Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 23/24 (1894)

Heft: 18

Artikel: Ueber die Regulierung von Turbinen

Autor: Stodola, Aurel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-18672

Ueber die Regulierung von Turbinen.

Von *Aurel Stodola*, Professor am eidgenössischen Polytechnikum.

(Schluss.)

14. Eine weitere allgemeine Diskussion ist mit der Gleichung 6^{ten} Grades nicht möglich, und es soll deshalb zur Gleichung 4^{ten} Grades übergangen werden. Die Reduktion auf den 4^{ten} Grad erfolgt, wie man leicht einsieht, wenn entweder zwei beliebige der Koefficienten T, T_o, T_1, T_2, T_3 oder T und T' gleichzeitig verschwinden. Die charakteristische Gleichung lautet dann

$$a\varphi^4 + b\varphi^3 + c\varphi^2 + d\varphi + e = o$$

und die Hurwitzschen Bedingungen sind:

$$\left.\begin{array}{c} a > o,\ b > o,\ c > o,\ d > o,\ e > o \\ bc - ad > o \\ (bc - ad)\, d - b^2 e > o \end{array}\right\} \quad . \quad . \quad (77)$$

Es ist sehr günstig, dass in diesem Falle sämtliche Koefficienten, — mit Ausnahme von d, und die Determinante $be - ad$ ohne weiteres $> o$ sind. Man überzeugt sich von letzterem Umstand durch Einsetzen der Werte von a, b, c, d; man erhält als Wert der Determinante zunächst eine Anzahl von positiven Gliedern, sodann die Ausdrücke $p^2\,(jk - hl) - h\,n\,p\,q + jn\left(\frac{3}{2}\,\psi\,T\,2 - qn\right)$. Von diesen ist der erste positiv, wie durch Einführung der Werte von j, k, h, l nachzuweisen ist. Der zweite ist stets $= o$, weil für die Gleichung 4^{ten} Grades entweder h oder n verschwindet. Der dritte ist $= jn\left[\left(\psi - \frac{\delta_o}{2}\right)\frac{T_2}{2} - jnq\,\varepsilon\,T_3\right]$ und hierin das erste Glied positiv $\left(\text{weil stets } \psi > \frac{\delta_o}{2}\right)$, das zweite $= o$, weil entweder j oder $n\,T_3$ verschwinden müssen.

Es bleiben somit als Bedingungen übrig

$$d > o$$
$$\varDelta = (bc - ad)\, d - b^2\, e > o.$$

Die letztere soll in folgender Weise umgeformt werden:

Wie schon früher bemerkt, ist a eine homogene Funktion 4^{ten} Grades von $T, T', T_o \ldots$, desgleichen b eine solche des 3^{ten}, c des 2^{ten}, d des 1^{ten}, e des o^{ten} Grades, und es kommt T nur im Quadrat, die übrigen nur in der ersten Potenz vor. Man kann demnach setzen

$$\left.\begin{array}{ll} a = \left(a_o + a_1\,\frac{T_k}{T_\lambda}\right) T_\lambda^{\,4} & c = \left(c_o + c_1\,\frac{T_k}{T_\lambda}\right) T_\lambda^{\,2} \\ b = \left(b_o + b_1\,\frac{T_k}{T_\lambda}\right) T_\lambda^{\,3} & d = \left(d_o + d_1\,\frac{T_k}{T_\lambda}\right) T_\lambda^{\,1} \\ \multicolumn{2}{c}{e = \left[e_o + e_1\left(\frac{T_k}{T_\lambda}\right)\right] T_\lambda^{\,o}} \end{array}\right\} (78)$$

Hierin ist $e_1 = o$ (nur der Symmetrie halber aufgenommen), T_k eine der Grössen $T'\,T_0\,T_1\,T_2\,T_3$, und in den Koefficienten kommen nur die Verhältnisse der $T\,T' \ldots$ zur willkürlich gewählten T_λ vor. Indem man diese Ausdrücke von a, b, c, d in die Determinante $\varDelta$ einführt, und das Symbol

$$\varDelta_{k\lambda\mu} = \begin{vmatrix} b_k & d_\lambda & o \\ a_k & c_\lambda & e_\mu \\ o & b_\lambda & d_\mu \end{vmatrix} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (79)$$

benützt, erhält man

$$\left.\begin{array}{l} \varDelta = A\left(\frac{T_k}{T_\lambda}\right)^3 + B\left(\frac{T_k}{T_\lambda}\right)^2 + C\left(\frac{T_k}{T_\lambda}\right) + D > o \\ \text{worin} \quad A = \varDelta_{111},\ B = \varDelta_{011} + \varDelta_{101} + \varDelta_{110} \\ \qquad C = \varDelta_{001} + \varDelta_{010} + \varDelta_{100},\ D = \varDelta_{000} \end{array}\right\} (80)$$

Wählt man T an Stelle von T_k, so mus der Ansatz lauten $a = \left[a_o + a_1\left(\frac{T}{T_\lambda}\right)^2\right] T_\lambda^{\,4}$ etc. und in $\varDelta$ kommen dann die 6., 4. und 2. Potenz von $\frac{T}{T_\lambda}$ vor.

Diese Vereinfachung gestattet nun zum Hauptzweck dieses Aufsatzes zu schreiten, d. h. zur

Untersuchung des Einflusses der Regulatormasse und des Kataraktes.

Der Raummangel verbietet es, diese Untersuchung in voller Allgemeinheit durchzuführen: wir beschränken uns auf die prägnantesten Specialfälle.

I. *Regulatormasse, Schwungrad und Leitung*, d. h $T, T_1, T_2, \delta_o > o$, die übrigen, inklusive ε verschwindend klein. Wir wählen T_2 als Bezugseinheit T_λ und T_1 als T_k in den Formeln (78) — (80). Bei Vernachlässigung des immer kleinen δ_o neben ψ ergiebt sich

$$A = o, \qquad C = -\psi\left(\frac{T}{T_2}\right)^2\left[2\left(\frac{T}{T_2}\right)^2 + \frac{\psi}{2}\right]$$
$$B = \psi\left(\frac{T}{T_2}\right)^2\left[-\left(\frac{T}{T_2}\right)^2 + \frac{\delta_o}{2}\right],\ D = -\frac{3}{4}\,\psi\left(\frac{T}{T_2}\right)^4.$$

Da C und D wesentlich negative Werte sind, kann $\varDelta > o$ nur bestehen, so lange $B > o$, d. h.

$$\left(\frac{T}{T_2}\right)^2 < \frac{\delta_o}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (81)$$

Dem Grenzwerte $T^2 : T_2^{\,2} = \frac{1}{2}\,\delta_o$ entspricht $T_1 = \infty$, wir haben also den Satz:

Ein reibungsloser Regulator ohne Katarakt, kombiniert mit einer geschlossenen Turbine, kann nur dann ohne zunehmende Schwankungen regulieren, wenn das Verhältnis seiner Masse zur Energie einen bestimmten Wert nicht überschreitet.

Ein astatischer Regulator ist in diesem Falle unbrauchbar (weil für diesen $\delta_o = o$).

II. *Massenregulator, Schwungmasse, langsam wirkender Hülfsmotor*, d. h. $T, T_o, T_1 > o$, die übrigen $= o$. Die Formeln (78)—(80) liefern, mit $T_\lambda = T_1$ und $T_o = T_k$

$$A = o, \qquad C = 2\,a_1^{\,2}\,(c_1 - e_o),$$
$$B = a_1^{\,2}\,(c_1 - e_o), \qquad D = a_1^{\,2}\,(c_1 - e_o).$$

Somit $\quad \varDelta = a_1^{\,2}\,(c_1 - e_o)\left[\left(\frac{T_o}{T_1}\right) + 1\right]^2 > o$

erheischt $\quad c_1 - e_o = -\psi\,(1 - \varepsilon) > o,$

dies aber ist unmöglich, weil ε immer < 1. Es wird bei dem Wert $\varepsilon = 1$ das Verhältnis der „verlornen“ Druckhöhe zur nützlichen $= \frac{1}{2}$ und bei diesem Verhältnis ist, wie man leicht nachrechnen kann, das Arbeitsvermögen des ausfliessenden Wasserquantums ein Maximum. Könnte die Ausflussmündung noch weiter vergrössert werden, so dass ε über 1 stiege, dann würde eine verkehrte Regulierung eintreten, d. h. ein Sinken des Regulators eine Abnahme der Leistung zur Folge haben.

Die Massenträgheit des Regulators kann durch Verzögerung in der Bewegung des Hilfsmotors und durch Schwungmassen allein nicht compensirt werden.

5. *Massenregulator, Oelbremse und Schwungrad*, d. h. $T, T', T_1 > o$, $T_o = T_2 = T_3 = \varepsilon = o$. Die charakteristische Gleichung lautet:

$$T^2\,T_1\,\varphi^3 + [T^2 + T'\,T_1]\,\varphi^2 + [T' + \delta_o\,T_1]\,\varphi + (\psi + \delta) = o.$$

Bedingung damit die Wurzeln negativ seien.

$$\delta_o\,T'\,T_1^{\,2} + [T'^2 - \psi\,T^2]\,T_1 + T'\,T^2 > o$$

oder mit Einführung von $T_{1m} = \psi\,T_1$

$$\delta_o\,T'\,\psi\,T_{1m}^{\,2} + [T'^2 - \psi\,T^2]\,T_{1m} + \frac{1}{\psi}\,T'\,T^2 > o \quad . \quad (82)$$

hieraus folgen so lange als $T'^2 - \psi\,T^2 < o$ für T_{1m} zwei Grenzwerte T_{1m}', T_{1m}'', von denen einer im allgemeinen so klein ist, dass er für die Praxis bedeutungslos wird, und es bleibt als Bedingung

$$T_{1m} > \frac{1}{2\,\delta_o\,T'}\left\{\left(T^2 - \frac{1}{\psi}\,T'^2\right) + \right.$$
$$\left. + \sqrt{\left(T^2 - \frac{1}{\psi}\,T'^2\right)^2 - 4\,\frac{\delta_o}{\psi^2}\,T'^2\,T^2}\right\}$$

oder approximativ, wegen der Kleinheit von δ_o, und für $\psi = \infty$ als Grenze

$$T_{1m} > \frac{T^2}{\delta_o\,T'} \quad \ldots\ldots \quad (83)$$

Da T immer ein kleiner Bruch ist, wird die hiernach gerechnete Schwungmasse im allgemeinen nicht gross.

Man kann die Bedingungsungleichung (82) auch nach T' auflösen und erhält

$$T' > \frac{1}{2\,T_1}\left\{-(\delta_o\,T_1^{\,2} + T^2) + \sqrt{(\delta_o\,T_1^{\,2} + T^2) + 4\,\psi\,T^2\,T_1^{\,2}}\right\}.$$

Es ist bemerkenswert, dass hier der Uebergang zum Werte $\delta_o = 0$, d. h. sum *astatischen Regulator* gemacht werden kann, und T' nur sehr wenig beeinflusst. Es sei $\delta_o = 0$ und ausserdem T ein sehr kleiner Bruch, dann wird approximativ

$$T' > T\sqrt{\psi} \quad \ldots\ldots \quad (84)$$

Vergleichen wir diesen Wert mit (72), so ist ersichtlich dass dann zugleich dieser Bedingung durch jedes positive T_1 Genüge geleistet wird; d. h. **wenn die Oelbremse der Relation $T' > T\sqrt{\psi}$ entspricht, kann für eine Regulierung im Intervalle 1 bis 1 : ψ die Schwungmasse beliebig reduziert und der Regulator vollkommen astatisch gemacht werden.**

Dieser Satz ist mit Formel (83) welche für $\delta_o = 0$ auch $T_{1m} = \infty$ ergiebt, nur in scheinbarem Widerspruch, denn diese gilt ja, wie ausdrücklich bemerkt wurde, nur so lange $T' < T\sqrt{\psi}$.

Um in diesem Fall wirklich mit einem astatischen Regulator arbeiten zu können, müsste für ψ der dem Leerlauf entsprechende Wert gewählt werden.

Auf die Wichtigkeit des Kataraktes ist insbesondere von Wischnegradsky in der citirten Abhandlung, welche dem hier befolgten Gedankengang in mehrfacher Beziehung zu Grunde liegt, hingewiesen werden.

Die bis jetzt behandelten Spezialfälle zeigen, dass der Einfluss der Regulatormasse bedingungsweise durch das Schwungrad bei der geschlossenen Turbine compensiert werden kann; dass dies gar nicht möglich ist durch Verzögerung in der Bewegung des Hilfsmotors, hingegen vollständig durch Anwendung eines Kataraktes.

IV. *Katarakt bei verschwindend kleiner Regulatormasse.* Die Untersuchung dieses Falles führt zu dem überraschenden Resultat, dass, mit einem idealen Regulator kombiniert, der Katarakt und der „langsam wirkende Hilfsmotor" einander aequivalent sind. Vergleichen wir, um dies einzusehen die Spezialfälle $T', T_1, T_2, T_3 > 0$, $T = T_o = 0$ und $T_o, T_1, T_2, T_3 > 0$, $T = T' = 0$ miteinander. Die erste Annahme giebt im System (71) $w - \delta_o\,w' = 0$ somit die Gleichungen

$$\frac{T'}{\delta_o}\,\frac{dw}{dt} + w - x = 0,$$
$$T_1\,\frac{dx}{dt} + \alpha_o\,w + x - \frac{3}{2}\,z = \Pi.$$

— — — — — — — — —

Die zweite Annahme hinwieder $\delta_o\,w' - x = 0$, somit

$$T_o\,\frac{dw}{dt} + w - x = 0,$$
$$T_1\,\frac{dx}{dt} + \alpha_o\,w + x - \frac{3}{2}\,z = \Pi.$$

— — — — — — — — —

Macht man hier

$$T_o = \frac{T'}{\delta_o} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (85)$$

so sind beide Systeme identisch; also folgt der Satz:

Im Grenzfall einer verschwindend kleinen Regulatormasse ist eine Oelbremse in ihrer Wirkung aequivalent einem „langsam wirkenden Hilfsmotor" mit der Regulierungsdauer $T_o = T' : \delta_o$.

Alles was über diesen Motor im ersten Teil der vorliegenden Arbeit gesagt wurde, kann also in diesem Grenzfall auf den Katarakt übertragen werden, wenn man T_o durch $T' : \delta_o$ ersetzt.

V. *Idealer (d. h. massenloser) Regulator, Katarakt, Schwungrad und Leitung, d. h.* $T', T_1, T_2 > 0$, $T = T_o = T_3 = \varepsilon = 0$. Die charakteristische Gleichung kann aus (37) durch Umtausch von T_o mit $T' : \delta_o$ abgeleitet werden, und lautet:

$$T'\,T_1\,T_2\,\varphi^3 + [2\,T'\,T_1 + T'\,T_2 + \delta_o\,T_1\,T_2]\,\varphi^1 +$$
$$+ 2\,[T' + \delta_o\,T_1 - \psi\,T_2]\,\varphi + 2\,\psi = 0.$$

Die Bedingung dafür, dass bloss negative Wurzeln vorkommen, ist

$$F(T_1) = \delta_o\,[2\,T' + \delta_o\,T_2]\,T_1^{\,2} +$$
$$+ [(2\,T' + \delta_o\,T_2)\,(T' - \psi\,T_2) - (\psi - \delta_o)\,T'\,T_2]\,T_1 +$$
$$+ T'\,T_2\,(T' - \psi\,T_2) > 0 \quad \ldots\ldots \quad (86)$$

Durch geeignete Wahl von T' kann man die Determinante der Gleichung $F(T_1) = 0$ negativ machen, so dass die Ungleichheit $F(T_1) > 0$ für jedes positive T_1 erfüllt ist. Die hierzu führende Rechnung ist etwas umständlich; wir begnügen uns damit, die Grenze anzugeben, von der ab alle Koefficienten in $F(T_1)$ positiv werden, dann ist um so mehr jedes positive T_1 zulässig Bei der Kleinheit von δ_o ist diese Grenze approximativ erreicht, wenn

$$T' > \frac{3}{2}\,\psi\,T_2$$

oder nach Einführung von $T_2 = \frac{1}{\psi}\,T_{2m}$, wenn

$$T' > \frac{3}{2}\,T_{2m} \quad \ldots\ldots \quad (87)$$

Wir haben also das Resultat:

Im Falle eines idealen Regulators kann auch bei der geschlossenen Turbine (mit beliebig langer Leitung) unter passender Vergrösserung des Kataraktwiderstandes die Schwungmasse bis auf Null reduciert werden.

Der Regulator darf hiebei der vollkommenen Astasie beliebig nahe kommen.

Es muss gleich bemerkt werden, dass diese Sätze auch bei endlicher Masse des Regulators gelten, nur darf man die mit der Verstärkung der Bremse verbundene Vergrösserung der Geschwindigkeitsschwankung nicht aus den Augen verlieren.

Wollte man die gleiche Wirkung mit der Verzögerung am Hülfsmotor erzielen, so wäre dann, da $T_o = T' : \delta_o$ ist, bei dem astatischen Regulator ein unendlich grosses T_o erforderlich, während T' endlich, und sogar ziemlich klein bleibt.

VI. *Allgemeiner Fall.* Es ist sehr umständlich, sich von dem Zusammenhang der Variablen $T\,T' \ldots$ ein anschauliches Bild zu machen, wenn alle zugleich berücksichtigt werden sollen. Denkt man dreie davon als konstant, und die drei anderen als rechtwinklige Koordinaten eines Punktes, so werden die zusammengehörigen Wertsysteme dieser letzteren eine Fläche bestimmen, von der Beschaffenheit, dass für Punkte auf der einen Seite derselben die Regulierung möglich, auf der anderen Seite unmöglich wird. Der Verfasser hat eine Anzahl Beispiele durchgerechnet, und sich überzeugt, dass man sich von der Gestalt dieser Grenzflächen eine zufriedenstellende Vorstellung verschaffen kann schon durch das Aufzeichnen ihrer Schnitte mit den Koordinaten-Ebenen. Diese Schnitte entsprechen aber zum Teil den bisher behandelten Specialfällen, und es dürfte das Problem durch diese hinreichend beleuchtet worden sein, um die folgende summarische Zusammenfassung der Ergebnisse zu rechtfertigen.

Schlussfolgerungen.

Als Hauptgesichtspunkt muss hier die Sicherheit des Betriebes, d. h. die Vermeidung zunehmender Schwankungen gelten; das zulässige Maximum der Geschwindigkeit ist für die verschiedenen Betriebe verschieden zu beurteilen und bildet eine Frage für sich. Es ergibt sich nun als Zusammenfassung der Rechnungs- und der Versuchsergebnisse das Folgende:

1. Den durchschlagendsten Erfolg in Bezug auf die Stabilität der Regulierung (d. h. gegen null convergierende Schwingungen) erzielt man durch Vergrösserung des Katarakt-

widerstandes. Für die Verwendung in der Praxis dürfte es sich empfehlen, kleinere Bremscylinder mit grosser Kolbenöffnung anzuordnen (um eine Verstopfung durch Unreinigkeit zu verhüten) und die notwendige Intensität durch grossen Hub, also grosse Geschwindigkeit einzubringen.

2. Das Trägheitsvermögen der Regulatormassen wirkt unter allen Umständen schädlich und ist von einer gewissen Grenze an weder durch Schwungmassen, noch durch Windkessel oder Verzögerung im Hilfsmotor zu compensieren, sodern einzig durch eine Bremse. Diese ist offenbar nicht daran gebunden die Form des Oelkataraktes zu haben (dieser hat bloss den Vorteil, den rechnerischen Voraussetzungen am genauesten zu entsprechen), irgend eine andere Form der Bremsung oder Hemmung muss im Principe die gleiche Wirkung ausüben. So übernehmen bei den Regulatoren ohne besondere Bremsvorrichtung, die Eigenreibung und die Widerstände des Stellzeuges die Rolle des Kataraktes.

3. Der „langsam wirkende Hilfsmotor" (in dem hier gebrauchten Sinne) weist der mathematischen Darstellung zufolge, in Kombination mit Massenregulator und Katarakt, das eigentümliche Verhalten auf, dass kleine Beträge der Verzögerung äusserst ungünstig, grosse Beträge hingegen wieder günstig wirken.

4. Der Katarakt, eine Hemmung oder die Verzögerung im Hilfsmotor bewirken alle eine Vergrösserung des Geschwindigkeitsmaximums bei gegebener Belastungsänderung; sie können daher nur als notwendige Uebel angesehen werden.

5. Ein hinreichend grosser Windkessel ist in Kombination mit einem idealen Regulator das beste Auskunftsmittel um zunehmende Schwankungen zu verhüten, denn er verursacht keine Reibungsarbeit (Gefahr des Heisslaufes etc.), wie schwere Schwungmassen und kann leicht so dimensioniert werden, dass selbst bei plötzlichem Abschluss der Leitung während des Vollbetriebes, die Pressungszunahme ein vorgeschriebenes Mass nicht überschreitet. Allein er kann die Massenträgheit des Regulators nicht compensieren, kann also nur von einem Katarakt begleitet verwendet werden.

6. Sowohl Katarakt als Windkessel sind unabhängig von der Astasie des Regulators, was um so mehr hervorzuheben ist, als gezeigt wurde, dass die Schwungmassen (wenn für sich allein als Mittel gegen labiles regulieren verwendet) im umgekehrten Verhältniss zur Ungleichförmigkeit des Regulators stehen.

7. Dass Schwungmassen günstig wirken, bedarf nicht der Erwähnung. Sie müssen auch stets vorhanden sein, weil sonst das Maximum der Geschwindigkeitsschwankung zu gross ausfallen könnte.

Die Vorausberechnung dieses letzteren ist zu umständlich, um allgemein vorgenommen werden zu können. Als erster Anhalt könnte bei grossem Windkessel die Formel Nr. 49. dienen; indessen bedarf sie, da ihr die Voraussetzung eines idealen Regulators zu grunde liegt, eines Korrektionskoefficienten, dessen Ermittelung der Praxis überlassen werden muss. Die gleiche Bemerkung gilt auch in Bezug auf die meisten der hier entwickelten Zahlenbeziehungen. Dieselben werden der Wirklichkeit am nächsten kommen bei einem Regulator mit Schneidengelenken der so gut wie keine Eigenreibung hat, und bei einem kurzhubigen hydraulischen Hilfsmotor mit weiten Steuerkanälen, von dem man annehmen kann, er wirke fast momentan. Die Unempfindlichkeit eines gewöhnlichen Regulators hat wohl einen ähnlichen Effekt wie der Katarakt, allein in Bezug auf den zahlenmässigen Betrag desselben ist man auf eine willkürliche Schätzung angewiesen. Ebenso verhält es sich, wie schon früher hervorgehoben, mit dem Hilfsmotor. Während hier die Geschwindigkeit desselben der Differenz zwischen Motor- und Regulatorhub proportional gesetzt wurde, ist diese in Wirklichkeit bei den meisten Hilfsmotoren, insbesondere allen Klinkenmechanismen, konstant. Schliesslich wirken störend der tote Gang in den Gelenken und zufällige Klemmungen.

Wenn also auch die Zahlenbeziehungen nicht für alle gebräuchlichen Regulier-Mechanismen verwendbar sind, glaubt der Verfasser doch, dass das Principielle der Regulierung vollkommen klar gestellt ist, und damit das Regulierungsproblem als gelöst betrachtet werden muss. Die vorliegende Untersuchung zeigt insbesondere, dass auch in den schwierigsten Fällen, d. h. selbst bei ausserordentlich langen Leitungen und den weitest gehenden Garantien in Bezug auf die zulässige Geschwindigkeitsvariation, die Regulierung mit sehr einfachen Mitteln zu bewältigen ist. Nicht in komplicierten (zumeist auf unklaren Anschauungen basierten) Mechanismen ist das Heil zu suchen. Die Notwendigkeit der direkten Zuordnung von Regulatorhub und Leitradquerschnitt mit Hilfe eines Servomotors irgend welcher Art, ist heute allgemein anerkannt und möge hier nur nebenbei erwähnt werden. Die Unbrauchbarkeit der indirekt wirkenden Regulierung ist durch die Erfahrung und Wissenschaft längst erwiesen; in sehr lichtvoller Weise z. B. von Grashof in seiner theoretischen Maschinenlehre. Abgesehen hievon, sind die Grundprincipien für eine rationelle Regulierungsanordnung, in wenige Worte zusammengefasst die folgenden:

1) Reduktion der Regulatormasse,
2) Katarakt (Astasie willkürlich),
3) Nach Möglichkeit rasch wirkender Hilfsmotor,
4) Windkessel oder Schwungmassen.

Ist die Grösse der Geschwindigkeitsschwankung irrelevant, dann genügt der einfache aber hinreichend starke Katarakt allein.

* * *

Berichtigung. In der sechstletzten Zeile des in der vorhergehenden Nummer erschienenen Teiles obiger Abhandlung ist zu lesen: Das Verhältnis der *maximalen* Druck- und Geschwindigkeitsschwankung, anstatt: *mathematischen* Druck- und Geschwindigkeitsschwankung.

Statistik der elektrischen Anlagen in der Schweiz für das Jahr 1893.

Von Dr. *A. Denzler*, Ingenieur,
Docent für Elektrotechnik am eidgen. Polytechnikum.

Für die nachstehenden Vergleichstabellen ist dieselbe Einteilung und Bezeichnungsweise gewählt worden wie für die Statistik der Jahre 1891—92*); es bedeutet somit wieder:
N die Anzahl der Anlagen einer Installationsklasse,
D die Zahl der neu aufgestellten Dynamomaschinen,
C die Nutzleistung oder Kapacität derselben in Kilowatts,
G die Anzahl der installierten Glühlampen,
B diejenigen der angeschlossenen Bogenlampen ohne Rücksicht auf Lichtstärke, Stromverbrauch und Schaltungsweise der verschiedenen Lampen.

Beim Nachführen der Kontrolle über die ältern Installationen bedingt der Umstand, dass nach und nach in einer Reihe von Einzelanlagen der Maschinenbetrieb eingestellt und die Lampen an benachbarte neue Centralen angeschlossen wurden, für die diesjährige Statistik noch eine kleine Unsicherheit in der Gesamtzahl der selbständigen Installationen. Andere Einzelanlagen verschiedener Klassen sind zu Block- und Centralstationen erweitert worden und figurieren nunmehr (Tabelle Nr. I und III) unter Gruppe XXV.

Neu erstellt oder dem Betrieb übergeben wurden im Jahre 1893 die *Centralanlagen*: Aarau I und II**), Aigle, Begnins, Bulle, Flums, Gossau, Grandson, Ebnat-Kappel, Locarno, Martigny-Bourg, Mézières, Netstal, Orbe, Saignelégier, Siders, Versoix, Zermatt, Zug, womit die Zahl der schweizerischen Centralstationen und Orte mit vollständig durchgeführter elektrischer Strassenbeleuchtung auf 71 ansteigt. Von diesen 71 Anlagen werden betrieben durch

*) Bd. XXI S. 94—97.

**) In Aarau bestehen unter der Bezeichnung „Elektricitätswerk Aarau" und „Städtisches Elektricitätswerk Aarau" neben einander zwei Installationen, von denen die erstere ältere von der Firma Bäuerlein & Kummler, die zweite grössere von der Stadt betrieben wird.