Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 16 (1925)

Heft: 8

Artikel: Schnelläufigkeit [i.e. Schnellläufigkeit] und Wirkungsgrade moderner Schnelläuferturbinen [i.e. Schnellläuferturbinen]

Autor: Zuppinger, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057290

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: 23.08.2025

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

SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Erscheint monatlich,
im Januar dazu die Beilage „Jahresheft".

Alle den **Inhalt** des „Bulletin" betreffenden Zuschriften sind zu richten an das

Generalsekretariat
des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins
Seefeldstrasse 301, Zürich 8 — Telephon: Limmat 96.60*,
welches die Redaktion besorgt.

Alle Zuschriften betreffend **Abonnement, Expedition** und **Inserate** sind zu richten an den Verlag:

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.
Stauffacherquai 36/38 Zürich 4 Telephon: Selnau 38.68*

Ce bulletin paraît mensuellement. — „**L'Annuaire**" est distribué comme supplément dans le courant de janvier.

Prière d'adresser toutes les communications concernant la **matière** du „Bulletin" au

Secrétariat général
de l'Association Suisse des Electriciens
Seefeldstrasse 301, Zurich 8 — Telephon: Limmat 96.60*
qui s'occupe de la rédaction.

Toutes les correspondances concernant les **abonnements, l'expédition** et les **annonces,** doivent être adressées à l'éditeur

Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A.
Stauffacherquai 36/38 Zurich 4 Telephon: Selnau 38.68*

Abonnementspreis (für Mitglieder des S. E. V. gratis)
für Nichtmitglieder inklusive Jahresheft:
Schweiz Fr. 20.—, Ausland Fr. 25.—
Einzelne Nummern vom Verlage Fr. 2.— plus Porto.

Prix de l'abonnement annuel (gratuit pour les membres de l'A. S. E.), y compris l'Annuaire Fr. 20.—
pour la Suisse, Fr. 25.— pour l'étranger.
L'éditeur fournit des numéros isolés à Fr. 2.—, port en plus.

XVI. Jahrgang
XVIe Année

Bulletin No. 8

August
Août 1925

Schnelläufigkeit und Wirkungsgrade moderner Schnelläuferturbinen.

Von Ing. *W. Zuppinger*, Zürich.

Nach einigen einführenden Erklärungen über die Schnelläufigkeit der Turbinentypen Francis, Diagonal, Propeller und Kaplan, geht der Verfasser auf den Vergleich der Francis mit den Propellerturbinen in bezug auf den Wirkungsgrad bei variabler Beaufschlagung näher ein und zeigt an Hand von Kurven und Tabellen, dass die kleineren, weniger Platz als die Francisturbinen beanspruchenden, schnellaufenden Propellerturbinen bedeutend schlechtere Wirkungsgrade, auf die Wassermenge bezogen, bei partiellen Oeffnungen aufweisen und ein viel grösseres Wasserquantum bei Leerlauf brauchen. Es folgen ferner Betrachtungen betreffend die günstigste Auswahl von Schnelläufertypen und der Autor macht am Schluss einen Vorschlag zu einer neuen Bauart von Zweiradturbinen, mittelst welcher Wirkungsgrade von zirka 85% bei Vollast, zirka 80% bei Halblast und zirka 70% bei Viertellast erhältlich sein dürften.

L'auteur donne d'abord une introduction relative à la vitesse des turbines types Francis, diagonales, à hélices et Kaplan, à grand nombre de tours spécifique, puis compare le rendement sous charge variable des turbines Francis à celui des roues à hélices, pour montrer par des courbes et des chiffres que les turbines rapides à hélices, plus petites donc moins encombrantes que les turbines Francis, donnent en revanche pour les charges fractionnaires des rendements sensiblement plus mauvais, rapportées à la quantité d'eau absorbée, et nécessitent aussi beaucoup plus d'eau pour la seule marche à vide. L'article contient ensuite des considérations sur le choix judicieux de types de turbines rapides et se termine par une proposition de l'auteur concernant une construction nouvelle de turbines à deux roues, qui permettrait d'obtenir des rendements d'environ 85% à pleine charge, 80% à mi-charge et 70% au quart de la charge.

Unter dem Titel „Vergleich der mannigfachen Charakteristiken verschiedener Typen moderner Schnelläuferturbinen" hat der Verfasser in der Schweiz. Bauzeitung vom 31. Januar/7. Februar 1925 einen Aufsatz veröffentlicht (auch als Sonderabdruck erschienen), der namentlich in unparteiischen turbinentechnischen Kreisen volle Anerkennung gefunden hat. Ein kurzer Auszug, soweit es die Schnelläufigkeit und die Wirkungsgrade betrifft, dürfte auch an dieser Stelle interessieren. Daran anschliessend sind in *diesem* Artikel einige Anhaltspunkte für die günstigste Auswahl von Schnelläufertypen samt einem Vorschlag zu einer neuen Bauart enthalten.

I. Schnelläufigkeit.

Die Schnelläufigkeit einer Turbine wird ausgedrückt durch die sogen. *spezifische Drehzahl* $n_s = n_1 \sqrt{N_1}$. Hierin bedeuten $n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$ die Drehzahl pro Minute und $N_1 = \frac{N_e}{H\sqrt{H}}$ die effektive Leistung, beides auf das Einheitsgefälle $H = 1$ m bezogen. Haben wir z. B. eine Turbine von $N_e = 2500$ PS bei $H = 8$ m mit $n = 125$ Uml/min, so ist $n_1 = 44$, $N_1 = 112$, daher $n_s = 44 \sqrt{112} = 468$.

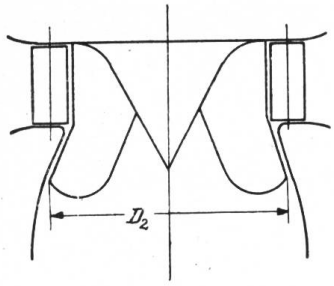

Fig. 1.
Francisturbine F.
$n_s = 212$.
$D_2 = 3{,}400$ m, $n = 43{,}7$ Uml/min.

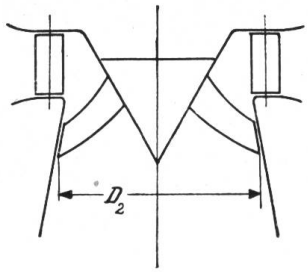

Fig. 2.
Diagonalturbine G.
$n_s = 460$.
$D_2 = 2{,}900$ m $n = 94$ Uml/min.

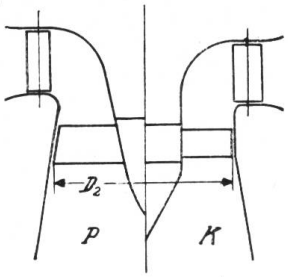

Fig. 3.
Propellerturbine P.
Kaplanturbine K.
$n_s = 735$.
$D_2 = 2{,}500$ m, $n = 150$ Uml/min.

Fig. 1—3. Verschiedene Niederdrucktypen für $H = 5{,}00$ m, $Q = 25$ m³/sek, $N_e = 1340$ PS.

Fig. 1 zeigt schematisch einen eigentlichen *Francistyp* mit mehr oder weniger zylindrischer Eintrittskante und Ausweitung des Schaufelkranzes, daher mässiger Schnelläufigkeit von etwa $n_s = 200-300$, aber mit hohem Wirkungsgrad bis zu $^1/_4\,Q$. Fig. 2 zeigt einen *Diagonaltyp* G von $n_s = 400-500$ mit zirka diagonalem Schaufelprofil, wodurch die Schnelläufigkeit bedeutend erhöht werden kann. Irrtümlicherweise wird auch dieser Typ häufig als Francisturbine angesprochen, obwohl er von dieser gänzlich verschieden ist, sowohl in der Form, als namentlich in allen charakteristischen Eigenschaften. Der Diagonaltyp bildet ein Bindeglied zwischen Francis- und Propellerturbine, insbesondere in der Anwendung für höhere Niederdruckgefälle. Fig. 3 links eine *Propellerturbine* P von $n_s = 735$ mit festen Laufradschaufeln, Fig. 3 rechts eine *Kaplanturbine* K von demselben $n_s = 735$, aber mit drehbaren Laufradschaufeln.

Alle diese im Masstab dargestellten Turbinentypen sind für $Q = 25$ m³/sek bei $H = 5$ m berechnet und ergeben für Q_{max} ungefähr gleich grosse Leistung $N = 1340$ PS ca. Der Laufraddurchmesser D_2 variiert zwischen 3,400 und 2,500 m und die Drehzahl pro Minute zwischen 43,7 und 150. Das bedeutet ganz erhebliche Ersparnisse zwischen den Typen F und P, sowohl für die Turbinen als für die Stromerzeuger und deren Raumbedarf, also auch für das Maschinenhaus. Kein Wunder, dass man heute nach möglichst hoher Schnelläufigkeit strebt. Dies ist möglich mittelst den sogen. *Propellerturbinen.*

Unter dem Namen „Propeller" versteht man heute alle Axialturbinen ohne Aussenkranz (Flügelräder) mit schraubenförmigen Schaufeln, ohne Rücksicht auf die Schaufelzahl, während eigentlich nur die *Kaplanturbine* mit vier weit auseinanderstehenden Flügeln (zellenlos) nach Art der Schiffsschrauben als Propellerturbine anzusprechen wäre. Die Kaplanturbine ist aber hauptsächlich dadurch charakterisiert, dass die Laufradschaufeln nicht fest, sondern drehbar sind, was die Konstruktion solcher Turbinen ausserordentlich schwierig und kompliziert gestaltet. Durch die Drehbarkeit der Laufradschaufeln wird aber erreicht, dass auch bei verminderter Wassermenge ein wunderbar schöner, flacher Verlauf der Wirkungsgradkurve erreicht werden kann, abgesehen von einer sehr hohen Schnelläufigkeit.

II. Wirkungsgrade.

Die Erfahrung hat bewiesen, dass bei mehr oder weniger *voller Oeffnung* Propellerturbinen bis $n_s \cong 900$ mit festen Laufradschaufeln ebenso hohe oder noch höhere Wirkungsgrade ergeben können wie Francisturbinen von $n_s = 200-300$, wenn sie richtig konstruiert sind. Ganz anders aber verhält es sich „nach den bisherigen Ausführungen" bei *partiellen Oeffnungen,* und zwar ist der Unterschied viel grösser, als nach den betreffenden Publikationen scheinen möchte. Das rührt daher, dass seit Einführung der Schnelläuferturbinen die Wirkungsgrade nicht mehr wie früher auf die Wassermenge, sondern auf die Leistung bezogen werden. Der daherige Unterschied soll in Folgendem gezeigt werden.

Zu diesem Zwecke benützen wir das obige Beispiel $H = 5{,}00$ m, $Q = 25$ m³/sek, und suchen für die zwei extremen Turbinentypen F und P die Wirkungsgradkurven η^Q (in Funktion der Wassermengen Q) oder η^N (in Funktion der Leistung N_e), je nachdem die eine oder andere dieser Kurven auf Grund von Versuchen oder aus Lieferungsgarantien bekannt ist.

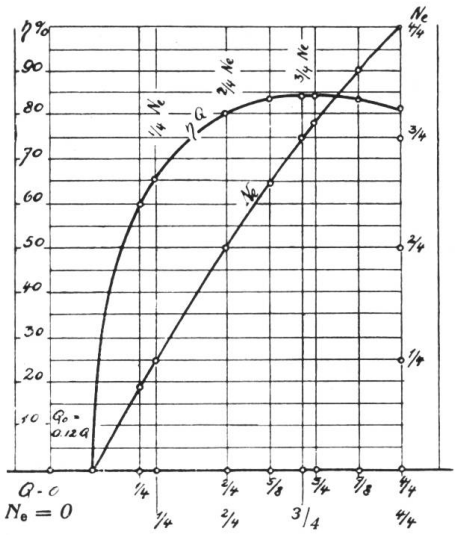

Fig. 4.
η^Q und N_e in Funktion von Q.

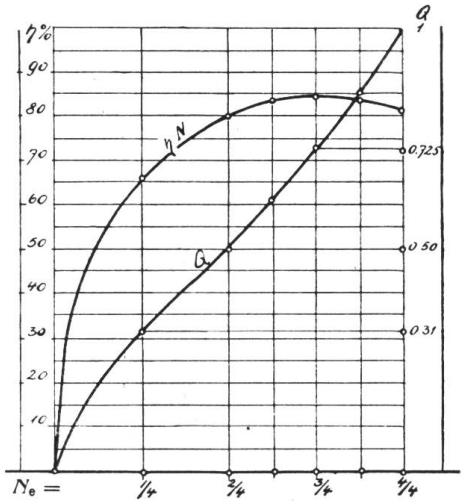

Fig. 5.
η^N und Q in Funktion von N_e.

Francisturbine F. $n_s = 212$.

Fig. 4 zeige die Wirkungsgradkurve η^Q einer *Francisturbine* nach Fig. 1 von $n_s = 212$ in Funktion der Wassermenge Q, wie dies seit jeher üblich war, so gibt folgende Tabelle die Berechnungsart für die Leistung bei den verschiedenen Beaufschlagungen.

Wassermenge Q	1/4	2/4	3/4	4/4
Wassermenge Q in m³/sek	6,25	12,5	18,8	25
Absolute Leistung $N_a = \frac{10\,Q\,H}{0{,}75} = PS_a$	418	836	1255	1670
Wirkungsgrad $\eta^Q = \%$ (sei bekannt)	60	80,5	84,5	81,5
Effektive Leistung $N_e = \eta^Q N_a = PS_e$	250	672	1060	1360
Effektive Leistung N_e in Prozenten	18,4	49,5	78	100

Diese Werte von η^Q und N_e tragen wir in Fig. 4 als Ordinaten mit Q als Abszisse auf, so erhalten wir die η^Q und N_e-Kurven in Funktion von Q. Nun suchen wir auf der N_e-Kurve die Werte $^1/_4$, $^2/_4$, $^3/_4$, $^4/_4$ N_e und projizieren diese Teilpunkte

vertikal aufwärts auf die η-Kurve, so erhalten wir auf dieser neue Werte in Funktion von N_e, die wir mit η^N bezeichnen wollen.

Wir können somit in Fig. 5 eine neue η^N-Kurve aufzeichnen mit $N_e = {}^1/_4 \ldots {}^4/_4$ als Abszisse. Für jeden Teilwert von N_e finden wir die absolute Leistung $N_a = \frac{N_e}{\eta^N}$ und die Wassermenge $Q = \frac{0{,}75\, N_e}{10\, H}$. Das gibt wiederum $Q = 25$ m³/sek für ${}^4/_4\, N_e$. In Prozenten ausgedrückt = 100. Damit ist auch die Q-Kurve in Funktion von N_e bestimmt.

Für *Propellerturbinen*, für die, wie gesagt, die Wirkungsgradgarantien nicht mehr wie früher auf die Wassermenge, sondern auf die Leistung bezogen werden, sind die Diagramme 6 und 7 in derselben Weise berechnet, nur in umgekehrter

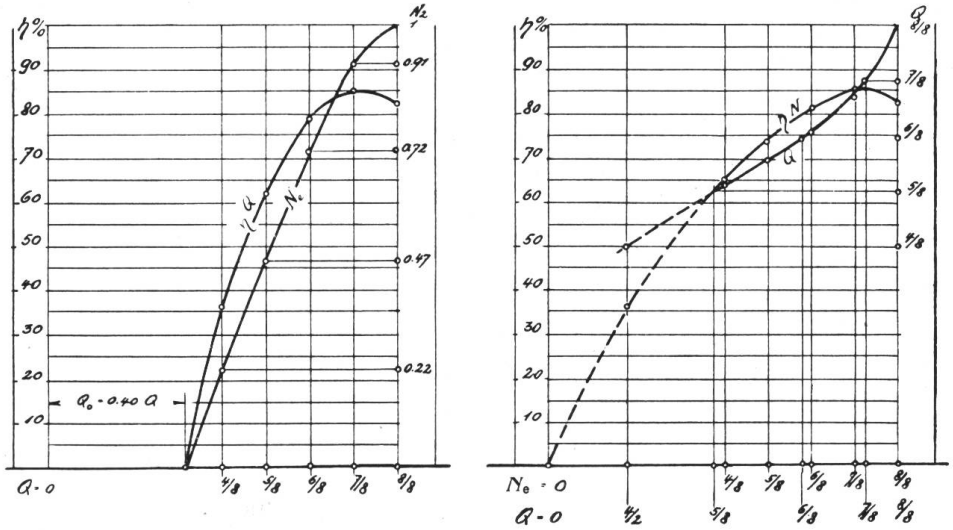

Fig. 7.
η^Q und N_e in Funktion von Q.

Fig. 6.
η^N und Q in Funktion von N_e.

Propellerturbine. $n_s = 735$.

Reihenfolge; d. h. wenn die η^N-Kurve bekannt ist, suchen wir nach Fig. 6 zuerst die zugehörige Q-Kurve und hernach nach Fig. 7 die η^Q und N_e-Kurven in Funktion der Wassermenge. Letztere beiden Kurven sind die wichtigsten für den Wasserkraftbesitzer.

Zu besserem Vergleich der Diagramme diene folgende Tabelle, wobei also η^N und η^Q die Wirkungsgrade in Funktion der Leistung und der Wassermenge bedeuten, während Q_0 den Wasserbedarf darstellt, der nötig ist, bis die Turbine überhaupt *anfängt*, nützliche Kraft abzugeben.

Turbinentyp	Francis F	Propeller P
Spezifische Drehzahl (1/1) n_s	**212**	**735**
Wirkungsgrad η^N für 1/2 N . . . . . %	80,5	64,5
Wirkungsgrad η^Q für 1/2 Q . . . . . %	**80,5**	**36,5**
Mittlerer Wirkungsgrad η^N_m zwischen 1/1 und 1/2 N_e . . %	83	77
Mittlerer Wirkungsgrad η^Q_m zwischen 1/1 und 1/2 Q . . %	**83**	**69**
Nötiges Q_0 zur Inbetriebsetzung	**0,12 Q**	**0,40 Q**

Dass der Unterschied zwischen einer Francisturbine von mittlerer Schnelläufigkeit und einer hochgradigen Propellerturbine so gross oder noch grösser sein kann,

war bisher gewiss wenig bekannt. Aehnliche Resultate haben laut dem am Anfang erwähnten Aufsatz in der S. B. Z. meine andern Untersuchungen ergeben, d. h. die Unterschiede sind bei partieller Belastung der Turbinen umso grösser, je grösser die Schnelläufigkeit (spezifische Drehzahl) ist.

Es bleibe dahingestellt, ob das von Amerika herübergekommene System, die Wirkungsgrade auf die Leistungen zu beziehen, auf eine Täuschung der Kundschaft berechnet war, indem auf diese Weise die Garantien günstiger erscheinen und die Nachteile verborgen bleiben. Tatsache ist, dass auch die europäischen Firmen diesem Beispiele gefolgt sind, angeblich um bei Angeboten nicht ins Hintertreffen zu geraten. Seriöse Firmen aber tun dies heute nur noch mit den nötigen Aufklärungen und zwar derart, dass der Besteller genau weiss, wie viel Wirkungsgrad und Leistung er auch bei halber Wassermenge jeder einzelnen Turbine zu gewärtigen hat. Wäre es denn nicht viel einfacher, *die Wirkungsgradgarantien wie früher wieder auf die Wassermengen zu beziehen?*

III. Günstigste Auswahl von Schnelläufertypen.

Bei der heutigen raschen Entwicklung in der Konstruktion von Schnelläuferturbinen ist es auch für beratende Ingenieure nicht leicht, verschiedene Projekte für den mechanischen Ausbau neuer Niederdruckzentralen richtig zu beurteilen, weil natürlich jede einzelne Turbinenfirma denjenigen Typ für den besten empfiehlt, mit dem sie „bis dahin" die besten Resultate erzielt hat.

Die eigentliche nur als Vergleich dienende *Francisturbine* nach vorstehend beschriebenem Typ kommt heute für Niederdruck nur noch als Einzelturbine in Betracht, hat aber gegenüber Schnelläufern bei halber Wassermenge den grössten Wirkungsgrad, bis 80 %. Die *Kaplanturbine mit drehbaren Laufradschaufeln* hat wie gesagt nicht nur sehr hohe Schnelläufigkeit, sondern auch beinahe konstanten Wirkungsgrad, 85 % ca. von $^1/_1$ bis $^1/_2$ Q. Da aber in der Praxis diese beiden Faktoren nicht allein massgebend sind, sondern eine möglichst hohe Betriebssicherheit und eine lange Lebensdauer ebenso wichtig sind, so wird die Zukunft lehren, ob diese kompliziertere und kostspieligere Bauart grosse Verbreitung finden wird. Ueber die bisherigen Erfolge der Kaplan-Voithturbine siehe S.B.Z. vom 11. April 1925.

Als ein Beispiel *hochgradiger Schnelläuferturbinen mit festen Laufradschaufeln* zeigt der oben beschriebene Propellertyp P die Vorteile, aber auch die Nachteile, wenn wir die gewiss nicht unbescheidene Bedingung stellen, dass die Turbine auch bei halber Wassermenge (nicht Leistung) noch einen wirtschaftlichen Wirkungsgrad geben soll. Dieser Propellertyp von $n_s = 735$ gibt aber noch nicht den kleinsten bisher erreichten Wirkungsgrad für $^1/_2$ Q, sondern es existieren heute Ausführungen von ungefähr demselben n_s mit $(^1/_2)\,\eta^Q = \mathbf{13}\,\%$ und $Q_0 = \mathbf{0{,}46}\,Q$, benötigen also fast die Hälfte des Wassers zur blossen Inbetriebsetzung! Sind das gute Turbinen? Und dennoch wird behauptet, sie gehen ausgezeichnet. Gewiss, wenn die Anzahl der Einheiten so gross gewählt wird, dass die einzelnen Turbinen nie mit weniger als etwa $^3/_4$ Q arbeiten müssen. Wo ist dann der Vorteil von so hoher Schnelläufigkeit? Bei mehr oder weniger konstantem Wasser jedoch oder als Zusatzturbinen für bestehende Anlagen sind solche Typen durchaus empfehlenswert. Wie man doch heute von einem Extrem ins andere verfallen ist; früher wurden auch bei mehreren Einheiten sogar für $^1/_4$ Q möglichst hohe Wirkungsgrade verlangt, heute scheint man sich nicht einmal mehr darum zu bekümmern, wieviel die einzelnen Turbinen bei $^1/_2$ Q leisten, sondern streitet man sich oft um halbe Prozente bei annähernd voller Oeffnung. Es sind mir sogar zwei Projekte von verschiedenen Firmen bekannt, wo die Wirkungsgradgarantien nur für $^1/_1$ bis $^3/_4$ Leistung gegeben wurden!

Für *Neuanlagen hydro-elektrischer Zentralen* ist es bekanntlich in erster Linie notwendig zu wissen, wie die konzessionierte Wassermenge im Laufe eines Jahres durchschnittlich schwankt. Sodann muss man die Wirkungsgrade der zu installierenden Turbinen in Funktion der Wassermenge (nicht Leistung) kennen, um *die kleinst-*

mögliche Anzahl der Maschinengruppen derart zu bestimmen, dass man auch bei kleinster disponibler Wassermenge eine möglichst grosse Leistung herausbringt. Reserveturbinen sind heute im allgemeinen wohl nicht mehr notwendig, ausgenommen in Fällen, wo eine gegebene Zentrale nicht in Verbindung steht mit anderen Werken und von diesen Strom beziehen kann. *Wenige und möglichst grosse Einheiten, das ist heute das Losungswort.*

Die Konstruktion von Schnelläuferturbinen, seien es Diagonal- oder Propellertypen, steht aber heute noch im Entwicklungsstadium und man kann nicht verlangen, dass ein so überaus schwieriges Problem in wenigen Jahren auf das vollkommenste gelöst werden könne. Daran arbeiten heute aber eifrigst alle führenden Turbinenfirmen mittelst Modellturbinen in ihren Versuchsanstalten. Dadurch ist die neuere Entwicklung des Turbinenbaues mächtig gefördert worden und wird auch weiterhin gefördert werden, auch kann dadurch manche unliebsame Ueberraschung vermieden werden.

Während nun die einen Firmen möglichst hohe spezifische Drehzahlen anstreben, gibt es nicht wenige andere, die etwa $n_s = \mathbf{500}$ vorziehen, womit nach mehrfachen Ausführungen etwa **70** % Wirkungsgrad für $\mathbf{1/2}\ Q$ erhältlich ist, mit einem $Q_0 \cong \mathbf{0{,}20}\ Q$ zur Inbetriebsetzung. Welcher dieser Typen im praktischen Betrieb den Vorzug verdient, wird die Zukunft lehren, bis heute sind die Ansichten noch geteilt.

IV. Vorschlag zu einer neuen Bauart.

In Folgendem sei eine *neue Bauart von Zweiradturbinen* beschrieben, mittelst welcher die Vor- und Nachteile der bisherigen Schnelläufertypen ausgeglichen werden sollen. Wenn wir für den Generator etwa $n_s = \mathbf{700}$ wählen, so wird für die zusammengekuppelte Zweiradturbine $n_s = \sqrt{\frac{1}{2}}\ 700 =$ rund **500** pro Laufrad und können wir mittelst geeigneter Konstruktion die höchstmöglichen Wirkungsgrade erreichen von $^1/_1$ bis $^1/_4$ Wassermenge.

Die Neuheit besteht darin, dass nur die eine Hälfte der Turbine automatisch reguliert wird, die andere aber von Hand, je nach der jeweilig disponiblen Wassermenge, die gewöhnlich im Laufe eines Tages nicht stark schwankt. Diese kann dann nach einer Tabelle derart auf die beiden Räder verteilt werden, dass stets die grösstmögliche Totalleistung erreichbar ist. Auf diese Weise sind *Wirkungsgrade bis ca. 85 % für $^1/_1\ Q$, ca. 80 % für $^1/_2\ Q$ und ca. 70 % für $^1/_4\ Q$ erhältlich,* was mit den bisher bekannten Zwillingsturbinen nicht möglich ist.

Es handelt sich hier um eine *horizontalachsige* Zweiradturbine in einem schmiedeisernen Stirnkessel von zweckentsprechender Form, mit getrennten Aspiratoren und einem Spurlager für zweiseitigen Druck. Bei kleinen Gefällen empfiehlt sich das bereits gut bewährte System von Hochsaugen des Oberwasserspiegels. Um den Durchmesser des Stirnkessels auf ein Minimum zu reduzieren, eignet sich auch hier der ebenfalls gut bewährte konische Leitapparat. Das Durchbrennen der Turbine kann auf relativ einfache Art verhindert werden. Für mehrrädrige Turbinen ist die horizontalachsige Disposition die einzig rationelle, sie bietet neben Einfachheit des Einbaues grosse Bequemlichkeit und gute Uebersicht der ganzen Maschinenanlage.

Für die konstruktive Ausbildung einer solchen Turbine, die meines Erachtens das erstrebenswerte Ziel darstellt, nicht nur für den Ausbau hydro-elektrischer Zentralen, sondern auch als Einzelturbinen für stark variable Wassermengen, sind verschiedene Lösungen möglich und hoffe ich, dass diese Anregung auf fruchtbaren Boden fallen möge.