

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111/112 (1938)
Heft: 7

Artikel: Das Institut für Aerodynamik im neuen Maschinenlaboratorium der E.T.H.
Autor: Ackeret, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49777>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.07.2025

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

INHALT: Das Institut für Aerodynamik. — Die Begegnung der Erde mit dem neuen Planetoiden «Hermes» am 30. Oktober 1937. — Wettbewerb für Gemeindeanlagen in Küsnacht. — T. A. D. Technischer Arbeits-Dienst, Zürich. — Aufruf für die Anschaffung eines Cyclotrons für das Physikal. Institut der E. T. H. — Mitteilungen: Magnesiumlegierungen. Duralumin-Triebwagen der Osloer Strassenbahn. Werkstoffsparen im Maschinenbau.

Industrielle Weltproduktion 1937. Zahlen zur Leipziger Frühjahrsausstellung. Antriebsmaschinen der sog. «Zerstörer» der Nachkriegszeit. Stromlinienzüge Paris-Marseille. Persönliches. Ersatz der Strassenbahn durch den Autobus. Gotthardstrasse. Internat. Vereinigung für gewerblichen Rechtsschutz. — Wettbewerbe: Fernverkehrsstrasse Baden-Brugg. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 111

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 7

Das Institut für Aerodynamik im neuen Maschinenlaboratorium der E. T. H.¹⁾

Von Prof. Dr. J. ACKERET, E. T. H.

Die Aerodynamik, im Grunde ja ein alter Zweig der Mechanik, hat einen bedeutenden Aufschwung genommen mit der Entwicklung der Luftschiffahrt, insbesondere der dynamisch getragenen Flugzeuge. Dabei ist kennzeichnend, dass die Forschung, anders wie die Hydraulik, von vornherein nicht zurückschreckte vor der Verwendung verhältnismässig schwieriger theoretischer Hilfsmittel und dass ein Zusammenwirken von Experiment und Theorie auf ähnliche Weise stattfand, wie es in vorbildlicher Weise in der reinen Physik der Fall ist. Die grosse Allgemeinheit der Fragestellung hat es nun mit sich gebracht, dass die Aerodynamik heute keineswegs ausschliesslich der Flugtechnik dient, sondern in grossem Masse auch bei Aufgaben des allgem. Maschinenbaues, bei Winddruckproblemen im Hochbau, bei Ventilationen, in der Müllerei usw. herangezogen werden kann.

Heute ist der Flugzeugbau in der Schweiz erst im Entstehen. Wie weit er kommen wird, hängt von sehr zahlreichen technischen und wirtschaftlichen Faktoren ab. Das Laboratorium an der E. T. H. hat mit seinen Einrichtungen dieser Entwicklungsmöglichkeit weitgehend Rechnung getragen. Es ist aber gleichzeitig so eingerichtet, dass auch nicht-flugtechnische aerodynamische Aufgaben mit Erfolg bearbeitet werden können. Nach den bisherigen Erfahrungen hat es sich gezeigt, dass dieses Vorgehen richtig und für Industrie und Bauwesen von Nutzen ist.

Die hauptsächlichsten Forschungsmittel unseres Laboratoriums sind *Windkanäle*, Einrichtungen, die einen möglichst gleichmässigen, raschen Windstrom lie-

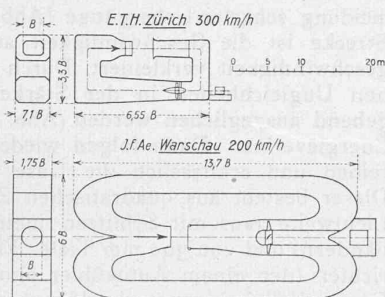


Abb. 2. Grössenvergleich der Windkanäle Zürich und Warschau, bezogen auf gleiche Strahlbreite.

fern. Die zu untersuchenden Objekte werden, im Raume ruhend, vom Winde angeblasen. Die Messergebnisse können nun nur dann mit Sicherheit auf die entsprechende Relativbewegung: Objekt in Fahrt-Luft ruhend angewendet werden, wenn die Luftbewegung völlig turbulenzfrei ist. Die aus einem Gebläse strömende Luft ist viel zu unruhig um gute Ergebnisse zu liefern, es muss also erst eine weitgehende Beruhigung erfolgen. Weiterhin soll man, um Energie zu sparen, die kinetische Energie des Versuchstroms nicht ins Freie verloren geben, sondern zurückgewinnen. Damit ist der grundsätzliche Aufbau des Kanals gegeben. Da der Raum des Institutes²⁾ recht beschränkt ist (Abb. 1), war die Aufgabe etwas erschwert; Rückgewinn und Turbulenz werden bei gedrängter Bauart ungünstiger. Wir haben uns entschlossen, zwei parallel laufende Gebläse anzuwenden, deren Diffusoren des $\frac{1}{\sqrt{2}}$ -fachen kleineren Raddurchmessers wegen entsprechend kürzer gehalten sind. Wie weit es gelungen ist, die Abmessungen zu verkleinern, geht aus einem Vergleich mit dem Warschauer Windkanal hervor (Abb. 2).

Während man früher fast ausschliesslich kreisrunde freie Luftstrahlen oder runde Tunnelrohre als Versuchsstrecken verwendete, hat man sich neuerdings mehr der Form der Flugzeuge angepasst und hat flache Versuchquer-schnitte gebaut, z. B. Ellipsen, deren grosse Axe parallel ist der Flügelspannweite. Wir haben nach zahlreichen Versuchen an einem Modellkanal 1:10 uns für ein Rechteck $3,0 \times 2,1$ m mit abgeschrägten Ecken entschieden. Zum ersten werden die Baukosten bei den dann vorhandenen ebenen Flächen und einfachen Krümmungen z. B. in der Zulaufdüse geringer, sodann ist die Montagearbeit an dem Modell in einem Tunnelrohr mit ebenem Boden viel angenehmer als bei gewölbtem Boden. Der Hauptvorteil war aber vor allem die Möglichkeit, die Versuchsstrecke *verstellbar* zu machen, also in Stromrichtung konvergent, parallel oder divergent. Es ist wahrscheinlich das erste Mal, dass man bei so grossen Abmessungen Verstellung ausgeführt hat. Bei konvergenter Strömung ist ein Druckabfall in Stromrichtung vorhanden, bei divergenter ein Druckanstieg. Genau konstanter Druck ist von grosser Bedeutung für die Untersuchung langgestreckter Körper wie Flugzeugrümpfe, Luftschiff- und Eisenbahnmodelle. Jeder Druckgradient würde Anlass geben zu fälschenden aerostatischen Kräften. Da

²⁾ Vgl. Gesamtgrundriss und Schnitte in Bd. 106, Seite 144.

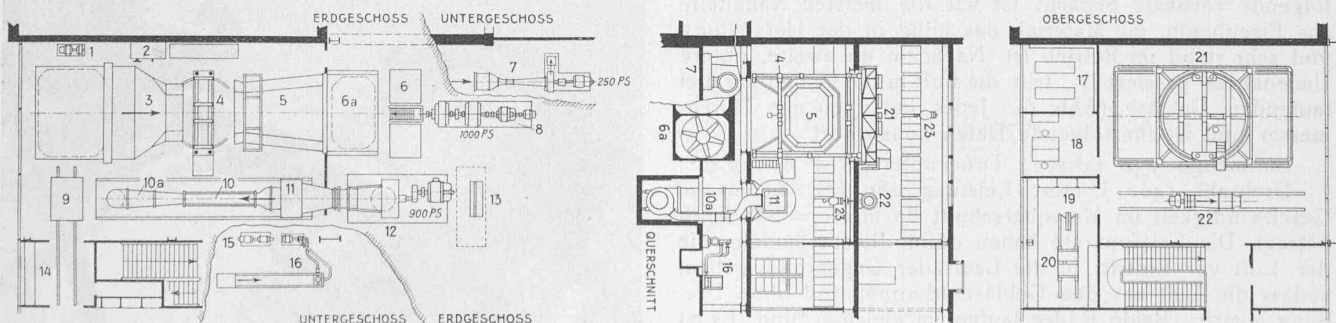


Abb. 1. Uebersichtspläne mit Schnitt des Institutes für Aerodynamik an der E. T. H., Zürich. — Masstab 1:400

Legende: 1 500 Hertz Umformergruppe 70 PS, 2 Schalttafel zur 500 Hertz Gruppe. — *Grosser Windkanal*: 3 Düse. 4 Unterteil der 6 Komponentenwaage, 5 Verstellbarer Auffänger, 6 Montageöffnung für die zwei im Untergeschoss aufgestellten Motoren von je 275 PS. 6a Zwillingsgebläse. 8 Ward-Leonard Umformergruppe 1000 PS. 13 Schaltpult des Ward-Leonard-Umformers mit Schaltzelle im Untergeschoss; links Versuchsstrecke, Mitte Gebläse, rechts Motor 250 PS. — *Ueberschallkanal*: 9 Anreiss- und Montageplatte für Modelle. 10 Versuchsstrecke. 10a Rohrleitungen. 11 Luftkühler. 12 Axialkompressor mit Getriebe und Motor 900 PS. 14 Modellbau-Werkstatt. 15 Vakuumpumpe des Ueberschallkanals. 16 Umwälzpumpe für Kühlwasser und Strömungstank. 17 Modellsammlung. 18 Technisches Bureau. 19 Physikalisches Laboratorium. 20 Elektrolytischer Potential-Messtank. 21 6-Komponentenwaage. 22 Kleinwindkanal 45 PS. 23 Elektroflaschenzüge 3 t.

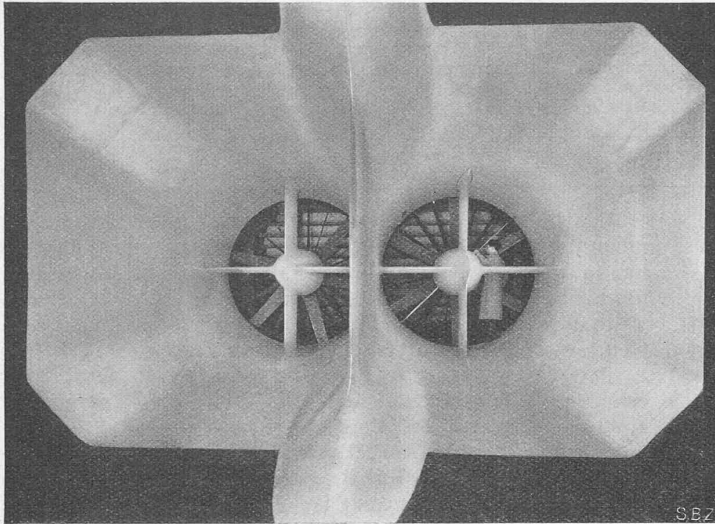


Abb. 6. Axialgebläse mit den Diffusoren, im Hintergrund Umlenkschaukeln

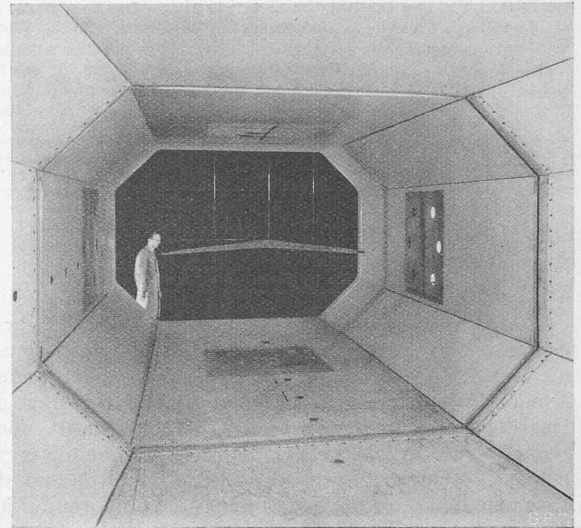


Abb. 5. Geschlossene Messtrecke mit Flügelmodell; im Hintergrund der Waben-Gleichrichter

die Grenzschichten beim Betrieb mit geschlossenem Tunnel an den Wänden stromabwärts wachsen und den freien Querschnitt verengern, ist eine leicht divergente Wandstellung nötig um dies zu kompensieren und Druckabfall Null zu erhalten. Strömungen mit Druckabfall sind wichtig für die Untersuchung von Profilen, die in Turbinen verwendet werden, Druckanstieg andererseits herrscht in Propellern und Gebläsen.

Beim E.T.H.-Windkanal ist ein Betrieb sowohl mit freiem Strahl als auch mit geschlossener Messtrecke möglich (Abb. 3). Je nach der Aufgabe ist die eine oder andere Methode in Verwendung. Bei sehr gut geformten Objekten mit wenig Widerstand und bei Messungen mit Höchstgeschwindigkeit ist der geschlossene Tunnel weitaus besser (Abb. 4 u. 5). Der Kanal läuft sehr ruhig und erreicht mit gleicher Leistung mehr Geschwindigkeit. Sind die Untersuchungsobjekte sperrig, so liefert der offene Strahl klarere Ergebnisse, da die Blockierung des Tunnelrohres durch das Objekt zu Stauungen und damit zu Unsicherheiten in der Geschwindigkeitsbestimmung Anlass gibt. Auch hier erweist sich die Verstellbarkeit des der Versuchstrecke folgenden Aufhängers als sehr vorteilhaft, indem die Stauung durch den Auffangtrichter bei geeigneter Einstellung auf ein praktisch ausreichendes Stück der Kanalaxe auf Null reduziert werden kann. Der Aufhänger wirkt als Diffusor und verlangsamt die Strahlgeschwindigkeit derart, dass die Verluste in der ersten Umlenkecke verkleinert werden können. Die Umlenkschaukeln sind aus armiertem Beton gebaut, in seitlichen Zapfen gelagert und um diese noch einstellbar um die Umlenkung genau 90° werden zu lassen. Der nun folgende vertikale Schacht ist wie die meisten Kanalteile aus Eisenbeton, ein Material, das billig in der Herstellung und sehr stabil im Betrieb ist. Nachdem die zweite, untere Umlenkecke passiert ist, tritt die Luft in die beiden parallel laufenden Gebläse (Abb. 6). Jedes hat 2500 mm Durchmesser und ist für folgende Daten konstruiert:

Luftmenge 230 m³/sec; Druckunterschied 80 kg/m²;

Drehzahl 1400 U/min; Leistung 280 PS, wobei die Geschwindigkeit im Messquerschnitt 80 m/sec = 288 km/h beträgt. Die Leitapparate haben dünne Blechschaufeln, die der Luft vor Eintritt in die Laufräder Gegendrall geben, sodass die Luft aus dem Gebläserad annähernd ohne Drehung austritt. Beide Räder laufen im gleichen Sinn. Es ist nötig, die Gebläse, die durch zwei getrennte Motoren von je 275 PS Stundenleistung angetrieben werden, möglichst gleich schnell laufen zu lassen. Die Synchronisierung erfolgt durch einen Seidenbandriemen, der über die als Riemenscheiben ausgebildeten Kupplungen läuft (Abb. 7). Die Laufräder sind sechsflügelig mit Schaufeln aus Elektroguss. Besonderer Wert ist auf saubere Uebergänge der Schaufel-

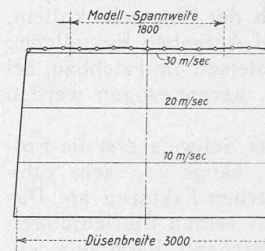


Abb. 8. Gemessene Geschwindigkeitsverteilung im offenen Strahl

profile an der Nabe gelegt worden, die auch der Festigkeit der mit maximal 200 m/sec Umfangsgeschwindigkeit laufenden Schaufeln zu gute kommen. Die Schaufeln sind mit Befestigungsteilern ausgerüstet, die noch geringe Winkeldrehungen im Stillstand gestatten um den günstigen Betriebspunkt einzustellen; hinter diesen Naben sind Verkleidungen aus Holz

und Blech angebracht. Der Windkanal ist noch ein Stück weit geteilt, dann erfolgt die Vereinigung der aus beiden Gebläsen kommenden Luftströme mit Vermeidung scharfer Uebergänge (Abb. 6). In der folgenden Strecke ist die Geschwindigkeit auf rd. $\frac{1}{3}$ der Versuchsgeschwindigkeit verkleinert. Durch ein Retouchiersieb können Ungleichheiten in der Stärke des Luftstromes weitgehend ausgeglichen werden (Abb. 8), allerdings mit etwas Energieverlust. Dann folgen wieder zwei Umlenkschaukelreihen und schliesslich die Düse mit dem Gleichrichter. Dieser besteht aus quadratischen Zellen von 50×50 mm Lichtweite (aus mit Schlitzten ineinandergesteckten Stahlbändern) und von 300 mm Tiefe. Ein solcher Wabengleichrichter (der einem Autokühler ähnelt) kann longitudinale Geschwindigkeitsunterschiede nur sehr wenig beeinflussen, jedoch nimmt er praktisch alle Querbewegungen heraus,

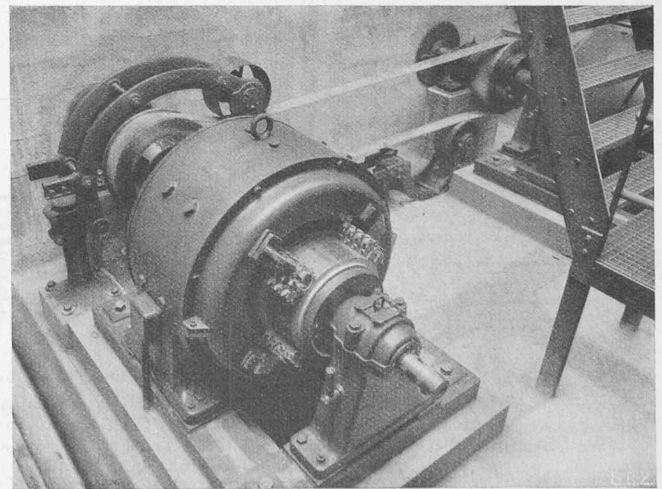


Abb. 7. Gleichstrom-Antriebmotoren mit Seidenband-Synchronisierung

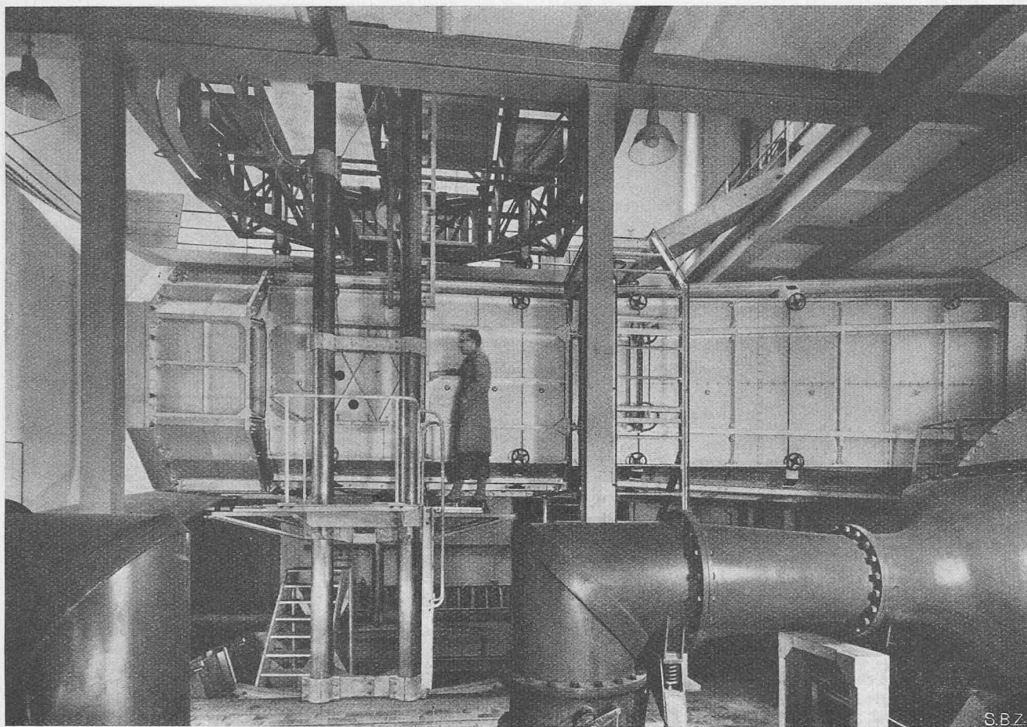


Abb. 4. Ansicht der geschlossenen Messtrecke (im Vordergrund Umleitungsrohre des Ueberschallkanals)

insbesondere alle Drehbewegungen um die Kanallängsaxe, die sehr gefährlich sind, insofern sich Drehbewegungen (zufolge des Flächensatzes) bei Kontraktion in der Düse verstärken. Die möglichst stetig verengte Düse selbst mündet je nachdem ins Freie oder geht über in die geschlossene Messtrecke. Im Einzelnen sind die Geschwindigkeits- und

sehr günstiger Wert. Die grössten Verluste erfolgen im Diffusor und in den ersten Umlenkschaukeln, auch liefert das Retouchiersieb noch einen spürbaren Betrag. Hingegen sind die Verluste in den grossen Umlenkecken sehr klein, ebenso im Gleichrichter. Mit der 20-Minutenleistung der Motoren (2×350 PS) ist eine Höchstgeschwindigkeit in der ge-

Druckverhältnisse die folgenden: Wenn die Geschwindigkeit im Messquerschnitt z. B. $80 \text{ m/sec} = 288 \text{ km/h}$ beträgt, so ist der für die Kräfte massgebende Staudruck bei mittlerem Barometerstand 365 kg/m^2 . Durch den Diffusor-Rückgewinn verringert sich die durch das Gebläse aufzubringende Druckdifferenz auf nur 80 kg/m^2 . Es ist also, abgesehen vom Gebläse- und Motorenwirkungsgrad, eine Leistung nötig von 497 PS.

Der Gebläsewirkungsgrad hängt noch von der Flügeleinstellung ab; er kann 90% erreichen. Mit 94% Motorenwirkungsgrad ist also eine Leistung von 430 kW an den Motorenklemmen nötig. Der sog. Kanalfaktor ist somit, bezogen auf zugeführte elektrische Leistung, 3,86, ein

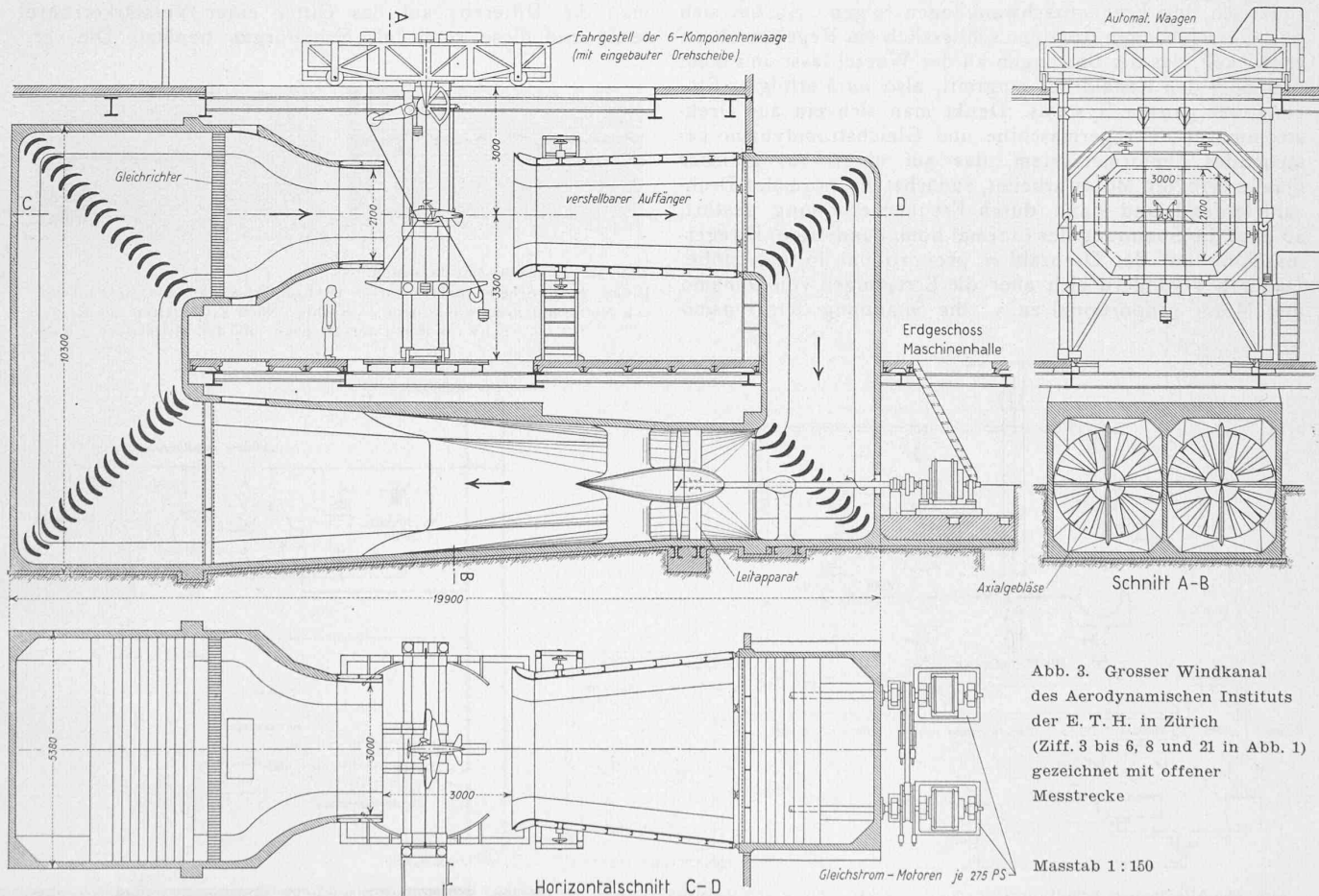


Abb. 3. Grosser Windkanal des Aerodynamischen Instituts der E. T. H. in Zürich (Ziff. 3 bis 6, 8 und 21 in Abb. 1) gezeichnet mit offener Messtrecke

Masstab 1 : 150

geschlossenen Strecke von 90 m/sec = 324 km/h erreichbar. Die Erwärmung der Luft ist dann allerdings recht bedeutend, sodass bei der an sich möglichen Verwendung stärkerer Motoren eine Kühleinrichtung unumgänglich würde. Der Antrieb der Gebläse erfolgt durch Gleichstrommotoren, die von einer Ward-Leonard-Gruppe gespeist werden (Abb. 9). Da man mit Feldveränderung des Gleichstromgenerators sehr feinstufig und mit wenig Verlust jede Spannung herstellen kann, ist diese Methode wahrscheinlich immer noch die zweckmässigste und kaum teurer als regelbare Drehstrom-Kommutatormotoren. In unserm Falle sind von der selben Umformergruppe wahlweise eine ganze Anzahl von weiteren Antrieben zu bedienen, für die normale Gleichstromtypen angewendet werden können (Abb. 10). Wir hatten zunächst keine automatische Regulierung aufgestellt; man fuhr mit Handsteuerung auf eine bestimmte Reglerstellung und regulierte im Bedarfsfalle etwas nach. Der Regulierwiderstand hat 1100 Stufen, die im Bereich des häufigsten Gebrauches besonders fein geteilt sind; dort kann man von 8 zu 8 cm/sec regulieren. Es hat sich nun während des Gebrauches herausgestellt, dass der Kanal selbst oder die darin untersuchten Objekte kaum Anlass geben zu zeitlichen Geschwindigkeits-Schwankungen, dass aber das städtische Netz, versuchstechnisch gesprochen, beträchtliche Frequenzveränderungen aufweist (die vor allem mit dem Strassenbahn-Stossbetrieb zusammenhängen dürften). Das hat nun zur Folge, dass der Drehstrommotor der Leonardgruppe 6000 Volt, 1000 PS, 1000 U/min Drehzahl-schwankungen erleidet, die infolge geringer Massenwirkung praktisch den Frequenzschwankungen folgen. So hat sich nach verschiedenen Anläufen schliesslich ein Regelverfahren entwickelt, das die Störungen an der Wurzel fasst und nicht erst über den Kanaldruck eingreift, also nach erfolgter Störung des ganzen Systems. Denkt man sich ein aus Drehstrommotor-, Erregermaschine und Gleichstromdynamo bestehendes Umformersystem, das auf einen aus gleicher Quelle erregten Motor arbeitet, zunächst mit normaler Drehzahl laufend und dann durch Frequenzerhöhung gestört, so geht die Spannung der (normal kompondierten) Erregermaschine mit der Drehzahl n proportional in die Höhe. Dadurch verändern sich aber die Erregungen von Dynamo und Motor proportional zu n ; die Spannung der Dynamo

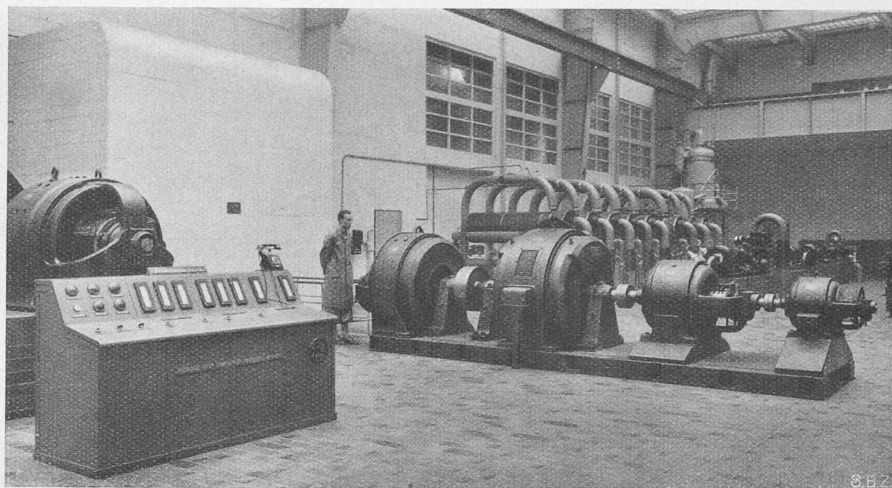


Abb. 9. Ward-Leonard Umformer Aggregat. Von links nach rechts: Gleichstromdynamo 700 kW, 550 V; Drehstrommotor 1000 PS, 6000 V; Gleichstromdynamo 100 kW, 230 V; Erregermaschine. Im Vordergrund links Schaltpult (dahinter der 900 PS-Motor des Ueberschallkanals)

geht somit wie n^2 , die Drehzahl des Motors aber wie $\frac{n^2}{n} = n$, das heisst also, dass Frequenzschwankungen in erster Näherung sich voll auf die Drehzahl auswirken. Wenn es nun gelänge, die Erregung der Dynamo allein konstant zu halten, während die Erregung des Gleichstrommotors mit der Drehzahl steigt, so bliebe das Verhältnis Motorspannung: Motorerregung unverändert und damit die Drehzahl konstant. Nach verschiedenen Versuchen wurde die Konstanz der Erregerspannung in folgender Weise erreicht (Abb. 11).

Einem Netzanschlussgerät wird eine Gleichspannung von rd. 220 V entnommen und durch eine Stabilivolt-Glimmröhre sehr genau konstant gehalten. Jetzt vergleicht man diese Spannung mit der Erregermaschinenspannung, indem man die Differenz auf das Gitter einer Verstärkerröhre leitet und diese somit als Schaltorgan benützt. Die ver-

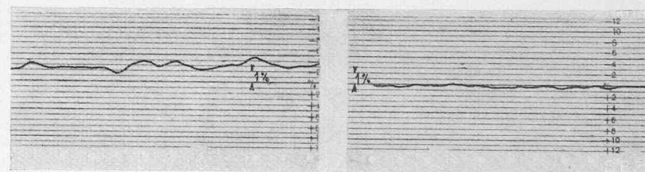


Abb. 12. Drehzahl-Zeitdiagramm. Links: Röhrenregler ausgeschaltet, Drehzahlsschwankungen, herrührend von Netzfrequenzschwankungen. Rechts: Nach Einschalten des Reglers Schwankungen der Drehzahl um den Mittelwert $\pm 0,15\%$

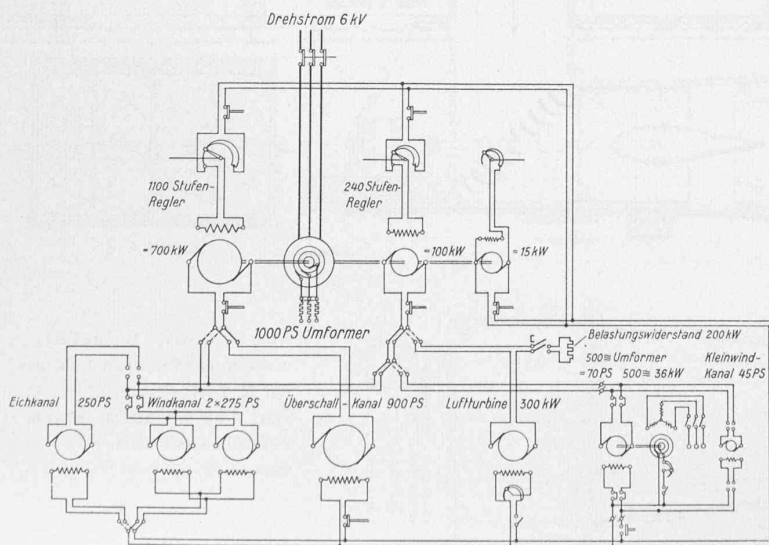


Abb. 10. Allgemeines Schaltungs-Schema der elektr. Anlage des Instituts

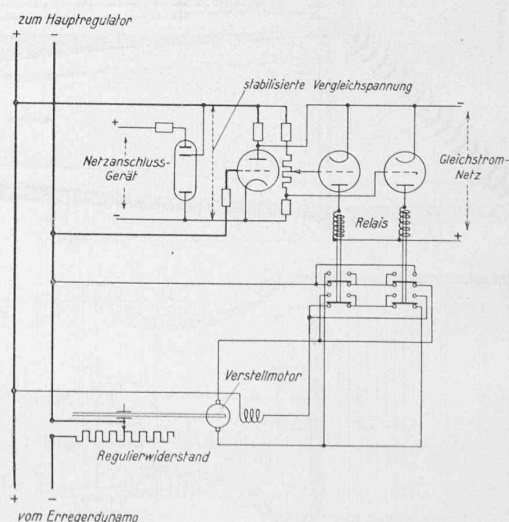


Abb. 11. Schema des Röhren-Spannungs- und Geschwindigkeitsreglers

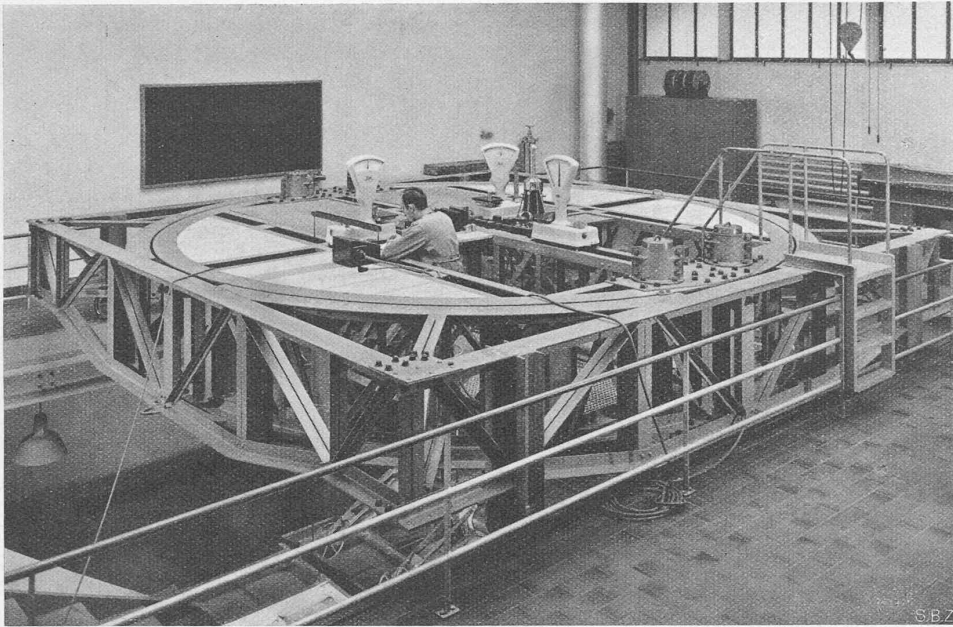


Abb. 14. Drehscheibe mit Waagen für Dreikomponentenmessung (Auftrieb, Widerstand, Moment in Queraxe)

hältnismässig kleinen Ströme genügen aber zur Betätigung von Feinrelais, die nun einen kleinen Motor zur Veränderung eines Regulierwiderstandes bedienen. So kann der zum eigentlichen Erreger-Regulierwiderstand fließende Strom unter einer Spannung gehalten werden, die nur um 0,2 V

die Modelle seitlich gegen den Luftstrom zu drehen, ein Fall, der etwa bei zweimotorigen Maschinen vorkommt, wenn ein Motor stillgesetzt werden muss und der andere, mit Vollgas laufend, ein recht beträchtliches Moment um die Flugzeughochaxe ergibt. (Die Seitenruder müssen so

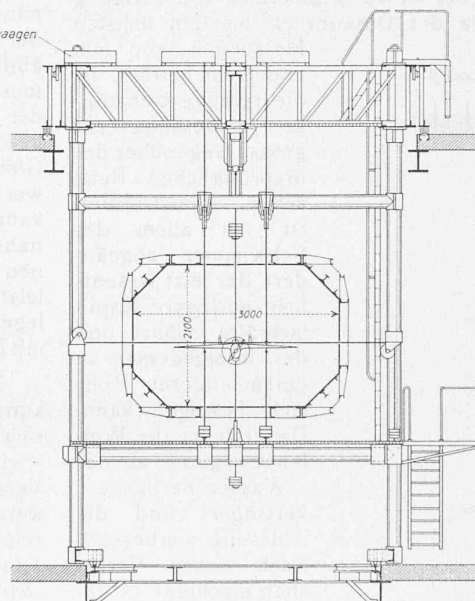
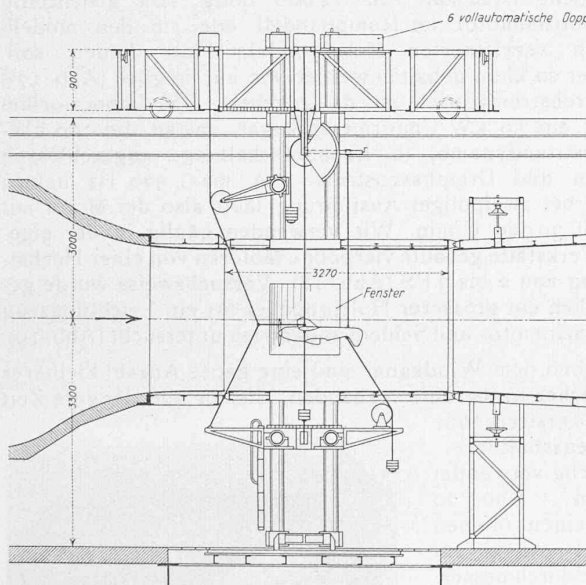
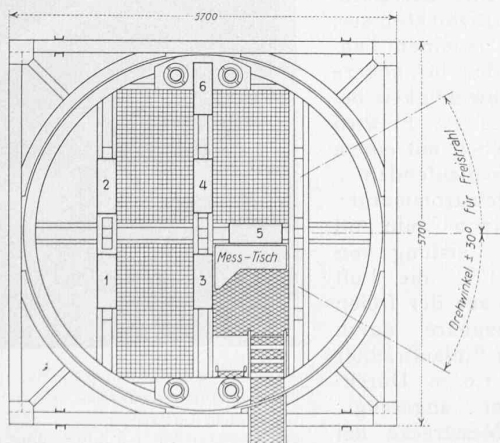


Abb. 13. 6-Komponenten-Waage mit eingebautem Flugzeugmodell. Waagen 1 + 2 = Widerstand, 1 - 2 = Moment um die Flugzeug-Hochaxe, 3 + 4 + 5 = Gesamtauftrieb, 3 - 4 = Moment um Längsaxe, 5 = Moment um die Queraxe, 6 = Seitenkraft. (Die an Drähten befestigten Modelle werden in Rückenlage eingebaut, damit die zu messenden Kräfte im gleichen Sinne wirken, wie das Modellgewicht, wodurch die Aufhängedrähte stets gespannt bleiben.)



auf 220 V schwankt; die Wirkung der Regulierung ist aus den Diagrammen erkennbar (Abb. 12). Sehr wertvoll ist, dass der gleiche Reguliermechanismus auch für alle andern angeschlossenen Motoren wirksam ist, somit beispielsweise bei Propellerversuchen sowohl Luftstrom wie Propellerdrehzahl konstant bleiben.

Die Modelle werden an Drähten aufgehängt, die zu einer grossen Waagen-Drehscheibe führen (Abb. 13); diese befindet sich auf der Galerie des Institutes. Vier runde Säulen führen nach unten; sie dienen zur Befestigung von Fixpunkten und Rollen für die Drahtaufhängung und können gleichzeitig mit der Drehscheibe geschwenkt werden, sodass also die Modelle gegenüber dem festen Boden gänzlich frei sind. Es ist damit möglich, während des Betriebes

ausgebildet werden, dass sie ohne grosse Widerstandvermehrung dieses Moment kompensieren können, eine Aufgabe, die man tatsächlich nur experimentell genügend zuverlässig behandeln kann.)

Die Messwaagen sind auf der Drehscheibe so aufgestellt, dass sie in Quer- und Längsrichtung noch verschoben werden können (Abb. 14). Es ergibt sich daraus der Vorteil, dass man bei Modellen von verschiedener Abmessung stets mit sehr einfachen Aufhängungen auskommen kann. Alle Kräfte werden einzeln gemessen. Einrichtungen, die gleichzeitig die für die späteren Ausrechnungen wichtigen Summen und Differenzen liefern,

sind vorläufig nicht angebracht. Die Aufhängedrähte greifen mit möglichst klein gehaltenen Stahlbeschlägen an den Modellen an, und zwar an Stellen, wo deren Störung auf das Modell möglichst klein ist, wie z. B. Flügelunterseite und Rumpfhinterseite. Die Anstellwinkel-Änderung kann sehr rasch von der Drehscheibe aus erfolgen. Die ganze Einrichtung hat sich im praktischen Betrieb infolge ihrer Einfachheit recht gut bewährt.

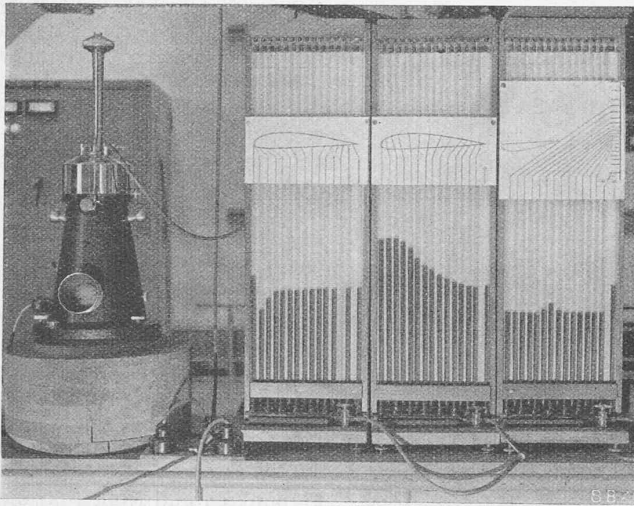


Abb. 16. Vielfach-Manometer für photograph. Beobachtung, insbesondere für Druckverteilungsmessungen an Flügeln und Gebäudemodellen, für 45 Einzeldrucke eingestellt. Links ein Mikromanometer

Die Windgeschwindigkeit wird durch die Druckdifferenz zwischen Düsenkasten und Messstrecke bestimmt. Die innern Teile des Luftstromes strömen praktisch völlig verlustlos; die Verluste sind ausschliesslich auf die Randgrenzschicht konzentriert. Das Bernoulli'sche Gesetz liefert also die Geschwindigkeit recht genau. Die Drücke werden mit einem Schwimmermanometer gemessen, dessen Glasskala nach Betz projiziert wird und eine sichere Ablesung auf $1/20$ mm Wassersäule gestattet, bei einem Messbereich von vorläufig 300 mm (Abb. 15). Da der Düsendruck bei den meisten

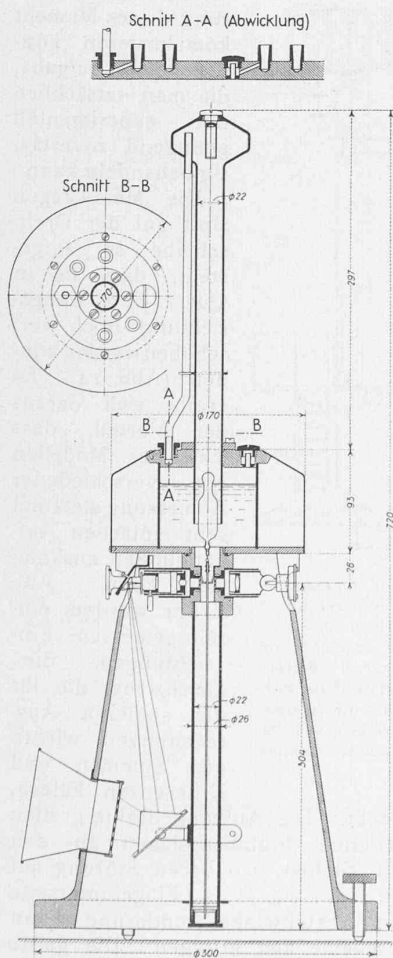


Abb. 15. Mikromanometer Prinzip Betz, mit abgeändertem Schwimmer und Optik. — 1:6

Messungen 100 mm und mehr beträgt, ist die relative Genauigkeit der Messung recht gross. Gegenüber der ursprünglichen Betz'schen Konstruktion ist vor allem der Schwimmer abgeändert, der jetzt wesentlich geringere Kapillarkräfte erfährt und der infolgedessen in einem engeren Rohr sich bewegen kann. Dadurch ist die Wellenbewegung an der Wasseroberfläche verringert und die Ablesung verbessert. Nach neuen Versuchen erscheint es übrigens wohl möglich, die Empfindlichkeit noch zu vergrössern. Für Druckverteilungsmessungen sind in der Institutswerkstatt besondere Vielfachmanometer gebaut worden (Abb. 16).

Für die Untersuchung von Luftschrauben müssen Antriebmotoren mit besonders grosser Drehzahl verwendet werden. Will man bei einem 30 cm-Modellpropeller eine Umfangsge-

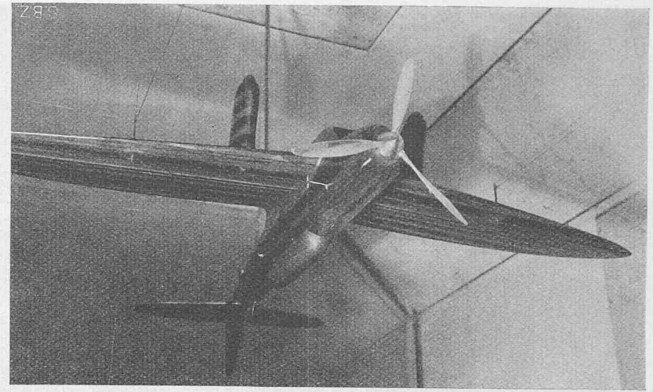


Abb. 17. Flugzeugmodell (in Rückenlage) mit eingebautem schnelllaufendem Drehstrommotor und modellähnlichem Verstellpropeller

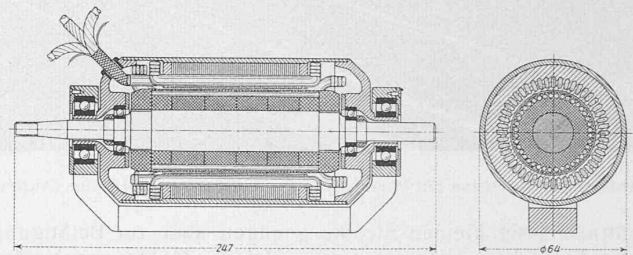


Abb. 18. Schnellaufender Drehstrommotor, zwecks Momentmessung drehbar gelagert. $N = 2,5$ PS, $n = 15000$ U/min. — Masstab 1:4

schwindigkeit von z. B. 220 m/sec erreichen, so ist eine minutliche Drehzahl von 14000 nötig. Da gleichzeitig der Antriebmotor im Rumpfmodell oder in den modellähnlich verkleinerten Motorgondeln Platz finden soll, muss er so klein gehalten werden wie nur möglich (Abb. 17); der Drehstromantrieb ist da gegeben. Das Laboratorium besitzt ein 50 kW-Umformeraggregat, das an die 100 kW-Gleichstromdynamo in Leonardschaltung angeschlossen werden und Dreiphasenstrom von max. 500 Hz liefern kann; bei zweipoliger Ausführung läuft also der Motor mit nahezu 30000 U/min. Wir verwenden häufig in der eigenen Werkstätte gebaute vierpolige Motoren von einer Höchstleistung von 2 bis 3 PS (Abb. 18). Versuchsweise wurde gelegentlich ein grösserer Holzpropeller für ein Leichtflugzeug mit Benzinmotor und Seidenbandantrieb untersucht (Abb. 19).

Neben dem Windkanal sind eine ganze Anzahl kleinerer künstlicher Luftströme vorhanden, die für über längere Zeit sich erstreckende

wissenschaftliche Versuche verwendet werden. Abb. 20 zeigt einen offenen Tunnel von 55 cm Strahldurchmesser und eine Geschwindigkeit von 50 m/sec, Abb. 21 einen Tunnel, der für höhere Geschwindigkeit berechnet ist. Er wird betrieben mit einem raschlaufenden

Gleichstrommotor von 3700 U/min und einer Leistung von 250 PS; die Luft wird aus der freien Atmosphäre durch einen Einlauftrichter von 1,0 m Durchmesser angesaugt; die Messstrecke hat

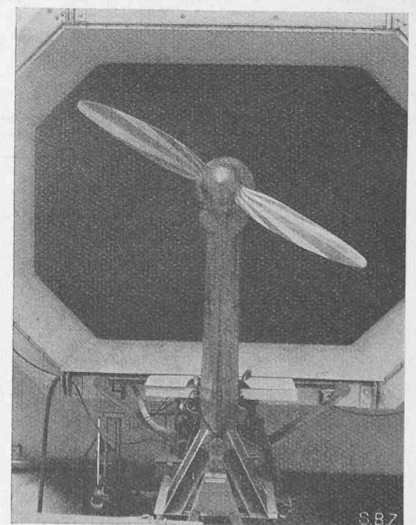


Abb. 19. Original-Holzpropeller ($\varnothing 1,20$ m) eines Leichtflugzeugs, auf Pendelstütze im offenen Luftstrom, Benzinmotor-Antrieb mit Seidenbandriemen

