

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	103/104 (1934)
Heft:	24
Artikel:	Die Verwendung von Luft als Untersuchungsmittel für Probleme des Dampfturbinenbaues
Autor:	Ackeret, J.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-83346

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: 22.02.2026

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

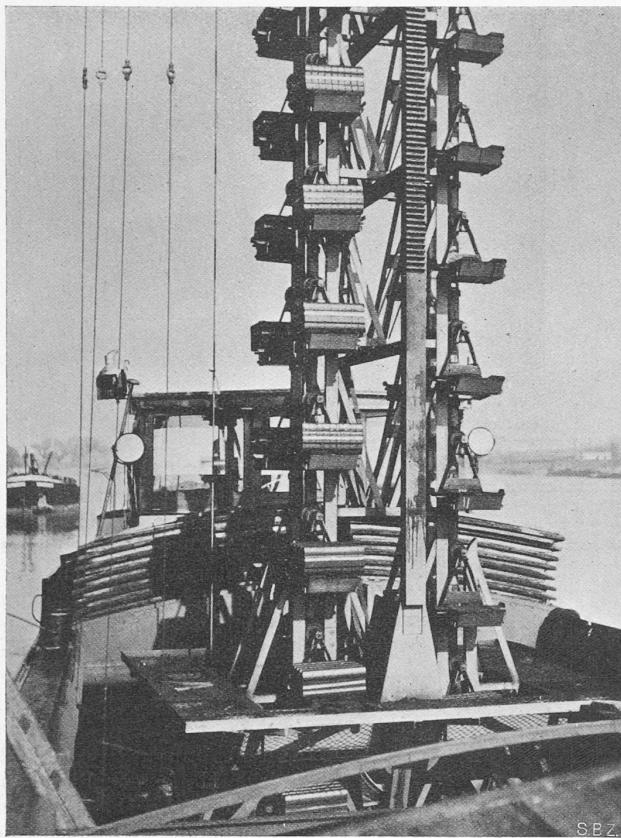


Abb. 6. Beladen der Becherkette im Rheinkahn.

$360 \times 0,7$ bis $360 \times 1,4$, sodass W_2 und damit die Becherketten in Geschwindigkeit von $1:2$ variiert werden können, bzw. von $0,16$ bis $0,32$ m/sec für die Kette. Die Verstellung der Scheiben darf nur während des Betriebes erfolgen.

Die Geschwindigkeitsveränderung war bedingt durch den Umstand, dass die Viermann-Equipen im Schiff und im Bahnwagen nicht immer gleich rasch arbeiten. Sind sie einmal aufeinander eingearbeitet, bleibt die Geschwindigkeit konstant, bis wieder ein Wechsel in der Bedienungs-Mannschaft, die aus ungelerten Hafenarbeitern besteht, eintritt. Die theoretische Maximalleistung der Umschlaganlage beträgt rd. 80 t/h. Die stündliche Durchschnittsleistung wird natürlich geringer und beträgt in Taglohnarbeit von 16 Stunden unter Einrechnung aller Unterbrüche und Verschiebearbeiten etwa 40 t/h.

Einige Schwierigkeiten entstanden bei Bemessung und Gestaltung der beiden Elevator-Unterteile. Sie mussten einerseits so knapp wie möglich bemessen werden, um im Schiff wenig Platz zu beanspruchen. Für den Bahnwagen galt dies in erhöhtem Masse. Der Elevator muss durch die Öffnung der Wagentüre hindurchfahren können. Anderseits musste Bedacht genommen werden auf genügende Zeit zum Beladen, weshalb die Kette in tiefster Lage eine kurze Strecke horizontal verläuft. Weiter war auf die Sicherheit der Bedienungsmannschaft zu achten. Zu diesem Zweck sind Schutzdächer (Abb. 6) angeordnet und außerdem Kontakte zur automatischen Ausschaltung der Anlage, falls durch falsche Zugketten-Manipulation der auf Abb. 8 sichtbare Sicherheitsrahmen unten aufsteht. Druckknöpfe beidseitig der Elevatortüren und längs dem Kettenstrang auf der Brücke ermöglichen ein rasches Ausschalten der Anlage. Gegen herabfallende Briketts sind zum Teil feste, zum Teil mit dem Elevatorwagen wandernde Fangflächen angeordnet. Für Nachtbetrieb ist ausreichende Beleuchtung eingerichtet.

Zwecks bequemer Aufgabe und Abnahme der Brikett-Bündel mussten die pendelnden Förderschalen beidseitig der Kette aufgehängt werden. Zur Schonung des Förder-

gutes sind auf den Tragplatten Gummistreifen aufgeschraubt; diese sind mit Scharnieren ausgebildet und geben nach Hochstossen von Hand eine kippbare Schale frei, sodass am Ende der Lösung auch das am Schiffsdeck sich ansammelnde gebrochene Material wegtransportiert werden kann. Eine Feder hält die hochgestossene Tragplatte in ihrer senkrechten Lage fest.

Die verhältnismässig grossen Brückenausleger sind bedingt durch das seitliche Verschieben der Elevatoren innerhalb der endlos geschlossenen Kette. Durch zwei fest aufgebaute End-Umlenkstationen wird die Kettenstranglänge konstant gehalten. Die horizontalen Führungsschienen seitlich der Elevatoren sind teleskopartig ausgebildet, sodass sie sich beim Zusammenschieben dreifach nebeneinander legen. Die doppelseitigen Zahnstangen zum Heben und Senken der Elevatoren sind durch eine Spezialkupplung derart miteinander verbunden, dass sich der Zahndruck beidseitig gleichmässig verteilt.

Sämtliche Bewegungen werden durch elektrischen Einzelantrieb bewerkstelligt. Die Motoren sind mit Rücksicht auf die veränderlichen Reibungsverhältnisse der im Freien arbeitenden Anlage reichlich gewählt. Ein Spezialfett wird mit Schmierpressapparat den einzelnen Teilen unter Druck zugeführt. Der ausserordentlich geringe Kraftverbrauch der Anlage belastet die geförderten Briketts mit nur 2,3 Rp/t.

Die von der Dauerio & Cie., A.-G., in Zürich ausgeführte Anlage ist seit rd. drei Monaten im Betrieb und hat sich gut bewährt. Sie ist ein im Rheinhafen Basel viel beachtetes, zweckmässiges und wirtschaftliches neues Umschlaggerät von gediegener schweizerischer Bauart.

Die Verwendung von Luft als Untersuchungsmittel für Probleme des Dampfturbinenbaues.

Von Prof. Dr. J. ACKERET (E. T. H.), Dr. C. KELLER und Dr. F. SALZMANN (Escher Wyss, Zürich).

(Forts. von S. 263.)

Das Resultat einer solchen eingehenden Modellkanaluntersuchung ist in Abb. 8 dargestellt. Das Rechteck ABCD stellt die Austrittsfläche des untersuchten Kanals dar. Die gemessene Verteilung der Geschwindigkeit ist aus Linien gleicher Geschwindigkeit in Bruchteilen von c_0 in der oberen Abbildung erkennbar. c_0 ist dabei wieder die dem verfügbaren Gefälle entsprechende Ausflussgeschwindigkeit bei verlustloser Strömung. Man sieht, dass die Geschwindigkeit über grosse zentrale Gebiete des Austrittes nur wenig variiert, dass aber eine Abnahme vor allem in den Kanalecken eintritt. In der Kanalmitte bemerkt man sogar noch eine kleine Uebergeschwindigkeit im Strahl, weil hier der statische Druck etwas kleiner als der Umgebungsdruck ist. Da die Leitradströmung eine stark beschleunigte ist, sind auch bei grösserer Umlenkung eigentliche Ablösungen nicht vorhanden und daher ist die Geschwindigkeits- und Energieverteilung über den Querschnitt gleichmässiger als dies beispielsweise bei der später beschriebenen Umlenkung in einem Laufschaukelkanal (Abb. 13) der Fall ist. Dementsprechend ist in der Mittelpartie des Kanals, wie in der unteren Figur von Abb. 8 sichtbar, innerhalb der Linie o kein Energieverlust bemerkbar. Die Wandreibung bremst die Ausflussgeschwindigkeit nur in den Randpartien ab. Die Leitkanalverluste konzentrieren sich in den Ecken, wo die Grenzschichten benachbarter Wände zusammenlaufen. Je nach der Form des Leitkanals, Höhe, Breite usw. und der Eintrittsrichtung der Strömung erhält man natürlich verschiedene Verteilungsbilder und Verluste. Sie sind von der Reynolds'schen Zahl abhängig und nicht nur einzeln von der Dampfgeschwindigkeit, dem Dampfdruck oder der Temperatur, wie oft angenommen wurde. Indem wir die Modellversuche mit wechselnden Luftgeschwindigkeiten von 20 bis 110 m/sec und verschiedenen Modellgrössen durchführten, wurden die, auf den hydraulischen Radius $r = \frac{2F}{u}$ ($F =$ Querschnitts-Fläche, $u =$ Umfang bei F) des engsten Kanalquerschnittes bezogenen Werte R_e zwischen $1,5 \cdot 10^4$ und $2,2 \cdot 10^5$ erreicht. Setzt man den totalen Energie-

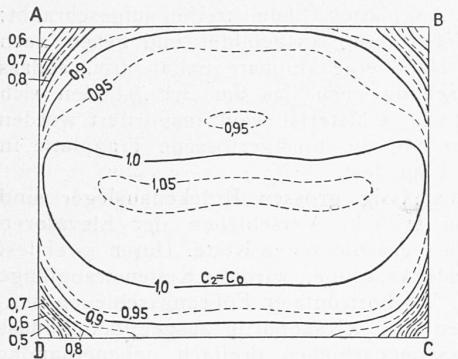
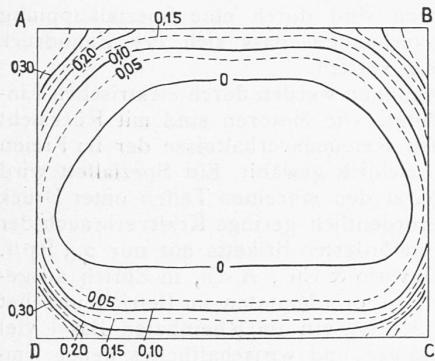


Abb. 8 (links). Geschwindigkeitsverlauf und Verteilung des Energieverlustes am Austritt einer Dampfturbinen-Leitvorrichtung. Oberes Rechteck: Linien gleicher Geschwindigkeit c/c_0 . Unteres Rechteck: Linien gleichen Gesamtverlustes in Bruchteilen des Gesamtdruckes am Eintritt.



verlust als den ξ -fachen Betrag der durchfliessenden Menge zur Verfügung stehenden Energie an, so ergibt sich aus den Messungen der in Abb. 9 angegebene ξ -Verlauf. Die mit der gut bearbeiteten Holzdüse gemessene Kurve 3 zeigt zunächst die auf Grund der Turbulenztheorie zu erwartende Verbesserung mit wachsender Reynolds-Zahl. Nur bei den grössten Reynolds'schen Zahlen tritt eine schroffe Vergrösserung der Verluste auf. Heute wissen wir, dass dies eine Folge der scheinbar so geringen Rauigkeit der Düsenwände ist. Die Grenzschicht wird eben bei grösseren Reynolds'schen Zahlen so dünn, dass die kaum spürbaren Rauigkeiten hervortreten. Es lag nahe, andere Rauigkeiten zu untersuchen. Die Ergebnisse (Kurven 1, 2 und 4) zeigen mit ausserordentlicher Klarheit die Wichtigkeit sauberster Bearbeitung. Da die lichte Weite der Kanalöffnung im Modell 35,6 mm betrug, ist auch die Rauigkeit der Kurve 2 relativ durchaus nicht besonders gross, sie würde bei kleinen Kanälen unter Umständen nur 0,02 mm Erhebung entsprechen. Wieviel Werkstattdiskussion erspart werden kann, wenn man den für die Ausführung Verantwortlichen solches Material an Stelle vager Meinungen vorlegt, wird jeder Kundige ermessen.

Es ist noch zu erwähnen, dass die Kosten für solche Luftversuche einen Bruchteil jener bisher üblicher Dampfversuche ausmachen. Bedenkt man, dass das bekannte „Steam Nozzles Research Committee“ in England nach acht Jahren grosser Austrengungen nicht umhin konnte, negative Verlustzahlen an Düsen mit grober Rauigkeit (eingedrehtes Gewinde) zu publizieren, und für dieses Resultat keinerlei Erklärung fand, so wird man der hier angewandten direkten Verlustmessung zweifellos eine Bedeutung für die Zukunft zuschreiben können.

Modellversuche an Laufschaufelgittern.

Als weiteres Beispiel ist in Abb. 10 eine Versuchsanordnung von Escher Wyss zur Modelluntersuchung von Dampfturbinen-Laufschaufelgittern mit Luft gezeigt. An der Mündung eines horizontalen Luftkanals ist ein stark

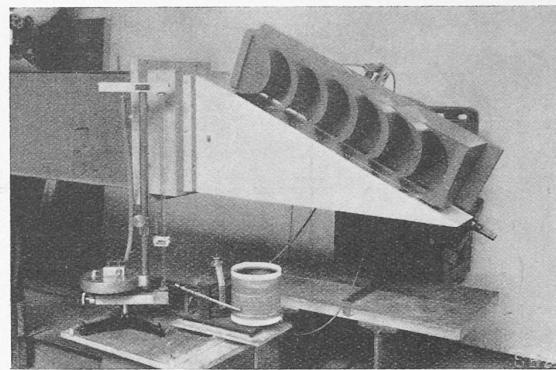


Abb. 10. Versuchsanordnung zur Untersuchung von Modellschaufelgittern für Dampfturbinen.

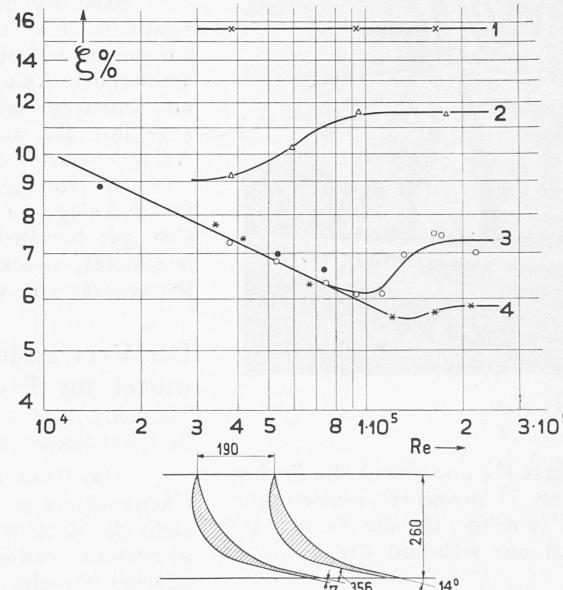


Abb. 9. Abhängigkeit der Leitaderverluste von Reynolds'scher Zahl und Rauigkeit. 1. Kanalwände mit Sandkörnern von 1 mm Ø belegt. 2. Wandbelag 0,4 mm Ø Sandkörner. 3. Holzkanal ohne Belag, geschmiert. 4. Holzkanal lackiert. (Logarithm. Skalen.)

kann gegenüber der Mündung befestigt werden, sodass auch der Einfluss verschiedener Spaltweiten zwischen Leit- und Laufrad verfolgt werden kann. Die Änderung der Neigung des Modells Gitters gegenüber der Anströmung entspricht dem Fall wechselnder relativer Anströmrichtung in der Turbine bei verschiedenen Belastungen. Für die direkte Beobachtung der Vorgänge im Schaufelkanal ist die eine Seite des Gitters, z. B. die dem Deckband in der Dampfturbine entsprechende, aus einer Glasplatte gebildet. Die Luftströmung durch den Schaufelkanal gibt das gesuchte vergrösserte Bild der relativen Dampfströmung durch die entsprechende geometrisch ähnliche kleinere Dampfturbinenschaufelung, mit den früher besprochenen Einschränkungen.

Mit einem kleinen Staurohr wird die Geschwindigkeits-, Druck- und Totaldruckverteilung in Kontrollenebenen am Schaufel-Ein- und Austritt punktweise bestimmt. Das Staurohr, über der Austrittseite des Gitters sichtbar, ist auf einem Schlitten befestigt, der durch einen Drahtzug mit der Trommel eines Registriermanometers verbunden ist. Bei einer Verschiebung des Staurohres längs der Schaufelreihe kann der Staudruckverlauf so durch einen feinen Stift auf berusstem Papier stetig aufgezeichnet werden.

Um zudem die Schaufelreaktion direkt wägen zu können, wird eine mittlere Schaufel mit minimalem Spiel beweglich zwischen die Gitterwände eingesetzt. Die Schaufel selbst ist starr auf einer Spindel befestigt, die links

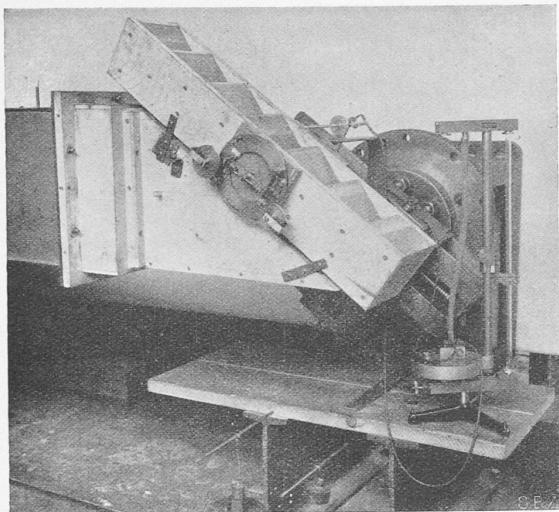


Abb. 11. Einrichtung für die Untersuchung von Laufschaufel-Gittermodellen mit beweglicher Schaufel und Komponentenwaage.

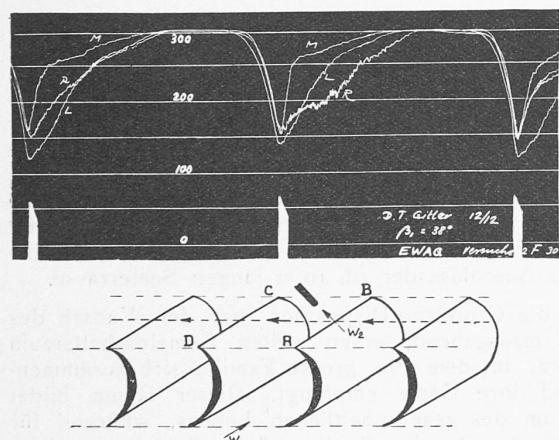


Abb. 12. Aufnahme der Gesamtdruckverteilung hinter Dampfturbinen-Schaufelreihen.

und rechts durch die Gitterwand hindurchreicht und mit dem Mittelstück einer Blattfeder-Komponenten-Waage verklemt ist; an den von der Spindel aus über leicht beweglichen Rollen geführten Drähten können durch entsprechende Einstellung des Waage-Mittelstückes beliebige Komponenten der Schaufelreaktion (in Abb. 11 beispielsweise die Umsfangskomponente) direkt gewogen werden.

Das Resultat einer Untersuchung von Gleichdruck-Schaufelkanälen zeigt Abb. 12. Die mit M, L und R bezeichneten Linien im Diagramm geben die Pitotdrücke in verschiedenen Schaufelschnitten des darunter schematisch gezeichneten Gleichdruckgitters. Das Staurohr wurde in der durch Pfeile angedeuteten Weise in geringem Abstand längs der Schaufelreihe verschoben. In den Diagrammen entsprechen den markierten Stellen der Abszisse die Austrittskanten der einzelnen Schaufeln. Der am Eintritt in das Gitter bei w_1 verfügbare Totaldruck war gleichmäßig $g_1 = 300$ mm WS. Am Gitteraustritt erreicht der Energieinhalt der Luft innerhalb ABCD nicht mehr überall diesen Wert. In Richtung der relativen Ausströmung bildet sich hinter jeder Austrittskante ein Totluftgebiet mit verminderter Energie-Inhalt. Auf der Innenseite jeder Schaufel liegt die Strömung offenbar gut an; es treten dort lediglich kleine Wandreibungsverluste auf, und die Energie hat schon in kleinem Abstand von der Wand wieder ihren vollen Anfangswert erreicht. Hingegen ist das Gebiet verminderter Energie am Schaufelrücken bedeutend breiter und reicht bis in die Mitte des Kanals. Die grossen Ablösungs- und Wirbelverluste an der Schaufelrückenfläche werden dadurch sichtbar. Der turbulente Strömungs-

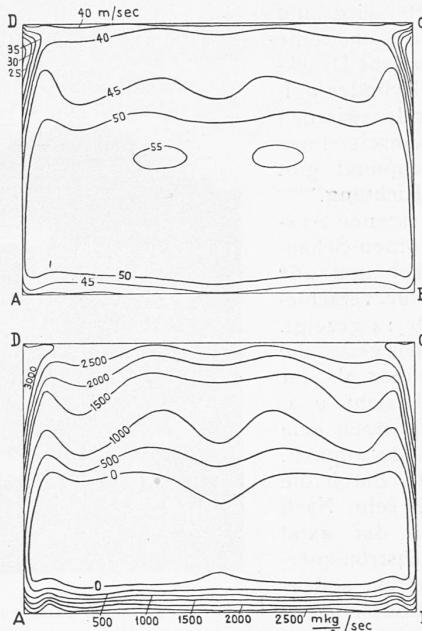


Abb. 13. Geschwindigkeitsverteilung und Verteilung des Energieverlustes in der Austrittsebene eines Gleichdruck-Schaufelkanals, gemäss Abb. 10. Oberes Rechteck: Linien gleicher Austrittsgeschwindigkeit. Unteres Rechteck: Linien gleichen Energieverlustes. Bezeichnung der Austrittsflächen wie Abb. 12.

zustand in diesem Gebiet zeigt sich auch bereits in der stark pulsierenden Aufzeichnung durch das Registriermanometer im Gegensatz zum stetigen Druckverlauf im verlustfreien Gebiet. Die Linie M entspricht einer mittleren Kontrollebene, L und R seitlichen Schaufelpartien. Die örtlichen Verluste sind am Rand offenbar infolge der Wandeinflüsse grösser.

Aus Messungen gemäss Abb. 12 kann die Geschwindigkeits-Verteilung und die Verteilung des Energieverlustes über die Schaufel-Austrittsfläche ABCD gewonnen werden, wie sie in Abb. 13 dargestellt ist. Im oberen Rechteck sind die Punkte gleicher relativer Geschwindigkeit, im unteren diejenigen gleicher Energieverluste verbunden. Die Geschwindigkeit ist im Gegensatz zu den üblichen

Annahmen der Mittelwerttheorie recht ungleichmässig über die Austrittsfläche verteilt. In weiten Gebieten hat sie noch ihren vollen Wert wie am Eintritt. Am Schaufelrücken ist sie aber als Ausdruck der starken Energieverluste bedeutend reduziert, während an der Schaufel-Hohlseite nur eine relativ dünne Grenzschicht mit vermindertem Energieinhalt vorhanden ist. Einflüsse der Sekundärbewegung infolge der starken Umlenkung sind bereits in den mittlern Buckelgebieten bemerkbar.

Durch passende Einbauten im Modelleinlauf, die eine unregelmässige Beaufschlagung bewirken, wie sie etwa durch Leitkanalwände hervorgerufen wird, lassen sich auch Störungseinflüsse auf den Schaufelwirkungsgrad quantitativ verfolgen.

Durch Änderung des keilförmigen Einlaufstückes zum Gitter kann auch dessen Anströmrichtung beliebig variiert werden. Beim Luftversuch ist es ein Leichtes, solche Änderungen durch direkte Messungen von Stoss- und Spaltverlusten zu bewerten und, was besonders wichtig und bei den früheren Dampfversuchen nur schwer möglich war, die einzelnen Verluste auch zu trennen.

Richtungsmessung.

Für die konstruktive Ausbildung der Laufschaufelung ist die genaue Kenntnis der Austrittswinkel erwünscht, da diese Anhaltspunkte über die zulässige Schaufelteilung gibt.

Beim Luftversuch können Strömungswinkel einfach mit einem sogenannten Zylinderstaurohr bestimmt werden. Dreht man ein dünnes, zylindrisches Röhrchen, das quer

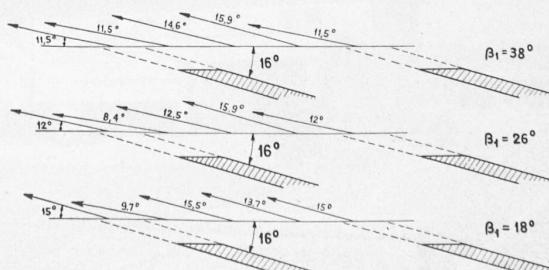


Abb. 14. Richtung der Austrittsgeschwindigkeit längs eines Laufschaufelgitters gemäss Abb. 8. $\beta_1 = 26^\circ$ entspricht Normallast der Schaufelung; $\beta_1 = 18^\circ$ Überlast und $\beta_1 = 38^\circ$ Teillast.

durch die Strömung gehalten wird und eine kleine Anbohrung besitzt, um seine Axe, so kann man die symmetrische Druckverteilung um diesen kleinen Zylinder aufnehmen. Die Winkelhalbierende zwischen zwei Stellungen gleicher Druckanzeige links und rechts vom vordern Staupunkt gibt bei ebener Strömung deren Richtung.

Die auf solche Weise gemessenen Austrittswinkel aus einer Dampfturbinen-Schaukelung mit 16° Austrittswinkel und 26° Schaufel-Eintrittswinkel sind für verschiedene Einströmwinkel β_1 in Abb. 14 gezeigt. In diesem Falle sind beispielsweise die Austrittswinkel durchwegs kleiner als der Schaufelkanten-Winkel. Man sieht u. a. auch, dass sich die Strömung noch dem Schrägabschnitt am Schaufelende anpasst. Diese kleinern Winkel dürfen durch die endliche Schaufeldicke erklärlich sein. Nach dem Austritt vergrössert sich der axial zur Verfügung stehende Durchströmquerschnitt um einen gewissen Betrag, sodass die entsprechende axiale Durchflusskomponente kleiner wird. Da in Umfangsrichtung keine Impulsänderung auftritt, bleibt die ponente unverändert, sodass schliesslich die Austrittsgeschwindigkeit in einiger Entfernung von der Austrittskante mit der Umfangsrichtung einen kleineren Winkel einschliesst. Durch die Messung der Geschwindigkeit nach Grösse und Richtung lässt sich der Impulstransport durch die Schaufel zwischen Ein- und Austritt genau ermitteln. Die daraus gewonnene Umfangskraft stimmt mit der direkten Wägung durch die Komponentenwaage gemäss Abb. 11 praktisch genau überein.

(Schluss folgt.)

Ein Landhaus am Bodensee.

Dipl. Arch. FRED G. BRUN, i. F. Nüsseler & Brun, Zürich.

Das „Haus am Schilf“ liegt in einer grossen, ruhigen, fast unbebauten Bucht, die eingerahmt ist von einem Kranz von Eichen, Eschen und Weiden, denen ein breiter Streifen Schilf vorgelagert ist. Um über das bis vier Meter hohe Schilf eine freie Sicht zu gewinnen, mussten Erdgeschoss und See-Terrasse stark über den gewachsenen Boden emporgehoben werden, was auch noch den Vorteil bot, dass Keller und Heizung nur sehr wenig in den schlechten, wasserreichen Baugrund hinab reichen. Diese Erdbewegungen wurden in grossem Umkreis vorgenommen, sodass man nicht den Eindruck einer künstlichen Anschüttung erhält. Das Auffüllmaterial wurde zum grossen Teil aus dem 6 m breiten Zufahrtkanal zum Boothaus gewonnen, der durch den seichten Schilfboden in den offenen See hinaus führt.

Abb. 3. Ansicht aus Süden, auf Südwestfront und Südostseite des Hauses, links der Hof.

Umfangskom-

Durch die starke Ausdehnung des Erdgeschoss-Grundrisses wird nicht nur eine grosse Seefront erzielt, sondern auch eine klare Trennung der Wirtschaftsräume von den Herrschaftsräumen und Terrassen erreicht. Der vorgeschoene Eingangsflügel trennt den Wirtschaftshof von der Süd-Terrasse und schützt diese gegen Norden, was noch stärker betont wird durch den neu angelegten, nach der Strasse vorgestossenen Waldriegel. Auf der Seeseite bildet das vorgestellte Boothaus die Rückwand des Sitzplatzes als Abschluss der rd. 40 m langen Seeterrasse.

Für die Grundriss-Disposition war der Wunsch des Bauherrn massgebend, einen weiten Gemeinschaftsraum zu schaffen, in dem die grosse Familie sich zusammenfindet und ihre Gäste empfängt. Dieser Raum bildet das Zentrum des gesellschaftlichen Lebens, während für die Arbeit oder für das Studium jeder Bewohner seinen eigenen Raum besitzt; die Zimmer für die Söhne und Töchter sind zu diesem Zweck je als Wohn- und Schlafraum ausgebildet.

Konstruktives: Fundamente: Eisenbetonplatten und -Bankette; Keller: Eisenbeton; Fassaden: Hohlsteinmauerwerk; Spenglerarbeit: Kupfer; Doppeldach mit Gradschnitt-Ziegeln; Umgebungsarbeiten: Sandstein. Der Ausbau ist einfach und ruhig in den Formen, aber erstklassig in der Wahl des Materials. Baukosten 86 Fr./m², ohne Umgebungsarbeiten, aber einschliesslich Honorar und Bauleitung.

Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft, im Jahre 1933.

(Schluss von Seite 269.)

Ausbau der Rhone.

Wasserkraftnutzung, Schiffahrt, Genfersee-regulierung. Es handelt sich um ein überaus vielgestaltiges und verwickeltes Problem, bei dem es überdies sehr schwer hält, den Ausgleich der Interessen herbeizuführen.

Wasserkraftnutzung Landesgrenze-Arvemündung, unter Berücksichtigung der Schiffahrt. Die sehr starke Geschiebeführung der Arve bildet ein bedeutendes Erschweris für den Ausbau dieser Strecke. Um die Frage zu klären, wie die Nachteile infolge der starken Geschiebeführung möglichst behoben werden können, wurden umfangreiche hydrographische Aufnahmen durchgeführt. Die „Services industriels de Genève“ liessen in Fühlungnahme mit dem Amt

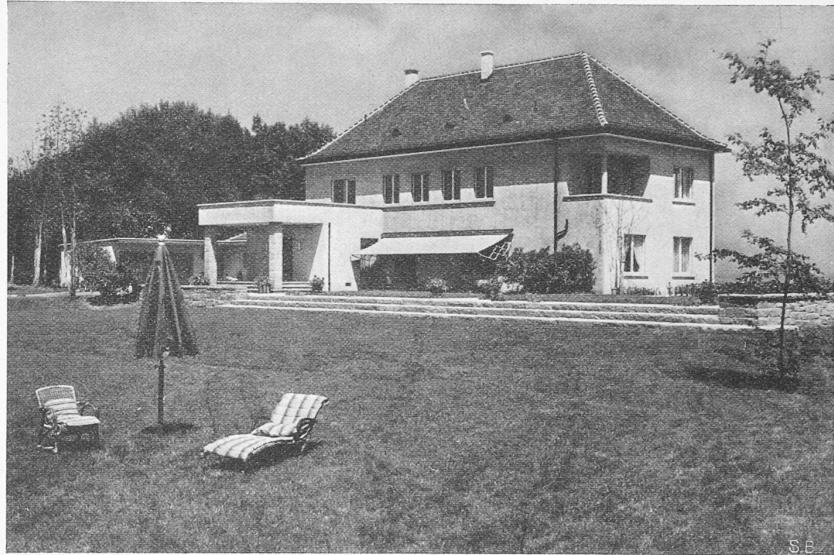


Abb. 4. Ansicht aus Westen, von der Strassenzufahrt aus gesehen.