

Ueber die Zusammenschaltung von Wasserturbinen

Autor(en): **Thomann, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **87/88 (1926)**

Heft 5

PDF erstellt am: **19.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-40832>

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.

INHALT: Ueber die Zusammenschaltung von Wasserturbinen. — „Deutschland ans der Vogelschau“. — Nichtrostender Stahl. — Kohlenilo der Papier- und Cartonnagefabrik Deisswil bei Bern. — Unterwassertunnel zwischen New York und New Jersey. — Zur Ausstellung: „Ingenieur- und Industriebauten“ im Kunstgewerbemuseum Zürich. — Heimatschutz. — Miscellanea: Ueber die Entwicklung der Kompressoren im Jahre 1925. Die Entwicklung der Pumpen im Jahre 1925. Modellversuche zur Ermittlung des

Winddruckes auf hohe Gebäude. Fortbildungskurse an ausländischen Technischen Hochschulen. Ausbau der Wasserkräfte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Eidgen. Kommission für historische Kunstdenkmäler. Dritte internationale Automobil-Ausstellung in Genf. Eisenbahnmuseum in Holland. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Sektion Bern des S. I. A. Basler Ingenieur- und Architekten-Verein. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 87.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 5

Ueber die Zusammenschaltung von Wasserturbinen.

Von Prof. R. THOMANN, Lausanne.

Nützt eine Wasserkraftanlage die ganze zur Verfügung stehende Wassermenge aus oder kann der Ueberschuss zu Zeiten kleiner verlangter Leistung aufgespeichert werden, so sollten die Turbinen das verfügbare Wasser möglichst gut ausnützen. Diese Forderung ist auch leicht zu erfüllen, solange es sich um Turbinen handelt, deren Wirkungsgrad innerhalb des Anwendungsgebietes mit der Wassermenge nicht stark wechselt (Pelton-turbinen, Francisturbinen von nicht zu hoher spezifischer Drehzahl). Bei solchen wird die Gesambelastung auf die einzelnen Gruppen des Werks einfach gleichmässig, oder, falls die Einheiten ungleich stark sind, im Verhältnis der Höchstbelastungen verteilt. Diese Betriebsweise ist für die elektrischen Maschinen die günstigste, die Einstellung der Regulatoren zu ihrer Wirklichkeit ist einfach, und man erfüllt, wie gezeigt werden wird, die oben aufgestellte Forderung bester Ausnützung.

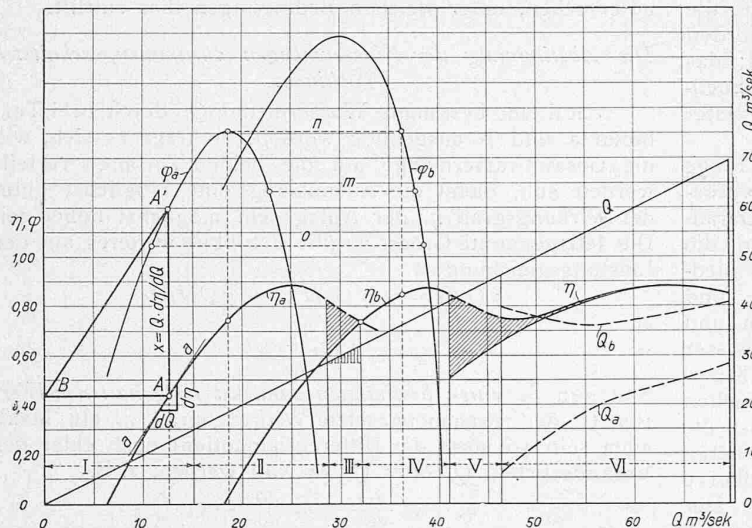


Abb. 1. Kurven der Wassermenge Q , des Wirkungsgrades η und des Ausdrucks $\varphi = \eta + Q d\eta/dQ$ für zwei Propellerturbinen: a) mit $n_s = 600$ und für $Q_{\max} = 28,5 \text{ m}^3/\text{sek}$, b) mit $n_s = 720$ und für $Q_{\max} = 41,0 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Zonen I und II: Turbine a allein, nützt die ganze verfügbare Wassermenge aus.
Zone III: Turbine a allein, Ueberschusswasser.
Zone IV: Turbine b allein, nützt die ganze verfügbare Wassermenge aus.
Zone V: Turbine b allein, Ueberschusswasser.
Zone VI: Turbinen a und b arbeiten stets so zusammen, dass $\varphi_a = \varphi_b$.

Die Verhältnisse ändern sich jedoch, sobald es sich um Turbinen handelt, deren Wirkungsgrade, in Funktion der Wassermenge aufgetragen, spitze, vom Maximum nach beiden Seiten rasch abfallende Kurven ergeben, wie sie z. B. mit Propellerrädern hoher spezifischer Drehzahl erhalten werden. Hier könnten bei der üblichen Weise der Zu- und Abschaltung der verschiedenen Einheiten nicht unerhebliche Verluste entstehen, und es ist daher die Frage zu erörtern, unter welchen Bedingungen die bisherige Schaltungsart beibehalten werden kann, wann und wie sie geändert werden soll.

Um die Untersuchung mit dem allgemeinen Fall beginnen zu können, sei eine Anlage mit zwei Turbinen verschiedener Höchstleistung und verschiedener spezifischer Drehzahl (600 bzw. 720) vorausgesetzt. Bei kleiner Wassermenge läuft die kleine Turbine allein, bis die verfügbare Wassermenge derjenigen der vollen Oeffnung entspricht.

Später wird die kleine Turbine abgestellt und die grosse so lange allein in Betrieb gehalten, bis auch sie ganz geöffnet werden kann. Dann wird die kleine Turbine von neuem zugeschaltet und mit der grossen zusammen geöffnet bis beide voll belastet sind.

Es sind nun die beiden Fragen zu untersuchen:

- 1) Wann ist die kleine Turbine durch die grosse zu ersetzen, und wann ist die kleine zur grossen zuzuschalten?
- 2) In welcher Art sind die Wassermengen der Turbinen gegen einander abzustimmen, wenn sie beide zusammen laufen?

Das Zu- und Abschalten der Turbinen.

In Abbildung 1 sind die Wirkungsgrade der vorerwähnten beiden Turbinen in Funktion der Wassermenge aufgetragen. Werte, die sich auf die kleine Turbine beziehen, tragen den Index a , solche die sich auf die grosse beziehen, den Index b . Die verfügbare Wassermenge ist mit Q , die von den Turbinen verarbeitete mit Q_a bzw. Q_b bezeichnet; η bedeutet den Wirkungsgrad, mit dem die zur Verfügung stehende Wassermenge ausgenützt wird, η_a den Wirkungsgrad der kleinen, η_b den der grossen Turbine.

Angenommen die verfügbare Wassermenge wachse von ihrem Kleinstwert an, so wird sie zuerst durch die kleine Turbine entsprechend der Wirkungsgradkurve η_a ausgenützt werden. Steigt sie über den Höchstwert der Turbine a hinaus, so könnte man versucht sein, die kleine Turbine a , wie dies in der Praxis oft geschieht, sofort aus- und dafür die grosse Turbine b einzuschalten; allein ein Blick auf die beiden Wirkungsgradkurven zeigt, dass unter diesen Umständen der Wirkungsgrad unvermittelt von 83 auf 60 % abfallen würde und dass es zweifellos besser ist, die kleine Turbine noch eine zeitlang im Betrieb zu halten, trotzdem ein kleiner Teil des Wassers unausgenützt abfließen wird. Es ist nun die Wassermenge zu bestimmen, bei der die Umschaltung von der kleinen auf die grosse Turbine ohne Verlust vor sich gehen kann; es ist dies diejenige, bei der die grosse Turbine gleiche Leistung aufbringt, wie die kleine. Man könnte zu diesem Zweck die Leistungskurven der Turbinen aufzeichnen und die der grossen mit der Horizontalen durch den Endpunkt der Kurve der kleinen schneiden; doch ist der gesuchte Wert der Wassermenge auch leicht an Hand der Wirkungsgradkurven zu bestimmen. Ist die kleine Turbine allein in Betrieb, die verfügbare Wassermenge Q jedoch grösser als die durch die Turbine fließende Q_a , so ist die Nutzleistung der Anlage in PS

$$N_a = \frac{\gamma Q_a H}{75} \eta_a$$

die verfügbare dagegen

$$N_Q = \frac{\gamma Q H}{75}$$

der Wirkungsgrad bezogen auf die verfügbare Wassermenge der Anlage also

$$\eta = \frac{Q_a \eta_a}{Q}$$

$$Q \eta = Q_a \eta_a$$

η in Funktion von Q aufgetragen ergibt demnach eine gleichseitige Hyperbel durch den Endpunkt von η_a ; Punkte der Hyperbel sind in bekannter Weise leicht zu bestimmen

(siehe Abbildung 2, Konstruktion von P' aus P) und auch die Tangente kann ohne weiteres angetragen werden, wenn man berücksichtigt, dass sie symmetrisch zum Vektor aus dem Koordinatenursprung nach dem Berührungspunkt gelegen sein muss, wie dies in Abbildung 3 auf Seite 57 angedeutet ist.

Natürlich sollte die Verbindungshyperbel der beiden Wirkungsgradkurven η_a und η_b tunlichst hoch liegen; die günstigste unter all den möglichen ist daher diejenige, die die Wirkungsgradkurve η_a berührt. Die zugehörige gemeinsame Tangente und damit der Berührungspunkt selbst ist an Hand der vorerwähnten Tangentenkonstruktion leicht aufzufinden. Die dem Berührungspunkt von Wirkungsgradkurve und Hyperbel entsprechende Wassermenge und die zugehörige Oeffnung der Turbine ergeben zugleich die Werte der *höchsten Leistung* der Turbine bei gegebenem Gefälle und gleichbleibender Drehzahl. Es ist also zwecklos, die Turbine über diesen Punkt hinaus zu öffnen. Ist die Wirkungsgradkurve flach, wie bei Pelton- oder normalen Francisturbinen (siehe Abb. 2, Kurve η_a , Punkt P), so liegt der Punkt maximaler Leistung bei so niedrigem Wirkungsgrad, dass er gewöhnlich ausserhalb des Regulierbereiches fällt; die Turbine kann dann gar nicht soweit geöffnet werden, dass das Leistungsmaximum erreicht wird. Sinkt dagegen der Wirkungsgrad, wie bei den Propeller-Turbinen mit festen Laufschaufeln, vom Maximum an nach beiden Seiten rasch auf kleinere Werte, so tritt der Fall häufig ein, dass die Turbine von einer gewissen Stellung des Regulierorgans an trotz steigender Wassermenge die Leistung wieder verringert; so geartete Kurven werden von der Hyperbel schon nahe am Maximum berührt; das an sich schon beschränkte Wirkungsgebiet dieser schnelllaufenden Turbinen wird durch diesen Umstand noch weiter eingeengt (siehe Abbildung 2, Kurve η_b , Punkt R).

Bei dieser Gelegenheit sei auch eine juristische Frage kurz gestreift, die sich im Zusammenhang mit der vorbesprochenen Erscheinung hin und wieder stellt. Die Garantiewerte für den Wirkungsgrad werden aus Gründen, die hier nicht näher zu erörtern sind, gewöhnlich etwas niedriger gehalten als die tatsächlich zu erwartenden, und besonders zwischen dem zu erreichenden Maximum und der garantierten Wirkungsgradkurve wird gern ein gewisser Spielraum gelassen, sodass dann die letztgenannte Kurve etwas flacher verläuft als die bei den Abnahmeversuchen erhaltene. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, dass die Oeffnung grösster Leistung, zwar nicht bei der Garantiekurve, wohl aber bei der tatsächlichen Wirkungsgradkurve innerhalb des Betriebsbereiches zu liegen kommt. Der Besitzer der Turbine ist in der Regel nicht sehr erbaut, wenn er die Feststellung machen muss, dass die Leistung seiner Maschine von einer gewissen Stellung der Regulierung an ihre Leistung wieder vermindert; er ist nur zu leicht geneigt, in diesem Verhalten ohne weiteres einen Fehler der Turbine zu erblicken, während die Erscheinung oft nur darauf zurückzuführen ist, dass die Höchstleistung schon bei etwas kleinerer Wassermenge, jedoch mit entsprechend höherem Wirkungsgrad erreicht wird, als durch die Garantien vorgesehen. Im Diagramm η, Q drückt sich dies dadurch aus, dass die Versuchs-Wirkungsgradkurve und die sie berührende Anschlusshyperbel bis zur grössten garantierten Wassermenge oberhalb der garantierten Wirkungsgradkurve bzw. deren in den Garantien festgelegten Punkten verläuft. Trifft dies zu, so liegt kein Grund zur Beanstandung vor; die Turbinenlieferantin muss sich nur verpflichten, durch entsprechende Anschläge am Regulator oder im Reguliergetriebe dafür zu sorgen, dass die Turbine nicht mehr über die Stellung grösster Leistung hinaus geöffnet werden kann. Dies ist nicht nur notwendig, weil ein weiteres Oeffnen schädlich wirken würde, sondern auch, weil im Punkt grösster Leistung die Regulierung gewöhnlich labil wird. Sinkt jedoch die Kurve des tatsächlichen Wirkungsgrades unter die des garantierten, bevor die Höchstwassermenge erreicht ist, so bedeutet dies, dass die Turbine die Garantien nicht erfüllt.

Nach dieser Abschweifung auf das Gebiet des Rechts kehren wir zur Untersuchung der technischen Seite des Problems zurück. Wie schon festgestellt, ergibt der Schnittpunkt der Anschlusshyperbel der kleinen Turbine a mit der Wirkungsgradkurve der grossen b die Wassermenge, bei der die Gruppe b in Betrieb genommen werden muss; kleinere Wassermengen werden besser mit a ausgenützt, selbst wenn, wie in Zone III, Abbildung 1, die verfügbare Menge Q die Vollwassermenge der Turbine übersteigt. Der bei solcher Betriebsweise erzielbare Gewinn an Wirkungsgrad ist in Abbildung 1 durch das erste der schrägschraffierten Dreiecke gegeben, während das erste senkrecht schraffierte Dreieck die in der Betriebszone III unausgenützt abfliessende Wassermenge andeutet.

In der Zone IV wird Turbine b nach Massgabe der zur Verfügung stehenden Wassermenge geöffnet, bis die volle Oeffnung oder die Stellung grösster Leistung erreicht ist.

Von da ab (Zone V) bleibt Turbine b zunächst noch so lange voll geöffnet in Betrieb, bis die Summe der Leistungen der beiden Turbinen a und b die Leistung der voll geöffneten Turbine b bei dem gleichen Wert der verfügbaren Wassermenge erreicht. Im Wirkungsgrad-Diagramm ist dies der Fall, wenn die Wirkungsgradkurve η_b bzw. ihre Anschlusshyperbel die Wirkungsgradkurve von $a + b$ schneidet. Die letztgenannte Kurve hängt allerdings noch von der Art der Zusammenschaltung der beiden Turbinen ab; sie sollte möglichst hoch liegen und es ist daher zu untersuchen, unter welchen Bedingungen dies zutrifft.

Die Abstimmung der Wassermengen zusammengeschalteter Turbinen.

Soll eine bestimmte Wassermenge Q_c durch zwei Turbinen a und b ausgenützt werden, so fragt es sich, wie die Gesamtwassermenge auf die beiden Turbinen verteilt werden soll, damit die Ausnützung eine möglichst gute, der Wirkungsgrad η_c der Anlage ein möglichst hoher sei. Die letztgenannte Grösse ergibt sich ohne weiteres aus der Leistungsgleichung

$$\gamma Q_c H \eta_c = \gamma Q_a H \eta_a + \gamma Q_b H \eta_b$$

zu

$$\eta_c = \frac{Q_a \eta_a + Q_b \eta_b}{Q_c}$$

Soll nun für einen bestimmten zunächst festgehaltenen Wert von Q_c der zusammengesetzte Wirkungsgrad η_c ein Maximum sein, so muss der Differentialquotient nach einer der Veränderlichen Q_a oder Q_b zu Null werden, z. B.

$$\frac{d\eta_c}{dQ_a} = \frac{\eta_a + Q_a \frac{d\eta_a}{dQ_a} + \eta_b \frac{dQ_b}{dQ_a} + Q_b \frac{d\eta_b}{dQ_a}}{Q_c} = 0$$

und da

$$Q_c = Q_a + Q_b; dQ_b = -dQ_a$$

ist, so muss auch

$$\eta_a + Q_a \frac{d\eta_a}{dQ_a} = \eta_b + Q_b \frac{d\eta_b}{dQ_b}$$

sein. Die Wassermengen der beiden Turbinen sind demnach so gegeneinander abzustimmen, dass der Ausdruck $\eta + Q \frac{d\eta}{dQ}$ für beide Turbinen gleichzeitig den gleichen Wert hat; natürlich ist dieser für jedes Q_c wieder ein anderer. Derart zusammenpassende Werte der beiden Wassermengen Q_a und Q_b lassen sich sofort angeben, sobald

$$\varphi_a = \eta_a + Q_a \frac{d\eta_a}{dQ_a}$$

und

$$\varphi_b = \eta_b + Q_b \frac{d\eta_b}{dQ_b}$$

in Funktion der Wassermenge aufgetragen sind, was, allein mit Winkel und Lineal, wie folgt geschehen kann:

Von einem Punkt A der Wirkungsgradkurve (siehe Abbildung 1) wird die Horizontale bis zum Schnittpunkt B mit der Nullordinate und von da aus die Parallele zur Tangente an die Wirkungsgradkurve im Punkt A gezogen; diese Parallele BA' schneidet aus der Ordinate durch A

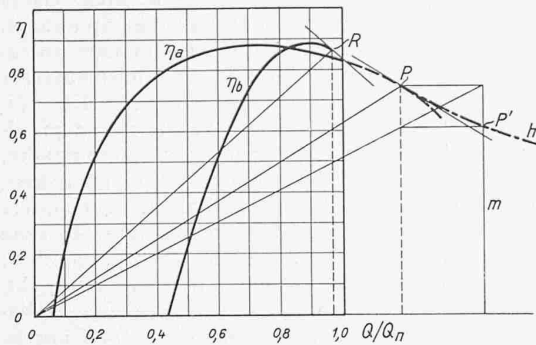


Abb. 2. Wirkungsgradkurven einer Francisturbine a mit $n_s = 200$ und einer Propellerturbine b mit $n_s = 700$, beide gleicher Leistung. Bei a liegt der Punkt P grösster Leistung ausserhalb der Zone der Ausnützung, bei b Punkt R innerhalb davon. — b dürfte daher nicht über die R entsprechende Wassermenge geöffnet werden.

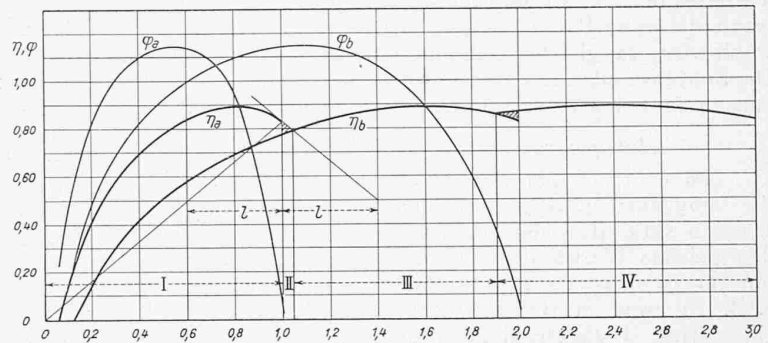


Abb. 3. Kurve für den Wirkungsgrad η und den Ausdruck $\varphi = \eta + Q \frac{d\eta}{dQ}$ für zwei Francisturbinen mit $n_s = 200$, davon b für die doppelte Wassermenge wie a. Zonen I und II: Turbine a allein, in Zone II mit sehr kleinem Ueberschuss arbeitend. Zone III: Turbine b allein. Zone IV, beginnend bevor b ganz offen ist: a und b zusammen, je proportional belastet.

schon den gesuchten Punkt der φ -Kurve heraus. Von der Richtigkeit der Konstruktion überzeugt man sich leicht, wenn man das Elementardreieck aus den Katheten $d\eta$ und dQ mit dem ähnlichen rechtwinkligen Dreieck ABA' vergleicht. Es ist

$$\frac{d\eta}{dQ} = \frac{x}{Q}; \quad x = Q \frac{d\eta}{dQ}$$

und da x über der Ordinate η aufgetragen erscheint, so ist der Endpunkt von x tatsächlich der gesuchte Punkt. Durch Wiederholung dieser Konstruktion erhält man sehr rasch eine genügende Anzahl Punkte der φ -Kurve; diese geht, wie ohne weiteres einzusehen, überdies durch den Scheitelpunkt der zugehörigen η -Kurve.

Man findet nun zusammenpassende Wassermengen Q_a und Q_b stets als Abszissen von Punkten gleicher Höhe auf den φ Kurven; z. B. schneiden die Horizontalen m, n und o in Abbildung 1 je zusammengehörige Punkte heraus. Die einer Horizontalen entsprechende Gesamtwassermenge ist

$$Q_c = Q_a + Q_b,$$

der Wirkungsgrad beider Turbinen

$$\eta_c = \frac{\eta_a Q_a + \eta_b Q_b}{Q_c}$$

Unter Benützung dieser Beziehungen sind in Abbildung 1 die Kurven in der letzten, der Zone VI gezeichnet. Bei der grössten Wassermenge sind natürlich beide Turbinen geöffnet. Nimmt Q_c ab, so schliessen beide so, dass die Verbindungsgerade je zweier zusammengehörender φ -Punkte stets horizontal bleibt. Diese Horizontale steigt dabei in die Höhe und gelangt nacheinander in die Lagen m und n; in dieser letzten enthält sie den Scheitelpunkt von φ_a und kann sich auf dieser Kurve nicht mehr weiter aufwärts bewegen. Das gleiche gilt natürlich für die Kurve φ_b ; der Schnitt von n und φ_b bedeutet daher auf dieser letzten Kurve einen Umkehrpunkt. Die Turbine b wird bis zu ihm hin geschlossen, nachher wieder geöffnet, trotzdem die Gesamtwassermenge Q_c beider Turbinen weiter abnehmen muss; die Turbine a ist daher desto rascher zu schliessen. Ist ihre Leistung auf Null gesunken, so wird sie ausgeschaltet und ganz geschlossen, während die Turbine b noch voll geöffnet bleibt bis die verfügbare Wassermenge auf die Vollwassermenge der Turbine gesunken ist (Betriebszone V), von wo ab die Wassermenge der Turbine entsprechend der verfügbaren eingestellt wird. In Abbildung 1 sind die durch die besprochene Schaltung erreichten Gewinnflächen schräg schraffiert. Als Gewinn ist dabei der Unterschied an Wirkungsgrad gegenüber der häufig angewandten Betriebsart verstanden, nach der die Turbine b ein- und a ausgeschaltet wird, sobald a ganz geöffnet werden kann, und später a wieder zugeschaltet wird, sobald b voll geöffnet ist.

Allerdings ist die besprochene, günstigste Art der Regulierung in Zone VI etwas verwickelt, und wenn es auch nicht unmöglich wäre, einen automatischen Regulator zu bauen, der ziemlich genau nach der gefundenen Betriebs-

Vorschrift arbeitete, so wird es sich doch in der Regel empfehlen, einen einfacheren Plan durchzuführen. So könnte man in unserem Beispiel die Verbindungsgerade zusammengehörender φ -Punkte horizontal wählen bis sie auf der Ordinate 1,2 angekommen, die Wassermenge der Turbine b auf 38 m³/sek gesunken ist. Von da ab würde die Oeffnung von b gleich gelassen bis die Leistung von a null geworden ist, worauf b wieder ganz geöffnet und weiterhin gleich reguliert würde, wie oben besprochen.

In der Periode wachsender Wassermenge werden natürlich die Kurven umgekehrt durchlaufen, wie bei abnehmender.

Einige Sonderfälle.

In den vorstehenden Untersuchungen wurde der allgemeine Fall der Kuppelung von zwei verschieden grossen Turbinen mit verschiedenen Wirkungsgradkurven behandelt; es sei nun noch kurz darauf hingewiesen, wie sich die Verhältnisse gestalten, wenn zwei Turbinen gleicher Wirkungsgradkurve (gleiches n_s), jedoch verschiedener Grösse zusammenarbeiten, und wie, wenn die beiden Turbinen gleichen Typs auch noch von gleicher Grösse sind.

Haben die Turbinen bei verhältnismässigen Teilwassermengen, d. h. bei $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ und $\frac{1}{2}$ ihrer Vollwassermenge gleichen Wirkungsgrad, so haben die Wirkungsgradkurven gleiche Ordinaten; nur die Abszissen sind verschieden, sodass die eine Kurve gegenüber der andern mehr in die Breite gezogen erscheint. Wie man sich leicht überzeugt, trifft unter den angenommenen Bedingungen das gleiche für die φ -Kurven zu, da in dem Ausdruck $Q \frac{d\eta}{dQ}$ sowohl Q als dQ sich proportional der Vollwassermengen der Turbinen ändern, und der Faktor $\frac{Q}{dQ}$ für ein gleich grosses und auf beiden Kurven gleichartig gelegenes $d\eta$ daher gleich ist. Schliesst man zwei Turbinen der angenommenen Art von der vollen Oeffnung derart an, dass die Bedingung besten Wirkungsgrades erfüllt ist, so schneiden die Horizontalen aus den φ -Kurven Punkte heraus, denen *verhältnismässige Wassermengen* entsprechen; die Turbinen sind z. B. gleichzeitig auf $\frac{1}{3}$, auf $\frac{2}{3}$, bzw. auf $\frac{1}{2}$ ihrer vollen Oeffnung einzustellen. Da die Wirkungsgradkurven nach Voraussetzung bei verhältnismässigen Oeffnungen gleiche Ordinaten besitzen, so kann man die einzuhaltende Beziehung auch in der Weise ausdrücken, dass die *Belastungen* der beiden Turbinen verhältnismässig zu halten sind, wenn diese, zusammengeschaltet, mit bestem Gesamtwirkungsgrad arbeiten sollen.

Abbildung 3 zeigt die Kurven für zwei, der gleichen Serie von $n_s = 200$ angehörige Francisturbinen, von denen die eine doppelt so viel leistet wie die andere.

Dass die selbe Bedingung auch für zwei *gleiche* Turbinen von gleicher Leistung gilt, ist nach den vorstehenden Schlussfolgerungen selbstverständlich, kann aber auch direkt abgelesen werden. Da sich die φ -Kurven für gleiche

Turbinen decken, so sind die φ -Werte der Turbinen gleich, wenn der selbe Punkt der φ -Kurve für beide Turbinen gewählt wird, was gleicher Oeffnung oder Belastung entspricht. Die Betriebspunkte in gleicher Höhe, aber auf verschiedenen Aesten der φ -Kurve zu wählen, bietet keinen Vorteil.

Anlagen von mehr als zwei Einheiten.

Im vorstehenden wurde gezeigt, dass zwei Turbinen, die möglichst günstig zusammenarbeiten sollen, so zu schalten sind, dass der Ausdruck φ für beide gleichzeitig den gleichen Wert besitzt. Die Bedingung gilt jedoch nicht nur für zwei, sondern für beliebig viele Einheiten. Soll z. B. zu zwei im Betrieb befindlichen Turbinen a und b eine dritte d zugeschaltet werden, so können die zwei ersten, unter sich möglichst günstig belastet, als eine einzige Einheit c aufgefasst werden, die mit d so zusammen zu arbeiten hat, dass φ_d gleich φ_c ist. Das gleiche gilt, wenn a und d oder b und d als Einheit c betrachtet und die dritte Maschine unter Einhaltung der Bedingung gleichen Wertes für φ zugeschaltet wird. Hieraus folgt ohne weiteres, dass bei günstigster Schaltung alle φ immer gleichzeitig den gleichen Wert haben müssen.

Zum gleichen Ergebnis gelangt man, wenn die vorstehende Ueberlegung analytisch durchgeführt wird; es ergibt sich dann nach einigen Umformungen:

$$\varphi_c = \eta_c + Q_c \frac{d\eta_c}{dQ_c} = \varphi_a \frac{dQ_a}{dQ_c} + \varphi_b \frac{dQ_b}{dQ_c}$$

$$dQ_c = dQ_a + dQ_b$$

Q_c ist hier natürlich als Veränderliche anzusehen. Für günstigste Schaltung von a und b innerhalb jedes Wertes von Q_c muss φ_a gleich φ_b sein, woraus folgt:

$$\varphi_c = \varphi_a = \varphi_b = \varphi_d$$

Verallgemeinerung.

Das gezeigte Verfahren kann auch zur Anwendung kommen, wenn es sich um andere Maschinen als Turbinen handelt; man hat in den Gleichungen lediglich die Wassermenge durch die *zugeführte Leistung* zu ersetzen. Sind nämlich N_a , N_b und N_c diese Werte für die Maschinen a und b, bzw. für beide zusammengeschaltet, so gilt für die von den Maschinen *abgegebene Leistung*:

$$\eta_c N_c = \eta_a N_a + \eta_b N_b$$

Soll nun für einen bestimmten Wert der Leistung N_c der Wirkungsgrad η_c beider Maschinen zusammen ein Maximum werden, so muss, wie aus der Form der Gleichung ohne weiteres ersichtlich, wieder sein:

$$\eta_a + N_a \frac{d\eta_a}{dN_a} = \eta_b + N_b \frac{d\eta_b}{dN_b}$$

Die Maschinen a und b können verschiedener Bauart sein oder auch schon eine Verbindung zweier Maschinen darstellen (z. B. Turbine-Generator); nur sind selbstverständlich die zugeführten Leistungen in gleichen Einheiten auszudrücken; auch hat die Rechnung vom wirtschaftlichen Standpunkt aus nur einen Sinn, wenn die Einheitskosten dieser Leistung bei allen zum Vergleich herangezogenen Maschinen die gleichen sind.

„Deutschland aus der Vogelschau.“

Anmerkungen zu den Bilderproben auf den Tafeln 7 bis 10.

Die Abbildungen auf der Tafel dieses Heftes sind dem Buche „Deutschland aus der Vogelschau“ entnommen¹⁾. Sie zeigen auf wie verschiedene Art Gebilde entstehen können, die wir als „schön“ bezeichnen müssen, weil wir fühlen, dass hier innere Kräfte, praktische oder auch rein geistige Bedürfnisse befriedigt worden sind, und die ihnen gemässe Form gefunden haben. — Die zwei ersten Bilder (Tafel 7) zeigen Dörfer: bei ihrer Anlage hatte gewiss niemand ästhetische Absichten, aber eben weil jeder Einzelne nur das wirklich Notwendige ohne eitlen Individualismus, ohne die Sucht aufzufallen gemacht hat, ist von selber ein Ganzes entstanden, wie es mit noch so viel ästhetischen

Ueberlegungen nicht besser hätte entstehen können. Dabei bleibt für den Einzelnen noch immer genug Spielraum, seinem Haus besondere individuelle Charakterzüge aufzuprägen; gerade wenn in einer Siedlung ein gleichmässiger Haus-Typus durchgeführt ist, wird das Auge für die individuellen Feinheiten und Unterschiede besonders empfindlich. Es ist der Jammer aller modernen Villenvorstädte, ob sie am Zürichberg, bei Berlin oder in Lugano liegen, dass jeder Bauherr vor allen Dingen auffallen, also anders bauen will als die Nachbarn, sodass nirgends geschlossene Bilder, räumliche Bindungen entstehen können, sondern jedes einzelne Haus im allgemeinen Wirrwarr untergeht, und wenn es an sich noch so gut wäre. Freiwillige Disziplin und Bescheidenheit kommt nicht nur dem Ganzen, sondern auch rückwirkend jedem einzelnen Teil zu gut²⁾.

Tafel 8. Das Gemeinsame beider Bilder liegt darin, dass ihre Formen aus der Bewegung des Fliessens entstanden sind, und dass sie für den Beschauer diese Bewegung mit überzeugender Klarheit versinnbildlichen. Die so entstandenen Gebilde, Schienenstrang und Ablauf der Gezeitenströme durch Sandbänke bei Ebbe, sind nicht minder gesetzmässig als die Formen auf Tafel 9, ihre Gesetzmässigkeit ist nur von anderer Art. Durch die Entwicklung des modernen Verkehrs ist aber ein starker Strom dieser, aus der Bewegung stammenden, dynamischen Gesetzmässigkeiten auch in die Strasse der modernen Stadt gedrungen: sie sind gewiss nicht ohne weiteres Eisenbahngleisen und Flüssen vergleichbar, aber sie sind auch nicht mehr die geruchlosen Strassen der Dörfer und alten Städte; es ist somit sentimental-rückwärtsgewandte Romantik, an einer Architektur prinzipiell festhalten zu wollen, die jenen früheren, vergangenen Lebensformen angemessen war.

Tafel 9 oben. Eine herrliche Komposition des Barock, das königliche (ursprüngliche kurfürstliche) Schloss Nymphenburg. In der Mitte, als Herz des Ganzen, die Repräsentationsräume, zu den Seiten weitläufige Dienerschaftstrakte, im weiten Halbkreis um den Platz mit den Bassins die Cavaliershäuser. Alles bezieht seinen Sinn aus der Mitte, alles ist dienend nach dem Fürsten hin gewandt, und wäre ohne ihn sinnlos. Von wundervoller Reife und absoluter Beherrschung aller Kompositionsmittel zeugt die Idee, gerade die Mitte vor den Hauptgebäuden durch Rasenflächen, Wasserbecken und Kanäle unzugänglich zu machen (ähnlich z. B. „le tapis vert“ in Versailles); die reine Frontal-Ansicht soll etwas Aussergewöhnliches, Besonderes bleiben, nur von einer fernen Brücke, oder einer Gondel aus erreichbar. Sie gilt zudem auch dem Barock als die optisch uninteressanteste; schon die Anlage zwingt den Beschauer, ihre Symmetrie stets unter schrägem Winkel, also perspektivisch leicht verzerrt zu geniessen, und erst verhältnismässig nahe dem Hauptkörper wird die Mitte wenigstens auf der Parkseite wirklich freigegeben: alles wichtige Feinheiten, von denen die meisten Verfechter eines erstarrten Neuklassizismus schlechterdings keinen Hauch verspürt haben. Wenn man sich zu diesem Bilde noch vergewärtigt, dass sich der Kanal noch mehr als kilometerlang über den vorderen Bildrand fortsetzt — er wurde z. Zt. von kriegsgefangenen Türken gegraben — so wird man zugeben, dass für die Macht absoluten Herrschertums ein besserer Ausdruck nicht hätte gefunden werden können.

Erscheint in Nymphenburg die axiale Komposition wundervoll dramatisch entwickelt, so gibt die untere Abbildung der selben Tafel dazu das Satyrspiel: das höchste Kompositionsmittel ist zum Rezept erstarrt, zum leeren Unfug geworden, denn hier fehlt gerade das, was Kern und Herz solcher Anlagen ist: der beherrschende Mittelpunkt. Doch wir wollen unsere Leser nicht mit neuen Auseinandersetzungen über das Axenproblem langweilen: diese Bilder sprechen für sich selber.

Tafel 10 gibt zwei Ansichten grosser Industrie-Anlagen. Sowenig wie bei den Dörfern auf Tafel 7 ist von absichtlicher Stilisierung die Rede, wie dort entsteht aber

²⁾ Vergl. Roth, Gelände und Bebauung am Zürichsee, „S. B. Z.“, Bd. 86, S. 236, 7. November 1925.

¹⁾ Siehe unter Literatur, Seite 65 dieses Heftes.