

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 32 (1941)
Heft: 1

Artikel: Beitrag zur einfachen Herstellung von Nomogrammen nebst einigen Beispielen
Autor: Schaer, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059986>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des
Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:
Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXII. Jahrgang

N° 1

Mittwoch, 15. Januar 1941

Beitrag zur einfachen Herstellung von Nomogrammen nebst einigen Beispielen.

Von F. Schaer, Olten.

518.3

Es wird für die Praxis anhand von Beispielen ein einfaches Rezept gegeben, wie von Gleichungen, die sich auf die Form

$$m_2 \cdot b = m_1 \cdot a + m_3 c$$

bringen lassen, brauchbare Nomogramme aufgestellt werden können.

Au moyen d'exemples, l'auteur décrit, pour la pratique, une méthode simple permettant d'établir des nomogrammes des équations pouvant se mettre sous la forme

$$m_2 \cdot b = m_1 \cdot a + m_3 c.$$

Für die Zwecke der Technik sind die Abhandlungen über Nomographie in den meisten Lehrbüchern zu weitläufig, dann aber gerade der Entwurf, das was der Praktiker braucht, zu kurz dargestellt. Will man bei einer Berechnung in der Praxis schnell ein Nomogramm entwerfen, so fehlt meistens die Zeit, eine kürzere oder längere Theorie zu studieren. Bei der Aufstellung von Nomogrammen erlebt man auch nicht selten, dass die Rechentafel nach vollendeter Konstruktion nicht stimmen will, nicht zuletzt manchmal, weil in dem verwendeten Leitfaden die Angaben mangelhaft sind. Das führte mit dazu, dass viele Praktiker das Nomogramm nicht anwenden, obschon diese Art der Darstellung von Funktionen mit mehreren Variablen manche Vorteile bietet. Die folgenden Ausführungen in Verbindung mit Nomogramm Fig. 3 möchten ein Beitrag für die Praxis sein.

Viele Gleichungen lassen sich auf die Form

$$m_2 \cdot b = m_1 \cdot a + m_3 \cdot c \quad (1)$$

bringen oder in dieselbe zerlegen und alsdann mit wenig Mühe darstellen, wo a , b , c die Variablen und m_1 , m_2 , m_3 die Konstanten bedeuten. Vielfach

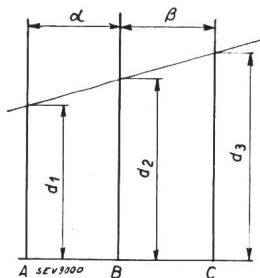


Fig. 1.

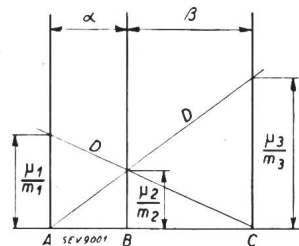


Fig. 2.

Beziehungen für das Nomogramm
 $m_2 b = m_1 a + m_3 c$

bietet hierfür das Nomogramm mit 3 parallelen Skalen die grössten Vorteile, insbesondere dann, wenn logarithmische Maßstäbe verwendet werden

können, welche über die ganze Skala den gleichen prozentualen Ablesefehler aufweisen.

Die Beziehungen für diese vielfach angewandte Form des Nomogrammes gehen aus Fig. 1 und 2 hervor.

Die Gleichung

$$d_2 = \frac{1}{2} d_1 + \frac{1}{2} d_3 \quad \text{für } \alpha = \beta$$

lässt sich ohne weiteres aus der Fig. 1 ablesen. Es soll aber die Gleichung

$$m_2 b = m_1 a + m_3 c$$

dargestellt werden. Die Anordnung nach Fig. 1 kann diese Forderung nur dann erfüllen, wenn man in der Wahl der Maßstäbe und dem Abstandsverhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$ frei ist und setzt:

$$\frac{m_2}{\mu_2} b = d_2 \quad \frac{m_1}{\mu_1} a = d_1 \quad \frac{m_3}{\mu_3} c = d_3$$

Dabei ist μ_1 der Maßstab für Skala A,
 μ_2 der Maßstab für Skala B,
 μ_3 der Maßstab für Skala C.

Damit ergibt sich:

$$\frac{m_2}{\mu_2} b = \frac{m_1}{\mu_1} a + \frac{m_3}{\mu_3} c \quad (2)$$

In dieser Gleichung stellen die Konstanten m mit den Maßstäben μ die Parameter $\frac{m}{\mu}$ der eigentlichen Funktionen b , a und c dar. Die Gleichung für die Berechnung des dritten Maßstabes, z. B. μ_2 , wenn zwei andere, z. B. μ_1 und μ_3 , gewählt wurden, ergibt sich aus der Zunahme der Strecken d_1 , d_2 und d_3 , wenn die eigentlichen Funktionswerte a , b , c um 1 zunehmen.

Man erhält: $\frac{m_2}{\mu_2} = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_3}{\mu_3}$

oder, anders ausgedrückt,

$$\mu_2 = m_2 \frac{\mu_1 \cdot \mu_3}{m_1 \mu_3 + m_3 \mu_1} \quad (3)$$

die gesuchte Maßstabgleichung.

Mit Maßstab μ in cm ist die Strecke bezeichnet, welche zwischen den Skalenpunkten 0 und 1 bei metrischer Teilung und 1 und 10 bei logarithmischer Teilung liegt.

Das Abstandsverhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$ der Skalen voneinander kann leicht aus Fig. 2 erhalten werden.

Die Gerade D gehe das eine Mal durch die Werte $a=0$, $b=1$ und $c=1$ und das andere Mal durch die Werte $a=1$, $b=1$, $c=0$, dann sind die auf den Skalen A , B und C abgeschnittenen Streckenlängen:

$$\frac{\mu_1}{m_1}, \quad \frac{\mu_2}{m_2}, \quad \frac{\mu_3}{m_3}$$

Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke folgt das gesuchte Verhältnis

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\mu_1 \cdot m_3}{\mu_3 \cdot m_1} \quad (4)$$

Damit sind alle Daten für den Entwurf eines Nomogrammes nach Fig. 1 bestimmt. Bei der Aufstellung kann jedoch meistens nicht einfach μ_1 und μ_3 gewählt und μ_2 berechnet werden, woraus sich weiter $\frac{\alpha}{\beta}$ ergibt. Das Intervall, in welchem jede Variable dargestellt werden soll, das ge-

holtem Rechnungsgang passen. Aus diesem Grunde sind die entwickelten Gl. (3) und (4), welche zur Bestimmung der Maßstäbe dienen, selbst in einem Nomogramm dargestellt, denn hier liegt ja gerade ein Anwendungsgebiet der Nomographie, die ersten guten, eventuell auch schon genauen Werte möglichst rasch zu liefern. Das Nomogramm Fig. 3 stellt die beiden Gleichungen 3 und 4 dar. Es würde zu weit führen, hier den Rechnungsgang für alle Daten ausführlich klar zu legen. Es sei daher nur kurz der prinzipielle Aufbau erläutert. Die Skalen Z_1 , Z_2 und Z_3 sind identisch mit den Skalen A , B und C der Fig. 1. Auf den Z -Skalen ist das Verhältnis $\frac{m}{\mu}$ aufgetragen.

Sie erfüllen daher die Gleichung:

$$\frac{m_2}{\mu_2} = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_3}{\mu_3}$$

Die Z -Skalen sind, wie allgemein üblich, nicht beschriftet, weil ja bloss die einzelnen Faktoren μ und m interessieren, in welche das Verhältnis $\frac{m}{\mu}$ mit der sogenannten z -Tafel, welche in dieser Arbeit nicht weiter erläutert werden soll, zerlegt ist. Die Gl. (4) liess sich leicht in die Tafel Fig. 3 einbringen. Die Skala Z_3 stellt, wenn auch unbeschriftet, schon $\frac{m_3}{\mu_3}$ dar. Bringt man auf der Skala Z_1 , welche $\frac{m_1}{\mu_1}$ darstellt, den reziproken Wert durch Abtragen der Strecke $P_0 - P_1$ nach der entgegengesetzten Seite an, so stellt die Skala auf der Verbindungslinie $E - F$ das Verhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$ dar.

Am klarsten zeigen einige Beispiele den Gebrauch des Nomogrammes Fig 3. Gegeben sei die Gleichung

$$U = V \cdot k \quad (5)$$

Es soll ein Nomogramm aufgestellt werden für die Werte von V zwischen 1 und 10 und für die Werte von k zwischen 1 und 100. Man logarithmiert und erhält

$$\lg U = \lg V + \lg k$$

die Form der Gl. (1). Darin ist m_1 , m_2 und m_3 gleich 1. Das Nomogramm soll auf das Papierformat A4 (21·29,7 cm) gezeichnet werden. Als logarithmischer Maßstab steht der Rechenschieber zur Verfügung mit seinen drei Skalen:

Strecke 1 bis 10 = 25 cm; 1 bis 10 = 12,5 cm und 1 bis 10 = $8\frac{1}{3}$ cm.

Da nun die Skala für V die Werte von 1 bis 10 auf einem Papierformat durchlaufen soll, das ab-

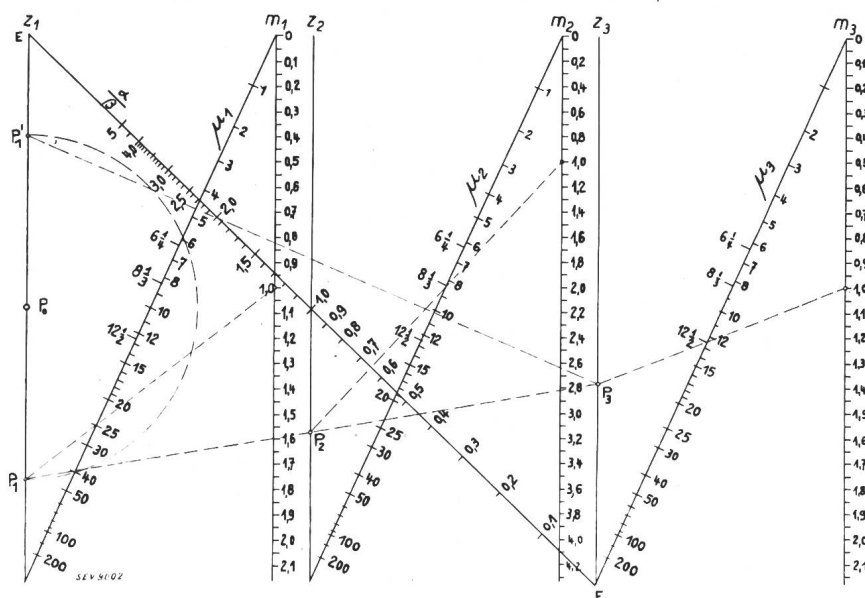


Fig. 3.

Nomogramm zur Bestimmung der Elemente zu Nomogrammen für Gleichungen der Form $m_2b = m_1a + m_3c$

wünschte Papierformat und dazu eine sehr gute Uebersichtlichkeit spielen ebenfalls eine Rolle, so dass die Maßstäbe μ und $\frac{\alpha}{\beta}$ erst nach wieder-

züglich Rand ca. 25 cm für die Skala frei lässt, wählt man den Maßstab μ_1 für $V = 25$ cm. k soll auf der 25 cm langen Skala die Werte von 1 bis 100 durchlaufen. Man wählt daher entsprechend $\mu_3 = 12,5$ cm.

Nun sind für das aufzustellende Nomogramm gegeben:

$m_1 = m_2 = m_3 = 1$ $\mu_1 = 25$ cm $\mu_3 = 12,5$ cm
und gesucht:

μ_2 sowie das Verhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$

Das Nomogramm Fig. 3 liefert nun die gesuchten Größen (Beispiel eingezeichnet).

Vom Punkt 1,0 auf der Skala m_1 zieht man eine Linie durch $\mu_1 = 25$ cm auf der Skala μ_1 . Damit erhält man den Punkt P_1 . Vom Punkt 1,0 auf der Skala m_3 zieht man eine Linie durch $\mu_3 = 12,5$ cm auf der Skala μ_3 . Damit erhält man Punkt P_3 . Nun verbindet man P_1 mit P_3 durch eine Gerade und erhält P_2 . Den Punkt P_2 verbindet man durch eine Gerade mit $m_2 = 1,0$ auf der Skala m_2 und erhält damit auf der Skala μ_2 den gesuchten Maßstab $\mu_2 = 8\frac{1}{3}$ cm.

Es ist noch das Verhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$ zu bestimmen. Auf der Skala Z_1 trägt man die Strecke P_0 bis P_1 auf der andern Seite von P_0 ab und erhält den Punkt

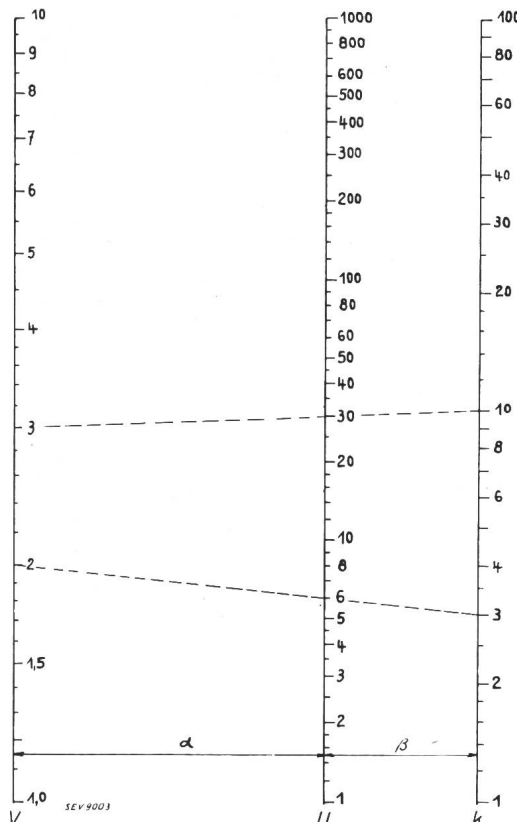


Fig. 4.
Nomogramm für die Gleichung
 $U = V \cdot k$
Maßstab 1 : 2,5.

P'_1 . Von Punkt P'_1 nach Punkt P_3 zieht man eine Gerade. Diese schneidet auf der Skala $\frac{\alpha}{\beta}$ den

Wert 2,0 heraus, womit das Verhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$ bestimmt ist. Die Linien, welche diese Angaben liefern, sind in Fig. 3 gestrichelt eingetragen.

Das Nomogramm kann nun mit den erhaltenen Werten aufgezeichnet werden (Fig. 4). Man wählt $\alpha + \beta = 15$ cm. Damit wird $\alpha = 10$ und $\beta = 5$ cm. Die Skalen erhalten log. Einteilung.

Proben: $k = 10$ $V = 3$ $U = k \cdot V = 10 \cdot 3 = 30$
 $k = 3$ $V = 2$ $U = k \cdot V = 3 \cdot 2 = 6$
(in Fig. 4 gestrichelt eingezeichnet).

Für derart einfache Gleichungen bietet selbstverständlich die Aufstellung eines Nomogrammes keine grossen Vorteile. Deutlicher kommt der Vorteil schon für folgende Gleichung zum Ausdruck:

$$b = \sqrt[5]{\frac{a \cdot \sqrt[3]{c}}{[a \cdot \sqrt[3]{c}]^3}} \quad (6)$$

Durch Umformen ergibt sich:

$$b^{\frac{5}{3}} = \sqrt{a} \cdot \sqrt[3]{c}$$

Durch Logarithmieren führt man diese Gleichung in die Form der Gl. (1) über und erhält:

$$1,66 \lg b = \frac{1}{2} \lg a + \frac{1}{3} \lg c$$

In dieser Gleichung sind (siehe Gl. (1))

$$m_1 = \frac{1}{2} \quad m_3 = \frac{1}{3} \quad \text{und} \quad m_2 = 1,66$$

Wählt man für $\mu_1 = 12,5$ cm, für $\mu_3 = 12,5$ cm (entsprechend den geforderten Intervallen von a und c), so erhält man aus Fig. 3 für

$$\mu_2 = 25 \text{ cm.}$$

Für das Verhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$ erhält man auf gleiche Weise wie im ersten Beispiel

$$\frac{\alpha}{\beta} = 0,66.$$

Da der Schnittpunkt sich nicht ganz genau ablesen lässt, rechnet man nach und erhält:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{m_3 \cdot \mu_1}{m_1 \cdot \mu_3} = \frac{\frac{1}{3} \cdot 12,5}{\frac{1}{2} \cdot 12,5} = \frac{2}{3}$$

Um einen besseren Schnittpunkt auf der Skala für $\frac{\alpha}{\beta}$ zu erhalten, hätte man auch mit $\frac{1}{2} \mu_1$ und $\frac{1}{2} \mu_2$ rechnen können, wodurch ebenfalls eine grössere Ablesegenauigkeit erzielt worden wäre.

Nimmt man $\alpha + \beta = 15$ cm, so wird:

$$\beta = \frac{\alpha + \beta}{\frac{\alpha}{\beta} + 1} = \frac{15}{\frac{2}{3} + 1} = 9 \text{ cm} \quad \text{und} \quad \alpha = 15 - 9 = 6 \text{ cm.}$$

Womit alle zur Aufzeichnung nötigen Daten bestimmt sind.

Der Punkt 1 der Skala für b ergibt sich als Schnittpunkt einer Geraden zwischen den beiden Punkten 1 auf den Skalen für a und c .

Probe:

$$a = 16 \quad c = 27 \quad b = \sqrt[5]{[V16 \cdot 3 \sqrt[3]{27}]^3} \cong 4,4$$

Das folgende Nomogramm Fig. 6 zeigt die Beziehungen zwischen Ladeleistung, Spannung, Lade-

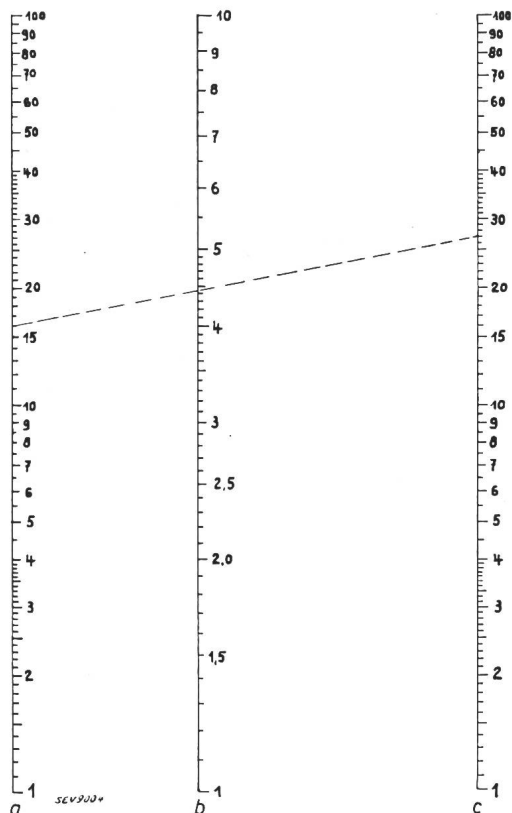


Fig. 5.
Nomogramm für die Gleichung
 $b = 3 \sqrt[3]{[V a \cdot 3 \sqrt[3]{c}]^3}$
Maßstab 1 : 2,5.

strom und Kapazität bei Freileitungen. Für den Ladestrom am Anfang der Leitung lautet die Gleichung:

$$I_c = \frac{U}{\sqrt{3}} \omega C \quad (7)$$

wo U die verkettete Spannung, I_c den Ladestrom in A pro Phase und C die Kapazität in F bedeuten. Nach Wahl der Intervalle erhält man aus Fig. 3: $\mu_2 = 12,5$ cm, wenn μ_1 und $\mu_3 = 25$ cm gewählt wird. $\frac{\alpha_1}{\beta_1} = 1$. Damit ergeben sich die drei Skalen für U , I_c und C .

Die Ladeleistung ist:

$$P_r = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_c \quad (8)$$

Im Nomogramm Fig. 6 sind die Skalen für I_c und U schon vorhanden. Für P_r erhält man in gewöhn-

ter Weise den Maßstab $\mu'_2 = 8^{1/3}$ cm und $\frac{\alpha_2}{\beta_2} = 2$.

Die Konstante $\sqrt{3}$ wird durch Verschieben der Skala P_r um den entsprechenden Betrag nach unten berücksichtigt. Ebenso berücksichtigt man in der

Gleichung für I_c die Konstanten $\frac{1}{\sqrt{3}}$ und ω an der Skala für I_c .

Probe: $C = 8,9 \mu F \cdot 10^{-3}$, $V = 45$ kV. Es ist $I_c = 0,072$ A/Phase·km und $P_r = 5,7$ kVar/km.

Als Beispiel einer zusammengesetzten Gleichung sei diejenige für den Durchhang von Freileitungen gewählt, welche für nicht allzu grosse Spannweiten lautet:

$$f = \frac{a^2 \cdot \gamma}{8 \cdot p} \quad (9)$$

wo f den Durchhang in m, a die Spannweite in m, p die Zugbeanspruchung in kg/mm² und γ das spez. Gewicht in kg/cm³ bedeuten.

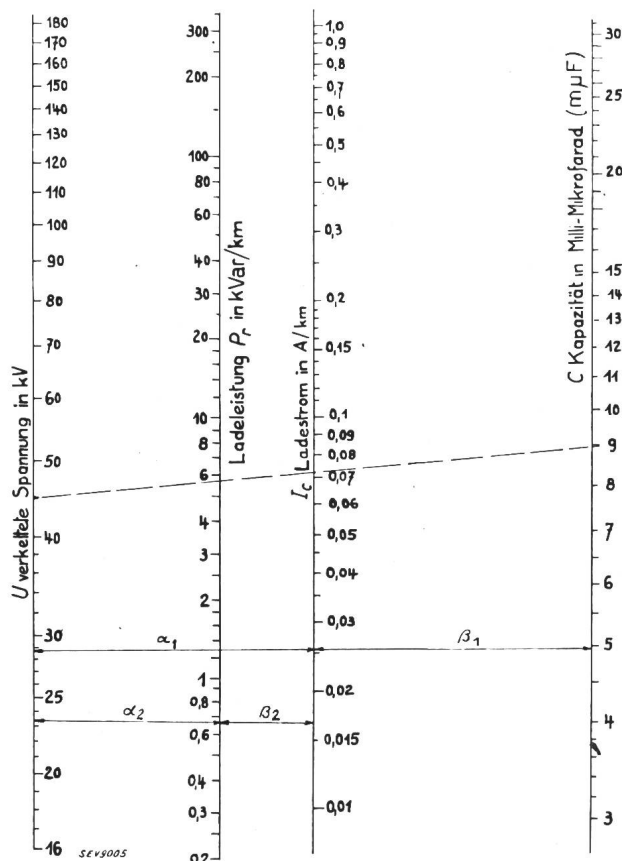


Fig. 6.
Nomogramm für die Gleichungen
 $I_c = \frac{U}{\sqrt{3}} \omega C$ und $P_r = \sqrt{3} U I_c$
Maßstab 1 : 2,5.

Gleichungen von dieser Form zerlegt man am einfachsten in zwei Teilgleichungen, nämlich:

$$z = f \cdot \frac{1}{a^2} \quad \text{und} \quad z = \frac{1}{8} \cdot \gamma \cdot \frac{1}{p}$$

Durch Logarithmieren erhält man wieder:

¹⁾ Ihre Verwendung siehe Bulletin SEV 1936, Nr. 2.

$$\lg z = \lg f + 2 \lg \frac{1}{a} \quad \text{und} \quad \lg z = \lg \frac{1}{8} + \lg \gamma + \lg \frac{1}{p}$$

Wählt man für die Hilfsgrösse z in beiden Teilgleichungen denselben Maßstab, so kann dafür dieselbe Skala z verwendet werden und, wenn die z -Werte nicht interessieren, unbeschriftet bleiben. Solche unbeschriftete Skalen werden Zapfenlinien genannt. Im vorliegenden Beispiel lauten die gewählten und errechneten Daten:

$$\begin{array}{l|l|l} m_2 = 1 & m_1 = 1 & m_3 = 2 \\ \mu_2 = 6\frac{1}{4} \text{ cm} & \mu_1 = 12,5 \text{ cm} & \mu_3 = 25 \text{ cm} \end{array} \quad \text{und}$$

$$\begin{array}{l|l|l} m'_2 = 1 & m'_1 = 1 & m'_3 = 1 \\ \mu'_2 = 6\frac{1}{4} \text{ cm} & \mu'_1 = 12,5 \text{ cm} & \mu'_3 = 12,5 \text{ cm} \end{array}$$

Die Skalen für die reziproken Werte $\left(\frac{1}{a} \text{ und } \frac{1}{p}\right)$ werden in umgekehrtem Sinne aufgetragen, die Konstante $\left(\frac{1}{8}\right)$ wie im vorigen Beispiel durch Verschieben des Anfangspunktes einer Skala (in Fig. 7 die Skala f) berücksichtigt. Mit diesen Daten erhält man Fig. 7.

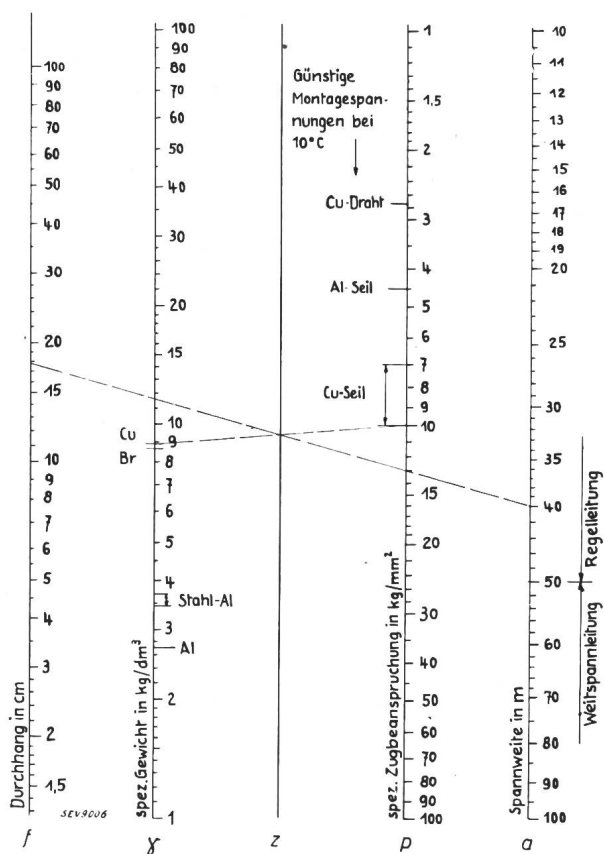


Fig. 7.
Nomogramm für die Gleichung

$$f = \frac{a^2 \gamma}{8 \cdot \mu}$$

Maßstab 1 : 2,5.

Probe: Welcher Durchhang ergibt sich für ein Cu-Seil, welches über eine Spannweite von 40 m eine Zugspannung von 10 kg/mm² aufweist? Fig. 7 zeigt $f = 17,9$ cm (punktiert eingezeichnet). Die beiden Geraden, welche bei der Ablesung vier zusammengehörende Werte herausausschneiden, müssen sich auf der Zapfenlinie schneiden.

In Fig. 7 sind speziell interessierende Werte besonders hervorgehoben. So die spezifischen Gewichte der gebräuchlichen Leitermaterialien, die Grenze zwischen Regel- und Weitspannleitung und die sich in der Praxis als am günstigsten erweisenden Montagespannungen bei 10° C. Diese Werte ergeben keine allzu hohen Beanspruchungen der Maste und der Leitermaterialien und führen bei Al-Seilen nicht zu Schwingungen.

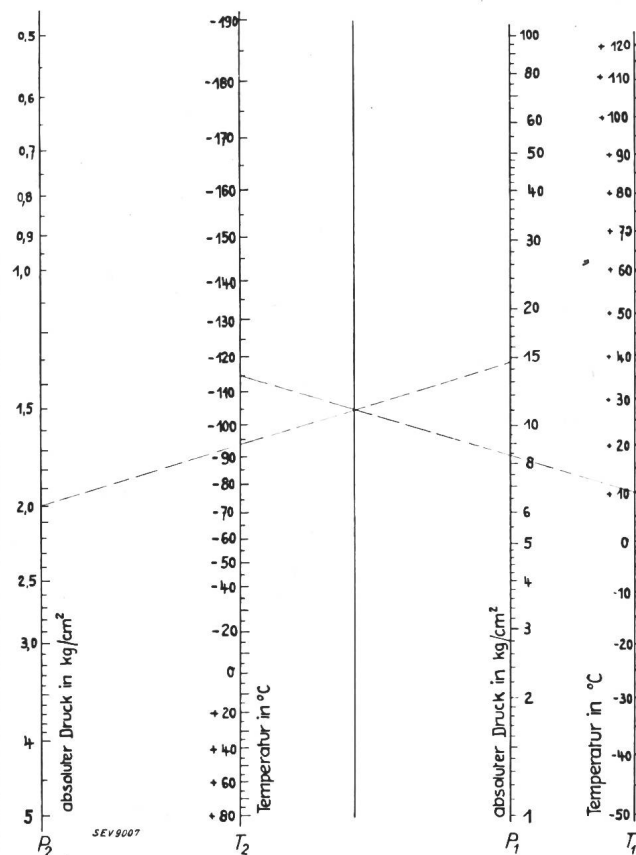


Fig. 8.
Nomogramm für die Gleichung

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

Maßstab 1 : 2,5.

Als letztes Beispiel sei die Gleichung für die adiabatische Zustandsänderung der Luft angeführt (Ausdehnung oder Kompression der Luft ohne Zu- oder Abfuhr von Wärme).

Die bekannte Gleichung lautet:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (10)$$

darin bedeuten:

p_1 den Druck in kg/cm² absolut zu Beginn der Zustandsänderung,

p_2 den Druck in kg/cm² absolut am Ende der Zustandsänderung,

T_1 die absolute Temperatur in Grad zu Beginn der Zustandsänderung,

T_2 die absolute Temperatur in Grad am Ende der Zustandsänderung,

$k \frac{c_p}{c_v} = 1,405$ für Luft.

Durch Einführen einer Hilfsgrösse z wird wieder

$$z = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{0,288} \quad \text{oder} \quad z^{3,46} = \frac{p_1}{p_2} \quad \text{und} \quad z = \frac{T_1}{T_2}$$

woraus man analog wie im vorigen Beispiel nach Wahl der Maßstäbe das Nomogramm Fig. 8 erhält.

Fig. 8 zeigt besonders gut, wie gross die Abkühlung bei adiabatischer Expansion ist. Bei einem abs. Anfangsdruck von beispielsweise 14,5 kg/cm² und 10° C und einem abs. Enddruck von 2 kg/cm² beträgt die neue Temperatur — 114° C, eine Erscheinung, die beim Abschaltvorgang bei den modernen Druckluftschnellschaltern mithilft, die so kurzen Abschaltzeiten zu erreichen, indem sie dazu beiträgt, dass die Isolationsfestigkeit der unter-

brochenen Lichtbogenstrecke schneller ansteigt, als die Spannung wiederkehrt.

Raumeshalber wurde hier darauf verzichtet, die beim erstmaligen Entwurf eines Nomogrammes sich ungünstig ergebenden Kombinationen darzustellen. Es sei aber darauf hingewiesen, dass grosse Ver-

hältnisse $\frac{\alpha}{\beta}$ schlechte Schnittpunkte ergeben und

die Ablesegenauigkeit beeinträchtigen. Ebenso ist es öfters vorteilhaft, im Interesse eines besser passenden Intervalles, eine Gleichung von der Form

$$b = a \cdot c \quad \text{umzustellen und zu schreiben} \quad a = b \cdot \frac{1}{c}$$

wobei dann der Maßstab für b grösser und für a kleiner gewählt werden kann.

Les usines hydroélectriques du bassin du Rhône.

621.311.21(44)

I. Introduction.

A 37 km de sa source, le Rhône, jeune et impétueux torrent alpin, livre déjà 7700 kW (usine de Massaboden) que les CFF utilisent en grande partie pour la traction dans le tunnel du Simplon. Alimenté de part et d'autre par de nombreux torrents, le Rhône grandit vite et parcourt la large vallée du Valais. A Martigny, il tourne à angle droit, passe le défilé de Saint-Maurice, puis gagne le Lac Léman où s'accumulent 843 000 000 m³ d'eau. Il lui faut alors franchir le Jura dans une vallée étroite et encaissée. Après quelques brusques changements de direction, le Rhône arrive enfin à Lyon, d'où il se dirige définitivement vers le Sud. Du glacier du Rhône (1754 m d'altitude) à son embouchure dans la Mer Méditerranée, le Rhône parcourt 860 km, dont 480 km en France. A Massaboden (alt. 739 m), son débit moyen est de 5 à 13 m³/s, à Génissiat de 400 m³/s et à Arles de 1430 m³/s. La puissance installée dans l'ensemble du bassin du Rhône peut être estimée à environ 2 400 000 kW (y compris Verbois et Génissiat) et la puissance susceptible d'être aménagée à environ 2 200 000 kW.

II. Le Rhône suisse.

De Massaboden à Chancy-Pougny, c'est-à-dire sur son parcours suisse, le Rhône et ses affluents alimentent 43 usines d'une certaine importance (de plus de 200 kW), sans compter l'usine du Verbois en construction. Sur ce parcours, la dénivellation du Rhône est de 390 m. La puissance installée des usines hydroélectriques suisses du Rhône et de ses affluents peut être estimée à environ 560 000 kW (dont 400 000 kW au Valais, 30 000 kW dans le Canton de Vaud et 130 000 kW dans le Canton de Genève, y compris l'usine du Verbois en construction). Les extensions prévues dans les usines du Valais totaliseront 133 000 kW. La puissance totale atteindra ainsi près de 700 000 kW. Sur le Rhône lui-même, nous rencontrons tout d'abord l'usine de Massaboden de 7700 kW, avec une chute nette de 40 m et une retenue de 8000 m³, non loin de l'usine de Naters (320 kW), qui utilise l'eau du Kelchenbach avec une chute de 126 m. Sur la Viège, l'usine d'Ackersand fournit 22 000 kW avec une chute de 670 m pour l'industrie électrométallurgique (Lonza). Zermatt possède 2 usines, l'une sur le Triftbach (410 kW, chute de 230 m) alimentant le chemin de fer du Gornergrat, et l'autre sur le Findelenbach (136 kW, extension prévue à 736 kW, chute de 100 m). Viennent ensuite, sur la rive droite du Rhône, les 2 usines de Gampel sur la Lonza, l'une de 2750 kW, chute de 100 m, et l'autre de 5000 kW, chute de 218 m. Sur la rive gauche, le Turttmannbach et les lacs d'Ill et de Meretschi (5 000 000 m³) alimentent les usines de Turttmann (3000 kW, extension prévue à 15 000 kW, chute de 697 m) et d'Oberems (2000 kW, extension prévue à 7500 kW, chute de 886 m). Sur la Dala (affluent de la rive droite) l'usine de la Dala fournit 3700 kW avec une chute de 640 m. A Chippis, il existe 2 usines, l'une sur le Rhône

(9000 kW, extension prévue à 38 000 kW, chute de 79 m) et l'autre sur la Navizence (5000 kW, extension prévue à 24 000 kW, chute de 565 m). Sur le cours supérieur de la Navizence (Val d'Anniviers), l'usine de Vissoye fournit 650 kW (extension prévue à 1250 kW) avec une chute de 78 m. Près de Sion, sur la Lienne se trouvent une usine de 3270 kW, chute de 127 m, et une usine de 325 kW, chute de 207 m, qui sert de réserve à la première. Le Lac des Audannes permettrait une retenue de 6 à 8 000 000 m³ et l'installation d'une troisième usine, qui porterait la puissance totale à 7500 kW pendant toute l'année. Sur la Borgne, l'usine de Bramois fournit 4500 kW (plus tard 23 000 kW) avec une chute de 367 m, tandis qu'une petite chute de 10 m est utilisée par l'usine de Sauterot (100 kW).

La Dixence¹⁾ affluent de la Borgne a été barrée dans la partie supérieure du Val d'Héremence (Lac du Val des Dix, 48 000 000 m³). Par une chute brute de 1750 m, utilisée en un seul palier et de ce fait la plus élevée du monde, cette retenue alimente par une galerie d'amenée de 12 km et deux conduites forcées de 5,5 km, l'usine de Chandoline, située dans la vallée du Rhône, non loin de Sion. Cette usine est équipée de 5 groupes principaux de 30 000 kW chacun, produisant 120 000 kW sous une tension de 12 000 V. L'usine de la Dixence est l'œuvre maîtresse de M. Landry, directeur de l'E.O.S. et recteur de l'Université de Lausanne, récemment décédé. Quand elle sera entièrement achevée, cette usine pourra développer 160 000 kW.

Sur le Prince, l'usine d'Aproz utilise une chute de 460 m et fournit 900 kW (extension future à 5500 kW). Les eaux de la Drance de Bagnès alimentent l'usine de Champsec (9 000 kW) avec une chute de 540 m, celles de la Drance d'Entremont et de la Drance de Ferret l'usine d'Orsières²⁾ de 12 200 kW, chute de 383 m. Près du confluent des deux Drances, l'usine de Sembrancher (7600 kW, chute de 169 m) utilise les eaux du Lac d'Arnon avec une chute de 587 m. Près de l'embouchure de la Drance se trouve l'usine de Martigny (15 000 kW, chute de 180 m). Sur la rive droite du Rhône, le lac de Fully (3 000 000 m³) alimente l'usine de Fully avec une chute de 1630 m (record battu par la chute de la Dixence), qui fournit 8800 kW avec un débit de 0,8 m³/s.

La Barberine et le Nant de Drance alimentent l'usine de Barberine, construite en 1929—35 pour les CFF, 46 000 kW, courant monophasé 15 000 V, 16²/₃ pér./s, chute de 735 m, retenue de 39 000 000 m³. Les CFF possèdent également l'usine de Vernayaz, qui utilise les eaux de l'Eau Noire, du Trient et du Triège (85 000 kW, 6 turbines Pelton de 12 500 kW, alternateurs monophasés de 12 500 kVA, 15 000 V, chute de 630 m, retenue de 45 000 m³), tandis que sur la Salanfe, la Soc. des Usines électriques de la Lonza possède une autre

¹⁾ Rev. Techn. Sulzer 1933, n° 3.

²⁾ Bull. Techn. Suisse Romande 1934, nos 5, 7, 9, 10, 12, 14 et 15.