

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 34 (1943)
Heft: 12

Artikel: Elektrische Erwärmung von Drähten und Platten
Autor: Kussi, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057732>

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: 13.01.2026

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

Statistik des Verkaufes elektrischer Wärmeapparate für den Haushalt in der Schweiz im Jahre 1942¹⁾

Vom Sekretariat des Schweiz. Wasserwirtschaftsverbandes, Zürich (A. Härry)

31 : 621.364.5(494)

An der Erhebung für das Jahr 1942 beteiligten sich 50 Firmen gegenüber 51 im Jahre 1941. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst. Sie umfassen nur Apparate, die in der Schweiz hergestellt und verkauft wurden, also weder den Import noch den Export.

Statistik des Verkaufes elektrischer Wärmeapparate für den Haushalt in der Schweiz durch die schweizerischen Fabriken elektrothermischer Apparate

	Zahl der Apparate		Anschlusswert in kW	
	1941	1942	1941	1942
Kochherde mit Backofen	21 081	22 661	143 900	149 543
Réchauds (ohne Ersatzplatten)	10 653	26 119	21 284	41 412
Schnellkocher, Tee- u. Kaffeemaschinen	20 501	30 549	9 074	14 838
Brotröster	4 760	5 866	2 390	2 728
Bügeleisen	51 185	52 188	22 926	23 596
Heizöfen:				
a) Schnellheizer	12 577			20 360
b) Wasser- und Oelradiatoren	50 829	2 664	74 174	3 643
c) Akkumulieröfen	1 791	216	3 162	519
Strahler	15 158	6 198	14 827	6 100
Heisswasserspeicher	17 263	14 791	26 726	23 162
Patisserie- und Backöfen	79	98	1 426	2 020
Kochkessel	259	271	2 734	3 051
Waschkessel und Waschmaschinen	338	164	2 621	1 339

	Zahl der Apparate		Anschlusswert in kW	
	1941	1942	1941	1942
Wärme- und Trockenschränke	236	370	725	1 207
Futterkocher	143	89	335	294
Div. Apparate (Hausbacköfen, Grills, Bratpfannen, Durchlauferhitzer, kl. Heizapparate, Dörrapparate, Medizin. Apparate, Autokühlerwärmern und ähnliche)	55 849	51 482	64 971	41 013
Total	250 125	226 303	391 275	334 825

Aus der Tabelle geht hervor, dass die Gesamtzahl der verkauften Apparate im Jahre 1942 rund 226 000 betrug gegenüber 250 000 im Jahre 1941, der Minderverkauf beträgt also 24 000 Apparate. Trotzdem ist die Zahl der verkauften Apparate im Jahre 1942 etwa doppelt so hoch wie im Durchschnitt der Jahre 1930—1939. Eine Zunahme gegenüber 1941 weisen die Kochherde mit Backofen, namentlich aber die Réchauds, ferner die Schnellkocher, Tee- und Kaffeemaschinen auf; zurückgegangen ist vor allem der Verkauf von Heizapparaten aller Art, nämlich von 68 000 auf 22 000 Stück, diese Zahl ist aber immer noch dreimal so gross wie das Mittel der Periode 1930—1939.

¹⁾ 1941 siehe Bull. SEV 1942, Nr. 14, S. 394.

Elektrische Erwärmung von Drähten und Platten

Von W. Kussi, Bussum.

621.3.017.71 : 621.64.14

Es wird zunächst die Wärmestrahlung einer Drahtlocke und eines freiausgespannten Drahtes behandelt. Dann wird dargelegt, dass durch die Grenzluftschicht das Problem des Wärmeüberganges an einem Draht zum reinen Wärmeleitungssproblem wird. Die Grenzschichtdicke wird in freier Luft und in geschlossenen Räumen berechnet. Durch Versuche und Rechnung wird nachgewiesen, dass die Wärmeleistung durch Strahlung im Verhältnis zu der durch Leitung bei niedrigen Temperaturen (bis ca. 600° C) vernachlässigbar klein ist. Eine exakte Gleichung über die Abhängigkeit der Temperatur eines mit konstanter Stromstärke beheizten homogenen Körpers von der Zeit wird aufgestellt. Die Wärmeabgabeziffer, der nur eine beschränkte Bedeutung zukommt ist nicht konstant, sondern temperaturabhängig. Sodann wird eine Gleichung über das Verhältnis der Stromstärken, die in Drähten von verschiedenen Durchmessern gleiche Endtemperaturen hervorbringen, aufgestellt und durch Versuche bestätigt. Die vollständige Gleichung des Wärmeüberganges unter Berücksichtigung der Strahlung für homogene Platten und Drähte wird graphisch gelöst. Zum Schluss wird der intermittierende Betrieb und der Abkühlungsvorgang behandelt.

a) Wärmestrahlung

Die durch Wärmestrahlung abgegebene Wärmeleistung ist nach dem Gesetz von Stefan-Boltzmann

$$P_{Str} = e A C_s \left(\frac{T^4}{100^4} - \frac{T_0^4}{100^4} \right) \quad (1)$$

Apres avoir traité du rayonnement thermique d'un fil bouclé et d'un fil tendu, l'auteur montre que, du fait de la couche d'air environnante, le problème de la transmission de la chaleur d'un fil se ramène à un problème de simple conduction thermique. Puis, ayant déterminé l'épaisseur de cette couche en plein air et en local fermé, il prouve par des essais et des calculs que la puissance thermique rayonnée est négligeable par rapport à la puissance transmise par conduction, dans le cas de basses température (jusqu'à environ 600° C). Il établit alors une formule précise de la température d'un corps homogène chauffé par un courant d'intensité constante, en fonction de la durée. Le coefficient de transmission thermique, qui n'a qu'une importance secondaire, n'est pas constant, mais varie avec la température. L'auteur établit ensuite une formule pour le rapport des intensités du courant, capables d'amener à la même température finale des fils de diamètres différents. L'exactitude de cette formule est confirmée par des essais. L'équation complète de la transmission de chaleur est résolue graphiquement, pour le rayonnement de plaques et de fils homogènes. Enfin, l'auteur traite du régime intermittent et du refroidissement.

wo C_s die Strahlungskonstante = 5,77 W/m² (°K)⁴, T die absolute Temperatur in Grad Kelvin und e eine Materialkonstante darstellt, die experimentell gefunden ist.

$$e = 0,1 \quad (2)$$

für Konstantan, Kupfer, Messing etc., gezogen oder gewalzt. A ist die Strahlungsfläche in m^2 . Bei der Festlegung der Strahlungsfläche müssen die Flächen ausgeschieden werden, die sich gegenseitig bestrahlen. Die auszuscheidenden Flächen sind um so grösser, je enger der Draht gewickelt ist. Für geradlinig ausgespannte Drähte ist also die Strahlungsfläche

$$A_{ger} = 2 \pi r l \quad (3)$$

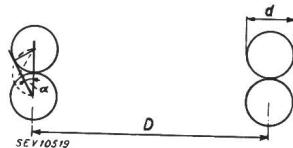
r Drahtradius, l Drahtlänge, $d = 2r$.

Für Locken mit einer Steigung $C = h/n$, wo h die Lockenhöhe, n die Windungszahl bedeutet, gilt nach Fig. 1 (angenähert, da ein kleiner Zwischenraum zwischen den Windungen vorhanden sein muss), folgendes:

Die Länge der Locke ist

$$l = \sqrt{(D-d)^2 + h^2/\pi^2 n^2} \pi n \quad (4)$$

wo D der Lockendurchmesser ist.



Die Innenflächen bestrahlen sich gegenseitig, zum Teil jedoch auch die Außenflächen, und zwar nach Fig. 1 die Bögen von $2 \times 30^\circ$, da

$$\alpha = \frac{\pi}{6} \quad (5)$$

Die Strahlungsaussenfläche beträgt also

$$A = 1,05 ld \quad (6)$$

Eine Locke mit der Steigung $C = h/n = md$ und dem Durchmesser D hat folgende Strahlungsfläche:

$$A = A_{Innen} + A_{Aussen} \quad (7)$$

Die Strahlungsinnenfläche errechnet sich aus Fig. 2 zu:

$$A_{Innen} = \frac{ld [\pi - 2\alpha - 4(\gamma + \varepsilon + \zeta \dots)]}{2 \cdot \pi} \quad (8)$$

und es ergibt sich:

$$\sin \gamma = \frac{d}{2 \sqrt{D^2 + (md/2)^2}} \quad (9a)$$

$$\sin \varepsilon = \frac{d}{2 \sqrt{D^2 + [(m+2)d/2]^2}} \quad (9b)$$

$$\sin \zeta = \frac{d}{2 \sqrt{D^2 + [(m+4)d/2]^2}} \quad (9c)$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{2m} \quad (9d)$$

Die Strahlungsaussenfläche ist nach Fig. 2

$$A_{Aussen} = \frac{(\pi - 2\alpha) ld}{2} \quad (10)$$

(α im Bogenmass)

$$\sin \alpha = 1/2m \quad (11)$$

wie bei der Strahlungsinnenfläche.

Für eine Locke mit den Abmessungen $d = 2,5 \text{ mm}$; $h = 300 \text{ mm}$; $n = 20$; $D = 20 \text{ mm}$; $m = 6$ ergibt sich danach $A = 1,75 ld = 79 \text{ cm}^2$. Die durch Strah-

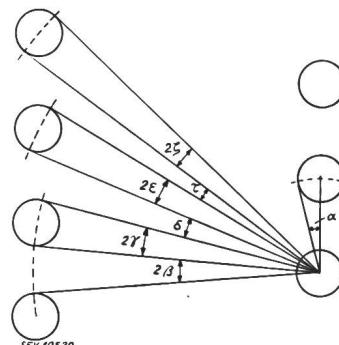


Fig. 2.

Drahtlocke

mit Zwischenraum gewickelt

lung abgegebene Wärme pro cm Länge und Sekunde beträgt bei 20°C Raumtemperatur bei dieser Locke in freier Luft:

Tabelle I.

$\vartheta \text{ } 0^\circ \text{ C}$	100	200	300	400	500	600
$P_{St} \text{W/cm}$	0,005	0,013	0,028	0,051	0,09	0,145

Bei Drähten, die in eng begrenzten Räumen untergebracht werden, ist mit einer durchschnittlichen Strahlungskonstante zu rechnen¹⁾.

b) Konvektion und Wärmeleitung

Am Draht haftet eine dünne Luftsicht. In dieser findet allein Wärmeleitung statt, da durch die Adhäsionskräfte eine Bewegung der Luftteilchen verhindert wird. Die Dicke dieser Luftsicht berechnet sich nach der Formel von Langmuir²⁾. An ihrer Grenze beginnt die Turbulenz. Man kann sich auf die Betrachtung der Grenzschicht beschränken. Das Problem des Wärmeüberganges durch Leitung und Konvektion wird zum reinen Wärmeleitungsproblem.

Bezeichnet man mit λ die Wärmeleitfähigkeit, mit B die Grenzschichtdicke einer ebenen Platte, so gilt im stationären Zustand für die pro cm Länge durch Leitung und Konvektion abgegebene Wärme folgende Gleichung:

$$P_{LK} = P_{Zugef} - P_{Str} = \frac{s}{B} \int_{T_1}^{T_2} \lambda \, dT \quad (12)$$

Bezeichnet man mit φ_1 und φ_2 die Integralfunktionen, so gilt nach Langmuir:

$$P_{LK} = s/B (\varphi_2 - \varphi_1) \quad (13)$$

Anderseits gilt nach Langmuir, wenn s die Fläche in der Entfernung x , in der Wärmeleitung stattfindet, bezeichnet und aus der bekannten Gleichung der Wärmeleitung:

$$P_{LK} \text{ (für die gesamte Länge)} = \int \frac{\lambda \, dT}{\int \frac{dx}{s}} \quad (14)$$

¹⁾ S. z. B. Hütte Bd. 1. Ausg. 1941, S. 600.

²⁾ Phys. Review 1912.

Für einen Draht erhält man nun

$$s = 2 \pi l x \quad (15)$$

und in Verbindung mit Gleichung 12 ergibt dies:

$$P_{LK} = \frac{\int \lambda dT}{\int \frac{dx}{s}} = \frac{2 \pi l}{\ln b/d} \int \lambda dT \quad (16)$$

$$s = \frac{2 \pi}{\ln b/d} \quad (17)$$

Durch Vergleich der Formeln für die ebene Platte und den runden Draht kann man folgendes Verhältnis finden:

x Entfernung einer Isotherme von der Platte;
 r Entfernung einer Isotherme vom Drahtmittelpunkt.
Der Temperaturgradient ist unabhängig vom Durchmesser; also gilt innerhalb des Films

$$dr = \frac{r}{b/2} dx; \quad \int_a^b \frac{dr}{r} = \int_o^B \frac{dx}{b} \quad (18)$$

$$\ln b/d = 2 B/d \quad (19)$$

durch Vergleich mit Gleichung 13 ergibt sich nach Langmuir folgende Gleichung:

$$d/B = \frac{s}{\pi} e^{-\frac{2\pi}{s}} \quad (19)$$

Die Versuche sind sehr sorgfältig auszuführen, da kleine Fehlmessungen schon ziemlich starke Veränderungen von B hervorrufen.

Tabelle II.

d mm	T $^{\circ}$ K	$I^2 R = (P)$ W	$\varphi_2 - \varphi_1$	s	d/B	B mm	Versuch
2,5	373	0,21	0,021	10	1,69	1,5	Schmöle Metallwerke
2,5	573	0,72	0,089	8	1,19	2,1	
1	373	0,10	0,021	4,9	0,44	2,3	
2,5	528	0,68	0,071	9,5	1,56	1,6	Verfasser
2,2	395	0,29	0,029	10	1,69	1,3	
1,8	443	0,42	0,044	9,4	1,54	1,2	

Der Durchschnitt ist also $B = 1,7$ mm (abweichend von Langmuir). Die Filmschichtdicke eines Drahtes errechnet sich nach Formel 19 in freier Luft wie folgt:

Tabelle III.

d mm	0,5	1	1,5	2,0	2,5	3,0	mm
b	2,25	3,05	3,70	4,35	4,95	5,55	mm

Als Näherungsformel kann auf Grund dieser Tabelle gesetzt werden für Drähte zwischen 0,5 und 3,0 mm in freier Luft:

$$b = 1,6 + 1,3 d \text{ mm} \quad (20)$$

während man für Drähte mit grossem Durchmesser dieselbe Formel wie für Platten verwenden kann:

$$b - d = 2 B \quad (21)$$

Es ergibt sich für den unter a) in seinen Abmessungen gekennzeichneten Draht nach Gleichung 16 für durch Leitung und Konvektion abgegebene Wärme:

Tabelle IV.

$^{\circ}$ C	(Watt/cm $^{\circ}$ K)	λ_{med} (Watt/cm $^{\circ}$ K)	abgeg. Wärme (Watt/cm)
20	0,000256	0,000256	—
100	0,000310	0,000283	0,24
200	0,000368	0,000310	0,55
300	0,000425	0,000340	0,95
400	0,000480	0,000368	1,35
500	0,000535	0,000395	1,86
600	0,000585	0,000420	2,45

Durch Vergleich dieser Werte mit denen für die Strahlung (Tabelle I) ergibt sich, dass bei Temperaturen bis zu ca. 600° C die Verluste durch Strahlung neben denen durch Leitung und Konvektion vernachlässigt werden können. Für die Wärmeleitzahl λ der Luft kann im Bereich von Temperaturen zwischen 20° C und 800° C näherungsweise gesetzt werden:

$$\lambda = \lambda_{20} \left(1 + 0,24 \frac{T - T_0}{100} \right) \quad (22)$$

wo λ_{20} die Wärmeleitfähigkeit bei Zimmertemperatur ist (20° C). Man kann bei einer anderen Umgebungstemperatur T_0 auch von einem anderen λ_0 ausgehen.

Allgemein gilt folgende Gleichung:

Zugef. Wärme = Wärme z. Temperaturerhöhung + drch. Leitg. u. Konv. + drch. Str. abgeg. Wärme abg. Wärme

$$I^2 R dt = c G dT + dP_{LK} + P_{Str} dt \quad (23)$$

c spez. Wärme (für Konstantan = 400 Ws/kg $^{\circ}$ C),
 G Gewicht (kg)

$$dP_{LK} = \frac{2 \pi l}{\ln \frac{b}{d}} dt \int_{T_0}^T \lambda dT = \frac{2 \pi l}{\ln \frac{b}{d}} dt (T - T_0) \lambda_{med} = \\ = \frac{2 \pi l}{\ln \frac{b}{d}} dt \lambda_0 (T - T_0) \left(1 + 0,24 \frac{T + T_0 - 546}{200} \right) \quad (24)$$

Die hier angegebene Bestimmung des Mittelwertes von λ ist zulässig, da λ eine lineare Funktion von T ist.

Für ebene Platten oder Drähte mit grossem Durchmesser gilt entsprechend:

$$dP_{LK} = \frac{O}{B} \lambda_0 dt (T - T_0) \left[1 + \frac{0,24}{200} (T + T_0 - 546) \right] \quad (25)$$

Hierbei ist O die Oberfläche des Körpers.
 P_{Str} errechnet sich nach Formel 1.

Die Differentialgleichung 23 hat unter Berücksichtigung von 24 für einen Draht folgendes Lösungsintegral:

$$t = \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{c G d \tau}{I^2 R - \frac{2 \pi l}{\ln \frac{b}{d}} \lambda_0 \left(1 + 0,24 \frac{\tau + \tau_0}{200} \right) (\tau - \tau_0)} \quad (26)$$

τ Temperatur in °C.

Wählt man die Umgebungstemperatur zum Nullpunkt, $\tau_0 = 0$, dann erhält man:

$$t = \frac{c G}{2 \pi l \lambda_0} \int_{\ln b/d}^{\tau} \frac{d \tau}{I^2 R \ln b/d - \tau - 0,0012 \tau^2} \quad (27)$$

Bezeichnet man nun mit:

$$N = - \frac{\lambda_0^2 \pi l M}{c G \ln \frac{b}{d}} \quad (28)$$

$$M = \sqrt{\frac{I^2 R 0,0012 \ln b/d}{2 \pi l \lambda_0} + \frac{1}{4}} \quad (29)$$

dann ergibt sich, wenn man sich den Nenner des Integrals 27 von der Form $a + 2ax + cx^2$ denkt, da $ac - b^2$ immer kleiner als 0 ist (b^2 ist stets positiv, a ebenfalls, c dagegen stets negativ),

$$t = \frac{1}{N} \operatorname{Arctg} \frac{-0,5 - 0,0012 \tau}{M} + C \quad (30)$$

$$-0,5 - M \operatorname{tg} N(t - C) = 0,0012 \tau \quad (31)$$

für $\tau = 0$ gilt $t = 0$, daher

$$C = \frac{1}{N} \operatorname{Arctg} \frac{1}{2M} = \frac{P}{N} \quad (32)$$

$$Nt - P = \operatorname{Arctg} \frac{-0,5 - 0,0012 \tau}{M} \quad (33)$$

$$\tau = 833 [-0,5 - M \operatorname{tg}(Nt - P)] \quad (34)$$

Für $\tau = \infty$ erhält man:

$$\tau_{max} = -416,5 + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{I^2 R 0,0012 \ln b/d}{\lambda_0 2 \pi l}} 833 \quad (35)$$

In ähnlicher Weise errechnet sich die Maximaltemperatur und der Temperaturverlauf einer ebenen Platte, man muss nur in M und N an Stelle $\ln b/d$ die Grösse B/O einsetzen,

$$\tau_{max} = -416,5 + 833 \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{0,0012 I^2 R B}{\lambda_0 O}} \quad (36)$$

An Stelle der Formeln 35 und 36 kann auch mit den Durchschnittsleitfähigkeiten gerechnet werden, und man erhält für die Platte:

$$\frac{I^2 R B}{O \lambda_{med}} = \tau_{max} \quad (37)$$

Diese Formel stimmt mit der bekannten Formel überein, die sich aus der Annahme einer von der

Temperatur unabhängigen konstanten Wärmeabgabeziffer a ergibt. Die physikalische Bedeutung der Grösse λ_{med}/B ist aber hier eine ganz andere als die von a . Sie ergibt sich hier aus rein geometrischen Bedingungen und gilt daher nicht für Drähte. Die Grösse λ_{med}/B ist auch von der Temperatur abhängig. Sie ist eine gute physikalische Erklärung der früher so viel verwandten und schlecht erklärten Wärmeabgabeziffer. In freier Luft gilt:

Tabelle V.

Uebertemperatur: a (W/m ² °C) . .	35° C	60° C	80° C	130° C	180° C
	15	15,5	16	16,7	17,6

Die Grenzschichtdicke beträgt nach Versuchen des Verfassers in einem Kasten aus gelochtem Blech, mit Löchern von $0,8 \times 0,8$ cm und Blechzwischenräumen von 0,4 cm und den Gesamtmassen von $8,2 \times 8,2 \times 34,2$ cm³ bei 1 mm Blechstärke, oben und unten mit Schiefer abgedeckt, 0,30 cm. In einem ebensolchen und in gleicher Weise abgedeckten Kasten aus Vollblech von 1 mm Blechstärke war sie 0,6 cm.

Wenn der Durchmesser einer Spirale gegenüber dem Drahtdurchmesser gross ist, oder die Steigung C/n viel grösser als b , so spielt die spiralförmige Aufhängung keine Rolle. Bei einer Wicklung mit geringer Steigung liegen die Filme eines Drahtes zweier Windungen ganz oder teilweise ineinander; die Temperatur steigt dann. Man muss bei einer solchen Anordnung eine Durchschnittsfilm schichtdicke empirisch ermitteln. Dieser kommt allerdings mehr die Bedeutung eines rechnerischen Hilfsmittels zu aber nicht die der wirklich vorhandenen Grenzschicht eines frei aufgehängten Drahtes oder eines solchen mit grosser Steigung.

Die Filmschichtdicke B beträgt bei einem normalen Anlasser in gelochtem Blech etwa 0,2 bis 0,25 cm und in einem solchen aus Vollblech etwa 0,4 bis 0,5 cm.

Auch die Formel 35 lässt sich entsprechend vereinfachen, wenn man mit den Durchschnittsleitfähigkeiten rechnet.

$$\tau_{max} = - \frac{I^2 R \ln b/d}{2 \pi l \lambda_{mittel}} \quad (38)$$

Für das Verhältnis der Stromstärken, die in Drähten von verschiedenen Durchmessern die gleiche Endtemperatur hervorbringen, ergibt sich:

$$\frac{I_1^2}{I_2^2} = \frac{d_1^2 \ln b_2/d_2}{d_2^2 \ln b_1/d_1} \quad (39)$$

Versuchsergebnisse, die teilweise der Verfasser und teilweise die Firma Schmöle Metallwerke, Berlin, erzielt haben, zeigen folgendes Bild:

Tabelle VI.

d	1	2	3	0,5	1,8	2,5	mm Durchmesser
I	4,0	10,5	19,0	1,6			A bei 80° C Uebertemp.
I					15,0		A " 150° C "
I						15,0	A " 235° C "
I	5,7	14,5	26,5	2,3			A " 180° C "
I	7,5	19,0	33,0	3,0			A " 280° C "

Aus der Rechnung ergibt sich:

Tabelle VII.

<i>d</i>	1	2	3	0,5	1,8	2,5	mm Durchmesser
I	4,2	10,3	17,7	1,8	12,8		A bei 80° C Uebertemp.
I						14	A „ 150° C „
I							A „ 235° C „
I	6,5	15,8	27,4	2,8			A „ 180° C „
I	8,5	20,4	36,5	3,6			A „ 280° C „

Entsprechende Tabellen (III) lassen sich auch für andere Kühlungsarten als in freier Luft aufstellen:

Für $B = 0,25$ cm:

Tabelle VIII

<i>d</i>	0,5	1	1,5	2,0	2,5	3,0 mm
b	2,8	3,7	4,5	5,2	5,9	6,4 mm

Angenähert gilt demnach im Bereich zwischen $d = 0,5$ und $d = 3$ mm:

$$b = 2,1 + 1,4 d \quad (40)$$

und für $B = 0,45$ cm:

Tabelle IX

<i>d</i>	0,5	1	1,5	2,0	2,5	3,0 mm
b	4,2	5,3	6,2	7,0	7,9	8,6 mm

Angenähert gilt daher im Bereich zwischen 0,5 und 3 mm Durchmesser:

$$b = 3,4 + 1,7 d \quad (41)$$

c) Vollständige Behandlung des Erwärmungsproblems eines homogenen Drahtes und einer ebenen Platte

Das Integral der Gleichung 23 unter Berücksichtigung von P_{Str} lautet:

$$t = \int_{T_0}^T \frac{c G d T}{I^2 R - \frac{2 l \pi}{\ln b/d} \lambda_0 [1 + 0,0012 (T + T_0 - 546) (T - T_0)] + e C_s \frac{A}{100^4} (T_0^4 - T^4)} \quad (42)$$

Die exakte Auflösung dieses Integrals durch Partialbruchzerlegung ist zu umständlich. Zweckmäßig wird die Lösung graphisch durchgeführt. Man führt folgende Größen ein:

$$U = I^2 R + 2 \frac{l \pi}{\ln b/d} \lambda_0 (T_0 + 0,0012 T_0^2 + 0,65 T_0) + e C_s A \frac{T_0^4}{10^8} \quad (43)$$

$$V = - \frac{2 \pi l}{\ln b/d} \lambda_0 0,35 \quad (44)$$

$$W = - 0,0012 \frac{2 \pi l}{\ln b/d} \lambda_0 \quad (45)$$

$$X = - e C_s A \cdot 10^{-8} \quad (46)$$

und man erhält:

$$t = c G \int_{T_0}^T \frac{dT}{U + VT + WT^2 + XT^4} = c G \int_{T_0}^T \frac{dT}{\varphi(T)} \quad (47)$$

Durch Annahme verschiedener Werte von T wird eine Kurve $\varphi(T)$ gewonnen. Für den Wert $\varphi(T) = 0$, das heißt $U = VT + WT^2 + XT^4$ ist die zugeführte = der abgeführten Wärme. Dieser Wert gibt die Maximaltemperatur, bei der Beharrungszustand herrscht, an. Soll die ganze Erwärmungskurve bestimmt werden, so bilde man nun zwischen den Grenzen des Integrals 47 die Funktion $1/\varphi(T)$, integriere diese Kurve und multipliziere das Integral mit $c G$ (Fig. 3).

Ein Beispiel soll dies erläutern:

Für die im Abschnitt «Strahlung» beschriebene Locke ergeben sich für einen Strom von 32 A:

$$U = 267 \text{ W}, V = -0,132 \text{ W/K}, W = -0,046 \text{ W/K}^2, X = -4,5 \cdot 10^{-11} \text{ W/K}^4.$$

Tabelle X

<i>T</i>	<i>VT</i>	<i>WT</i>	<i>XT</i>	$\varphi(T)$	$\frac{10}{\varphi(T)}$	Sekunden
293	39	39,5	0,5	188	0,05	—
343	45	53	0,5	168	0,06	9,3
393	52	71	1,0	143	0,07	19,3
443	58	90	1,5	117	0,08	31
493	65	111	2,5	90	0,11	45,5
543	72	157	3,5	54	0,19	68,5
593	78	160	5,5	24	0,41	115
630	81,5	174	6,5	1	10	175
643	82	188	7,0	—	—	über Höchsttemperatur

Die Höchsttemperatur liegt bei 631° K.

Zum Vergleich sei das Versuchsergebnis des Verfassers herangezogen:

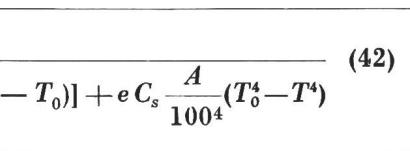
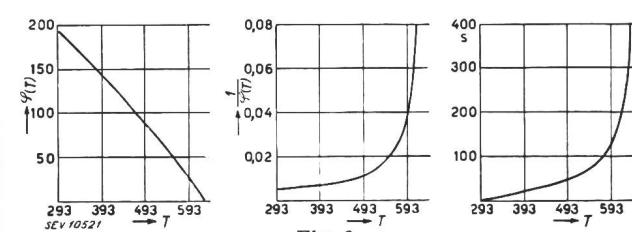


Tabelle XI

Sekunden:	30	45	60	75	90	120	150	180	210	240	270
Ueb'temp.:	112	162	211	242	277	303	329	335	347	353	353

Die Übereinstimmung zwischen der errechneten und gemessenen Kurve ist sehr gut.



Beispiel der rechnerischen Ermittlung der Erwärmungskurve

d) Abkühlung und intermittierender Betrieb

In der Gleichung 23 ist $I^2 R = 0$ zu setzen. Unter Vernachlässigung der Strahlung ergibt sich dann:

$$t = \frac{cG}{2\pi l \lambda_0} \int_{\tau_{max}}^0 \frac{d\tau}{(1 + 0,0012 \tau) \tau} \quad (48)$$

$$t = \frac{cG \ln b/d}{2\pi l \lambda_0} \frac{1}{2} \operatorname{Ar} \operatorname{Tg}(1 + \tau) + C \quad (49)$$

Da für $t = 0$ $\tau = \tau_{max}$ wird:

$$t = \frac{cG \ln b/d}{2\pi l \lambda_0} \frac{1}{2} [\operatorname{Ar} \operatorname{Tg}(1 + \tau) - \operatorname{Ar} \operatorname{Tg}(1 + \tau_{max})]$$

Unter Berücksichtigung der Strahlung gilt auch hier die Formel 42, jedoch ist zu beachten, dass $I^2R = 0$ und für $t = 0$ $\tau = \tau_{max}$. Für $T = T_0$ wird $\varphi(T) = 0$ und damit das Integral 42 = ∞. Die Konstruktion der Abkühlungskurve erfolgt in gleicher Weise wie die Konstruktion der Erwärmungskurve.

Die Bestimmung der Erwärmung bei intermittierendem Betrieb erfolgt in folgender Weise am einfachsten:

Man fertigt eine Schablone der Erwärmungskurve für die Stromstärke, mit der der Draht oder die Platte erwärmt wird, an. Dann zeichnet man die Erwärmungskurve für die erste Einschaltzeit t_1 bis zur Temperatur τ_1 , sodann berechne man die Abkühlungskurve bis zu t_2 und erhält τ_2 . Man verschiebt dann die Erwärmungsschablone längs der t -Achse, bis sie das Abkühlungskurvenstück in dem Punkt $t_2 \tau_2$ schneidet und geht längs der Erwärmungskurve bis zum Punkt $t_3 \tau_3$; das Verfahren wird fortgesetzt, bis Beharrungszustand eintritt.

Berichtigung

10 Jahre Doppelwendellampen für allgemeine Beleuchtungszwecke

Von W. Geiss, Eindhoven

Bulletin SEV 1943, Nr. 11, S. 316

Auf Seite 317, Spalte rechts, sind die untersten 8 Zeilen und die Fussnote ¹²⁾ und auf Seite 318, Spalte links, die obersten 4 Zeilen zu streichen.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

De quelques travaux exécutés récemment par la Société romande d'électricité

[P. Payot, Bull. techn. Suisse rom., Bd. 69 (1943), No. 9]
621.311(494)

La Société romande d'électricité (SRE) a pris, ces dernières années, un certain nombre de mesures tendant à augmenter ses disponibilités en énergie électrique. Ces différents travaux ont procuré approximativement 1,7 millions de kWh d'hiver et 4,5 millions de kWh d'été, soit au total un peu plus de six millions de kWh annuellement.

Citons pour mémoire la modification de la prise d'eau du lac Tanay dont le volume est de 2 millions de m³, représentant environ 3,5 millions de kWh. Le tunnel reliant la prise d'eau à la galerie d'aménée au château d'eau a été remplacé en 1934 par une nouvelle galerie de prise à une cote inférieure, augmentant ainsi la tranche d'eau utilisable de 4 m environ. Il en résulte approximativement 400 000 kWh d'hiver supplémentaires. La hauteur de la tranche d'eau utilisable est maintenant de 22 m.

A la centrale de Vouvry, qui utilise l'eau du lac Tanay sous une chute de 920 m, on remplaça successivement dans les années 1940 et 1941 deux des plus anciennes turbines de l'usine qui dataient respectivement des années 1905 et 1907. L'amélioration de rendement obtenue par l'installation des turbines Pelton à la place des vieilles roues à injecteur «en bec de canard» est telle que la puissance des groupes a passé de 1500 à 1850 kW, tout en utilisant la même quantité d'eau. Les alternateurs avaient heureusement été surdimensionnés à l'origine, de telle sorte qu'ils peuvent absorber la puissance accrue des turbines.

L'usine des Farettes, située en amont d'Aigle, est alimentée par la Grande-Eau au moyen d'un barrage placé au Pont de la Tine. La centrale travaillait jusqu'en 1941 avec une quantité d'eau maximum de 2 m³/s, sous une chute de 350 m. Les tunnels et la conduite forcée pouvaient cependant admettre un cube de 2,5 m³/s, à part deux étranglements qui furent supprimés en 1941. Cette augmentation de débit permet d'obtenir un gain de près de 1000 kW. La Grande-Eau dépasse 2,5 m³/s, en moyenne six mois par an. Le gain d'énergie résultant de l'agrandissement est de 4 millions de kWh annuellement. D'autre part, en hiver, la Grande-Eau est corrigée par les apports du lac d'Arnon et ces travaux permettent aussi une amélioration de l'utilisation de ces apports.

Le lac d'Arnon, situé sur le territoire de la commune de Gsteig, canton de Berne, est propriété de la SRE. Son eau, qui se déverse normalement en été dans la Sarine, est utilisée

en hiver par l'intermédiaire d'un tunnel de 4,5 km de long pour compléter des débits de la Grande-Eau utilisés sur 600 m de chute, à savoir: 250 m à l'usine du Pont de la Tine et 350 m à celle des Farettes.

La cote du seuil de la prise d'eau est à 1508 m. Le niveau de déversement du lac dans son émissaire naturel, le Tscherzisbach, est à la cote 1532,60 donnant une tranche d'eau utilisable de 24,60 m de hauteur. Les travaux, actuellement terminés, ont permis d'élever le niveau de la retenue à la cote 1534, portant le cube utile du lac de 6,6 millions de m³ et la capacité de 7,2 à 8 millions environ de kWh.

Trockenkonservierung von Obst und Gemüse

664.8.047

Dem Bericht der Kommission für Trockenkonservierung des Eidg. Kriegernährungsamtes über das Jahr 1942 entnehmen wir folgende Angaben:

«Der technische Ausschuss hat es als notwendig erachtet, eine Anzahl Dörrapparate im praktischen Betrieb einer Leistungsprüfung zu unterziehen. Es sind in den Kantonen Aargau, Bern, Luzern, St. Gallen und Zürich 14 elektrisch und 2 mit Holz geheizte Dörröfen mit 5...30 m² Hurdenfläche geprüft worden, wobei in den meisten Fällen sowohl ein Bohnen-, als auch ein Birnenversuch durchgeführt wurde. Die Versuchsergebnisse, insbesondere die Zahlen über die Menge des pro m² Hurdenfläche verdampften Wassers und der benötigten kWh pro kg verdampften Wassers, haben beträchtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Fabrikaten ergeben.

Bei den Kleinapparaten bis zu 5 m² Hurdenfläche hat es sich gezeigt, dass sie im allgemeinen schlecht isoliert sind. Auch wird der Regulierung der Abluft zu wenig Beachtung geschenkt. Es ist zu wünschen, dass bei Neukonstruktionen dem Energieverbrauch dieser Apparate vermehrte Aufmerksamkeit gewidmet wird.»

Eine Umfrage bei den kantonalen Beratungsstellen für Trockenkonservierung ergab, dass die Energiepreise für Dörrbetriebe 3...9 Rp./kWh betragen.

In Tabelle I sind die Dörrapparate und -anlagen mit Hurdenflächen über 5 m² zusammengestellt. Ende 1942 betrug ihre Gesamtzahl 962 Stück oder 52 % mehr als am Ende des Vorjahrs. Fast die Hälfte der Apparate, nämlich 474 Stück, sind in den Kantonen Zürich (150), Bern (103), St. Gallen (105) und Aargau (116) aufgestellt. Der Kanton Zürich steht mit 116 Dörrapparaten von 5...30 m² Hurdenfläche weit