

Die Darstellung der Kennlinien der Turbomaschinen aus den Grössen des Nennbetriebes

Autor(en): **Kummer, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **89/90 (1927)**

Heft 25

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-41824>

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: Die Darstellung der Kennlinien der Turbomaschinen aus den Grössen des Nennbetriebes. — Die Eisenbahn-Notbrücke zwischen Buchs und Schaan. — Wettbewerb für die Schweizerische Landesbibliothek in Bern. — Von der XXXIX. Generalversammlung der G. E. P. — Heimatschutz und moderne Architektur. — Mitteilungen: Ueber die Entwicklung der amerikanischen Elektrostaht-Erzeugung.

Ausfuhr elektrischer Energie. Zum Direktor der Aegyptischen Technischen Hochschule in Cairo. Dauerhaftigkeit von Holzpfählern. Senkung der Nordseeküsten. Eidgen. Techn. Hochschule. Elektrifikation der S. B. B. — Nekrologie: A. Bloch. — Korrespondenz. — Wettbewerbe: Bezirksspal Thierstein und Altersheim Dorneck Thierstein in Breitenbach. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Sektion Bern.

Band 90.

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

Nr. 25

Die Darstellung der Kennlinien der Turbomaschinen aus den Grössen des Nennbetriebes.

Von Prof. Dr. W. KUMMER, Ing., Zürich.

In einer Reihe von Aufsätzen, die wir im Laufe von zwanzig Jahren in dieser Zeitschrift veröffentlichten, haben wir gezeigt, wie man die Kennlinien, d. h. die charakteristischen Kurven des Verhaltens wichtiger physikalischer Grössen im Betriebe von Elektromotoren aus den Grössen des Nennbetriebes dieser Motoren ableiten kann, wobei wir namentlich deren Verwendung zum Antrieb und zur Bremsung elektrischer Fahrzeuge in Betracht zogen¹⁾. Dabei galt als besonders wichtig stets die sogen. mechanische Kennlinie, durch die das Drehzahlverhalten der Motoren bei verschiedener Belastung dargestellt wird. Die analytischen Gleichungen dieser und weiterer jeweils wünschenswerter Kennlinien enthielten grundsätzlich nie andere Parameter oder Konstante als solche, die aus den Grössen des sogen. Nennbetriebes, d. h. aus den Grössen, die auf dem Firmaschild eines Motors genannt werden, und für die der Motor gebaut ist, unmittelbar gebildet sind. Durch „Kennlinien“ werden eben wichtige Betriebseigenschaften von Maschinen, wie z. B. das Drehzahlverhalten von Motoren bei beliebiger Belastung, auf einfachste Weise zum Ausdruck gebracht. Die Wissenschaft, die sich mit der Darstellung der Kennlinien beschäftigt, ist die „Maschinenlehre“; ihr liegt ob, allgemein gültige Kennlinien möglichst übereinstimmend mit den im Einzelfall empirisch erhältlichen Betriebskurven vorauszuberechnen, wobei jedoch unwesentlichen Feinheiten der Uebereinstimmung die Einfachheit des Verfahrens der Vorausbestimmung nicht geopfert werden darf²⁾. Für elektrische Maschinen schufen wir in unsern Aufsätzen Bestimmungsregeln der Kennlinien, durch die diese schliesslich gewissermassen rein unelektrisch dargestellt wurden; mit unserer Darstellung wollten wir namentlich dem Wissensbedürfnis derjenigen zahlreichen Leser entgegenkommen, die nicht ausgesprochene Spezialisten des Elektromaschinenbaues sein wollen, obgleich auch diese letzten unsere Darstellung als brauchbare Annäherungsbeziehung gewürdigt haben dürften.

Im vorliegenden Aufsatz wünschen wir nun den Nachweis dafür zu erbringen, dass sich auch die Kennlinien der Turbomaschinen aus den Grössen des Nennbetriebes solcher Maschinen darstellen lassen, wobei wir also von einer Darstellungsweise Gebrauch machen, die der vorher auf die Elektromotoren verwendeten durchaus analog ist. Die wichtigste Kennlinie der Turbomaschinen ist die sogen. Drosselkurve, die bei der Nenndrehzahl den Zusammenhang des in der Zeiteinheit den Rotor der Turbomaschine durchströmenden Flüssigkeitsvolumens Q mit der im Längmass ausgedrückten Flüssigkeits-Drucksäule H zum Ausdruck bringt. Bekanntlich erlangt man aus der Euler'schen Arbeitsgleichung, für verlustfreie Energieumsetzung, diesen Zusammenhang in der linearen Form:

$$H = K_1 + K_2 Q$$

Durch die Erweiterung in die Form:

$$H = K_1 + K_2 Q - K_3 Q^2$$

finden die mit der Flüssigkeitströmung zusammenhängenden Reibungsverluste eine im wesentlichen zutreffende Berücksichtigung. Mit der Beschränkung auf Turbo-Arbeits-

maschinen (Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren), für die die Kenntnis der Drosselkurven von der höchsten praktischen Bedeutung ist, kann man für den Zustand des Nennbetriebes, mit den Grössen Q_n und H_n , einen innern oder „indizierten“ Wirkungsgrad η_n bei Nennbetrieb, in dem die Lagerreibung und allfällige weitere „äussere“ Maschinenverluste also nicht berücksichtigt sind, durch eine Beziehung:

$$\eta_n = \frac{H_n}{H_n + K_3 Q_n^2}$$

definieren. Damit erscheint aber die Gleichungs-Konstante K_3 durch Nennbetriebsgrössen festgelegt in der Form:

$$K_3 = \frac{H_n}{Q_n^2} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n}$$

Aber auch die Gleichungs-Konstante K_1 erscheint sofort durch Nennbetriebsgrössen feststellbar. Bei geschlossenem Auslass der Turbomaschine, d. h. bei $Q = 0$, entwickelt die Maschine bei der Nenndrehzahl eine Flüssigkeits-Drucksäule H_0 , die mit K_1 identisch ist und zu H_n durch einen Verhältnisswert δ in die Beziehung gebracht werden kann:

$$H_0 = K_1 = \delta H_n$$

Das Druckverhältnis:

$$\delta = \frac{H_0}{H_n}$$

stellt weiterhin auch ein Zahlenverhältnis:

$$\delta = \frac{\psi_0}{\psi_n}$$

dar, wenn man die sogen. „Druckziffer“ ψ benutzt, die in den „Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren“¹⁾ eingeführt wurde, und die für die Betriebszustände $Q = 0$ und $Q = Q_n$ die respektiven Werte ψ_0 und ψ_n annimmt. Die letzte Gleichungs-Konstante K_2 ergibt sich aus dem für $Q = Q_n$ gültigen Gleichungswert:

$$H_n = \delta H_n + K_2 Q_n - \left(\frac{H_n}{Q_n^2} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) Q_n^2$$

zu:

$$K_2 = \frac{H_n}{Q_n} \left(1 - \delta + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)$$

Damit sind nun, unter Benützung der Grössen des Nennbetriebes, alle Gleichungs-Konstanten bestimmt, und die Kennlinien-Gleichung folgt nunmehr in der Form:

$$\frac{H}{H_n} = \delta + \left(1 - \delta + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) \frac{Q}{Q_n} - \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \frac{Q^2}{Q_n^2}$$

Die durch diese Gleichung im Koordinatensystem QOH dargestellte Parabel hat nur im ersten Quadranten, bei positiven Werten von Q und H , technische Bedeutung; sie kann in diesem Quadranten einen Extremwert von H aufweisen, der beim Sonderwert von Q , der gleich:

$$Q_n \frac{1 - \delta \eta_n}{2 \cdot (1 - \eta_n)}$$

ist, auftritt, wobei:

$$1 > \delta \eta_n$$

sein muss. Für $\delta \eta_n = 1$ liegt der Extremwert von H auf der H -Axe, während er für $\delta \eta_n > 1$ technisch nicht in Betracht fällt. Den drei Fällen entsprechen im wesentlichen auch die drei verschiedenen Schaufelungsmöglichkeiten der Turborotoren. Wenn $\delta \eta_n$ wesentlich grösser als 1 ist, sind die Schaufeln rückwärts gebogen, während sie vorwärts gebogen sind, wenn $\delta \eta_n$ wesentlich kleiner als 1 ist; für

¹⁾ Aufgestellt vom Verein deutscher Ingenieure und dem Verein deutscher Maschinenbau-Anstalten im Jahre 1912.

¹⁾ Den ersten bezüglichen Aufsatz findet der Leser der „S. B. Z.“ in Band 49, Seite 247 ff. (18/25. Mai 1907).

²⁾ Die Nichtbeachtung dieser eigentlich selbstverständlichen Bedingung ist einer der Gründe, dass vor ungefähr einem Menschenalter die damalige „theoretische“ Maschinenlehre ihre frühere Wertschätzung im wesentlichen eingebüsst hat.

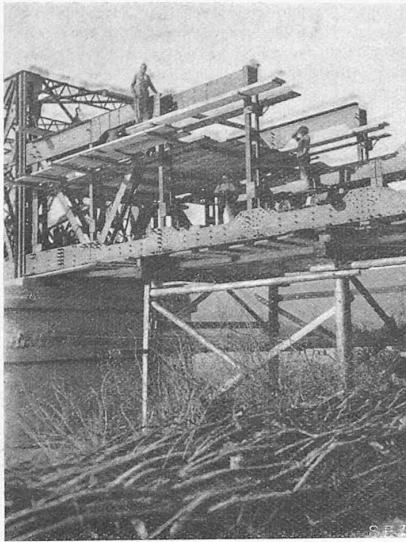
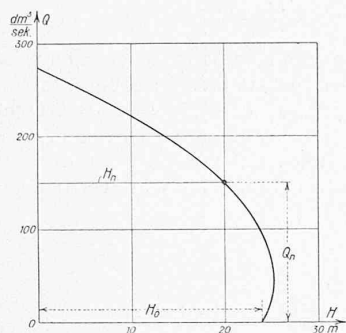


Abb. 3. Montagebeginn am Rheinbrücken-Ende.



Drosselkurve einer Niederdruck-Zentrifugalpumpe.

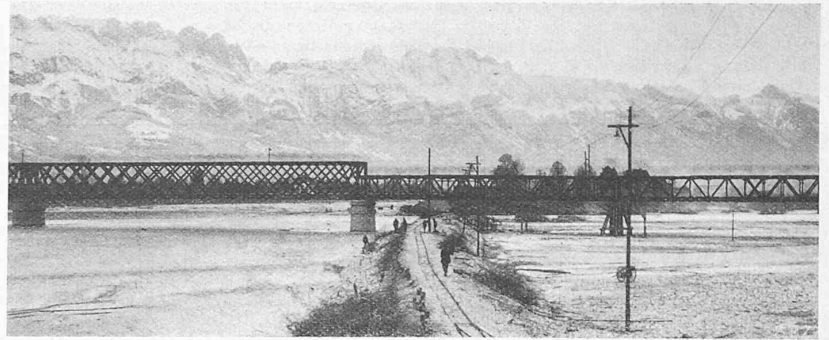


Abb. 1. Links die rechtsufrige Rhein-Oeffnung, provisorischer Abschlussdamm, weiterhin nach rechts vier Oeffnungen zu 45 m mit Roth-Waagnerschen Fachwerkträgern.

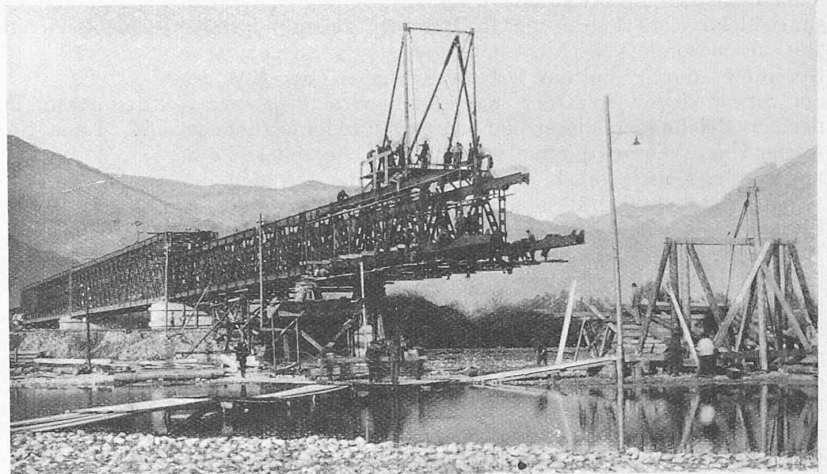


Abb. 4. Freivorbau über der zweiten Oeffnung von 45 m. Roth-Waagner.

Werte $\delta\eta_n$, die gleich 1 sind oder nahe bei 1 liegen, handelt es sich um senkrecht endigende Schaufeln.

Es mag noch daran erinnert werden, dass mit der Aufstellung der Drosselkurve einer Turbomaschine bei der Nenndrehzahl auch deren Verhalten bei beliebigen Drehzahlen feststeht, und zwar zufolge der Kongruenz der Drosselkurven für sämtliche Drehzahlen, aus der die bekannten Proportionalitäts-Beziehungen zwischen Q und n einerseits, zwischen H und n^2 anderseits folgen.

*

Einem praktischen *Zahlenbeispiel* zur Aufstellung der Drosselkurve aus gegebenen Grössen des Nennbetriebs legen wir eine Niederdruck-Zentrifugalpumpe zu Grunde, deren Nennbetriebsgrössen die Werte haben mögen:

$$H_n = 20 \text{ m}; \quad Q_n = 150 \text{ dm}^3/\text{sek}; \\ \eta_n = 0,64; \quad \delta = 1,20.$$

Damit folgt für die Drosselkurve die analytische Gleichung:

$$H = 24 + 0,0483 Q - 0,0005 Q^2,$$

deren Bild aus der Abbildung hervorgeht, in die wir auch die Grössenbezeichnungen Q_n , H_n und H_0 aufgenommen haben, um damit die oben gegebene Ableitung anschaulicher zu gestalten. Die bezügliche Drosselkurve weist bei einem Q von rund 49 dm^3/sek ein Maximum des Wertes H von rund 25,2 m auf. Ob die Schaufelung eine Schaufelbiegung vorwärts oder senkrechte Schaufelenden aufweist, kann aus der Kurve, bei der Nähe des Maximums von H relativ zur H -Achse, nicht mit Sicherheit gefolgert werden.

Die Genauigkeit, mit der die tatsächlichen Drosselkurven von Turbo-Arbeitsmaschinen durch normale Parabeln wiedergegeben werden können, ist keine absolute, aber im allgemeinen doch eine genügende, um die hier behandelte Darstellungsweise als begründet erscheinen zu lassen.

Die Eisenbahn-Notbrücke zwischen Buchs und Schaan.

In der Nummer vom 15. Oktober 1927 der „S. B. Z.“ sind die Verhältnisse dargelegt, die sich aus dem am 25./26. September 1927 erfolgten Rheinausbruch bei der Rheinbrücke der Linie Buchs-Feldkirch für das Land Liechtenstein ergaben. Nachdem das Rheinhochwasser sich einigermaßen gesenkt hatte, begann die Rheinbauleitung alsbald, die Rheinwuhre auf ungefähr halbe Höhe wieder herzustellen, indem sie zunächst den untern Dammkopf durch mit Schotter gefüllte Drahtsäcke und Faschinen schützte und vom obern Ende der Bresche aus mit Faschinen und Kiesschüttungen ein provisorisches Wuhre vortrieb. Dass dies ein ausserordentlich schwieriges Unternehmen war, das ganz von den Launen des Wetters abhing, sollte sich noch erweisen.

Mit dem Unterbruch der Bahnverbindung Buchs-Feldkirch wurde der Verkehr der Internationalen Schnellzüge von Zürich aus über St. Gallen-St. Margarethen nach Feldkirch geleitet, und anfänglich war die Meinung vorherrschend, dass dies so zu verbleiben habe, bis die Rheinwuhre geflickt und die zerstörte Dammstrecke bis Schaan wieder hergestellt werden könne, was sich zweifellos bis in den Sommer des nächsten Jahres hineingezogen hätte. Nachdem sich unter diesen Bedingungen eine ausserordentliche Verzögerung der Wiedereröffnung der Linie voraussehen liess, die zu allerlei Gerüchten über eine Linienverlegung (Schaan-Vaduz-Sargans) Anlass gaben, und nachdem der erste niederschmetternde Eindruck der Katastrophe überwunden war, entschlossen sich die Ingenieure der Oesterreichischen Bundesbahnen, die entstandene Lücke in ihrer Linie mit einer provisorischen Brücke zu schliessen. Im Hinblick auf