

# Ernst Mach zum 50sten Todestag: (19. Februar 1916)

Autor(en): **Ackeret, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **84 (1966)**

Heft 7

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-68839>

## **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.

# Ernst Mach zum 50sten Todestag

(19. Februar 1916)

Von Prof. Dr. J. Ackeret, ETH, Zürich

Der Name *Mach* ist heute sehr geläufig, denn die

$$\text{Mach-Zahl } M = \frac{\text{Geschwindigkeit}}{\text{Schallgeschwindigkeit}}$$

hat sich eingebürgert wie kaum eine andere dimensionslose Grösse der Physik und Technik<sup>1)</sup>.

Mach selbst würde vielleicht darüber nicht besonders erbaut sein, dass das grössere Publikum ihn bald nur noch in diesem Zusammenhang kennt; er dürfte sein Lebenswerk wohl eher in anderer Richtung gesehen haben. Mach war Physiker, Wissenschaftshistoriker; aber auch in der Physiologie und Psychologie war er Zeit seines Lebens tätig. Er wird oft als Philosoph bezeichnet, obwohl er dies nicht eben schätzte. Seine «Philosophie», im alten Russland als «Machismus» bezeichnet, wurde, nebenbei gesagt, von *Lenin* bekämpft<sup>2)</sup>.

Solche äusserst vielfältige Tätigkeit<sup>3)</sup> bringt es mit sich, dass es wohl nur Wenige gibt, die sein Werk allseitig beurteilen und würdigen können. Da der Schreibende nicht zu diesen gehört, sollen im folgenden nur drei Beispiele erwähnt werden, die auch für Ingenieure von Interesse sein können.

A) Vor langen Jahren erhielt ich zusammen mit Adolf Busemann von Professor *L. Prandtl* in Göttingen den Auftrag, ein «rotierendes Zimmer» zu konstruieren, in dem man Strömungsversuche anstellen kann. Der Beobachter soll *mitrotieren* und damit die *Relativbewegung* direkt beobachten, insbesondere feststellen, wie diese durch Zentrifugal- und Corioliskräfte beeinflusst wird. – Solche Versuche sind einerseits wichtig für das Studium der Turbinenströmungen, andererseits auch für die Meteorologie (bekanntlich geht der Wind nicht vom «Hoch» zum «Tief», sondern *kreist* um diese Gebiete – eine Wirkung der Erddrehung verbundenen Corioliskraft).

Das Zimmer war allseitig geschlossen, so dass man im Innern von der Drehung nichts *sehen* konnte. Die ersten Erfahrungen waren überraschend. Wenn man seinen Kopf ohne Schwenkung stets gerade hielt, spürte man zwar die Zentrifugalkraft, aber man konnte sich dieser verhältnismässig leicht entgegenstemmen. Bedenklich wurde aber die Sache, wenn man den Kopf in irgend einer Richtung schwenkte, was für Ablesungen, Manipulationen, Photographie usw. erforderlich war. Dann begann, dem *Gefühl* nach, sich die ganze Welt um irgend eine schräge Achse zu drehen, oftmals mit erschreckender Geschwindigkeit. Es stellten sich dann Erscheinungen ein, die man mit der Seekrankheit vergleichen konnte. Prandtl war zuerst sehr enttäuscht. Er fand nach einiger Zeit die Erklärung<sup>4)</sup>, wurde aber von einem Kollegen alsbald belehrt, dass man all dies schon längst bei Mach hätte nachlesen können<sup>5)</sup>; dieser hatte auch schon mit einem (primitiven) geschlossenem «Zimmer» experimentiert. Etwas vereinfacht lautet die Erklärung: Wir haben ein Gleichgewichtsorgan im Ohr, die sogenannten Bogengänge, die mit Flüssigkeit erfüllt sind. Hat diese einmal die stationäre Rotation bei gerade gehaltenem Kopf angenommen und schwenkt man daraufhin diesen, so behält die Flüssigkeit noch einige Zeit den alten Drehvektor wie ein Kreisel bei.

<sup>1)</sup> Sie erschien übrigens zum *ersten Mal* in unserer Schweizerischen Bauzeitung (Bd. 94) 1929.

<sup>2)</sup> *W. J. Lenin* «Materialismus und Empirio-kritizismus» (1908).

<sup>3)</sup> Eine anregende Übersicht verschafft Machs Buch «Populär-wissenschaftliche Vorlesungen». Viele Auflagen. Leipzig.

<sup>4)</sup> *L. Prandtl*: Gesammelte Abhandlungen; Teil III, p. 1304/08. Berlin 1961.

<sup>5)</sup> *E. Mach*: Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen, p. 23/31. Leipzig 1875.

Relativ zu den nun geneigten Bogengängen bedeutet dies aber eine grosse Veränderung des Vektors, der von den Nerven als Drehung des *Körpers* an das Gehirn gemeldet wird. Nun ist bei *geschlossenem* Zimmer *optisch* nichts besonderes zu bemerken. Im Gehirn entsteht also ein Widerspruch der Empfindungen: mechanisch scheint etwas ungeheuerliches, optisch aber sozusagen nichts geschehen zu sein. Da ist es nicht unverständlich, dass die damit verbundene Irritation zu physiologischen Nebeneffekten führen kann. Ist das Zimmer nach aussen *offen*, so ist man sich klar über die Lage im Raum; der Widerspruch verringert sich wesentlich.

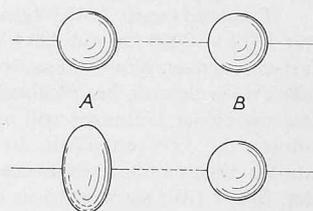


Bild 1. Zum Mach'schen Prinzip

B) Schon *Newton* hat hervorgehoben, dass die gleichförmige *Drehung* im Gegensatz zur gleichförmigen *Translation* einen *absoluten* Charakter zu haben scheint. – Besonders deutlich kann man das aus einem einfachen Beispiel ersehen, das *Einstein* angegeben hat, Bild 1.

Es seien zwei Himmelskörper A und B von gleicher Art frei schwebend im Raume in grosser Distanz von einander; der übrige Raum sei leer. Die Beobachter auf A und B mögen *optisch* feststellen, dass A und B um die Verbindungslinie *relativ* zu einander rotieren. Sie sollen ferner geodätisch herausfinden, dass etwa B genaue Kugelform aufweist, A aber ein Rotationsellipsoid ist mit der kleinen Achse in Richtung der Verbindungslinie. Frage: Warum hat nun nur A ellip-tische Gestalt, B aber kugelige, trotzdem B relativ zu A ja auch rotiert? – Die Antwort ist aus den üblichen Mechanik-Büchern zu entnehmen: A rotiert «wirklich», B jedoch ist «ohne» Rotation. *Mach* hatte in seinem berühmten Buch<sup>6)</sup> gegen eine solche Interpretation Stellung genommen. Kann eine Rotation gegen das Vakuum, gegen das Nichts einen Sinn haben? Oder werden beobachtbare mechanische Wirkungen nicht doch auf *Wechselwirkungen* der Materie beruhen? In letzterem Fall müsste dann die «absolute» Rotation in einer *relativen* gegenüber den in weiter Ferne doch vorhandenen grossen Massen bestehen. Dies ist das von *Einstein* so benannte «*Machsche Prinzip*».

Wären nur A und B vorhanden, das übrige Weltall leer, so käme nur ein äusserst geringer Abplattungseffekt an beiden Körpern in Erscheinung; Zentrifugal- und Corioliskräfte würden praktisch verschwunden sein.

Es ist interessant, dass ein diesbezüglicher Versuch schon gegen Ende des letzten Jahrhunderts tatsächlich ausgeführt worden ist<sup>7)</sup>. Bild 2 zeigt das Prinzip: Ein grosses Schwungrad könne sich um die Achse A–A drehen, sei aber zunächst in Ruhe. Eine empfindliche Drehwaage soll unter dem Winkel  $\varphi$  gegen die Achse gleichfalls in Ruhe sein. Nun soll das Rad sich drehen. Ist das Machsche Prinzip gültig, so müsste wenigstens zu einem kleinen Teil die Wirkung auf die Waage die selbe sein, wie wenn das Rad stillstände und die Masse der Waage sich um die Achse A–A drehen würde. In letzterem Falle haben wir ein leicht zu berechnendes Zentrifugalmoment, das den Waagebalken parallel zur Radebene zu stellen sucht.

Es wurde ein grosses Schwungrad in einem Walzwerk zum Versuch benützt, aber die rohe Umgebung (Erschütterungen, Er-

<sup>6)</sup> *E. Mach*: «Die Mechanik in ihrer Entwicklung». Erste Auflage 1883. Leipzig.

<sup>7)</sup> *B. und J. Friedlaender*: «Absolute oder relative Bewegung». Berlin 1896.

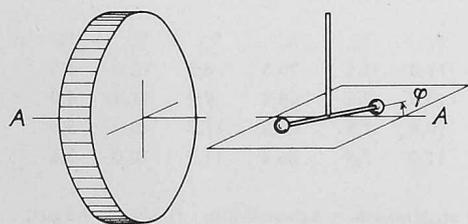


Bild 2 (links). Drehwaage-Experiment von Friedlaender

Bild 3 (rechts). Anordnung der Schlierenapparatur für Untersuchungen an fliegenden Geschossen

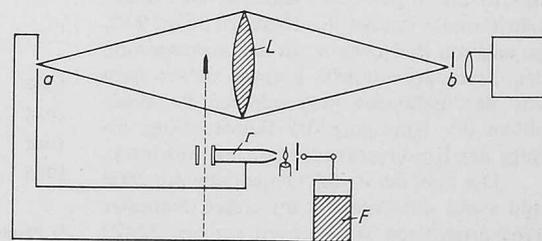


Bild 4 (rechts). Aufnahme eines mit Uberschallgeschwindigkeit fliegenden stumpfen Geschosses

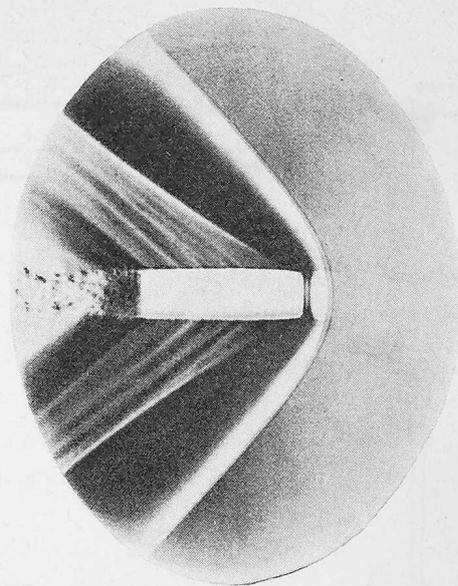
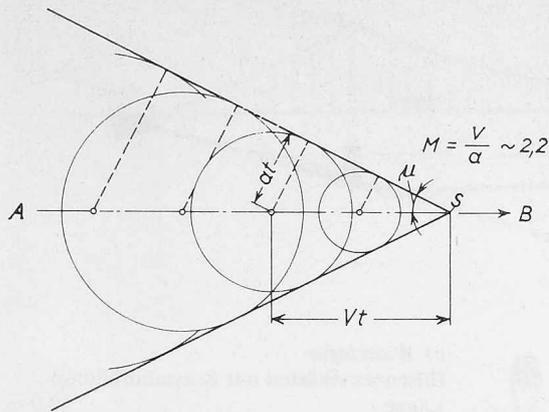


Bild 5 (links). Zur Erklärung des Mach-Kegels



wärmung) liess keine brauchbaren Ablesungen zu. Die Einsteinsche Theorie kann den zu erwartenden Effekt abschätzen. Er wäre neben dem grossen Rad vorhanden, aber so klein, dass er auch mit einer sehr viel besseren Versuchseinrichtung keinesfalls hätte bemerkt werden können. Es ist versucht worden, auch die *fernen* Massen des Weltalls in Rechnung zu setzen, aber hier stösst man auf noch ungelöste kosmologische Fragen. Ob man so die *ganzen* Trägheitskräfte aus dem Machschen Prinzip herausbekommen kann, ist vorläufig noch nicht entschieden. – Wir haben es hier mit einer typisch Machschen Fragestellung zu tun. Mach sieht in scheinbar einfachen Dingen das grosse Problem, dem er nicht ausweicht nach Art der Verfasser mancher Mechanik-Bücher, die es gerne vermeiden, den «schlafenden Hund zu wecken».

C) Wenn wir jetzt zu den *Überschall-Versuchen* Machs übergehen, ist zunächst zu sagen, dass diese durch eine militär-medizinische Frage angeregt wurden. Man findet darüber u. a. Ausführungen in den erwähnten populären Vorlesungen. Durch frühere optische und akustische Versuche war Mach wohlvertraut mit der Schlierenmethode von Toepler und der Funken-Momentphotographie, die er nun (1884) zu sehr erfolgreicher Anwendung brachte.

Die Anordnung ist aus Bild 3 ersichtlich (entnommen aus dem erwähnten Buch). Bemerkenswert ist die Funkenauslösung durch das Geschoss selbst. Sie vermeidet durchzuschliessende Drähte, so dass im Bild keine Fremdkörper erscheinen. Die Kopfwelle des Geschosses pflanzt sich mit annähernd Schallgeschwindigkeit im Rohr *r* fort, bläst eine kleine Flamme gegen eine Pilot-Funkenstrecke, die nun den Hauptüberschlag bei *a* auslöst. Durch Variation der Länge des Rohres ist es möglich, die Aufnahme des mit Überschallgeschwindigkeit fliegenden Geschosses in Bildmitte zu bringen. Eine solche Aufnahme zeigt Bild 4. Man sieht hell die Verdichtungszone, dunkel die Expansionszone, hinter dem Geschoss auch die Wirbel der am Heck abgelösten Strömung. – Wenn man den damaligen Stand der photographischen Kunst in Betracht zieht, darf man von einer experimentellen Glanzleistung sprechen.

Den begleitenden Kopfwellenkonus illustriert Mach in anschaulicher Weise mit einem analogen Beispiel, Bild 5. Ein Behälter mit

kleinen Steinchen bewegt sich mit der konstanten Geschwindigkeit *V* in Richtung A–B. In kurzen gleichmässigen Zeitabständen sollen daraus die Steinchen auf eine Wasserfläche fallen. Beim Auftreffen erzeugen sie Wellen, die sich vom Auftreffort, unabhängig von den schon erzeugten, kreisförmig mit der Wellengeschwindigkeit *a* ausbreiten. Die Einhüllende aller Wellenkreise besteht aus zwei Geraden durch den Punkt *S*. Wenn dieser Punkt weiterschreitet, gehen die Geraden mit. – Für den Winkel  $\mu$ , den «Machschen Winkel» gilt die Beziehung:

$$\sin \mu = \frac{at}{Vt} = \frac{a}{V} = \frac{1}{M}$$

Diese Formel mit interessanten geometrischen Betrachtungen über Wellenausbreitung findet sich aber schon 1847 in einem Aufsatz von *Christian Doppler*<sup>8)</sup>.

Es wird wohl nicht mehr lange dauern, bis das Publikum sehr deutliche Bekanntschaft mit diesen Konussen machen wird, dann nämlich, wenn die Überschallflugzeuge sie mit sich her über die Landschaft ziehen. Freilich wird man den Störenfried nicht mehr sehen, wenn der Knall ins Ohr dringt. Fliegt das Flugzeug in 20 km Höhe mit der Mach-Zahl 3, so wird es schon über dem Gotthard sein, wenn der Luzerner leicht erschrocken (in ganz falscher Richtung!) aufblickt.

Aus diesen wenigen Beispielen mag der Leser ersehen, wie weit gespannt Machs wissenschaftliche Tätigkeit war. Vielleicht wird er auch angeregt, nun selber seine Bücher und Aufsätze zur Hand zu nehmen. Er wird dann sehen, dass dort noch einiges steht, was möglicherweise erst in Zukunft von aktuellem Interesse werden kann.

<sup>8)</sup> *Ch. Doppler*: «Abhandlungen». Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 161. Leipzig 1907.

## Projekt einer Hängebrücke über den Bosphorus

DK 624.5

Von Dr. **Max Herzog**, Aarau

### Aus der Vorgeschichte <sup>1)</sup>

Nach eingehenden Verkehrsanalysen durch das Ingenieurbüro *Leuw, Cather & Co.*, Chicago, dessen Bericht aus dem Jahr 1956 mit einer Vervielfachung der Überfahrten von damals rund 2 Millionen auf rund 8 Millionen jährlich bis 1980 rechnet, stellte das Ing.-Büro *Greiner*, Baltimore, einen Kostenvergleich für eine Hängebrücke und eine Gerberträgerbrücke auf.

<sup>1)</sup> Eine detaillierte Beschreibung der Vorgeschichte dieses Projekts findet sich im Aufsatz von *M. Toköz*: *Projets de ponts et de tunnels pour le franchissement du Bosphore*. «*Travaux*» (Paris) 1963, S. 291.

Bei Preisgleichheit wurde der Hängebrücke aus ästhetischen Gründen der Vorzug gegeben und das Ingenieurbüro *Steinman*, New York, mit der Ausarbeitung eines Projekts für eine Hängebrücke mit 675 m Mittelspannweite beauftragt. Da inzwischen ausgeführte Sondierbohrungen ergaben, dass der Fels wesentlich tiefer liegt als ursprünglich angenommen, musste die Mittelspannweite in einem zweiten Entwurf auf 943 m vergrössert werden, dessen Baukosten auf rd. 55 Millionen Dollar geschätzt wurden.

Noch vor Ablieferung des zweiten Hängebrückenprojektes von *Steinman* unterbreitete 1958 die deutsche Bauunternehmung *Dyckerhoff & Widmann*, München, das

Projekt einer Spannbänderbrücke mit 600 m Mittelspannweite von *Finsterwalder*. Dieses Projekt wurde auf Grund der Einwände einer internationalen Expertenkommission noch einmal überarbeitet, nachher jedoch von einer Architekten- und Städtebauerkommission wegen Verunstaltung der Bosphoruslandschaft verworfen. Seine voraussichtlichen Baukosten wurden um wenig kleiner geschätzt als für die Hängebrücke von *Steinman*.

Das Projekt eines auf einer Felsschüttung liegenden Unterwassertunnels wurde verworfen wegen der selbst in grossen Wassertiefen stark wechselnden und hohen Wassergeschwindigkeiten, der extremen Verletzbarkeit dieses Tunnels und der Reduktion des