

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 22 (1931)
Heft: 11

Artikel: Zur Frage der Prüfung der elektrischen Kochgeräte [Fortsetzung und Schluss]
Autor: Seehaus, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060517>

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: 17.02.2026

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

das zur Folge hatte, dass der Schaltweg um etwa 12° geringer war, so dass die Stiftkontakte unmittelbar vor den feststehenden Tulpenkontakten stehen blieben. Da mit diesem Schalter ein Motor von

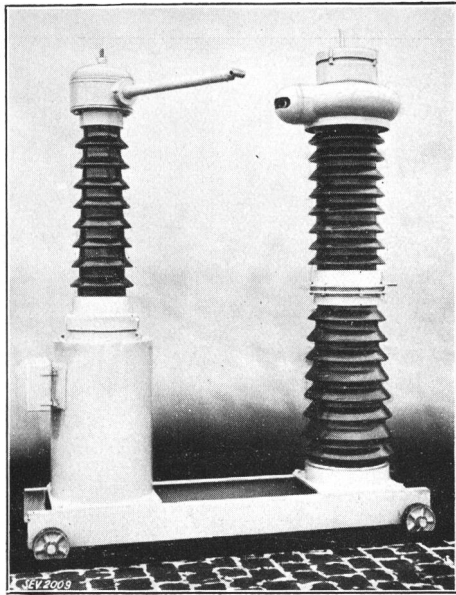


Fig. 10.

Freiluftexpansionsschalter 100 kV, 600 A, Abschaltstrom 10 kA.

2500 kVA eingeschaltet wird, entstand in der Dampfkammer ein Stehfeuer, welches zu starker Dampfentwicklung führte. Es wurde eine erhebliche Menge Flüssigkeit durch die Auspuffrohre ausgeschleudert. Sobald der Schaltwärter den Vorfall bemerkte, brachte er den Schalter durch Betätigung des entsprechenden Druckknopfes zur Auslösung. Der Schalter hat noch ordnungsgemäss unterbrochen. Die nähere Besichtigung zeigte

einen starken Abbrand am Schaltstift, mässigen Abbrand am feststehenden Kontakt und geringe Beschädigung an der Isolation der Dampfkammer (Fig. 3 a). Nach Auswechslung der genannten Teile und richtiger Einstellung der Kupplung konnte der

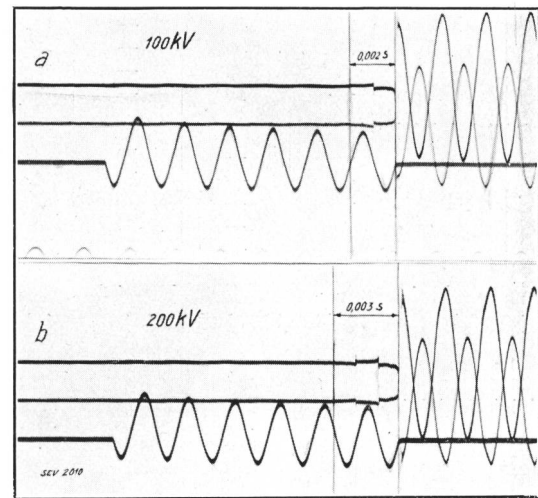


Fig. 11.

Oszillogramm des Abschaltvorganges bei a einem 100 kV- und bei b einem 200 kV-Expansionsschalter. (Die beiden gleichen Spannungen sind über Widerstände zu beiden Seiten eines geerdeten Nullpunktes gemessen und müssen bei der Auswertung addiert werden.)

Schalter unverändert wieder in Betrieb genommen werden. Aus diesem Vorfall geht mit aller Deutlichkeit der grosse Vorzug des ölfreien Schalters hervor, denn wäre der gleiche mechanische Defekt bei einem Oelschalter aufgetreten, so hätte dies sicherlich zu einer Zerstörung und damit zu einem schweren Oelbrande geführt, der im vorliegenden Fall, in dem es sich um eine Schaltanlage in einem Keller handelt, die verheerendsten Folgen gehabt hätte.

Zur Frage der Prüfung der elektrischen Kochgeräte.

Von Paul Seehaus, Ingenieur, Therma A.-G., Schwanden.

(Fortsetzung von Seite 239 und Schluss.)

III. Temperaturspannungen.

Von besonderer Wichtigkeit sind die in einer Kochplatte beim Beheizen und bei der Wärmeabgabe auftretenden Temperaturspannungen, weil durch sie eventuell Deformationen entstehen, somit die die Wärmeübertragung beeinflussenden Kontaktstellen herausgebildet werden. Diese Spannungen sind den auftretenden Temperaturdifferenzen proportional und hängen zudem sehr wesentlich von der Art der Temperaturverteilung in der Platte ab. Ueber ihre Grösse können uns nur auf der Temperaturverteilung fussende, mathematische Untersuchungen Aufschluss geben. Für diese lassen sich die Entwicklungen von Lorenz⁴⁾ benutzen,

⁵⁾ Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1907, S. 743.

wobei wir der Einfachheit wegen wieder annehmen, dass unsere Platte ein Hohlzylinder mit dem inneren Radius $r = \rho$ und dem äusseren Radius $r = R$ sei, die Plattendicke ist gleich der Hohlzylinderlänge.

Mit σ_t = Spannung in der Richtung der Tangente
 σ_r = Spannung in der Richtung des Radius
 σ_z = Spannung in der Richtung der Axe
 E = Elastizitätsmodul
 α = Ausdehnungskoeffizient } des Materials
 m = Koeffizient der Querkontraktion
 $= 10/3$ für Metalle (Bach)
 $G = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{m+1} \cdot E$ = Schubmodul

r = Radius als unabhängige Variable,
speziell $r = R = \text{Aussenradius}$ } des Hohl-
 $r = \varrho = \text{Innenradius}$ } zylinders

ϑ = Temperatur im Radius r

wird für $r = R$ und $r = \varrho$

$$(\sigma_t)_R = (\sigma_z)_R = \sigma_R = 2 \frac{m+1}{m-1} \cdot \alpha \cdot G \left\{ \frac{2}{R^2 - \varrho^2} \int_{\varrho}^R (\vartheta \cdot r \cdot dr) - \vartheta_R \right\}$$

$$(\sigma_t)_\varrho = (\sigma_z)_\varrho = \sigma_\varrho = 2 \frac{m+1}{m-1} \cdot \alpha \cdot G \left\{ \frac{2}{R^2 - \varrho^2} \int_{\varrho}^R (\vartheta \cdot r \cdot dr) - \vartheta_\varrho \right\}$$

Diese äussersten und innersten Spannungen sind im allgemeinen die grössten, welche auftreten. Die Axialspannung wird gleich der Tangentialspannung, σ_r verschwindet für diese Grenzbedingungen.

Der Temperaturverlauf in der Platte, bzw. seine Gleichung ist uns nach Früherem bekannt, so dass wir den Wert des in den vorstehenden Gleichungen enthaltenen Integrals ohne weiteres einsetzen können; die weitläufigen Entwicklungen seien hier weggelassen und nur die Endresultate niedergeschrieben.

$$\text{Setzen wir } \gamma = \frac{R}{\varrho} \text{ und } K = \frac{m+1}{m-1} \cdot \alpha \cdot G,$$

so wird

$$\sigma_R = K \left\{ \frac{2}{\gamma^2 - 1} - \frac{1}{\frac{2}{\gamma^2 - 1} \cdot \ln \gamma - 1} \right\} (\vartheta_R - \vartheta_\varrho)$$

$$\sigma_\varrho = K \left\{ \frac{2}{\gamma^2 - 1} - \frac{1}{\frac{2}{\gamma^2 - 1} \cdot \ln \gamma - 1} \right\} (\vartheta_R - \vartheta_\varrho)$$

In der Rechnung werden für die Klammerausdrücke bequemer die Bezeichnungen B bzw. C gesetzt und geschrieben:

$$\sigma_R = K B (\vartheta_R - \vartheta_\varrho)$$

$$\sigma_\varrho = K C (\vartheta_R - \vartheta_\varrho).$$

Die Differenz zwischen den grössten auftretenden Spannungen ergibt sich aus diesen Gleichungen — als von der Temperaturverteilung unabhängig — zu

$$\sigma_R - \sigma_\varrho = -2 K \cdot (\vartheta_R - \vartheta_\varrho).$$

Ein negatives Vorzeichen zeigt Druck-, ein positives Zugspannung an.

Die Gleichungen besagen, dass die auftretenden Grenzspannungen von den absoluten Maßen der Platte unabhängig sind; sie sind ausser vom Material und der grössten Temperaturdifferenz nur abhängig von dem Verhältnis des äusseren zum inneren Durchmesser, also vom Verhältnis des Kochplattendurchmessers zum Durchmesser der Kontaktflächen. Von der Plattenstärke sind sie nur indirekt abhängig, d. h. nur insofern nämlich, als durch sie der Wärmeleitquerschnitt und damit die

auftretende Temperaturdifferenz beeinflusst wird. Eine Verstärkung der Kochplattendicke, oder ganz allgemein eine Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit, vermindert die auftretenden Temperaturdifferenzen und dadurch, aber auch nur dadurch, die auftretenden Spannungen. Ungünstige Auflageverhältnisse verursachen also nicht nur grosse Wärmeverluste, sondern auch starke Materialspannungen.

Der Wert von $\frac{R}{\varrho} = \gamma$ dürfte praktisch innerhalb der Grenze 50 bis 5 zu suchen sein.

In unseren Beispielen ist $R = 0,0635$ und somit

für $\varrho = 8,49$, $\gamma = 7,479$,

woraus $B = -0,2868$ und $C = +1,712$

für $\varrho = 5,66$, $\gamma = 11,22$,

woraus $B = -0,2424$ und $C = +1,775$

für $\varrho = 2,83$, $\gamma = 22,44$,

woraus $B = -0,1867$ und $C = +1,813$

Ferner ist für Gusseisen, unter der zulässigen Annahme, dass für dessen Wert keine Temperaturabhängigkeit besteht:

$$K = 6,13.$$

Mit den Temperaturen, die wir bei der Wärmeübertragung feststellten (Fig. 6) finden wir nunmehr die gesuchten Spannungen in der Kochplatte:

Tabelle IX.

Für			erhält man	
ρ mm	δ_R °C	δ_ρ °C	σ_R kg/cm ² Druck	σ_ρ kg/cm ² Zug
8,49	270	112	$-6,13 \cdot 0,2868 \cdot 158 = 278$	$+6,13 \cdot 1,712 \cdot 158 = 1658$
5,66	312	112	$-6,13 \cdot 0,2424 \cdot 200 = 297$	$+6,13 \cdot 1,775 \cdot 200 = 2177$
2,83	384	112	$-6,13 \cdot 0,1867 \cdot 272 = 311$	$+6,13 \cdot 1,813 \cdot 272 = 3020$

Es sei wiederholt, dass unsere Rechnungen für einen Hohlzylinder mit der Bohrung 2ϱ als Durchmesser durchgeführt sind; nur für diese Bedingung verschwindet die innere radiale Spannung.

Ebenso ist zu beachten, dass die aus der Herstellung der Platten stammenden Materialspannungen selbstverständlich hier nicht erörtert werden.

Für die Spannungen, die bei anderer als der berechneten und unterlegten Temperaturverteilung auftreten, ist zunächst deren Gleichung in Funktion des Radius zu suchen, eventuell auf Grund von Beobachtungen annäherungsweise festzulegen und in den Spannungsgleichungen einzusetzen. Beispielsweise dürfte für die leer beheizte Platte im Stationärzustand die Temperaturgleichung annähernd die Form

$$\vartheta_K = A + a \cdot r + [b \sin(d \cdot r) + c \cos(d \cdot r)]$$

haben.

Ähnliche Berechnungen wie für die Kochplatte lassen sich bezüglich der im Pfannenboden entstehenden Spannungen anstellen. Ueber die in einem solchen entstehenden Temperaturdifferenzen ist unter A) berichtet und gefunden worden, dass im normalen Kochbetrieb diese Temperaturdifferenzen, wenigstens bei Aluminiumpfannen mit dicken Böden, nicht gross sind, so dass auch die

Temperaturspannungen in zulässigen Grenzen bleiben müssen. Es kann deshalb auf eine entsprechende Entwicklung der Gleichungen verzichtet werden, um so mehr, als eine andere Art der Entstehung von Temperaturdifferenzen, auf die wir weiter unten zu sprechen kommen, für die Aluminiumgeschirre viel bedeutsamer ist.

Die Rechnungsergebnisse zeigen eine sehr starke Zugbeanspruchung des Kochplattenmaterials. Wir wissen aus der Praxis, dass tatsächlich nur langjährige Versuche und Erfahrungen zur geeigneten Wahl des verwendbaren Gusseisens geführt haben; wir wissen auch, dass bei dem gegenwärtig verwendeten Material die 22-cm-Kochplatte mit der den Rechnungen zugrunde gelegten Belastung von 1800 W an der Grenze der zulässigen mechanischen Beanspruchung angelangt ist. Bei ungünstigen Auflageverhältnissen kann sogar schon diese Belastung zu Kochplattenzerstörungen führen, wenn nicht durch rechtzeitige Reparaturen die Wärmeverhältnisse unverzüglich verbessert werden. Häufig ist eine deformierte Aluminiumpfanne die Ursache ungünstiger Kontaktverhältnisse, so dass also in erster Linie bei dieser die notwendige, übrigens leicht durchzuführende Reparatur vorzunehmen ist.

Nach den Ergebnissen sind die an den Rändern auftretenden Druckspannungen nur unbedeutend, hingegen die in der Nähe der Kontaktstellen auftretenden Zugspannungen ausschlaggebend für die Haltbarkeit der Platten. Die Frage liegt nahe, ob es nicht möglich wäre, diese spezifischen Zugbeanspruchungen dadurch zu vermindern, dass die Platte in den Kontaktflächen entsprechend verstärkt wird, was natürlich nur dann möglich wäre, wenn die Lage der Kontaktstellen von vornherein festgelegt würde. Für diesen Fall können wir folgende Ueberlegungen anstellen, die auch für den Boden der aufgestellten Pfanne aus irgendwelchem Metall sinngemäss ihre Bedeutung haben. Wenn wir konzentrisch zur berechneten Platte eine Anzahl Scheiben von immer kleiner werdendem Durchmesser auflegen, so sind für jedes r die in diesen Scheiben und in der Platte auftretenden Spannungen gleich gross und genau so hoch, wie vorher in der Platte allein, so lange die Temperaturen in r für alle Scheiben und die Platte übereinstimmen; erst durch teilweise Uebernahme der Wärmeleitung durch die aufgelegten Scheiben, wodurch die Temperaturkurve verflacht und tiefer gedrückt wird, werden die Spannungen in den Scheiben und in der Platte kleiner. Der Wert einer solchen Verstärkung wird daher um so grösser, je kleiner die Wärmeleitfähigkeit des Materials ist, also für die gusseiserne Kochplatte von grösserer Bedeutung sein, als für die ohnehin gutleitenden Aluminiumgeschirre. Die Fixierung der Kontaktstellen hat jedoch ihre Schwierigkeiten, die dadurch zu umgehen wären, dass drei voneinander unabhängige kleine Kochplatten mit in der Mitte liegenden Kontaktflächen parallel als Einheit betrieben werden. Im allgemeinen wird aber eher der Weg zum Ziele führen, die Gesamtverhältnisse

der Einheitsplatte durch entsprechende Wahl und Dimensionierung des Materials zwecks guten Temperatúrausgleichs zu verbessern. Gute Wärmeleitfähigkeit, nicht zu geringe Plattendicke und kleiner Wärmeausdehnungskoeffizient des Materials sind nach dem vorher Gesagten geeignet, Wärmeabgabe und Materialspannungen günstig zu gestalten.

Es ist auch schon erwogen worden, durch besondere Formgebung, z. B. Wölbung, die Festigkeit der Platten und Pfannenböden zu erhöhen, eine Massnahme, von der jedoch kaum viel zu erhoffen sein wird, denn für eine wesentliche Erhöhung der Festigkeit müssten die Wölbungen so gross sein, dass sie praktisch als unbequem ausser Betracht fallen, sie würden zudem voraussichtlich die Kontaktverhältnisse erheblich verschlechtern; auf jeden Fall wäre die Wölbung konzentrisch anzuordnen, derart, dass die Kontaktflächen mit Sicherheit in die Nähe des Wärmeschwerpunktes zu liegen kommen. Da die Grösse der Kontaktflächen ebenfalls von Bedeutung ist, so ist die Wirksamkeit und Sicherheit aller dieser Auskunftsmittel sehr zu bezweifeln. Es kommt hinzu, dass die bisher geschilderte Art der Entstehung von Temperaturspannungen nicht die einzige oder einzig wichtige ist. Ähnliche, bei Geschirren sogar von wesentlich grösserer Höhe, treten auf, wenn auf beheizte Platten Geschirre mit kaltem Inhalt aufgestellt werden. Die auf solche Weise entstehenden Temperaturdifferenzen und Temperaturspannungen seien nachstehend berechnet. Zu diesem Zwecke nehmen wir an:

Eine Scheibe A besitze in allen Teilen überall die Temperatur ϑ_1 ; sie werde mit einer zweiten, Scheibe B von der ebenfalls gleichmässigen Temperatur ϑ_2 plötzlich in Kontakt gebracht, und zwar derart, dass die glatten Flächen der Scheiben aufeinandergelegt werden. Offenbar findet sofort an diesen Oberflächen ein Temperatúrausgleich statt, während die entfernter liegenden Teile praktisch erst nach und nach an diesem Temperatúrausgleich teilnehmen, und zwar nach Massgabe des spezifischen Gewichtes, der spezifischen Wärme und der Wärmeleitfähigkeit der Materialien. Es entstehen also zwischen Scheiben-Ober- und Unterseite Temperaturdifferenzen, die entsprechende Materialspannungen hervorrufen.

Nach Gröber⁵⁾ gilt für zwei unendlich dicke Scheiben mit dem Temperaturleitfähigkeitskoeffizient a_1^2 bzw. a_2^2 welche je in allen ihren Teilen gleichmässig die Temperatur ϑ_1 bzw. ϑ_2 besitzen, für den zeitlichen Temperaturverlauf vom Momente der Berührung zweier Oberflächen an für die

$$\text{Temperatur der Scheibe 1: } \vartheta = \vartheta_m - (\vartheta_m - \vartheta_1) \cdot G(z)$$

$$\text{Temperatur der Scheibe 2: } \vartheta = \vartheta_m - (\vartheta_2 - \vartheta_m) \cdot G(z)$$

wobei die Abszissenaxe in die Trennungsebene verlegt wird, also für die Scheibe 1 die Abszisse positiv, für die Scheibe 2 negativ einzusetzen ist.

⁵⁾ Die Grundgesetze der Wärmeleitung, 1. Aufl., S. 106 u. ff.

In den Gleichungen ist ϑ_m = Temperatur der Oberflächen nach erfolgter Berührung,

$$G(z) = G\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{x^2}{a^2 t}}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz \text{ das Gauss-}$$

sche Fehlerintegral, t = Zeit vom Momente der Berührung an.

An der Trennungsfläche $x = 0$ gilt wegen des Wärmezufusses für alle Zeiten:

$$\lambda_1 \left(\frac{d\vartheta}{dx}\right)_{x=+0} = \lambda_2 \left(\frac{d\vartheta}{dx}\right)_{x=-0}$$

Durch Bilden der Differentialquotienten partiell nach x aus den oben stehenden Temperaturgleichungen, Multiplizieren mit λ und Gleichsetzen erhalten wir schliesslich für $t = +0$ die Gleichung

$$b_1 (\vartheta_1 - \vartheta_m) = -b_2 (\vartheta_2 - \vartheta_m)$$

und daraus

$$\vartheta_m = \frac{b_1 \cdot \vartheta_1 + b_2 \cdot \vartheta_2}{b_1 + b_2}$$

Darin bedeuten:

$$b_1 = \frac{\lambda_1}{\sqrt{a_1^2}} = \sqrt{\lambda_1 \cdot \gamma_1 \cdot c_1}$$

$$b_2 = \frac{\lambda_2}{\sqrt{a_2^2}} = \sqrt{\lambda_2 \cdot \gamma_2 \cdot c_2}$$

und λ = Wärmeleitfähigkeit,
 γ = spezifisches Gewicht,
 c = spezifische Wärme,

Diese Entwicklungen gelten zwar nur für unendlich dicke Scheiben; in unserem Falle also nur, so lange sich der Einfluss der zweiten Begrenzungsfläche auf den Temperaturverlauf praktisch nicht bemerkbar macht, jedenfalls aber zum mindesten für den Moment der Berührung. Mit $t = 0$ wird das Gaußsche Fehlerintegral $G(z) = 1$ und die Temperaturgleichungen ergeben, den Voraussetzungen gemäss, für alle x die Temperaturen ϑ_1 bzw. ϑ_2 . Unmittelbar nach der Berührung wird für sehr kleines x , also $x = \pm 0$, für alle t $G(z) = 0$, somit $\vartheta = \vartheta_m$.

ϑ_m stellt sich also schon vom ersten Moment der Berührung an auf einen während des ganzen Ausgleichsvorganges unveränderlich bleibenden Wert ein.

Wir haben mit Scheiben von ca. 8 mm Stärke zu tun und es ist zu untersuchen, wie sich die Begrenzung der Scheibenstärke auf dieses Maß bemerkbar macht. In der Tiefe von 7 mm von der Trennungsfläche an gerechnet ist für eine unendlich dicke Scheibe aus

$$\text{Aluminium: } a^2 = \frac{175}{2700 \cdot 0,21} = 0,3085,$$

folglich noch nach 0,1 s:

$$z = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0,007^2 \cdot 3600}{0,3085 \cdot 0,1}} = 1,2,$$

woraus $G(z) = 0,9$;

$$\text{Gusseisen: } a^2 = \frac{45}{7250 \cdot 0,13} = 0,04755,$$

folglich noch nach 0,5 s:

$$z = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0,007^2 \cdot 3600}{0,04775 \cdot 0,5}} = 1,36,$$

woraus $G(z) = 0,92$,

so dass also die Einwirkung der zweiten Begrenzungsfläche — bei einem Topf herrührend vom Wärmeübergang an das Kochgut — auf die Bildung der Temperaturen in der Trennungsfläche unbedeutend ist. Dieser Einfluss ist bei der gusseisernen Kochplatte relativ etwas grösser, da der Wärmeübergang an der zweiten Begrenzungsfläche einen kleineren Wert besitzt. Da die Berührung nicht auf der ganzen Scheibenfläche stattfindet, sondern nur an kleinen Teilen derselben, nämlich an den Kontaktflächen, erfolgt der Ausgleich des seitlichen Wärmezufusses wegen schneller als die Rechnung ergibt.

Ohne Zeitfunktion liefert die Differenzenrechnung dasselbe Resultat in etwas einfacherer Rechnungsweise.

Die zwischen den beiden Begrenzungsflächen eines Topfbodens beim Aufstellen eines Topfes auf eine beheizte Kochplatte sowie die zwischen den Begrenzungsflächen der letztern entstehenden Temperaturdifferenzen lassen sich jetzt in einfacher Weise berechnen; sie entstehen natürlich nur in den Kontaktflächenteilen, so dass in den Scheiben ungleiche, mindestens im ersten Moment kaum stetig verlaufende Spannungen auftreten.

Die vor der Berührung in jeder der beiden Scheiben praktisch vorhandenen Temperaturen sind auf Grund der früheren Erörterungen uns schwer einzuschätzen. Zunächst ist es möglich, dass die Kochplatte vor dem Aufsetzen des Topfes bis zum stationären Zustand aufgeheizt ist. Der praktisch am häufigsten vorkommende Fall ist sodann wohl derjenige, dass auf einer beheizten Platte ein Topf mit kochendem Inhalt oder mit Bratgut gegen einen solchen mit kaltem Wasser vertauscht wird. Während der Auswechslungszeit strebt der Temperaturzustand der Platte ziemlich rasch dem Ausgleich und sodann dem Stationärzustand zu, derart, dass zuerst die Temperaturen der Kontaktflächen steigen, diejenigen der übrigen Teile sinken, worauf bei sehr lang ausgedehnter Auswechslungszeit ein annähernd gleichmässiges Steigen bis zum Stationärzustand der beheizten, unbenützten Platte folgt. Es liesse sich unter Berücksichtigung der Verluste aus der kapazitiven Wärme der Platte ein annähernder Mittelwert für eine bestimmte Dauer der Auswechslungszeit berechnen; doch muss hier davon abgesehen werden. Weiter ist die Maximaltemperatur der Kochplattenkontaktflächen, die bei Leerstehenlassen unter Vollast eintritt, vor der Berührung ca. 500° C. Praktisch können Temperaturen von 300° C bis 120° C in Frage kommen, je nachdem, ob Braten, Vollkochen oder aber reduziertes Weiterkochen der Ausgangspunkt ist; die Temperatur des aufzustellenden Topfes ist für kalt auf-

gesetzte Speisen niedrigst zu 10° C anzunehmen; beim Uebergang vom Braten zum Weiterkochen kann sie 100° C sein. Als Material kommen

Gusseisen mit $\lambda_1 = 45$, $\gamma_1 = 7250$, $c_1 = 0,13$
also $b_1 = 45 \cdot 7250 \cdot 0,13 = 206$

Aluminium mit $\lambda_2 = 175$, $\gamma_2 = 2700$, $c_2 = 0,21$
also $b_2 = 175 \cdot 2700 \cdot 0,21 = 315$

für die Berechnung in Betracht.

Die zu erwartenden Temperaturen sind in Tabelle X zusammengestellt.

Zu erwartende Temperaturen in den Kontaktflächen.

Tabelle X.

Vor der Berührung durch Aufsetzen des Topfes		Nach der Berührung		Differenz gegenüber der andern Begrenzungsfläche	
In der Kochplatte °C	im Kochtopfboden °C	In Kochplatten und Topfboden °C	In der Kochplatte °C	im Topfboden °C	
500	10	258	— 242	+ 248	
300	10	125	— 175	+ 115	
120	10	53	— 67	+ 43	
300	100	179	— 121	+ 79	

Die entstehenden Temperaturspannungen sind in sinngemäss gleicher Weise zu berechnen, wie dies für die Beheizungsspannungen geschah, d. h. unter Benützung des Integrals der Temperaturgleichung; dabei ist $\gamma = 1$, also ein Hohlzylinder von sehr grossen Radien zugrunde zu legen; die Kontaktflächen bilden Wandausschnitte desselben. Die Spannungen erhalten wir in Funktion der Zeit.

Da uns in erster Linie die grössten auftretenden Spannungen interessieren, also diejenigen, die im Moment der Berührung entstehen, können wir auf die weitläufigen Entwicklungen verzichten, indem wir uns daran erinnern, dass die Differenz zwischen den grössten auftretenden Spannungen unabhängig von der Temperaturverteilung

$$\sigma' - \sigma'' = -2K(\vartheta_m - \vartheta_{1(2)})$$

ist, wenn σ' die Spannung in den Kontaktflächen, σ'' die Spannung in der gegenüberliegenden Begrenzungsschicht bedeutet. Bei vollständigem Temperatursausgleich in den Platten vor der Berührung sind keine Temperaturspannungen vorhanden. Im Moment der Berührung, so lange also nur die oberste Schicht eine Temperaturveränderung erleidet, muss sich die ganze entstehende Spannungsdifferenz in dieser obersten Schicht einstellen, denn im Verhältnis zur Dicke dieser Schicht ist die Dicke der restlichen, von Temperaturveränderungen unberührten Schicht unendlich bzw. sehr gross, die Spannung also = Null. Die zeitliche Aenderung der Spannungen erfolgt nach Massgabe des Temperatursausgleiches, der in der endlichen Herstellung der früher berechneten Temperaturzustände während des normalen Kochens gipfelt. Während der Ausgleichsvorgänge addieren sich die von den verschiedenen Einwirkungen herrührenden Zug- bzw. Druckspannungen.

Die im ersten Moment der Berührung in den Kontaktflächen entstehenden Spannungen mit

$$K = 6,13 \text{ für Gusseisen}$$

$$K = 11,12 \text{ für Aluminium}$$

gehen aus Tabelle XI hervor.

Tabelle XI.

Temperaturen vor der Berührung		Spannung in den Kontaktflächen bei der Berührung	
in der Kochplatte °C	im Aluminiumtopf °C	Kochplatte Zug kg/cm ²	im Aluminiumtopfboden Druck kg/cm ²
500	10	2965	5520
300	10	2145	2560
120	10	820	956
300	100	1485	1760

Die Elastizitätsgrenze wird somit in den meisten Fällen unsachgemässer Behandlung überschritten, was bei den Kochplatten oberflächlich zu feinsten Abschieferungen, bei den Aluminiumgefässen zu bleibenden Verkrümmungen führt. Der Gaskochbetrieb liefert deutliche Beispiele für die in Aluminiumgefässen auftretenden zu grossen Spannungen: die verwendeten Gefässe haben meist dünne Böden, der seitliche Temperatursausgleich ist daher ungenügend, so dass selbst bei normalem Kochbetrieb starke Spannungen auftreten, die die Bodenverkrümmungen ständig anwachsen lassen; aber auch dickere Böden können diese Schäden der Stichhitzen wegen nicht verhindern.

Die oben errechneten Spannungen werden nur erreicht, wenn relativ grosse Flächen in Berührung geraten, wenn also die Einstellung der Mitteltemperaturen nicht durch umgebende Massen verzögert wird. Je kleiner demnach die Kontaktflächen sind, um so weniger hoch sind die entstehenden Spannungen.

Der Fall, dass in einem Aluminiumtopf, in welchem Wasser völlig verdampft wurde, sofort kaltes Wasser nachgefüllt wird, liegt beispielsweise bei einer neuerdings für Wirkungsgradbestimmungen propagierten Methode⁶⁾ vor. Wir können uns nach dem oben Gesagten begnügen, die Vorgänge annäherungsweise zu behandeln: Die Plattentemperaturen werden nur wenig beeinflusst, dagegen treten im Topfboden starke Temperaturdifferenzen auf. In der Kontaktfläche beträgt die Bodentemperatur mindestens 120°, sie wird in der oberen Begrenzungsfläche durch Begiessen mit kaltem Wasser momentan auf ca. 10° gesenkt, so dass annähernd die Differenzen der zweiten Zeile der Tabelle für den Topf in Wirkung treten. Kontaktfläche und Abkühlungsort liegen eventuell zwar nicht direkt übereinander, aber trotzdem scheint es möglich, dass schon während eines einzigen Versuches Deformationen entstehen.

Schliesslich ist möglich, dass auf eine heisse Kochplatte Wasser gegossen wird oder bei zu kleinem Kochtopf Wasser auf die überragenden Kochplattenränder überkocht. Wenn dazu der Kochtopf nur in der Mitte der Platte aufliegt, die Kochplatte daher aussen hohe Temperatur besitzt, muss ein

⁶⁾ Opacki, Bull. SEV 1929, Nr. 14, S. 445.

solches Vorkommnis Zerstörungen bewirkende Zugspannungen verursachen, die sich unter Umständen auf die Plattenoberfläche konzentrieren. Der Siedeverzug auf sehr heissen Platten spielt bei einem solchen Vorgang kaum eine Rolle.

Es liegt nahe, für die Wärmeabgabe und damit für die Begrenzung der Temperaturspannungen die bestmöglichen Bedingungen von Anfang an unter Benützung der vorstehenden theoretischen Entwicklungen dadurch zu schaffen, dass jeder für die Praxis bestimmten Kochplatte von vornherein die drei günstigsten gelegenen Kontaktflächen durch entsprechende Bearbeitung der Kochplatte und des Kochgeschirres mitzugeben ist. Die hierauf basierenden Massnahmen dürften aber nicht in der Weise übertrieben werden, dass durch zu starkes Herausheben und dergleichen die Grösse der Kontaktflächen ungünstig beeinflusst wird. Wie schon bei der Beschreibung der dritten Art der Wärmeübertragung erwähnt wurde, sind nämlich die Kontaktflächen um so grösser, d. h. die Wärmeabgabebedingungen um so günstiger, je mehr sich die Oberflächen von Kochplatte und Geschirr der Ebene nähern oder, anders gesagt, je genauer die Formen der beiden Flächen in jeder konzentrischen Stellung von Geschirr und Kochplatte übereinstimmen. Die grosse Schwierigkeit, solche Massnahmen erfolversprechend durchzuführen, liegt darin, dass sich die Lage und Grösse der Kontaktflächen infolge der Temperaturspannung sicher empfindlich ändern kann. Dass sich Aluminiumgeschirre bei Bedarf ohne grosse Mühe äusserst leicht wieder gerade richten lassen, ist eine sehr schätzenswerte Eigenschaft derselben; grösste Beachtung verdient dabei, dass von allen Aufbaumöglichkeiten eines Kochtopfes diejenige, bei welcher der Kochtopf nur in der Mitte aufsitzt, die unerwünschteste ist. Die Auflage bei ca. $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ des grössten Plattenradius dürfte nach den theoretischen Ergebnissen die annähernd beste sein. Pfannenböden aus anderem Material erhalten hin und wieder zum vornherein etwas nach innen bombierte Form. Ob dabei aber wirklich der Zweck erreicht wird, dass die Pfannen auch in erhitztem Zustand besser auf der Gesamtfläche aufliegen oder, wie sogar hervorgehoben wird, ein Anschmiegen des Pfannenbodens an die Plattenfläche erfolgt, ist dagegen mehr als zweifelhaft, denn ein solches Hohlkehlen kann höchstens auf einen einzigen, bestimmten Temperaturzustand abgestimmt werden, und zudem machen Art und Menge des Kochgutes das Resultat sehr veränderlich. Immerhin können solche Formen mindestens anfänglich Gewähr dafür bieten, dass die Kontaktflächen nach dem Plattenrande zu liegen.

Da die örtlichen und zeitlichen Temperaturspannungen, wie dargelegt, stark veränderlich sein können, dürften alle Massnahmen zur Vorausregulierung der Kontaktfrage praktisch versagen müssen. Der Weg, der in der Kochplattenfabrikation eingeschlagen wurde, nämlich durch zweckmässige Wahl des Materials und zweckmässige Konstruktion den Verkrümmungen der Kochplatte entgegenzu-

arbeiten, so dass auf lange Zeit hinaus Gewähr für die Dauerhaftigkeit geboten ist, scheint vorläufig besser und sicherer zu sein.

Aus Unkenntnis der an ein gutes Kochplattenmaterial zu stellenden Anforderungen und der Wärmeübertragungsvorgänge konnten wohl in der Praxis hin und wieder Vorschläge, ja sogar Ausführungen auftreten, die Verbesserungen speziell zur Vermeidung von Verkrümmungen bringen sollten und von vornherein als gänzlich ungeeignet zu erkennen waren. Die vorstehenden Ausführungen bilden eine Anleitung zur Beurteilung der Materialien für Kochgeräte, doch ist nicht zu vergessen, dass nur einige der erforderlichen Materialeigenschaften berührt worden sind.

IV. Die Prüfung von Kochgeräten.

Aus den vorstehenden Entwicklungen lassen sich leicht eine Anzahl von *Bedingungen* ableiten, die bei Versuchen mit Kochgeräten hauptsächlich einzuhalten sind, wenn man zu einigermaßen annehmbaren Resultaten gelangen will. Diese seien zunächst aufgeführt:

1. Für Temperaturmessungen während des Betriebes sind die zu verwendenden, möglichst feinen Thermolemente entweder axial oder nur in der Strömungsrichtung der Wärme in der Kochplatte, also von den Kontaktflächen auswärts, senkrecht zu den Isothermen zu verlegen, wenn die Thermolemente nicht die Ursache erheblicher Fehler sein sollen. Die Schlitz- oder Bohrungen, in welchen die Thermolemente unterzubringen sind, bewirken nämlich, selbst bei Anwendung noch so dünner Thermolemente, unweigerlich starke Temperaturstauungen, wenn sie quer zur Strömungsrichtung verlegt werden. Dies gilt hauptsächlich für die gusseisernen Kochplatten, weniger oder gar nicht für Aluminiumgeschirre mit dicken Böden.

2. Abgekürzte Methoden können bei Versuchen mit Kochgeräten keine gültigen Resultate, namentlich keine Vergleichsresultate liefern, weil die Versuchsbedingungen viel zu kompliziert sind. Einwandfreie Resultate sind nur auf Grund gut ausgebauter Methoden, die die vielen Zufälle ausschliessen und die zeitlichen Veränderungsmöglichkeiten namentlich auch des Kochgeschirres berücksichtigen, erhältlich. Der Umfang der Prüfung ist selbstverständlich trotzdem auf ein Mindestmass zu reduzieren, über welches die Erfahrung mit solchen Prüfungen allein Aufschluss geben kann. Soweit als möglich dürfen nur Versuche gemacht werden, denen analoge Vorgänge im Kochbetrieb entsprechen.

3. Die Kochplattenversuche sind mit konstant gehaltener Belastung durchzuführen; die Spannung konstant zu halten, genügt nicht, weil im Laufe der Versuche eine derartige Änderung der Kontaktverhältnisse eintreten kann, dass auch Belastungsänderungen als Folge der Temperaturkoeffizienten des Widerstandsdrahtes möglich sind. Aus eventuellen Änderungen können aber keine Schlüsse für die Beurteilung der Plattentempera-

turverhältnisse gezogen werden; dazu sind die Widerstandsdrähte nicht homogen genug.

4. Bei Kochplatten-Wirkungsgradversuchen sind die Verluste des Versuchsgeschirres, wie auch die Wärmekapazität desselben und der verwendeten Thermometer in die Rechnung einzubeziehen, um einheitliche Bezugswerte zu erhalten. Das übliche Vernachlässigen oder Nichtauswerten der erwähnten Wärmemengen ist immer falsch. Die Rechnung gestaltet sich übrigens einfach genug, wenn für die normalisierten Versuchsapparate die «Wasserwerte» bestimmt sind. Bei der Kochgeschirruntersuchung kann die Bestimmung der Geschirrverluste unter Umständen einen Teil der Prüfung bilden.

5. Die bestehenden oder entstehenden Verkrümmungen, gleichgültig, ob sie messbar oder unmessbar sind, bilden keinen Maßstab für die Güte, Zweckmässigkeit oder dergleichen eines Kochgerätes, denn sie lassen nicht unbedingt Schlüsse auf den Betriebswirkungsgrad zu; entscheidend ist letzten Endes nur der relative Energieverbrauch im praktischen Dauergebrauch.

6. Uebermässige Belastungen während der Versuche und Gewaltproben sind unbedingt zu vermeiden.

7. Die grösste Schwierigkeit für die Prüfung von Kochgeräten rührt nach den gemachten Darlegungen daher, dass zum Messen ein Apparateteil verwendet werden muss, der selbst während der Versuche Veränderungen erfährt und zu solchen Anlass gibt (Beispiel: Kochgeschirr als Kontrollapparat für den Kochplattenwirkungsgrad). Um die Unveränderlichkeit der Geschirre bei den Kochplattenprüfungen und die Unveränderlichkeit der Kochplatten für die Geschirrprüfung zu gewährleisten, sind

- a) für die Plattenprüfung besondere Versuchskochgeschirre, für die Kochgeschirrprüfung besondere Versuchskochplatten als Kontrollapparate zu benützen;
- b) bei der Anwendung dieser Kontrollversuchsapparate die Belastungen so stark zu reduzieren, dass keine Veränderungen an diesen eintreten können, und
- c) die Kontrollversuchsapparateile niemals plötzlichen Temperaturveränderungen örtlich oder insgesamt auszusetzen, um Materialspannungen, die Deformationen bewirken könnten, sicher zu vermeiden.

8. Die Kontrollkochplatten müssen spannungsfrei sein und eine plangerichtete Kochfläche besitzen; diese, sowie die beim Kochen freiliegenden Plattenteile sollen einen unveränderlichen Strahlungskoeffizienten haben; die Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Plattenmaterials soll eine möglichst hohe, die Platte muss reichlich dick sein.

9. Die Kontrollkochgeschirre inklusive Deckel sollen nach den gleichen Gesichtspunkten, wie unter 8 für die Kontrollkochplatten aufgezählt, hergestellt werden.

10. Der Zustand der Kontrollapparate muss periodisch kontrolliert werden.

11. Prüfungen sind unter gleichbleibenden Umgebungsbedingungen durchzuführen.

12. Prüfungen zu Vergleichszwecken erfordern absolut gleiche Belastungs-, Mengen- und Aufheizbedingungen.

13. Zur sicheren Schonung der zur Kontrolle dienenden Apparateteile ist die Endtemperatur des Versuchskochgutes niedrigst anzusetzen, z. B. 70° C maximal, was auch zur Verminderung komplizierter Kompensationsrechnungen für Verdampfungsverluste erwünscht ist.

14. Alle zu untersuchenden Kochgeräte müssen sich zu Beginn der Prüfungen in gleichem Zustande befinden; diese Bedingung kann dadurch eingehalten werden, dass nur anfänglich neue Geräte einer vergleichenden Prüfung unterzogen werden.

15. Zu Qualitäts- oder Vergleichsprüfungen dürfen nicht nur 1 bis 2 Kochplatten bzw. Kochgeschirre herangezogen werden, vielmehr ist eine bestimmte grössere Anzahl in neuem Zustand wahllos aus Lieferungen herauszugreifen. Immerhin ist zunächst zu prüfen, ob die gewählten Stücke keine Transport- oder sonstigen Schäden erlitten haben.

16. Bei der Bestimmung der Versuchskochguttemperatur ist Umrühren zu vermeiden, da dieses nicht einwandfrei gleichartig durchführbar und bei richtiger Thermometeranordnung, gut leitenden Geschirrhöden und Decken der Geschirre gut vermeidbar ist.

17. Zu den Prüfungen ist nicht nur der Messgenauigkeit, sondern auch des Auflagedruckes wegen ein möglichst grosses, immer gleiches Kochversuchsquantum anzuwenden.

18. Da der feststellbare Wirkungsgrad von Kochplatten bei sehr kleinen Belastungen und hohen Kochguttemperaturen von den entstandenen Plattendeformationen nahezu unabhängig wird, sind die Belastungen namentlich bei Fortkochversuchen nicht zu klein zu wählen. Werden die Fortkochversuche unmittelbar an die Aufheizversuche, die vom kalten Zustand aus erfolgen müssen, angeschlossen, so ist die Gefahr der Deformationsbildung auch bei grösseren Belastungen für die Kontrollkochgeschirre nicht allzu gross. Das richtige Mass für die Belastung im Einklang mit der Bedingung 7 muss die Versuchserfahrung geben.

19. Die Messresultate sind in Kurvenform darzustellen.

20. Als Versuchskochgut wird zweckmässig Wasser verwendet. Dieses erfüllt innerhalb der Versuchstemperaturen nicht nur die Bedingung der Unveränderlichkeit bei bekanntem spezifischem Gewicht und bekannter spezifischer Wärme, sondern verursacht auch in der Küche weitaus den grössten Teil des Wärmeverbrauches; zudem werden alle in Betracht kommenden physikalischen Konstanten auf Wasser bezogen.

21. Die Kenntnis der Wärmekapazität einer Kochplatte oder vielmehr der Wärmekapazitätsdifferenzen verschiedener Kochplatten steuert zur Beurteilung der Güte einer solchen nur wenig bei;

ihre Feststellung ist daher überflüssig oder es genügt annäherungsweise Bestimmung.

Methode und Einrichtung.

Für die auf das geringstmögliche Mass reduzierte einfachste Kontrolle lassen sich eine Anzahl von Untersuchungen ohne Bedenken als weniger wichtig oder ungenau ausscheiden. Vor allem sind unsichere Versuche unbedingt zu unterlassen, denn jede Fabrik würde mit Recht ablehnen, Vergleiche zwischen ihren und Konkurrenzfabrikaten anzuerkennen, die auf Resultaten beruhen, welche den Verhältnissen nicht genau Rechnung tragen. Wie die Entwicklungen zeigen, können nämlich die Unterschiede bei erstklassigen, gleichartigen Fabrikaten nicht gross sein. Auf die Bestimmung von Platten- und Geschirrttemperaturen, von Fortkochwirkungsgraden bei verschiedenen hohen Endtemperaturen und der Wärmekapazität darf ohne weiteres verzichtet werden, wenn im übrigen die Methode die für den Energieverbrauch ausschlaggebendsten Vorkommnisse der Praxis berücksichtigt. Diese, bei der einfachsten Kontrollmethode übergangenen, Prüfungen haben neben theoretischen in der Hauptsache fabrikationstechnisches Interesse; am Schlusse dieser Ausführungen sollen sie kurz behandelt und die Ausführungsmöglichkeiten erwähnt werden.

Gemäss der oben aufgestellten Bedingungen sind aus Lieferungen wahllos eine Anzahl, z. B. 10 Stück, schadenfreie Kochplatten zur Prüfung herauszugreifen. Als Kontrollapparat dient ein Kochgeschirr aus gut leitendem Metall (z. B. Aluminium) mit extra starkem, vollkommen eben geschliffenem Boden, das dauernd sorgfältig behandelt und aufbewahrt wird. Die Wände und der Boden des Kochgeschirres sind aussen poliert und mit unveränderlichem Anstrich, der bis etwa 150° hitzebeständig sein muss, oder Oxydüberzug bedeckt; er ist eventuell von Zeit zu Zeit zu erneuern. Der Deckel soll gut passen, in gleicher Weise hergerichtet und mit Löchern (z. B. 3 Stück) für die Thermometer versehen sein, die nach genau festgelegter Weise verschieden tief und angemessen gegeneinander versetzt, in das Geschirr eintauchen. Der Inhalt des Kontrollgeschirres beträgt bei 22 cm Platten- und Kochgeschirrdurchmesser 4 bis 6 kg Wasser. Inhalt und Füllungsgrad sind für alle Versuche dieselben.

Zur Einrichtung gehört ferner eine Kontrollkochplatte, extra dick, ohne Regulierstufen, mit guter Heizungsverteilung, derart hergerichtet, dass die Platte leicht samt den einfachen Stromzuführungen bis zur Kochfläche in Isoliermasse eingebettet werden kann. Diese Kontrollkochplatte dient nicht nur zur gelegentlichen Nachprüfung des Kontrollkochgeschirres, sondern auch zur später erläuterten Prüfung von Kochgeschirren, ferner auch zum Festlegen eines «Normalwirkungsgrades» für Vergleichszwecke. Die Kochfläche der Platte ist ebenfalls vollkommen eben zu schlichten; sie ist, wie überhaupt die ganze Oberfläche der Vorrichtung, mit einem unveränderlichen, hitzebeständigen

Überzug zu versehen, der einen unveränderlichen Strahlungskoeffizient gewährleistet. Das Gewicht der Kontrollkochplatte ist genau festzulegen und soll sich innerhalb der Grenzen der praktisch vorkommenden Kochplattengewichte bewegen.

Im weiteren werden unter anderem mehrere zweckmässige, einfache Anschluss- und Unterstützungsvorrichtungen für gleichzeitige Durchführung von Parallelversuchen erforderlich sein, sodann eine Anzahl der später beschriebenen Spezialkochgeschirre bester und gleichmässiger Ausführung, ähnlich den Kontrollkochgeschirren, aber kleineren Inhaltes von etwa 2 bis 3 kg Wasser, die bei den Versuchen grösseren Beanspruchungen ausgesetzt werden und daher vor jedem Versuch zu prüfen und zu richten sind.

Folgende Versuche sind durchzuführen:

a) Bestimmung der «Normalwerte» der Versuchsanordnung.

1. Gewichtsbestimmungen und rechnerische Ermittlung der Wasserwerte des Kontrollgeschirres, des Deckels und der Thermometer aus den Gewichten und spezifischen Wärmen, unter entsprechender Schätzung der auftretenden Gerätetemperaturen.

2. Bestimmung der Wärmeverluste des Kontrollkochgeschirres in der Weise, dass mit Normalfüllung ein Aufheizen mit festgelegter Normalbelastung vom kalten Zustand aus auf der Kontrollkochplatte bis etwa 60° C Wassertemperatur vorgenommen wird, worauf das Geschirr auf eine auf einer Präzisionswaage vorbereitete, eventuell mittels eines zweiten Geschirres vorgewärmte, starke Schicht aus bestem, leichtestem Isoliermaterial (Daunen oder feines Korkschröt) versetzt und einem Abkühlungsversuch unterworfen wird. Aus dem Newtonschen Erkaltungsgesetz: «Die Abkühlungsgeschwindigkeit eines Körpers ist in jedem Augenblick dem Ueberschuss seiner Temperatur über die Umgebungstemperatur proportional», lassen sich für jede durchschnittliche Wassertemperatur die Geschirrverluste leicht ermitteln. Ist ϑ_a die konstante Umgebungstemperatur, ϑ_1 die beobachtete Anfangstemperatur des Wassers, ϑ_2 die Temperatur, auf welche diese in der Zeit $t_2 - t_1$ sinkt, so dass zur Zeit t_1 der Ueberschuss über die Temperatur der Umgebung $\vartheta_1 - \vartheta_a$, zur Zeit t_2 der Ueberschuss $\vartheta_2 - \vartheta_a$ beträgt, und ist ferner q die Wärmekapazität von Wasserinhalt plus Geschirr, plus Deckel, plus Thermometer pro 1° Temperaturdifferenz, k der Proportionalitätsfaktor des Abkühlungsverlustes, so ist der Momentanverlust

$$-dQ = -q \cdot d\vartheta = k (\vartheta - \vartheta_a) \cdot dt$$

woraus

$$-\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{k}{q} (\vartheta - \vartheta_a)$$

und schliesslich

$$k = \frac{q}{t_2 - t_1} \cdot \ln \frac{\vartheta_1 - \vartheta_a}{\vartheta_2 - \vartheta_a}$$

Durch Multiplikation mit dem Betrag der Temperatursenkung erhalten wir den Wärmeverlust für das Mittel des beobachteten Temperaturüberschusses. Bei kleinen Temperatursenkungen kann das arithmetische Mittel der Wassertemperatur eingesetzt werden, für grössere, also längere Zeiten, lässt sich das Mittel wie folgt errechnen:

Die vorstehende Entwicklung liefert die allgemeine Temperaturgleichung

$$\vartheta_t = (\vartheta_1 - \vartheta_2) \cdot e^{-t \frac{k}{q}} + \vartheta_a.$$

Die mittlere Temperatur ist dann

$$\vartheta_m = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_0^t \vartheta_t \cdot dt,$$

woraus

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_a}{t_2 - t_1} \cdot \frac{q}{k} \left(1 - e^{-t \frac{k}{q}} \right) + \vartheta_a.$$

Die Wärmeverluste sind relativ klein; es muss ihnen daher der für die Beobachtungszeit genau festzustellende Verdampfungsverlust zugeschlagen werden.

Die Ergebnisse der Versuche sind in Kurvenform aufzutragen; Hilfskurven erleichtern die — übrigens nur einmalig — anzustellenden Rechnungen. Eine Vereinbarung, die durch Kapazität und Abströmung der genau definierten Isolierunterlage verursachten Verluste zu vernachlässigen, ist angezeigt; diese Verluste sind belanglos, besonders, wenn vor die Beobachtungen zunächst eine Beruhigungsfrist eingeschaltet wird. Die festgestellten Momentanverluste des Geschirres sind späterhin graphisch den Plattenleistungen zu addieren.

3. Bestimmung des «Normalwirkungsgrades». Zunächst ist die «Normalbelastung» zu vereinbaren. Wird die Bedingung 7 c dauernd genau eingehalten, d. h. bei den Versuchen mit den Kontrollapparaten immer nur vom kalten Zustand beider Teile aus aufgeheizt, nach Versuchen die Abkühlung nie forciert, so dürfte eine Belastung von etwa 800 W bei 22-cm-Platten zulässig sein; doch muss die Versuchserfahrung darüber entscheiden. Wir können daher den «Normal-Aufheizwirkungsgrad» ermitteln, indem wir ein Normalquantum mit 800 W aufheizen. Es muss aber gleich hier betont werden, dass der Vergleich zwischen dem «Normal-Aufheizwirkungsgrad» und einem an Prüflingen ermittelten Aufheizwirkungsgrad nur bedingten Wert hat, denn die Wärmekapazität der untersuchten Kochplatten kann verschieden gross und von verschiedener Wichtigkeit sein. Die Möglichkeit liegt aber vor, an diese Normalwirkungsgradbestimmung anschliessend einen zweiten Erkaltungsversuch inklusive Platte vorzunehmen, indem sofort beim Ausschalten die Kontrollkochplatte bis zur Kochfläche mit gutem, leichtem Isoliermaterial umhüllt wird, dessen Wärmeabsorption eventuell als Korrekturwert einzuführen ist. Die planimetrische Auswertung der graphischen Darstellung liefert dann

ausser der Plattenkapazität auch die Plattenverluste als Differenz.

b) Prüfung der Kochplatten.

Bei jeder der zu prüfenden Kochplatten wird zunächst ein Aufheizwirkungsgrad bestimmt; dazu wird das Normalkochgeschirr benützt, die Platte wird mit wiederum 800 W belastet. Die Wasserendtemperatur soll 60 bis 70° C nicht überschreiten.

An diesen ersten Wirkungsgradversuch schliessen Kochversuche mit den erwähnten Spezialkochgeschirren an. Etwa hundert solcher Versuche mit jeder Kochplatte werden wohl nötig sein; sie sind mit voller Plattenennbelastung hintereinander durchzuführen, wobei je nach erreichtem Kochen und Entfernen des Kochgeschirres die Platte eine festzusetzende Frist — z. B. zwei Minuten — unter dauernd voller Belastung leer gehen soll, worauf der folgende Topf kalt aufzusetzen ist. Es wird zweckmässig sein, nach je etwa zehn solcher Versuche ein völliges Abkühlen vorzunehmen, um, mit einem neuen Aufheizversuch beginnend, die nächste Serie einzuleiten. Zum Schlusse der Versuchsserie mit einer Platte folgt eine Wirkungsgradbestimmung unter Benützung des Kontrollkochgeschirres, genau wie am Anfang. Der Vergleich des Anfangs- und Endwirkungsgrades im Durchschnitt sämtlicher untersuchter Platten liefert das Mass für die Güte der Kochplatten in bezug auf die Gestaltung des Wirkungsgrades im praktischen Gebrauch; auch die Probe hinsichtlich der mechanischen und elektrischen Beanspruchung im praktischen Gebrauch ist damit teilweise durchgeführt. Welchem der Resultate der grösste Wert beizumessen ist, dürfte unschwer zu erkennen sein; er ist dem Endwirkungsgrad zuzuerkennen, weniger dem Vergleich mit dem Anfangswirkungsgrad; eher dürfte noch ein Vergleich mit der Wirkungsgradbestimmung zwischen dem 90. und 91. Kochversuch aufschlussreich sein. Nicht erfasst ist die sich bei voller Belastung eventuell ergebende vorübergehende Deformation, ferner bleiben auch die bei Kochgut höherer Temperatur sich einstellenden Vorgänge unbestimmt. Die Veränderungen der Kochzeiten bei den Versuchen liefern jedoch Anhaltspunkte; daher sind zweckmässig die Anfangs- und Endkochzeiten, die längsten und kürzesten, und auch das Gesamtmittel derselben zu notieren. Als Ersatz für Versuche bei höheren Temperaturen können die zwischen je zwei Versuchen eingeschalteten Leerbeheizungen von etwa zwei Minuten dienen.

Dieser Normalversuch könnte auf Verlangen ergänzt werden durch Wirkungsgradbestimmungen nach je zehn Versuchen, ist aber jedenfalls noch durch die praktische Ueberlastungsprüfung, d. i. Leergangheizen der Platten, zu vervollständigen, derart, dass diese vom kalten Zustand aus etwa $\frac{1}{2}$ Stunde unter Normal-Nennlast, dann folgend $\frac{1}{4}$ Stunde mit 25 % Ueberlast und darauf folgend wieder $\frac{1}{4}$ Stunde unter Normal-Nennlast leerstehend beheizt werden.

Wie ersichtlich, werden die Spezialkochge-

schirre während dieser Versuche Belastungen unterworfen, die nach dem früher Gesagten zu Deformationen führen müssen. Deshalb sind Geschirre zu verwenden, die keiner andern Bearbeitung unterzogen wurden, als allein der des peinlichst genauen Plandrehens des Bodens; sie sollen aus einer Spezial-Aluminiumlegierung gegossen, spannungsfrei sein und roh verwendet werden. Der Boden soll anfänglich eine Dicke von etwa 20 mm haben, damit das für jede Prüfserie von 10 Platten zu Beginn nötige Ueberdrehen des Bodens für den Wärmeffluss ohne Bedeutung bleibt und durch Gewichtszugabe ausgeglichen werden kann. Es wird zweckmässig sein, eine Anzahl solcher Spezialgeschirre verschiedenen Alters zugleich in Benützung zu halten, zu jeder Prüfung (von 10 Kochplatten) ein völlig neues zuzuschalten und gleichzeitig das älteste auszuschneiden. Die Anzahl der Spezialgeschirre soll so gross sein, dass mit jeder Kochplatte ein nachgearbeitetes Geschirr zugeschaltet, also ein methodisch genau geregelter Turnus, durchgeführt werden kann; demnach sind etwa 15 Stück in Gebrauch zu halten.

c) Prüfung der Kochgeschirre.

Eine nähere Beschreibung dieser Prüfung dürfte überflüssig sein; sie lässt sich aus dem unter b) über die Prüfung der Kochplatten Gesagtem leicht ableiten, wobei nunmehr die Wirkungsgradbestimmungen mit Hilfe der Kontrollkochplatten durchgeführt werden.

Bei der Auswahl der durchzuführenden Prüfungen wollen wir immerhin nicht vergessen, dass das Abschrecken erhitzter Gefässe mit kaltem Wasser immer und in jedem Falle zu Deformationen führt. Auch dürfte eine Belastung von 800 W für die Kontrollkochplatte zu gross sein, wenn die Prüflinge gegen Schluss zu grosse und ungünstige Deformationen erlitten haben.

d) Spezialprüfungen.

Zum Schlusse seien noch einige Versuche aufgeführt, die nur für gewisse Erkenntnisse notwendig sind. Zu nennen ist zunächst die

1. *Bestimmung der Wärmekapazität* von Kochplatten, die auf Grund der Erkaltungsbeobachtungen durchgeführt werden kann. Die so ermittelte Kapazität zeigt natürlich nur den für eine klar beschriebene Art des vorausgegangenen Aufheizens gültigen Wert, denn es ist genau zwischen den bei verschiedenen Plattenzuständen bzw. vorausgegangenen Beheizungen erhältlichen Kapazitätswerten zu unterscheiden. Die Methode ist bereits unter a), 2 und 3, für die Normalapparatur erläutert. Auch die Ermittlung der rückgewinnbaren Remanenzwärme ist erwähnenswert; genaues Festlegen der Versuchsbedingungen, insbesondere der vorausgegangenen Beheizung und sodann der Dauer der Rückgewinnungszeit, ist nötig. Im übrigen liefern die Zeitunterschiede beim Kochen der ersten Portionen einer Serie während des Hauptversuches die wichtigsten Anhaltspunkte, wenn zwischen diesen auf das Leerheizen der Platten verzichtet wird und

gut gerichtete Spezialgeschirre bei den hier in Betracht kommenden Proben benützt werden. Auch die Veränderungen der Remanenzwärme infolge von Deformationen im Laufe der Versuche können so erfasst werden.

2. *Der Wirkungsgrad bei verschiedenen und hohen Kochguttemperaturen* und der *Fortkochwirkungsgrad* kann nicht mit der Kontrollapparatur ermittelt werden, da diese Schaden erleiden würde. Es ist daher eines der Spezialkochgeschirre mit einer hochsiedenden Flüssigkeit als Füllung zu benützen. Nach Art der Junkerschen Kalorimeter ist mit Hilfe eines entsprechend konstruierten Deckels eine Kühlflüssigkeit — am besten Wasser — durch die Füllung zu leiten, deren Zulauf und Auslauf-temperatur sowie das Durchlaufquantum zu bestimmen und daraus die abgeführte Wärmemenge zu errechnen. Bei festgelegter Belastung wird das Durchlaufquantum so reguliert, dass der Versuch die Nutzwärmen — die im praktischen Betrieb den Verdampfungs- und Umsetzungswärmen entsprechen würden — für verschiedene stationäre Temperaturzustände liefert und graphisch der Wirkungsgrad in Funktion der Temperatur für verschiedene Belastungsstufen erhältlich wird. Es sind dies *Fortkochwirkungsgrade* (inklusive derjenigen für Wasser); die Ermittlung der Aufheizwirkungsgrade hätte in bekannter Weise zu erfolgen, doch ist hierzu die Kenntnis der spezifischen Wärme der verwendeten hochsiedenden Flüssigkeiten bei den verschiedenen Temperaturen erforderlich.

Die Spezialprüfungen unter d) sind im allgemeinen für die Prüfung überflüssig; zur Abklärung von Vorgängen im praktischen Betrieb haben sie aber ein bedeutendes Interesse.

3. *Die Temperaturen in Kochplatte und Geschirr* haben laut den in Bedingung 1 erwähnten Umständen wenig Wert, wenn nicht genaue vorherige Kenntnis der Lage der Kontaktflächen eine sachgemässe Verlegung der Thermolemente ermöglicht; somit wäre durch entsprechendes Bearbeiten der Platten die Kontaktflächenlage örtlich festzulegen, wobei aber nicht einmal sicher wäre, dass während des Betriebes Lage und Grösse durch Temperaturspannungen empfindlich geändert würde. Unter diesen Umständen ist auch kein Normalzustand herstellbar und daher mehr als zweifelhaft, dass Temperaturbestimmungen während des Betriebs ein grösserer Wert beigemessen werden kann, als rechnerisch ermittelten Werten. Dagegen können solche Temperaturmessungen, speziell bei leergehenden Platten, in Verbindung mit elektrischen oder mechanischen Prüfungen, angezeigt sein.

Schlussbemerkungen.

Das auszufertigende Versuchsprotokoll wird, wie bereits erwähnt, die Resultate graphisch dargestellt enthalten, und zwar ist mindestens der Durchschnitt der End-, der Anfangs- und möglichst der vorletzten Aufheizkurven aller 10 Platten aufzutragen; die Geschirrverluste sind zu addieren, der Wirkungsgrad ist planimetrisch zu ermitteln.

Es ist unmöglich, von Anfang an genau alle diejenigen Versuche zu bezeichnen, die wichtig und daher unveränderlich dauernd beizubehalten sind; vielmehr muss die Methode so aufgebaut sein, dass Versuchstechnik und Erfahrung ihren weiteren Aus- oder auch Abbau ermöglichen. Dazu werden auch Spezialarbeiten auf diesem Gebiete wichtiges Material beitragen können, beispielsweise die Analyse der Kurven. So können die Streckenabschnitte, welche die an den steilsten Teil der Aufheizkurve gelegte Tangente auf dem positiven Ast der Abszissenaxe und auf dem negativen Ast der Ordina-

tenaxe bildet, bei entsprechender Wahl, Herrichtung der Platten und Geschirre und Kenntnis der Abmessungen ein Bild der Wärmeleitfähigkeit, der Wärmekapazität und der Plattenverluste geben. Auch die im Dauergebrauch durch Deformation eintretenden Änderungen können erfasst werden. Offenbar liegt, wie an diesem Beispiel kurz dargelegt, die Möglichkeit vor, durch Untersuchungen sowohl für die Prüfungsmethode wie auch für die Fabrikationstechnik aus den Charakteristiken mit der Zeit zu einfachen Beurteilungsmerkmalen zu gelangen.

Berichtigung. — Rectification.

Im Artikel «Ueber den Parallelbetrieb von Drehstromtransformatoren» von E. Maurer, im Bull. SEV 1931, Nr. 10, sind auf Seite 240 die Clichés der Fig. 2 und 3 ver-

wechselt worden. Das Cliché SEV 1959 gehört zu Fig. 2, das Cliché SEV 1960 zu Fig. 3.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Störungszeitschreiber zur Beobachtung von Betriebsstörungen.

681.118

Ein von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gebauter Störungszeitschreiber schaltet die Geschwindigkeit des Papiervorschubes im Augenblick der Störung auf 10 mm/s um und ermöglicht damit das Erkennen von Dauer und Verlauf plötzlicher kurzzeitiger Schwankungen einer Betriebsgrösse. Dieser beschleunigte Ablauf des Registrierstreifens kann auf 6, 12, 18, 24, 30 oder 36 s Dauer eingestellt werden. Nach dieser Zeit wird die langsame Ablaufgeschwindigkeit von 2,5 oder 20 mm/h automatisch wieder eingeschaltet.

Wie Fig. 1 zeigt, erhält der Papierstreifen zwei Aufdrucke, einen schmalen für die Zeitaufzeichnung und einen breiten zur Aufzeichnung der Messgrösse. Ausser dem elektrischen Messwerk zur Registrierung der Messgrösse und dem umschaltbaren Uhrwerk zum Vorschub des Meßstreifens ist noch ein besonderes Uhrwerk zum Antrieb der Zeitregistrierung vorhanden. Die letztere ist so, dass der untere Bügel bzw. die daran befestigte Schreibfeder jedesmal während einer halben Stunde einen Weg von 30 mm senkrecht zur Ablaufrichtung zurücklegt, was der Teilung auf dem Meßstreifen von 1 mm = 1 min entspricht. Der Störungsanzeiger mit Spannungsmesswerk arbeitet zusammen mit einem in das Instrument eingebauten hochempfindlichen Wechselstrom-Unterspannungsrelais. Sinkt aus irgend einem Grunde die Netzspannung, so spricht letzteres an, betätigt ein Umschaltrelais und schaltet den Vorschub des Messstreifens auf die hohe Geschwindigkeit. Die Eigenzeiten des ganzen Apparates sind so klein, dass der beschleunigte Ab-

lauf des Streifens fast sofort mit dem Eintreten der Störung einsetzt. K. T.

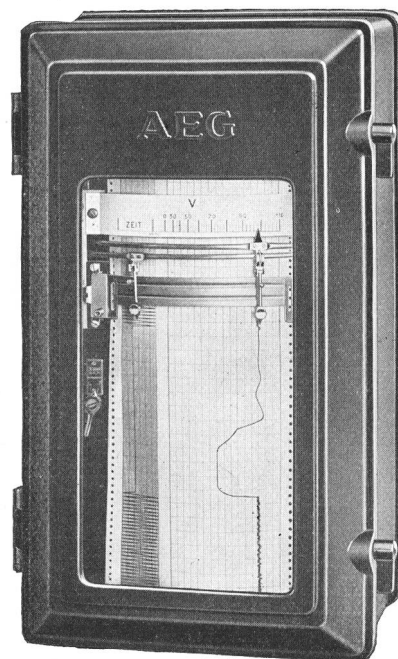


Fig. 1.

Wirtschaftliche Mitteilungen. — Communications de nature économique.

Aus den Geschäftsberichten bedeutenderer schweizerischer Elektrizitätswerke.

Kraftwerke Oberhasli A.-G., Innertkirchen, pro 1930.

Die Energieabgabe an die Aktionäre hat im Jahre 1930 68 579 815 kWh betragen. Im Herbst betrug der Energievorrat in den beiden Staubecken zusammen ca. 90 Millionen kWh. Ende des Jahres war im Kraftwerk Handeck die vierte Gruppe fertig montiert.

Der Beteiligungsvertrag mit der Stadt Bern ist zum Abschluss gelangt¹⁾.

Von dem 36 Millionen Franken betragenden Aktienkapital besitzt heute die Bernische Kraftwerke A.-G. 2/3, die Städte Basel und Bern je 1/6.

Das Obligationenkapital beträgt 43 Millionen Franken.

¹⁾ Siehe Bull. SEV 1931, No. 3, S. 75.