Erfindung ist das von ihm und von *C. Keller* geschaffene *Konzept einer Gasturbine mit geschlossenem Kreislauf*, einer Maschine, die noch lange nicht die grosse praktische Bedeutung erlangt hat, die sie potentiell erreichen könnte und sicher auch erreichen wird; besonders aussichtsreich ist die *Variante mit Heliumfüllung*, bei der die Machzahlen in der Maschine klein sind.

Im Institut war von den zwei von Ackeret konstruierten Windkanälen einer als *konventioneller Kanal für niedere Geschwindigkeiten* ausgelegt, erreichte aber ungewöhnlich hohe Effizienz und ist heute noch im Alltag der Institutsarbeit ein unentbehrliches Instrument für Lehre, Forschung und Dienstleistungen. Der zweite Kanal wurde eine weltberühmte Pionierleistung: Dieser war der *erste Überschallkanal mit geschlossenem Kreislauf*. Ackeret verfolgte mit dieser Konstruktion hauptsächlich zwei Ziele. Zunächst konnte im geschlossenen Kreislauf des Kanals das Druck-Dichte-Niveau so weit gesenkt werden, dass die erforderliche Antriebsleistung auf ein tragbares Mass, nämlich 900 PS, beschränkt wurde. Zweitens aber erlaubte die Änderung des Druckniveaus eine unabhängige Variation der Reynoldsschen Zahl bei fester Machscher Zahl, und dies machte den Überschallkanal in Zürich zu einem Forschungsinstrument von besonderer Wirksamkeit. Zu allem aber erlaubte der kontinuierliche Betrieb auch die Möglichkeit einer direkten, ohne Zeitnot bedrängten Beobachtung der Strömung, mit Hilfe der von Dr. *de Haller* konstruierten *Schlierenoptik*. Alle, die das Privileg hatten, an diesem Kanal zu arbeiten, bekamen das Gefühl, dass sie sich ein persönliches Verhältnis zu Hochgeschwindigkeits-Strömungen angeeignet hatten.

Der Bau dieses Kanals war mit einem wichtigen Fortschritt in der Konstruktion von *mehrstufigen Axialkompressoren* verbunden. Der Kompressor wurde von Brown Boveri in Baden gebaut. Mit seinen 900 PS lieferte er 40 m³/s mit einem Druckverhältnis von 2,4; der Wirkungsgrad dieses 13stufigen Verdichters war etwa 70 Prozent. In der Zeit vor fünfzig Jahren wurde die Theo-

rie des einstufigen axialen Kompressors durch eine wichtige Arbeit bereichert, nämlich durch die unter der Leitung von Ackeret geschriebene Dissertation von C. Keller «Axialgebläse vom Standpunkt der Tragflügeltheorie», die im Jahre 1934 im Druck erschienen ist. Die aerodynamische Theorie der Axialgebläse wurde bald auch auf mehrstufige Verdichter angewendet. Doch wie Dr. C. Seippel berichtet, der zu dieser Zeit die Gruppe Axialverdichter bei BBC geführt hatte, gab es damals nur eine vierstufige experimentelle Maschine in Baden, an der Erfahrungen gesammelt wurden. Ackeret aber entschloss sich, die Maschine mit der praktisch unerprobten Anwendung der fortgeschrittenen Theorie auf hohe Stufenzahlen für den Überschallkanal zu bestellen. Der sofortige durchschlagende Erfolg hat die weitere Entwicklungsgeschichte dieses Maschinen-Typs stark beeinflusst.

Die erste wichtige Anwendung des Überschallkanals machte von der unabhängigen Einstellbarkeit der Machzahl und der Reynoldszahl vollen Gebrauch. Ackeret hatte die Idee, den Einfluss von Stosswellen auf Grenzschichten zu untersuchen. Die Ergebnisse wurden in der Nummer 10 der Serie «Mitteilungen aus dem Institut für Aerodynamik» veröffentlicht von den Autoren Ackeret, Feldmann und Rott. Die Kopien von einigen Strömungsbildern, die Herr Feldmann mit Hilfe der Schlierenmethode aufgenommen hat, hängen noch heute im Institut. Später untersuchte Feldmann das Problem der Tunnelkorrekturen bei hohen Unterschallgeschwindigkeiten (Mitt. Nr. 14). Es folgte eine experimentelle Untersuchung von Rotationskörpern, Unterschall bei hohen Machzahlen. Die Theorie war zunächst – d. h. vor dem Erscheinen der Arbeiten Götherts und seiner Göthertschen Regel – noch stark umstritten, und die Arbeit von Van Driest (Mitt. Nr. 16, 1949) trug viel zur Klärung des Problems von der experimentellen Seite bei. Später wurden thermische Effekte im Nachlauf von stumpfen Körpern untersucht; Resultate sind im Jahre 1949 in der Nummer 18 von Ryan und zwei Jahre später (1951) in der Nummer 21 von Ackeret in der Serie der Mitteilungen veröffentlicht. Auf der Überschallseite hat B. Chaix Untersuchungen von Überschalldüsen ausgeführt. Weitere Experimente sind mit Gittern durchgeführt worden (El Badrawy, Nr. 19, 1952) sowie mit Rotationskörpern bei niederen Überschall-Machzahlen (H. R. Voellmy, Nr. 24, 1958). Soviel zu der Geschichte der Machschen Zahl in der Reihe der Mitteilungen. Fast alle Arbeiten aus dem Institut auf diesem Gebiet wurden in

dieser Serie veröffentlicht; es fehlt noch eine Arbeit über den experimentellen Nachweis der transonischen Ähnlichkeit, in der ZAMP 1950 erschienen, und Messungen an einem geneigten Rotationskörper bei hohen Unterschallgeschwindigkeiten, in der Aerotecnica im Jahre 1951 publiziert; beide Arbeiten sind von Ackeret, Degen und Rott.

Es ist schwer, über die «Mitteilungen» zu berichten und sich dabei nur auf die Arbeiten zu beschränken, bei denen die Machsche Zahl eine Rolle spielt. Ich möchte wenigstens die wichtigsten Gebiete erwähnen, in denen bahnbrechende Arbeiten in dieser Serie erschienen sind: die schon zitierte Arbeit von C. Keller über Axialgebläse; Windkanalkorrekturen bei Tragflügelmessungen von de Haller; die erste systematische Arbeit über Abreiss-Flügel-schwingungen von H.-L. Studer; Bericht über ein Hitzdrahtmessgerät, konstruiert von Dätwyler; Grenzschichtabsaugung von Gerber und die bahnbrechende Arbeit von Pfenniger; theoretische und experimentelle Arbeiten im Zusammenhang mit Strömungsmaschinen von Richard Meyer, Mühlemann, Sawyer, Ginsburg, Rossow, Ludwig Meyer, Coester, Athanassiades und Hürlimann. Über Krümmer erschien eine theoretische Arbeit von Detra und eine experimentelle von Sprenger; Strahlenprobleme wurden von Plaskowski und von Iserland behandelt; Arbeiten über Tunnel-lüftung von Haerter und über Gaslager von Stingelin zeigen die ungewöhnliche Breite im Themenkreis dieser Serie.

Ackeret hat auch nach seinem Rücktritt von der Professur an der ETH aktiv in verschiedenen Gebieten gearbeitet, z. B. an Problemen des Winddruckes und der Tunnellüftung; auch die allgemeinen Probleme der Energieversorgung haben ihn stark beschäftigt. Sein ganzes Leben lang hatte er ein waches Interesse an der Geschichte der Wissenschaft und der Technik. Sein wichtigster Beitrag auf diesem Gebiet war die Herausgabe von Eulers Werken über Hydrodynamik. Im Jahre 1944 wurde am Institut eine Turbine gebaut und geprüft, deren Konstruktion auf Ideen und Skizzen von Leonhard Euler aus dem Jahre 1754 zurückgeht.

Nun möchte ich mich nochmals der Frage zuwenden, wieso Ackeret – nach seinen eigenen Worten – sich damals gefragt hat, ob er den grundlegenden Ähnlichkeitsparameter der Gasdynamik nach Mach oder nach Doppler benennen soll. Der Doppler-Effekt ist ja allgemein bekannt: Es ist die Frequenzänderung, d. h. die Tonänderung, die ein Beobachter wahrnimmt, wenn z. B. ein pfeifender Zug oder eine Ambulanz

mit Sirene mit grosser Geschwindigkeit vorbeifährt. Als Christian Doppler im Jahre 1842 sein Prinzip aufgestellt hat, war er sich voll bewusst, dass es auf die Relativbewegung von drei Dingen ankommt: (1) die Quelle – in unserem Fall die Schallquelle –, (2) der Beobachter und (3) das Medium, d. h. die Luft für Schall oder z. B. der Äther für Licht. In der Tat, wenn eine Ambulanz mit Sirene an uns vorbeifährt, so ist der Doppler-Effekt nicht der gleiche wie im Falle, wenn Sirene und Beobachter Platz tauschen, d. h. wenn der Beobachter im Auto an einer ruhenden Sirene vorbeifährt; die Geschwindigkeit der Vehikel wird in beiden Fällen genau gleich angenommen. Der Unterschied ist allerdings nur bei hohen Machschen Zahlen wahrnehmbar. Doppler erkannte aber, dass die Relativbewegung zwischen Schallquelle und Medium das Schallfeld fundamental beeinflusst und veröffentlichte im Jahre 1847, fünf Jahre nach der Bekanntgabe seines Prinzipes, eine Arbeit (in den «Abhandlungen der Böhmisches Gesellschaft der Wissenschaften»), in der zum ersten Male klar zwischen den Feldtypen der Unterschall- und der Überschallgeschwindigkeit unterschieden worden ist.

Die historischen Bilder aus dieser Arbeit sind in Bild 1 und Bild 2 wiedergegeben. Das erste zeigt das «Schallfeld» – d. h. Flächen gleicher Phase, z. B. den Ort der «Wellenkämme» im Schallfeld –, erzeugt von einer Quelle, die sich mit Unterschallgeschwindigkeit bewegt. Das zweite zeigt das Bild für eine Quelle, deren Geschwindigkeit höher ist als die Schallgeschwindigkeit; die Flächen gleicher Phase haben jetzt ein Umhüllende, und dieses eigentliche Charakteristikum des Überschalls heisst heute der «Machsche Kegel».

Die grundlegende Erkenntnis von Doppler war, dass die Schallquelle ihre Geschwindigkeit dem Schall nicht mitteilt; der Schall breitet sich relativ zum Medium immer mit der gleichen Geschwindigkeit aus. Es ist dies nicht der Ort, die Dopplersche Theorie im einzelnen zu erklären, doch kann ein einfaches Beispiel zur Erläuterung der Grundidee dienen: Wenn ein Flugzeug von einem bewegten Flugzeugträger startet, so addiert sich die Geschwindigkeit des Flugzeugträgers und des Flugzeuges nur bis zu dem Moment, in dem das Flugzeug abhebt – nachher hat es seine eigene, vom Start unabhängige Geschwindigkeit. Mutatus mutandis heisst das für Dopplers Bilder: Die Schallquelle befand sich jeweils in den Mittelpunkten dieser Kugeln zur Zeit, als diese gestartet haben, d. h. als sie erzeugt worden sind. Mit der Bewegung der Quelle verschieben sich die Mittelpunkte.

Die Änderung des Schallfeldes beim Übergang von Bild 1 zu Bild 2 lässt sich verstehen, wenn man das Beispiel etwas strapaziert und sich einen Flugzeugträger vorstellt, der sich rascher als ein Flugzeug bewegt. Dann würden alle Flugzeuge, die von diesem Flugzeugträger starten, innerhalb eines Keiles im Schlepptau des Trägers zu finden sein: Dies wäre dann ein Machscher Keil.

Doppler hat seine Überlegungen auch auf Schallquellen angewendet, die sich auf gekrümmten Bahnen bewegen. Bild 3 und Bild 4 zeigen Schallfelder für Unter- bzw. Überschallgeschwindigkeit. Diese Bilder zeigen eindrücklich, wie intensiv sich Doppler mit dem Problem von bewegten Quellen auseinandergesetzt hat.

Es ist interessant zu verfolgen, wie Mach mit den Ideen von Doppler Bekanntheit gemacht hat. Seine wahrscheinlich erste Veröffentlichung überhaupt, aus dem Jahre 1860, war eine Verteidigung der Dopplerschen Theorien gegen unberechtigte Kritiken seitens von Jozsef Petzval (1807-1891), einem Wiener, der aus Ungarn stammte. Petzval war damals schon sehr bekannt durch seine Beiträge zur geometrischen Optik; seine Konstruktion von optischen Linsen aus dem Jahr 1840 hat die Entwicklung der Photographie revolutioniert. Im Jahre 1852 präsentierte er der Kaiserlich-königlichen Akademie der Wissenschaften in Wien eine Theorie, in der er die Ergebnisse von Doppler zu widerlegen versuchte. Es ist mühsam und undankbar, sich mit einer falschen Theorie zu beschäftigen, doch hatte Petzval auch eine glänzende Idee, nämlich die bewegte stetige Quelle durch eine ruhende Reihe von Quellen zu ersetzen, die nacheinander kurze Pulse aussenden und so die Bewegung simulieren; ähnlich wie die nacheinander aufleuchtenden Glühlampen einer Lichtreklame. Unglücklicherweise merkte Petzval nicht, dass die Anwendung dieses Modells die Ergebnisse von Doppler bestätigt und nicht widerlegt. Petzval erkannte auch richtig, dass wenn Schallquelle und Beobachter in relativer Ruhe sind, es keine Frequenzänderung gibt, auch wenn das Medium bewegt ist, d. h. wenn der Wind weht. Petzval versuchte erfolglos mit Hilfe dieser Tatsache das Dopplersche Prinzip zu widerlegen. Das veranlasste Mach zu verschiedenen kritischen Arbeiten; in der einen finden sich die folgenden ätzenden Bemerkungen, veröffentlicht in den «Annalen der Physik und Chemie» (1862): «Wenn man Prof. Petzval, etwa für die Erfindung seines Prinzipes, ein Ständchen brächte, so würde dieses selbst bei weniger gemüthlichem Wetter in derselben Tonart, eben-

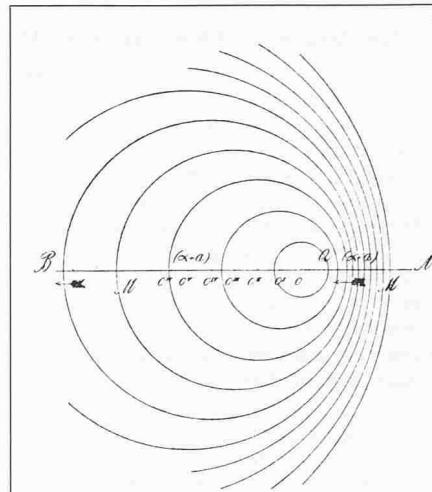


Bild 1. $M < 1$, gerade Bahn

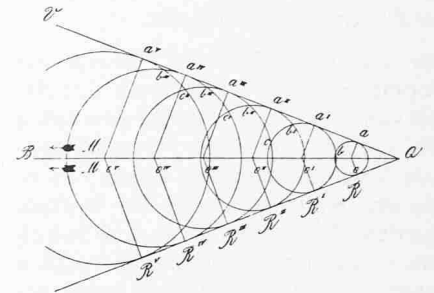


Bild 2. $M > 1$, gerade Bahn

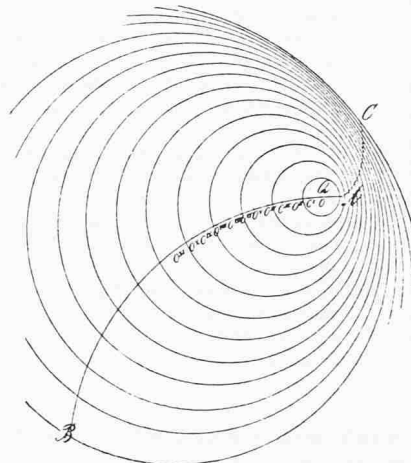


Bild 3. $M < 1$, gekrümmte Bahn

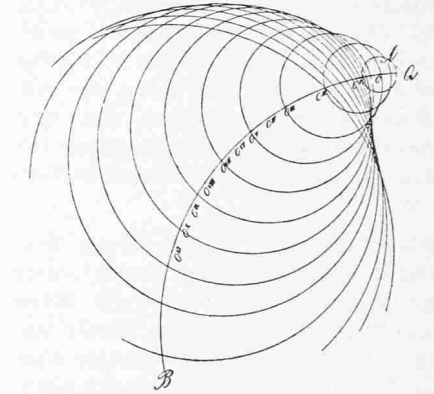


Bild 4. $M > 1$, gekrümmte Bahn

Bilder 1 bis 4 sind Originalfiguren aus der Arbeit von Christian Doppler «Über den Einfluss der Bewegung des Fortpflanzungsmittels auf die Erscheinung der Aether-, Luft- und Wasserwellen.» (Abb. d. Böhmisches Ges. d. Wiss., V. Folge, Bd. 5, 1847)

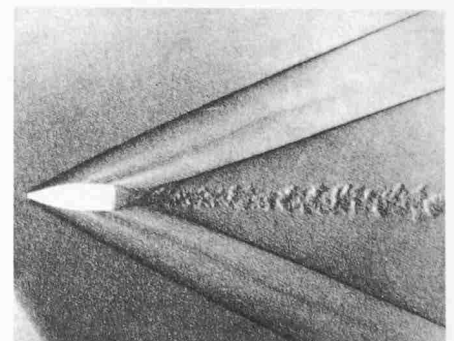
so harmonisch und melodisch zu seinem Fenster hinauftönen, wie am schönsten Maimorgen.»

Fünfundzwanzig Jahre später, im Jahre 1887, als Mach die schon am Anfang erwähnten Experimente mit Salcher durchgeführt hatte, scheint der Streit schon weitgehend in Vergessenheit geraten zu sein. Die Sichtbarmachung der Kopfwelle von Geschossen hat eine neue Epoche im Verständnis der Überschallphänomene eingeleitet. Leider eignen sich die Originalbilder aus der Arbeit von Mach und Salcher nicht gut zur Reproduktion. Bild 5 ist ein modernes Bild einer Kopfwelle; es wurde von Ackeret anlässlich seiner schon genannten Antrittsvorlesung im Jahre 1929 gezeigt.

Bei der theoretischen Erklärung dieser Erscheinungen durch Mach kann das Vermächtnis von Doppler nicht übersehen werden. Allerdings ist auch der Schritt vom Schallfeld zum Strömungsfeld ein wesentlicher Schritt, den wir der Erkenntnis von Mach verdanken.

Wir können uns fragen, was es uns nützt, diese alten Begebenheiten wieder aufzufrischen. Ich glaube, dass einer der Gründe darin bestehen könnte, dass man die Kontroverse zwischen Doppler und Petzval als elementares Vorspiel auffassen kann zu den Diskussionen, die zu Beginn unseres Jahrhunderts das Ringen um das Verständnis der speziellen Relativitätstheorie gekennzeichnet haben. In der Tat beobachtet man in zwei relativ bewegten

Bild 5. Schlierenbild bei $M > 1$



Raumschiffen, die identische Lichtquellen tragen, nach *Einstein* immer die gleichen Dopplerverschiebungen der Lichtfrequenzen, in Abwandlung der Ergebnisse von Doppler.

Der klassische Teil der Theorie des Doppler-Effektes wurde durch eine Arbeit von *Waldemar Voigt* aus dem Jahre 1887 (in den «Göttinger Nachrichten») zum Abschluss gebracht. Er gab Lösungen der Wellengleichung für bewegte Quellen. Dafür brauchte er eine Substitution, die der *Lorenz-Transformation* äusserlich ähnlich ist und die in der Aerodynamik immer wieder benützt wird. Trotzdem wird Voigts Arbeit heute selten zitiert, am wenigsten von den Aerodynamikern. Ackeret hat mich darauf aufmerksam gemacht, dass die Bedeutung dieser Arbeit von *Wolfgang Pauli* sehr wohl erkannt worden war. In der grossen Abhandlung, die Pauli im Jahre 1921 über die Relativitätstheorie veröffentlicht hat, ist die Arbeit von Voigt die erste Referenz. Sie bildet den Abschluss einer klassischen Ära und schafft eine günstige Ausgangslage zur Errichtung eines Brückenkopfs in Neuland.

Ackeret allerdings war in diesem Neuland zu Hause wie kaum jemand unter den Ingenieur-Wissenschaftlern. Seine Kenntnisse der modernen Physik waren unglaublich, und er verfolgte ständig die allerneuesten Entwicklungen. In der Relativitätstheorie war er aber auch schöpferisch tätig: Er stellte die *relativistische Theorie der Raketen* auf.

Die visionären Kräfte Ackerets haben alle, die ihn kannten, in den Bann geschlagen. Er sprach über die Atombombe, bevor die meisten Physiker an die Möglichkeit ihrer Verwirklichung geglaubt haben, und über elektronische

Ergänzungen zur Bibliographie Ackeret

Im Jahre 1958 hat die *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik (ZAMP)* einen Ackeret-Gedenkband anlässlich des 60. Geburtstages von Jakob Ackeret herausgegeben. In diesem Band (9B) befindet sich eine vollständige Bibliographie der Werke Ackerets (und einiger seiner Mitarbeiter), zusammengestellt bis zum Jahresende 1957. Die folgende Bibliographie ergänzt die Liste der Arbeiten Ackerets mit Werken, die ab 1958 erschienen sind. Die Numerierung ist die Fortsetzung der Nummern im ZAMP-Band.

- [109] «Grenzschichten in geraden und gekrümmten Diffusoren». IUTAM-Symposium Freiburg i. Br. Herausgeber: H. Görtler (Springer, Berlin, 1958)
- [110] «Über Reibung und Grenzschicht - Stabilität an rotierenden angeblasenen Zylindern». *Z. angew. Math. Phys.* 9a, 284-285, 1958
- [111] «A System of Rocket Propulsion Using Reactors and Gas Turbines». *Proceedings of the IXth Int. Astronautical Congress Amsterdam. 1958* (Springer, Wien, 1959)
- [112] «Die Entwicklung des Entropiebegriffes». *Schweiz. Bauzeitung*, 77, 316-324, 1959
- [113] «Raumfahrt». *Neujahrsblatt der Zürcher Naturforschenden Ges.*, Zürich, 1960
- [114] «Über Luftkissen-Fahrzeuge» (mit *H. Baumann*). *Schweiz. Bauzeitung*, 78, 137-141, 1960
- [115] «The Role of Entropy in the Aerospace Sciences». Daniel & Florence Guggenheim Memorial Lecture. *J. Aerospace Sci.*, 28, 81-96, 1961
- [116] «Die Reichweite der Strahl-Verkehrsflugzeuge» (mit *Z. Plaskowski*). *Schweiz. Bauzeitung*, 81, 797-803, 1963
- [117] «Anwendung der Aerodynamik im Bauwesen». Achte Ludwig-Prandtl-Gedächtnis-Vorlesung. *Z. Flugwiss.*, 13, 109-122, 1965
- [118] «Über die Verwendung sehr kleiner Modelle für Winddruck-Versuche». *Schweiz. Bauzeitung*, 84, 3-7, 1966
- [119] «Ernst Mach zum 50sten Geburtstag». *Schweiz. Bauzeitung*, 84, 140-141, 1966
- [120] «Aspects of International Flow». *Fluid Mechanics of Internal Flow* (Ed. G. Sovran), 1-26. (Elsevier, Amsterdam, 1967)
- [121] «Der Weg zum Überschall-Verkehrsflugzeug». Abschiedsvorlesung, gehalten am 10. Juni 1967 an der ETH Zürich. Bericht in der *Neuen Zürcher Zeitung* vom 19. Juli 1967, und in «*Flugwehr und Technik*» (von *Z. Plaskowski*), 29, 153-157 und 184-186 (Nr. 5 und 6), 1967
- [122] «Galileis Erklärungsversuch der Gezeiten». *Orion* 12, 83-84, 1967
- [123] «Zur Frage der Sicherheit in langen Strassentunneln». *Neue Zürcher Zeitung*, 8. Januar 1969
- [124] «Abwärmeprobleme der thermischen Kraftwerke». *Neue Zürcher Zeitung*, 13. April 1970
- [125] «Kohle als Alternative zum Uran?». *Neue Zürcher Zeitung*, 17. August 1977

Uhren, bevor die wirklichen Durchbrüche in der Elektronik tatsächlich erreicht wurden. In allen Gebieten sprach er oft über die Probleme von übermorgen, während sein Gesprächspartner in vielen Fällen die Schwierigkeiten von gestern noch nicht gemeistert hatte. Ackeret hat mit seinen langen Gesprächen über die Zukunft, die er mit der vollen Eloquenz seiner brillanten und suggestiv starken Persönlichkeit führte,

einen grossen Einfluss auf seine Schüler und Mitarbeiter gehabt. Wir alle, die durch ihn so bereichert worden sind, werden dies nie vergessen.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *N. Rott*, Institut für Aerodynamik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.