

# Die "Sfindex"-Ringstrahlmaschine

Autor(en): **Gerber, Hans**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **72 (1954)**

Heft 51

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-61311>

## **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.

## Die «Sfindex»-Ringstrahlmaschine

Von Prof. Hans Gerber, ETH, Zürich

DK 621.241-145

Seit einiger Zeit sind in technischen Zeitschriften und auch in Tageszeitungen [1] [2] \*) verschiedene Veröffentlichungen über eine «neuartige» Wasserturbine, die sogenannte «Sfindex»-Ringstrahlmaschine, erschienen. Nachdem die Studien und Versuche hierüber vorläufig zu einem gewissen Abschluss gekommen sind, ist es angezeigt, zusammenfassend darüber zu berichten. Der Verfasser hat sich mit dieser Turbine beschäftigt einerseits als versuchstechnischer Berater, andererseits als von der Sfindex S. A. in Sarnen und Zürich beigezogener Experte zur Festhaltung der Resultate in bestimmten Entwicklungsstadien.

### 1. Vorgeschichte

Die axiale, voll beaufschlagte Ueberdruckturbine von Jonval wies schlechte Teillastwirkungsgrade auf, was bei den damals zur Verfügung stehenden Einrichtungen zur Regulierung der zufließenden Wassermenge weiter nicht verwunderlich ist. Die Verhältnisse wurden sofort grundlegend besser, als Girard etwa um 1856 zum Prinzip des Gleichdruckes überging. Während einiger Jahrzehnte war dann die Girardturbine unbestritten die Turbine für mittlere und höhere Gefälle, bis sie von der Francis-Reaktionsturbine und dem Peltonrad verdrängt wurde. Schon um die Jahrhundertwende wurde sie kaum mehr gebaut.

Mit der fortschreitenden Entwicklung im Bau von Wasserkraftanlagen machte sich jedoch immer stärker eine Lücke bemerkbar zwischen den Francis- und Peltonradturbinen. Unter einer spezifischen Schnellläufigkeit von etwa  $n_s = 60$  werden die Wirkungsgrade von Francisturbinen undiskutierbar schlecht. Das Gleiche gilt für die eindüsige Peltonradturbine für etwa  $n_s$  über 30. Zur Ueberbrückung dieser Lücke wurden zwei- und vierdüsige, neuerdings sogar sechsdüsige Freistrahlturbinen gebaut [3], oder dann Mehrrad-Turbinen, wie z. B. die Turbinen des Schwarzenbachwerkes (1925) mit drei Laufrädern und sechs Düsen.

Es fehlte auch nicht an Versuchen, diese Lücke auszufüllen. Bekannt geworden ist vor allem die Wirbelstrahlmaschine von Reiffenstein [4]. Der Ringstrahl zur axialen Beaufschlagung eines kranzlosen Laufrades wurde mit einer geeignet geformten Spirale ohne irgendwelche andern Leitvorrichtungen erzeugt. Der maximale Wirkungsgrad der 2-PS-Modellturbine von Reiffenstein betrug unter 2,5 m Gefälle 79,5%. Die Wirkungsgradkurve verlief sehr flach. Diese Turbine konnte sich aber nicht durchsetzen, sind doch unseres Wissens nur Maschinen kleiner Leistung gebaut worden. Eines der Hauptziele der Neukonstruktion wurde, wie Reiffenstein selbst feststellte, nicht erreicht, nämlich gute Wirkungsgrade in der  $n_s$ -Lücke zwischen 30 und 60. Sobald  $n_s$  für Vollast unter etwa 100 sinkt, ist als Folge des dünnen Ringstrahles unweigerlich mit einem solchen Wirkungsgradrückgang zu rechnen, dass die Turbinen wirtschaftlich nicht mehr interessant sind, vor allem natürlich nicht für grosse Einheiten.

Es scheint, dass man sich auch andernorts mit Studien in dieser Richtung beschäftigte [5]. Sie sind aber seinerzeit in der Öffentlichkeit nicht bekannt geworden, vermutlich wohl wegen ungenügender Wirkungsgrade. Auch lag das  $n_s$  etwa bei 130, womit die Feststellung von Reiffenstein über die niedrigsten erzielbaren Schnellläufigkeiten für voll beaufschlagte Gleichdrucklaufräder eine weitere Bestätigung fand.

Zu Anfang der dreissiger Jahre setzte nun eine Entwicklung ein, welche die vorhandene Lücke wenigstens teilweise weniger fühlbar werden liess: Die Francisturbinen wurden für immer höhere Gefälle gebaut. 1939 war man in der Anlage Bitto III auf beinahe 400 m angelangt, in Nor-

wegen läuft seit einiger Zeit eine Maschine unter etwa 420 m und bald werden die Turbinen der Anlage Fionnay im Wallis unter  $H_{stat} = 462$  m in Betrieb kommen. Die Frage, ob für Gefälle von 400 bis 500 m Francisturbinen die richtige Lösung sind, ist jedoch noch keineswegs eindeutig entschieden [6] [7] [8]. In diesen Publikationen kommen die gegensätzlichen Standpunkte besonders deutlich zum Ausdruck. Aus allem aber muss geschlossen werden, dass immer noch ein Bedarf vorhanden wäre für eine Gleichdruckturbine mit einer spezifischen Schnellläufigkeit bei Vollast von möglichst wenig über 100 und einer flachen Wirkungsgradkurve mit genügend hohen Absolutwerten.

### 2. Vorversuche mit der Ringstrahlmaschine

Während bisher wohl alle Turbinentypen von der Lauf- radseite aus entwickelt wurden, und man eine möglichst gute Zuleitung des Wassers anstrebte, ist im vorliegenden Fall zunächst der Leitapparat studiert worden. Es wurden umfangreiche Studien und Versuche zur Erzielung eines Ringstrahles mit den folgenden Eigenschaften angestellt:

Hoher Düsen-Wirkungsgrad, gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung, gleiche Abströmwinkel in möglichst weitem Bereich.

Den Anstoss zu diesen Studien gaben Vorschläge von A. J. Schneider über die möglichen Formen von Düsen zur Erzielung von Ringstrahlen, wobei zunächst gar nicht die Verwendung im Turbinenbau im Vordergrund stand. Die Modelle nach den Ideen von Schneider zeigten aber unbefriedigende Resultate, ebenso das von ihm entworfene erste Versuchsmodell.

In diesem Entwicklungsstadium hat dann die Sfindex S. A. mit eigenem Personal mit ihren Studien für eine vollbeaufschlagte axiale Gleichdruckturbine begonnen. Die Art des Vorgehens ist von H. U. Widmer eingehend beschrieben worden [2], so dass hier auf die Wiedergabe verzichtet werden kann. Zur Verfügung stand eine Versuchseinrichtung nach Bild 1. Von links führte das Zulaufrohr das Wasser in den «Drallkübel». Als Resultat dieser Versuche sind ver-

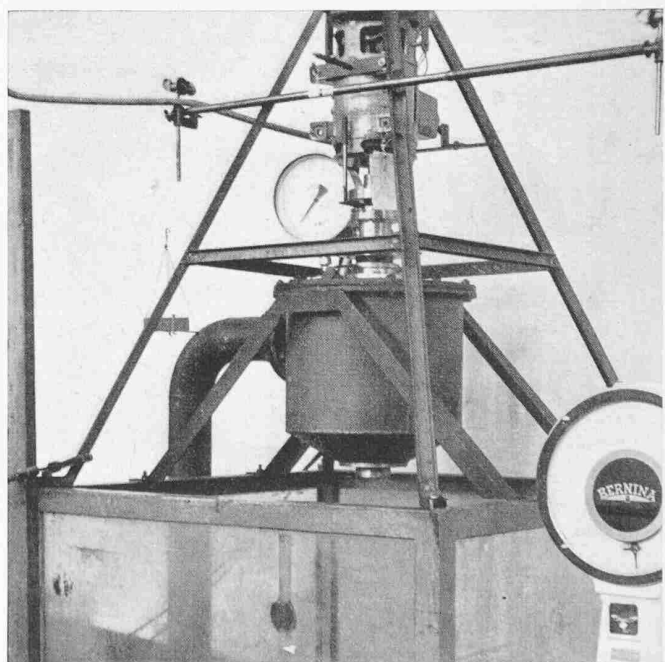


Bild 1. Versuchseinrichtung zum Ausprobieren von Düsen zur Erzeugung des gewünschten Ringstrahles

\*) Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

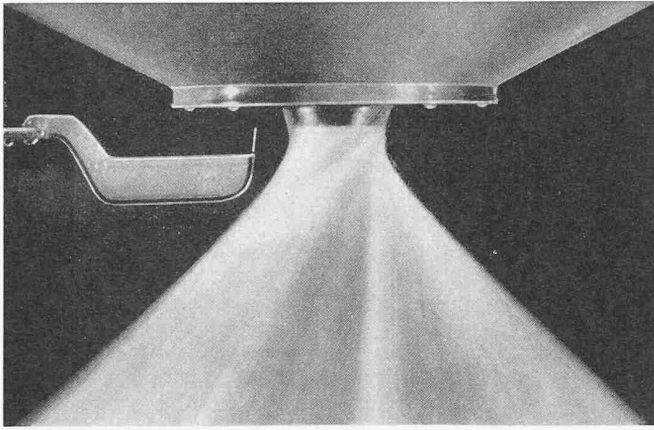


Bild 2. Erzeugter Ringstrahl, links das Staurohr

schiedene Lösungen durch Patente geschützt worden [9]. Es zeigte sich, dass solche Ringstrahlen auch für ganz andere Zwecke benützt werden können.

Auf alle Fälle gelang es, Ringstrahlen der gewünschten Art und Qualität zu erzeugen. Bild 2 zeigt einen solchen Strahl mit dem zu den Untersuchungen verwendeten Staurohr. Schon in diesem Stadium wurden aber auch Laufräder entwickelt und, wie Bild 1 zeigt, mit einem kleinen Gleichstrom-Dynamo abgebremst.

### 3. Die kleine Modellturbine

Die Studien zeigten, dass der «Drallkübel» unnötig gross und deshalb für höhere Drücke und grosse Dimensionen kaum geeignet war. Es wurde deshalb eine neue kleine Versuchsturbine mit einem ganz normalen Spiralgehäuse gebaut, in welches die vorher entwickelte Ringstrahl-Düse in geeigneter Weise eingebaut war. Als Stutzenweite  $D_e$  der Spirale wurde eine Grösse gewählt, die, verglichen mit Francisturbinen, mit Sicherheit keinen störenden Einfluss auf die Bildung des Ringstrahles ausüben sollte. Es ist deshalb durchaus möglich, dass diese so gewählte Spirallänge nicht als endgültig zu betrachten ist.

Der Aufbau dieser kleinen Modellturbine, wie sie im hydraulischen Institut des Maschinenlaboratoriums an der ETH

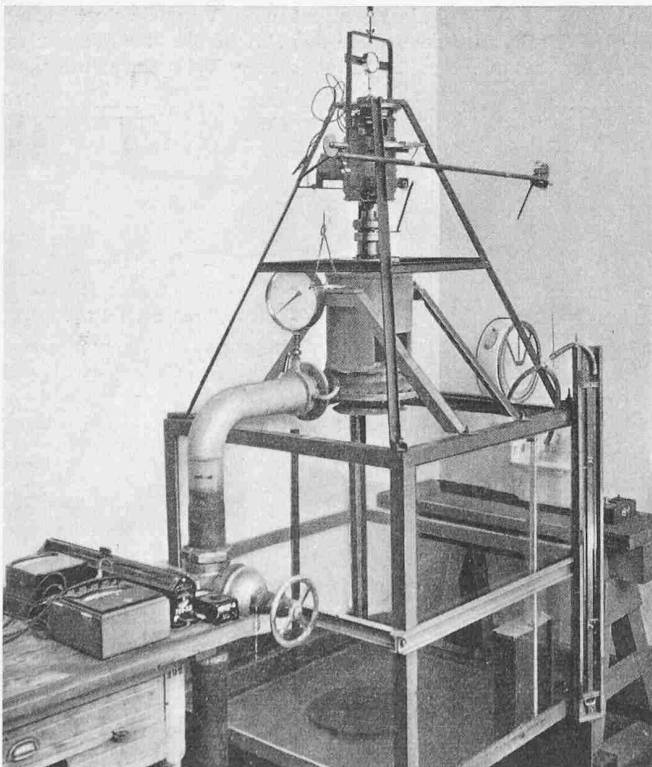


Bild 3. Versuchseinrichtung im Institut für hydraulische Maschinen und Anlagen an der ETH mit der kleinen Modellturbine

aufgestellt und von den Ingenieuren der Sfindex mit den dortigen Einrichtungen untersucht worden war, geht aus Bild 3 hervor. Bild 4 zeigt dazu schematisch die Versuchsanordnung mit den einfachen und leicht kontrollierbaren Messeinrichtungen. Mit dieser Versuchsanlage konnte ein grosser Teil der Entwicklungsarbeiten durchgeführt werden. Als vorläufiges Schlussresultat stand ein Laufrad zur Verfügung, welches mit geeigneter Düsen-Kombination ein  $n_s$  für Vollast von etwa 150 aufwies. Dieses Ergebnis war leider ein weiterer Beweis für die Richtigkeit der seinerzeitigen Feststellung von Reiffenstein, dass es mit vollbeaufschlagten Gleichdruckturbinen nicht möglich ist, das  $n_s$  unter 100 zu senken, ohne den Wirkungsgrad unzulässig zu verschlechtern.

Dafür aber wies diese kleine Modellturbine von kaum 0,7 PS Leistung bei 6 m Versuchsgefälle mit einem Bezugsdurchmesser von  $D_B = 80$  mm für das Laufrad immerhin bereits einen hydraulischen Wirkungsgrad von rund 78 % auf. Versuche zwischen 3 und 12 m zeigten einen nur geringen Einfluss des Gefälles. Dieses Resultat, zusammen mit der relativ flach verlaufenden Wirkungsgradkurve, war, wenn man die Aufwertungsmöglichkeiten in Betracht zog, doch so ermutigend, dass beschlossen wurde, mit den Arbeiten auf neuer Basis weiterzufahren.

### 4. Die grosse Modellturbine

Bei den Studien über die notwendige Grösse einer solchen Modellturbine zeigte sich bald, dass die Möglichkeiten der üblichen Laboratorien kaum genügen würden. Mit Rücksicht auf die Herstellungs-Genauigkeit der Laufräder wurde in Anlehnung an die Modellgrösse etwa der bekannten Kavitations-Versuchsstände ein neuer Bezugsdurchmesser von  $D_B = 200$  Millimeter festgelegt. Wollte man aber auch das Versuchsgefälle wesentlich erhöhen, so ergaben sich bald ganz erhebliche Wassermengen und entsprechend grosse Bremsleistungen. Eine solche Versuchsgruppe konnte nur in einem Kraftwerk unter natürlichem Gefälle aufgestellt werden.

Es sei an dieser Stelle den St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerken, und insbesondere Direktor U. Vetsch der beste Dank dafür ausgesprochen, dass sie es ermöglichten, im Kubelwerk eine Versuchsturbine dieser Grösse anzuschliessen. Sie haben mit ihrer verständnisvollen Einstellung gegenüber der Forschung wesentlich zum heute Erreichten beigetragen. Dieser Dank soll aber auch Zentralechef Furrer vom Kubelwerk und seinem Personal gelten, die mit nicht erlahmendem Interesse überall da mithalfen, wo es nottat. So konnte die Idee einer Modellturbine von 250 PS Leistung unter 80 m Nutzgefälle verwirklicht werden. Bild 5 zeigt den Anschluss der Versuchsgruppe an einer Druckleitung des Kubelwerkes. Am Ende der langen, geraden Rohrleitung, kurz vor der Turbine, war das Venturimeter (VDI, lang) zur Wassermessung

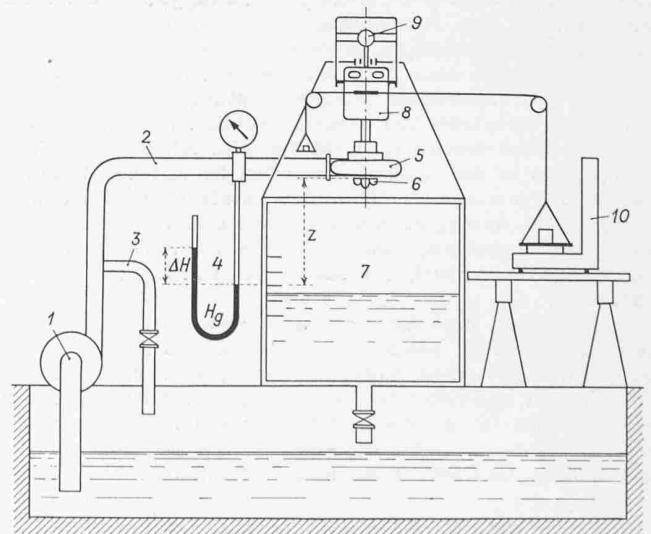


Bild 4. Schema der Versuchs- und Messanordnung für die kleine Modellturbine

- |                |                                      |                   |
|----------------|--------------------------------------|-------------------|
| 1 Pumpe        | 4 Differential-Quecksilber-Manometer | 7 Messbehälter    |
| 2 Druckleitung | 5 Spirale                            | 8 Pendelgenerator |
| 3 Nebenauslass | 6 Laufrad                            | 9 Tachometer      |
|                |                                      | 10 Waage          |

angeschlossen. Trotz normalisierter Form und vorschriftsmässigem Einbau wurde es aber vor den Versuchen im Institut für hydraulische Maschinen und Anlagen an der ETH mit Behälter geeicht, und zwar mit allen Rohrleitungen und Krümmern der Zu- und Wegleitung.

Bild 6 ist eine Nahaufnahme der Versuchsgruppe. Von rechts kommt die Zuleitung vom bereits erwähnten Venturimeter. Am rechten Bildrand sind das zugehörige Quecksilber-Differentialmanometer und das Federmanometer (mit Dämpfertopf) sichtbar, mit welchem das Druckgefälle in einem Ringraum vor der Spirale gemessen wurde.

Die Turbine ist mit Doppel-lagerung versehen, so dass sich hydraulische Wirkungsgrade berechnen liessen, eine Methode, die heute in allen modernen Versuchsständen angewendet wird. Auch die hydraulische Bremse selbst (aus dem Institut für Verbrennungsmotoren an der ETH) ist reibungsfrei gelagert. Die vollautomatische Waage war bereits auf mkg Drehmoment gradiert und konnte jederzeit, bei geöffnetem Kühlwasserhahn, mit geeichten Gewichten geprüft werden. Die genaue Drehzahl ergab sich aus den Stoppzeiten eines starr gekuppelten Zählwerkes. Parallel dazu wurde eine Messung mit einem Präzisions-Handtachometer vorgenommen.

Die ganze Messeinrichtung hat sich in jeder Beziehung bewährt. Die Bremse arbeitete erstaunlich stabil, so dass bei praktisch konstanten Gefällen sich nur ganz geringe Drehzahl-schwankungen ergaben. Die gemessenen Wirkungsgrade liegen denn auch höchstens  $\pm 0,2\%$  von der jeweiligen mittleren Bremskurve entfernt. Die Beharrung war jeweils sehr rasch erreicht, so dass in relativ kurzer Zeit eine erhebliche Zahl von Einstellungen durchgemessen werden konnte.

Auf dem Bild ist auch das Handrad zur Verschiebung des Düsen-Zentralkörpers zu sehen. Die Anzahl Umdrehungen dieses Rades ist ein Mass für den Düsenhub. Mit dem untersten Manometer konnte der Druck im Deckelraum hinter dem Zentralkörper gemessen werden. Damit sind auch die Verstellkräfte für die Regulierung bekannt.

Das aus dem Laufrad austretende Wasser spritzte nach hinten in das Flussbett zurück. Das Bruchstein-Mauerwerk in der Umgebung der Modellturbine wurde vorsichtshalber mit alten Blechen geschützt. Bild 7 zeigt den aus der Düse austretenden Ringstrahl bei ausgebautem Laufrad unter 80 m Gefälle. Mit eingebaute Laufrad ist die

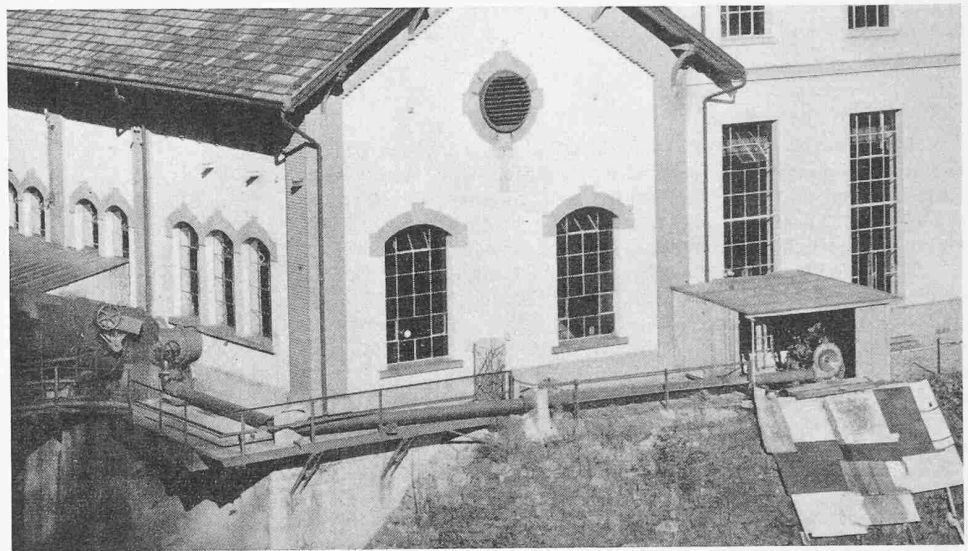


Bild 5. Ansicht der Versuchsanlage für die grosse Modellturbine im Kubelwerk

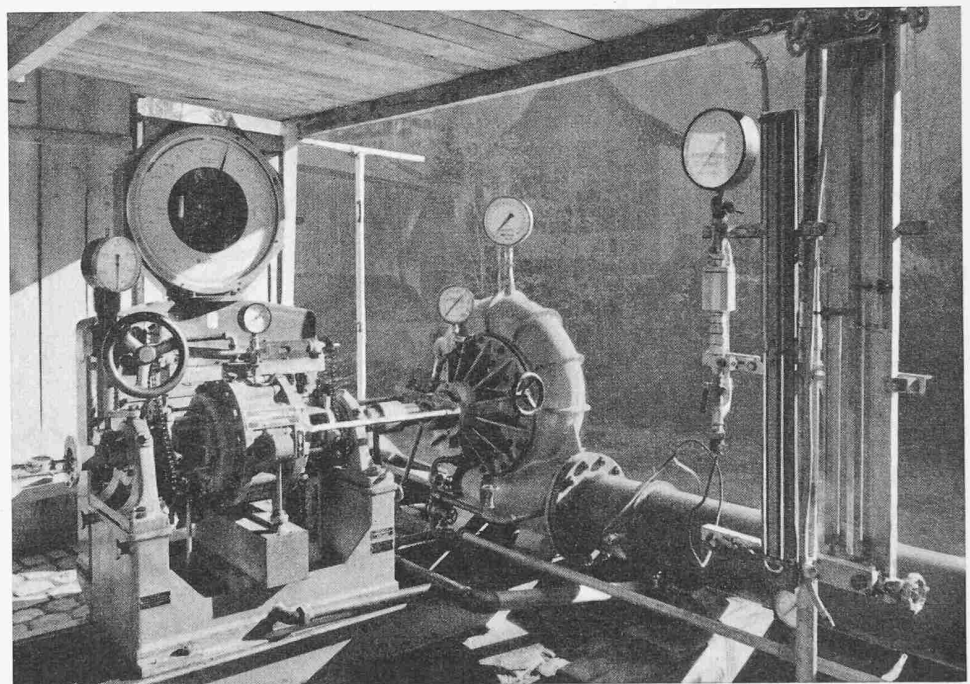


Bild 6. Brems- und Messeinrichtungen für die grosse Modellturbine im Kubelwerk

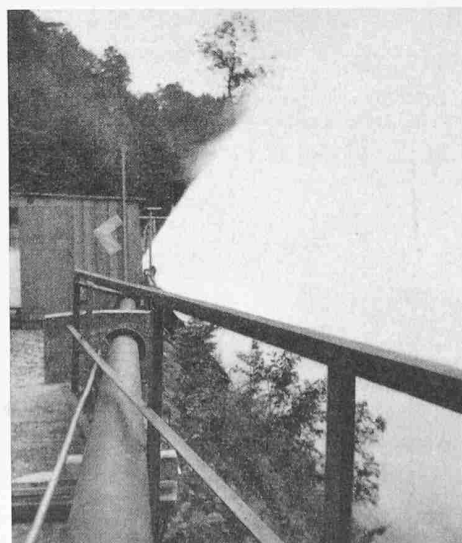


Bild 7. Ringstrahl ohne Laufrad bei grosser Düsenöffnung

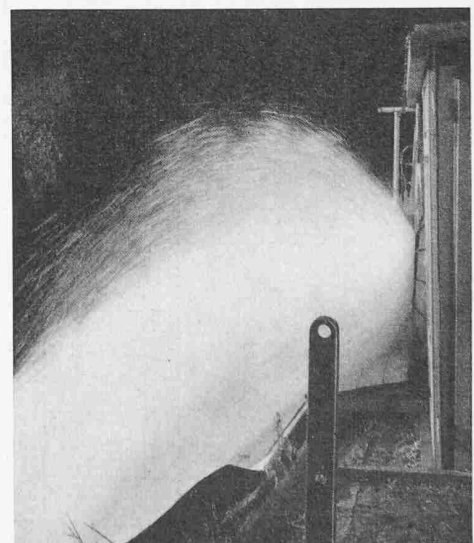


Bild 8. Wasseraustritt aus dem Laufrad bei grosser Düsenöffnung und günstiger Drehzahl



Energie des austretenden Wassers, den guten Wirkungsgraden entsprechend, nur noch gering, was aus Bild 8 deutlich ersichtlich ist.

5. Ueberblick über die Modellversuche

Wie immer bei solchen Entwicklungsarbeiten waren neben der eigentlichen Laufradkonstruktion eine Menge von Einzelfragen zu studieren und wenn möglich durch entsprechende Versuche abzuklären. Nachfolgend soll über einige wesentliche Feststellungen kurz berichtet werden.

Trotz der bereits geleisteten Vorarbeit am kleinen Modell war es angezeigt, den Einfluss verschiedener Düsen-Kombinationen zu untersuchen. Wie Bild 9 zeigt, kann damit die Charakteristik ein und desselben Laufrades entscheidend verändert werden. Wichtig ist auch der Abstand des Laufrad-Eintrittes von der Düsen-Mündung. Er ist für jedes Rad verschieden und hängt überdies natürlich in erster Linie von der Form des Ringstrahles ab. Aus Bild 10 geht hervor, dass ein klares Optimum feststellbar ist. Dabei war es beruhigend zu konstatieren, dass die günstige relative Lage von Laufrad und Düse unabhängig ist von der Modellgrösse oder vom Absolutgefälle.

Von entscheidender Bedeutung erwies sich die Belüftung des Ringspaltes zwischen Düse und Laufrad. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Belüftungsschilde entworfen und untersucht. Bild 11 zeigt den Verlauf der Wirkungsgrade von zwei verschiedenen Schildformen. Der Belüftungsschild hat die Aufgabe zu verhindern, dass das aus dem Laufrad austretende Wasser die Belüftung vor dem Rad behindert. Schon die Stellung des Schildes kann, wie Bild 12 zeigt, den Wirkungsgrad merklich beeinflussen.

Die Wirkung einer systematischen Verkürzung der Laufradschaufeln wurde vor allem am Laufrad Typ E untersucht. Aus Bild 13 ist zu ersehen, dass der Wirkungsgrad einem Optimum zustrebt. Dieses Optimum verschiebt sich überdies gleichzeitig zu immer grösseren Wassermengen.

Wie bei allen andern Turbinentypen auch, ist selbstverständlich die Güte der Oberflächen-Bearbeitung der Laufradschaufeln von entscheidendem Einfluss auf den Wirkungsgrad. Die Kurve a in Bild 14 entspricht etwa dem Schliff II nach VSM, die Kurve b einem Schliff III. Interessanterweise ist der Unterschied bei fast allen Belastungen konstant.

Von grosser Wichtigkeit ist, neben Wirkungsgrad und Leistung, die maximale Durchgangsdrehzahl  $n_{max}$ , bzw. ihr Verhältnis zur günstigsten mittleren Betriebsdrehzahl  $n_n$ . Diese Zahl liegt bei Freistrahlturbinen und langsamlaufenden

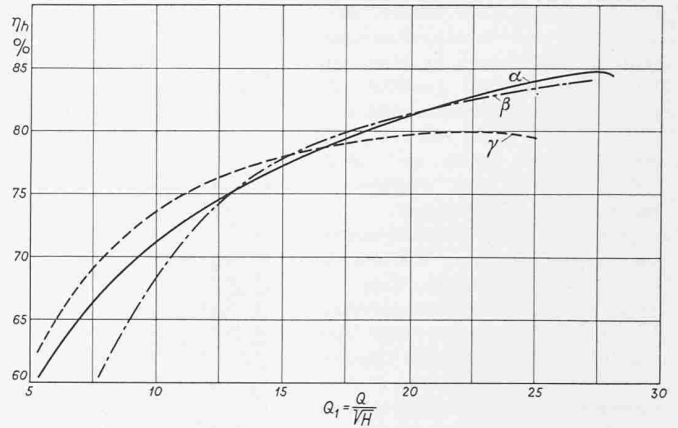


Bild 9. Laufrad-Charakteristiken mit verschiedenen Düsenkombinationen

Francisturbinen seit jeher etwa bei 1,8. Das beste Laufrad e, das in der kleinen Modellturbine entwickelt wurde, war diesbezüglich mit einer Verhältniszahl von 2,37 noch recht ungünstig. Bild 15 beweist aber, dass mit den beiden Laufrädern H und I in der grossen Modellturbine diese Relativzahl auf höchstens 2,0 gedrückt werden konnte, bei an sich schon kleineren Werten für  $n_n$ . Dieser Verhältniszwert ist festigkeitstechnisch auch für grosse Generatoren noch als durchaus zulässig zu bezeichnen.

Schliesslich seien in Bild 16 noch die Wirkungsgradkurven der drei besten Laufräder der grossen Modellturbine miteinander verglichen. Rad E entspricht dem Laufradtyp e, der als bestes Rad in der kleinen Modellturbine entwickelt worden war. Der Fortschritt, der mit den zwei Laufrädern H und I erzielt werden konnte, ist entscheidend und sehr befriedigend. Wirkungsgrade von 86 % können also mit Sicherheit erreicht werden, wobei der Bezugsdurchmesser von nur 200 mm gebührend berücksichtigt werden muss.

Bild 17 zeigt verschiedene Laufräder, die in der kleinen und grossen Modellturbine untersucht wurden. Mit diesen kurzen Hinweisen und Vergleichsergebnissen ist natürlich nur ein kleiner Teil der vielen durchgeführten Versuche aller Art erfasst worden. Sie zeigen immerhin, dass die Sfindex-Ringstrahlerturbine gründlich und in vielen Richtungen geprüft wurde, soweit dies in der bisherigen Zeit und mit den vorhandenen Mitteln überhaupt möglich war.

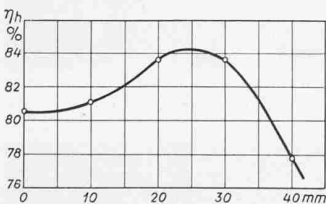


Bild 10. Einfluss des Laufradabstandes vom Austritt der Düse

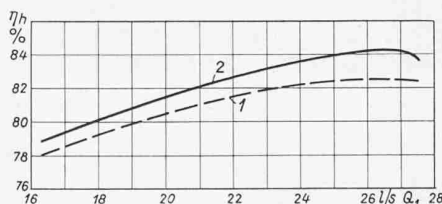


Bild 11. Einfluss von zwei verschiedenen Formen des Belüftungsschildes

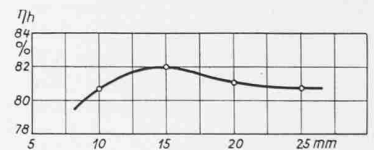


Bild 12. Beeinflussung des Wirkungsgrades durch Veränderung der Lage des Belüftungsschildes

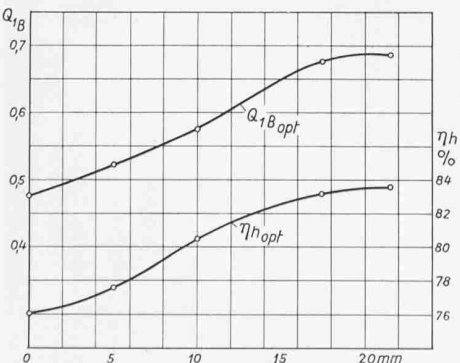


Bild 13. Einfluss der Schaufelverkürzung

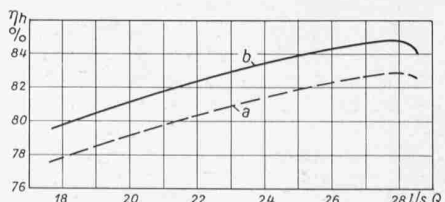


Bild 14. Einfluss der Bearbeitung der Schaufeloberflächen

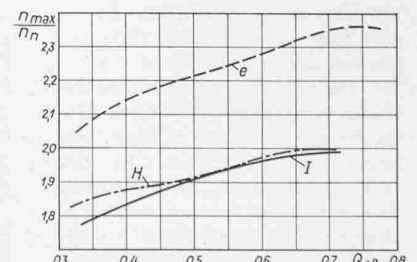


Bild 15. Durchgangsdrehzahlen  $n_{max}$  verschiedener Laufräder im Verhältnis zur mittleren Drehzahl  $n_n$

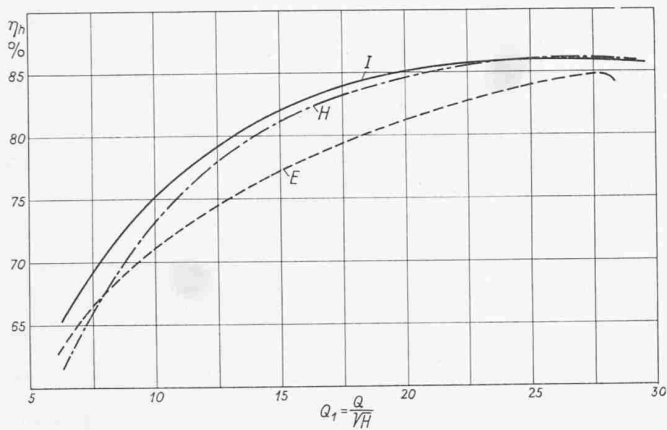


Bild 16. Vergleich von drei Laufrädern der grossen Modellturbine  
E:  $n_1 = 270$  U/min; H:  $n_1 = 265$  U/min; I:  $n_1 = 256$  U/min

6. Die Wirkungsgrade von Modell und Grossausführung

Von der Aufwertung der Wirkungsgrade bei den heutigen Gleichdruckturbinen weiss man verhältnismässig wenig Exaktes, und von derjenigen bei Girardturbinen vermutlich nichts. Auf alle Fälle sind sie unseres Wissens nie in Aufwertungsformeln zusammengefasst worden, wie dies für Ueberdruckturbinen der Fall ist. Man stellt nur immer wieder fest, dass die bekannten Formeln von Ackeret und Moody hier nicht stimmen, was weiter nicht überrascht, da sie ja für Ueberdruckturbinen aufgestellt worden sind. Während der Vollast-Wirkungsgrad der Peltonturbinen meist mehr oder weniger direkt demjenigen des Modelles entspricht, tritt bei starker Teillast häufig eine wesentliche Verbesserung ein, die weit über dem liegt, was sich mit den zwei obenerwähnten Formeln berechnen liesse. Diese Tatsachen sind zu bekannt, als dass man es hätte riskieren dürfen, irgend eine dieser Formeln auf die Sfindex-Turbine anzuwenden.

Die zwei genau modellähnlichen Versuchsturbinen, ausgerüstet mit dem gleichen Radtyp *e* und *E*, verschafften nun aber einwandfreie Unterlagen für eine Ueberprüfung des Aufwertungsgesetzes bei diesem neuen Turbinentyp. Bei der Ausarbeitung des Diagrammes nach Bild 18 wurden die folgenden Daten, Bezeichnungen und Beziehungen verwendet:

Modellturbine	klein	gross
Laufrad-Typ	<i>e</i>	<i>E</i>
Index	<i>k</i>	<i>g</i>
Bezugs-Durchmesser $D_B$	80	200 mm
Versuchsgefälle <i>H</i>	6	80 m

Die erste von *Moody* publizierte Formel, die erfahrungsgemäss etwas optimistische Werte liefert, und mit welcher die Kurve 3 aus der Kurve *e* berechnet wurde, lautet:

$$\eta_g = 1 - (1 - \eta_K) \sqrt[4]{\frac{D_K}{D_g}}$$

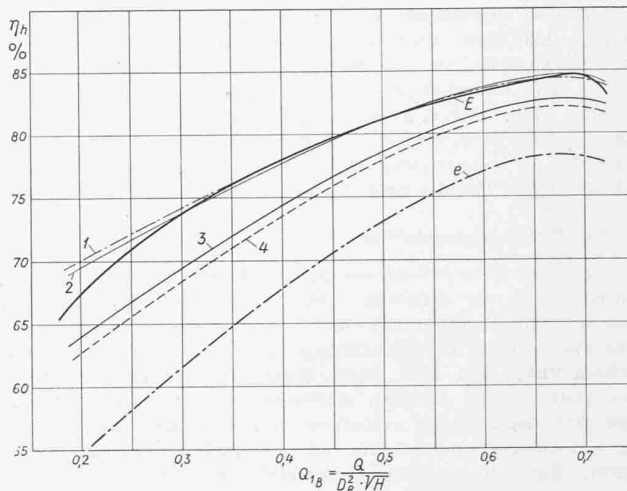


Bild 18. Kontrolle der Aufwertungsformeln (Bezeichnungen im Text)

Sinngemäss schreibt sich die Formel von *Ackeret*, die eher als vorsichtig zu bezeichnen ist und die für die Berechnung von Kurve 4 verwendet wurde:

$$\eta_g = 1 - \frac{1}{2} (1 - \eta_K) \left( 1 + \sqrt[5]{\frac{D_K \sqrt{H_K}}{D_g \sqrt{H_g}}} \right)$$

Wie man sieht, ergibt sich mit beiden Formeln bei weitem nicht die Kurve *E* des gleichen Rades *e* in der grossen Modellturbine. Eine eingehende Untersuchung ergab schliesslich, dass mit einer andern Formel der Zusammenhang der zwei Kurven *e* und *E* wirklich überraschend exakt erfasst wird, nämlich mit derjenigen von *Gregorig* [10]. Sie lautet:

$$\eta_{hg} = (1 - K_{v,2}^2) - [1 - K_{v,2}^2 - \eta_{hk}] \sqrt[4]{\frac{Re_K}{Re_g}}$$

Mit dem von *Gregorig* vorgeschlagenen Exponenten  $i = 4$  ergibt sich rückwärts aus dem Vergleich der Kurven *e* und 1 ein Wert von  $K_{v,2} = 0,245$  für die Austrittsgeschwindigkeit aus dem Laufrad (diese musste für die Sfindexturbine sinn gemäss an die Stelle der Saugrohr-Austrittsgeschwindigkeit  $K_{v,3}$  gesetzt werden). Ueber den weiten Bereich von 100 % bis etwa 45 % der Vollast-Wassermenge ist die Uebereinstimmung erreicht.

Weitere Beobachtungen und Ueberschlagsrechnungen haben aber ergeben, dass  $K_{v,2} = 0,245$  eher zu hoch ist; der Wert  $K_{v,2} = 0,20$  dürfte besser der Wirklichkeit entsprechen. Andererseits gilt der Exponent  $i = 4$  für geschlossene, bzw. vollaufende Querschnitte, während in den Laufrad-Kanälen der Sfindex-Turbine freie Spiegel vorausgesetzt werden dürfen, für die besser mit  $i = 5$  gerechnet wird. Mit diesen zwei neuen Annahmen ergab sich Kurve 2, die den Charakter von Kurve *E* fast noch besser erfasst als Kurve 1.

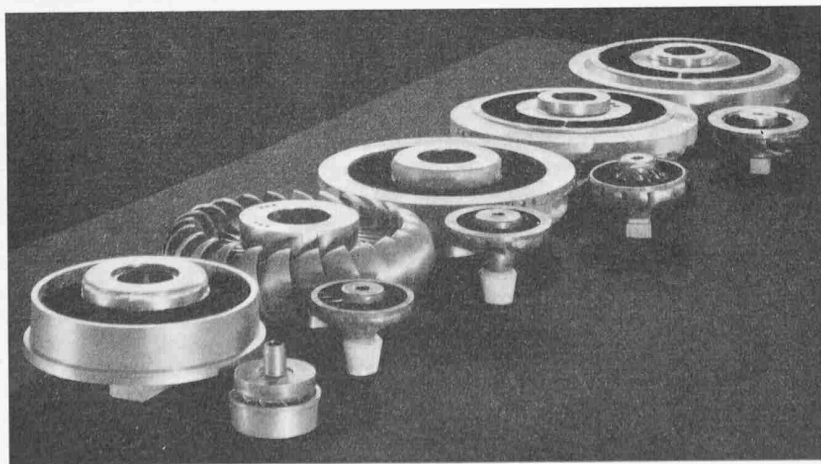


Bild 17. Verschiedene untersuchte Modellräder der grossen und der kleinen Ausführung

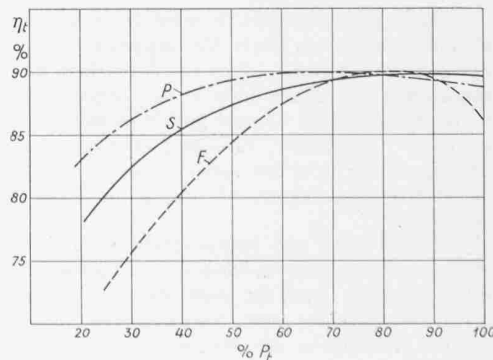


Bild 19. Vergleich von drei Turbinentypen

- P vierdüsiges Peltonturbine
- F Francisturbine
- S Sfindex-Ringstrahl-turbine

Die so angepasste Formel von Gregorig mit  $i = 5$  und  $K_{r,2} = 0,20$  darf nun zweifellos mit guten Gründen auch auf andere Modellräder der Sfindex-Turbine angewandt werden, die ja alle weitgehend nach den gleichen Prinzipien gebaut worden sind. Damit lassen sich überdies aus den Ergebnissen der grossen Modellturbine auch mit genügender Zuverlässigkeit die zu erwartenden Wirkungsgrade grösserer Einheiten für beliebige Gefälle und Wassermengen vorausberechnen.

### 7. Die Zukunftsaussichten

Bei der Beurteilung der Möglichkeiten für die zukünftige Anwendung der «Sfindex»-Ringstrahltriebwerk ist, wie bei allen solchen Neukonstruktionen, eine gewisse Zurückhaltung am Platz. Es gibt erfahrungsgemäss Eigenschaften und Erscheinungen, die erst nach längerem Dauerbetrieb richtig beurteilt werden können. Zahlenmässig am einfachsten lassen sich noch die zu erwartenden Charakteristiken erfassen. Aus diesem Grund ist für ein Beispiel der Praxis die folgende Vergleichsrechnung angestellt worden:

An einer der Hochdruck-Francis-Spiraltriebwerke des Kraftwerkes Rodund ist die Wirkungsgradkurve gemessen worden [11]. Wendet man diese Kurve für eine Turbine von  $Q = 12,4 \text{ m}^3/\text{s}$  unter dem gleichen Gefälle von  $H = 346 \text{ m}$  an, so ergibt sich bei gleicher spezifischer Schnellläufigkeit eine Drehzahl von  $n = 600 \text{ U/min}$  und die Kurve  $F$  in Bild 19. Für die gleichen Verhältnisse kommt eine vierdüsigige Freistrahlturbine mit dem Strahlverhältnis  $m = 11,2$  nur auf  $300 \text{ U/min}$  (Kurve  $P$ ).

Die Ringstrahltriebwerk mit Laufradtyp I und Wirkungsgradverlauf nach Bild 16 ergibt, nach Aufwertung mit der Formel von Gregorig, Methode 2 von Bild 18, die Kurve  $S$ : Diese liegt zwischen den beiden anderen Kurven  $P$  und  $F$ , eher in Richtung  $P$ . Die Turbine erhält aber eine Drehzahl von  $1000 \text{ U/min}$ ! Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, ist auch bezüglich der Hauptdimensionen eine günstige Ausgangssituation vorhanden.

Turbinen-Typ		Pelton	Francis	Sfindex
Kurve in Bild 19		$P$	$F$	$S$
Wassermenge $Q$	$\text{m}^3/\text{s}$	12,4	12,4	12,4
Gefälle $H$	$\text{m}$	346	346	346
Vollast-Wirkungsgrad	$\%$	88,8	86,2	89,6
Vollast-Leistung $P_T$	$\text{PS}$	50 800	49 350	51 300
Nennndrehzahl $n_n$	$\text{U/min}$	300	600	1 000
Durchgangsdrehzahl $n_{max}$	$\text{U/min}$	540	1 080	2 000
Verhältniszahl		1,8	1,8	2,0
Spez. Drehzahl $n_s$		45	89	152
Laufrad-Bezugsdurchmesser	$\text{m}$	2,45	1,90	0,95
Spiral-Eintrittsstutzen	$\text{m}$	1,45	1,15	1,20

Die Sfindex-Ringstrahltriebwerk benötigt demnach bei einem mittleren Verlauf der Wirkungsgradkurve das weitaus kleinste Laufrad, eine Spiralenweite ungefähr wie die Francis-Turbine, aber sicher kleiner in den Dimensionen «über alles». Damit wird zweifellos auch eine wesentliche Gewichts-Ersparnis verbunden sein.

Die ganz erheblich höhere Drehzahl wird auch auf der Generator-Seite zu einer Verbilligung führen, trotz der etwas höheren Durchgangsdrehzahl. Mit den kleineren Aussendimensionen der Maschinen kann ferner auch das Maschinenhaus entsprechend kleiner gehalten werden. Nachteilig ist dagegen der benötigte Freihang. Schätzt man ihn zu 1,5 bis 2,0 m, so macht er im vorliegenden Fall, übrigens gleich wie bei der Pelton-Turbine, rd. 0,5 % im Wirkungsgrad der Anlage aus.

Konstruktiv und fabrikatorisch dürfte die Sfindex-Ringstrahltriebwerk kaum besondere Probleme aufwerfen. Wie bereits erwähnt, sind die auftretenden hydraulischen Verstellkräfte durch Messungen bekannt, und konstruktive Lösungen für die Gestaltung der Regulierung und ihrer Organe liegen bereits vor. Dies betrifft neben der Drehzahlregulierung auch die Druckregulierung bei raschen Abschaltungen. Dagegen müssen natürlich die Erfahrungen an ausgeführten Maschinen abgewartet werden, um zu sehen, wie sich die Ringstrahltriebwerk betrieblich verhält, insbesondere was die Abnutzung durch das Betriebswasser, den Einfluss des Geschwemmels

usw. an betrifft. So betrachtet wäre es deshalb von Interesse, wenn bald einige Gruppen zur Aufstellung gelangen würden.

### Literaturverzeichnis

- [1] Ein neuartiges Mittel zur Erzeugung von Ringströmungen. Von P. U. Weber; «Neue Zürcher Zeitung», Bl. 5 vom 24. 6. 53.
- [2] Sfindex-Ringstrahltriebwerk und -Turbine. Von H. U. Widmer, «Techn. Rundschau», 2. Blatt vom 17. 7. 53.
- [3] The Bridge River Power Plant, «Trans. ASME», April 1951.
- [4] Die Wirbelstrahltriebwerk. Von Ing. A. Grätzl; «Z. des Oester. Ing. und Arch. Ver.», 1926, Heft 43/44.
- [5] Die Bell-Strahltriebwerk, eine in Vergessenheit geratene Erfindung aus dem Jahre 1924. «Technische Rundschau», S. 7 vom 12. 2. 54.
- [6] Turbines Francis haute chute ou Pelton. Von R. C. Collet; «Bull. Techn. de la Suisse Romande», 1950/51.
- [7] Francis- oder Pelton-Turbine? Von Ch. Weingart; SBZ 1950, Nr. 32.
- [8] Francis ou Pelton. Von M.-A. Puyo; «La Houille Blanche», Juli/Aug. 1949.
- [9] Schweiz. Pat. Nr. 274 595, 285 249, 287 979, 282 183.
- [10] Der Wirkungsgrad einer Wasserturbine bei veränderlichem Gefälle, veränderlichen Dimensionen und Temperatur des Betriebswassers, jedoch bei gleicher spezifischer Schnellläufigkeit. Von Ing. Dr. R. Gregorig; SBZ Bd. 102, Nr. 15 vom 7. 10. 33.
- [11] Die Hochdruck-Francis-Turbinen des Kraftwerkes Rodund. Von H. Gerber; «Escher Wyss Mitt.», 1948/49, S. 31.

Adresse des Verfassers: Prof. H. Gerber, Rebergstr. 49, Zürich 49.

## Neue Ausstellungsgestaltung

DK 725.91

Der Graphiker Richard P. Lohse hat letztes Jahr ein Buch herausgegeben, das 75 Beispiele einzelner besonders guter Pavillons oder kleinerer Ausstellungen der letzten Jahrzehnte aus allen Ländern zeigt<sup>1)</sup>. Das vorzügliche Abbildungsmaterial ist — soweit nötig auch mit Grundrissen — in typographisch sehr gepflegter Form dargeboten, in dem für Architekturpublikationen heute üblichen Querformat mit schmalsten Stegen zwischen Druckspiegel und Rand. Die lästige Dreisprachigkeit ist durch möglichste Zusammenfassung der einzelnen Texte erträglich gemacht.

Bei der Bedeutung, die das Ausstellungswesen heute hat, wird dieses vorzüglich gemachte Buch die verdiente Beachtung finden. Das technische Zeitalter hat ein geradezu fiebriges Bedürfnis, möglichst alles andauernd auszustellen, das heisst bewusst zu machen, gleichviel, ob es sich um historische Kulturgüter oder moderne Errungenschaften handelt. Darin spiegelt sich die schlaflose Wachheit einer Zeit, die nichts festhalten, aber auch nichts vergessen kann. Diese Ausstellungen jagen sich in einem solchen Tempo, dass niemand Zeit und Kraft hat, auch nur die ihm bequem erreichbaren alle anzusehen, und von einer Verarbeitung des Dargebotenen ist nicht die Rede, weil jede von der nächsten schon wieder zuge deckt wird. So ist der tatsächliche Nutzeffekt dieses ungeheuern Aufwandes an Wissen, Scharfsinn, Geschmack und Kosten bedauerlich gering — aber das ist natürlich kein Einwand gegen dieses Buch.

Lohse skizziert in seiner Einleitung den Beitrag der verschiedenen Avantgardismen seit dem Jahrhundertanfang zur modernen Ausstellungsgestaltung — man könnte auch umgekehrt fragen, wieviel die einzelnen Modernitäten dem Thema der Ausstellung verdanken, an dem sie sich ungehemmt ausleben und bis ins Extreme zuspitzen können als an jeder anderen Aufgabe, denn eine Ausstellung soll und darf sensationell sein. So sind Ausstellungen jeweils recht eigentlich die festlichen Spitzenleistungen der jeweiligen Modernität gewesen, und als solche haben sie dann wieder auf andere Aufgaben abgefärbt, bei denen es oft eher auf ruhige Wertbeständigkeit als auf Ueberraschungseffekte angekommen wäre. Auch ist die Gefahr, dass sich diese hochgezüchtete Ausstellungskunst zum «Art pour l'Art» entwickelt, nicht zu übersehen — das zu zeigende Ausstellungsgut wird leicht zum blossen Rohmaterial für Manifestationen der Ausstellungskunst. Wir erinnern uns etwa an Ausstellungen anlässlich historischer Gedenktage: ehrwürdige, schicksals-

<sup>1)</sup> Neue Ausstellungsgestaltung. Von Richard P. Lohse. 260 S. von 23,3 × 28 cm, mit 600 Abb. Deutscher, französischer und englischer Text. Erlenbach-Zürich 1953, Verlag für Architektur. Preis geb. 52 Fr.