

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 84 (1966)
Heft: 7

Artikel: Projekt einer Hängebrücke über den Bosphorus
Autor: Herzog, Max
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-68840>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

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

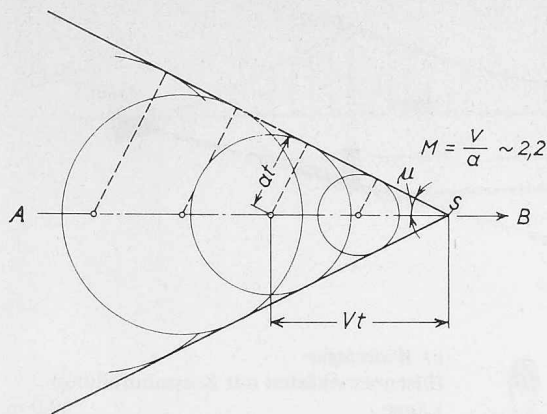
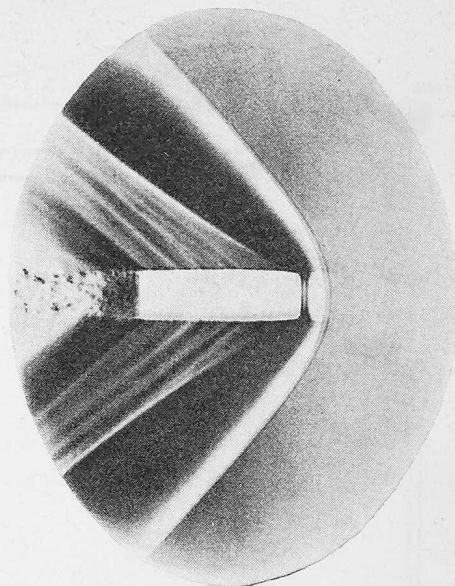


Bild 5 (links). Zur Erklärung des Mach-Kegels



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 ungeklärte 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 *μ*, 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*⁸⁾.

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.

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

Projekt einer Hängebrücke über den Bosphorus

Von Dr. Max Herzog, Aarau

DK 624.5

Aus der Vorgeschichte ¹⁾

Nach eingehenden Verkehrsanalysen durch das Ingenieurbüro *Leuw, Cather & Co.*, Chicago, dessen Bericht aus dem Jahr 1956 mit einer Vervierfachung 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.

¹⁾ 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 Spannbandbrücke 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

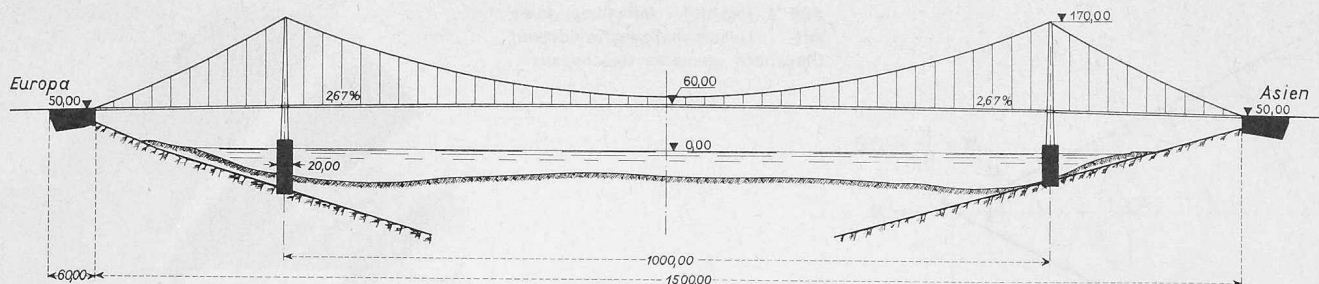


Bild 1. Längsschnitt 1:10 000

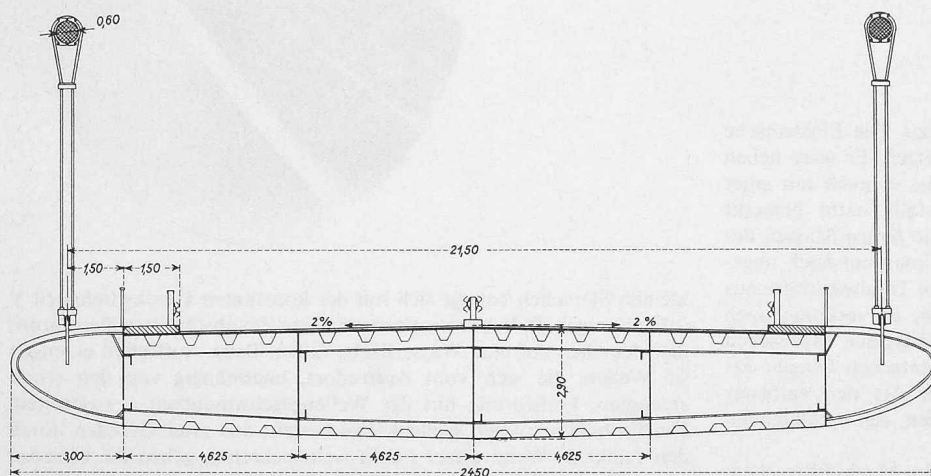


Bild 2. Versteifungsträger 1:200

gegenwärtigen Durchflussquerschnittes des Bosphorus um etwa 40%.

Darauf wurde auch noch das Projekt eines gebohrten Tunnels studiert. Die Grundidee bestand darin, den lockeren Baugrund zunächst durch Injektionen zu verfestigen und nachher zu durchbohren. Die Baukosten wurden – wohl etwas zu optimistisch – auf 35 Millionen Dollar geschätzt. Ein etwas fragwürdiges Element dieses Projekts bilden die rund 90 m tiefen Zu- und Abfahrspiralen, deren Verkehrssicherheit kaum befriedigen kann.

Vom Verfasser wurde schliesslich untersucht, ob sich die Baukosten für die Hängebrücke durch einen modernen Entwurf mit einem torsionssteifen Versteifungsträger massiv senken lassen. Da diese Studie zu einer Reduktion der voraussichtlichen Baukosten von 55 auf 41 Millionen Dollar führte, soll das Projekt des Verfassers im folgenden kurz beschrieben werden.

Das Projekt (Bilder 1 und 2)

Die projektierte Hängebrücke über den Bosphorus wäre nach ihrer Erstellung die erste feste Strassenverbindung zwischen dem europäischen und dem asiatischen Teil der Türkei.

Längenprofil der Strasse

Das Längenprofil der Strasse weist aus ästhetischen Gründen eine parabolische Aus-

rundung mit 2,67% Maximalsteigung und einem Scheitelradius $R = 28\,125$ m auf.

Querprofil der Strasse

Der Strassenquerschnitt setzt sich zusammen aus zwei zweispurigen Fahrbahnen mit je 7,50 m Nutzbreite und aus zwei Gehwegen mit je 1,50 m Breite. Zwischen den beiden Fahrbahnen und zwischen den Fahrbahnen und den Gehwegen sind zur Erhöhung der Verkehrssicherheit Leitplanken vorgesehen. Das Quergefälle der Fahrbahnen und Gehwege beträgt je 2%.

Charakteristische Daten der Hängebrücke

a) Allgemeines

Spannweiten $250 + 1000 + 250 =$	1500 m
Länge der Widerlager	60 m
Höhe der Pylonen	
— Betonfundamente	53 m resp. 70 m
— Stahlkonstruktion	160 m
Lichte Schifffahrtshöhe	50 m

b) Pylonenfundamente

(Brunnengründung mit Eisenbetoncaisson)	
Höhe — europäisches Ufer	70 m
— asiatisches Ufer	53 m
Länge	35 m
Breite	20 m
Normale Wanddicke	0,40 m
Betonvolumen	
— europäisches Ufer	15 600 m ³
— asiatisches Ufer	12 600 m ³

c) Widerlager

(Eisenbetonkästen mit Kiessandfüllung)

Länge	60,0 m
Breite — minimal	25,5 m
— maximal	35,5 m
Höhe — minimal	22,0 m
— maximal	29,4 m
Betonvolumen für ein Widerlager	31 100 m ³
Kiessandvolumen für ein Widerlager	13 300 m ³

d) Pylone

(Stiele mit zweischaligem Kastenquerschnitt aus hochwertigem Baustahl)

Kopfquerschnitt — Länge	4,0 m
— Breite	4,0 m
Fussquerschnitt — Länge	10,0 m
— Breite	4,0 m
Stahlgewicht für einen Pylon	4080 t

e) Kabel

(Luftgesponnen mit patentierten Drähten $\varnothing 5$ mm)

Aussendurchmesser eines Kabels	0,60 m
Gewicht eines Kabels	3180 t

f) Hänger

(Verschlossene Kabel aus patentierten Drähten)

Aussendurchmesser eines Hängerkabels	0,06 m
Gewicht der Hängerkabel	230 t
Gewicht der Kabelschellen	100 t

g) Versteifungsträger

(Geschweisster vierzelliger Kastenquerschnitt)

Nutzhöhe — maximal	2,90 m
— minimal	2,40 m
Breite — total	24,50 m
— nutzbar	18,50 m
Stahlgewicht	12 750 t

Aerodynamische Stabilität

Nach der Theorie von Hirai, die im Windkanal mit 3,50 m Durchmesser der Universität Osaka (Japan) bestätigt wurde, sollte die aerodynamische Stabilität der projektierten Hängebrücke besser sein als die jeder anderen bisher gebauten Hängebrücke. Die kritische Windgeschwindigkeit ist mit $v_k = 112$ m/s rund doppelt so gross wie die grösste bisher gemessene Windgeschwindigkeit.

Adresse des Verfassers: Dr. Max Herzog, dipl. Bauing., Rohrerstrasse 3, 5000 Aarau.

Mitteilungen

Automatisches Be- und Entladen von Gross-Tankern. Die Be- und Entladeanlagen auf Tankschiffen werden z. Z. noch mit erheblichem Personalaufwand manuell bedient. AEG-Schiffbau hat in Verbindung mit einem zentralen Leitstand ein automatisches System zum Be- und Entladen von Tankschiffen entwickelt, mit dem Personal eingespart und die Liegezeiten verkürzt werden. Dieses System steuert alle

Schieber und Pumpen im Laderohrleitungssystem des Tankers so, dass ein vorgewähltes Programm hinsichtlich der Reihenfolge und Gleichzeitigkeit für das Öffnen und Schliessen der Schieber unter Konstanthaltung einer festgelegten Krängung und eines bestimmten Trimmings eingehalten wird. Ferner werden diverse Ladepumpen zum funktionell richtigen Zeitpunkt automatisch angefahren oder stillgesetzt. Das automatische System besteht hauptsächlich aus einer pneumatischen Tankfüllstands-Messanlage, einem Hydraulik-System zur Betätigung