

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 30 (1939)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Über den Einbau von Lautsprechern  
**Autor:** Furrer, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058367>

### **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:** 18.04.2026

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

der grossen thermischen Zeitkonstante der Oelschalter kaum unter  $-10^{\circ}\text{C}$  sinken, so dass also die Oelheizvorrichtung überhaupt nicht benötigt wird. Der Stockpunkt des bei den Versuchen verwendeten Schalteröles beträgt ca.  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Herr Sektionschef H. Habich, Schweizerische Bundesbahnen, Bern: Unter den zahlreichen Fahrleitungs-Oelschaltern der SBB gibt es im Winter immer wieder, wenn auch recht selten, kleine Störungen, die auf tiefe Temperatur zurückzuführen sind, besonders wenn die Schalter lange nicht mehr gebraucht waren. Diese Störungen treten meistens im Mechanismus auf; oft ist das Schmiermittel schuld. Als solches verwenden die SBB kein Oel, sondern kältebeständige Fette, die bei grosser Kälte sehr dick werden. Neuerdings versagte auch ein pneumatischer Antrieb, weil die Dichtung der Kälte nicht standhielt. Es wäre zweckmässig, die Antriebe in Kühllhäusern systematisch zu untersuchen.

Der Vorsitzende verdankt die Beiträge und regt an, die Frage der Eigenzeit des Schalters mit Rücksicht auf eine gute Selektivität des Ueberstromschutzes im Netz zu diskutieren.

Herr A. Kleiner, Generalsekretär des SEV und VSE, benützt die Gelegenheit, um auf das Netzmodell des VSE aufmerksam zu machen. Dieses Modell steht allen Werken zur Verfügung. Man braucht die Kurzschlussverhältnisse der Netze nicht mehr zu rechnen; mit dem Modell kann man alles messen, nachdem der Netzaufbau nachgebildet ist<sup>2)</sup>. — Wenn man die Referate der Herren Dr. W. Wanger und H. Leuch gehört hat, scheint es, dass es relativ leicht ist, die Schaltdaten zu berechnen. Es taucht nun die Frage auf, ob die Schalter in Zukunft auch noch nach der wiederkehrenden Spannung gestuft werden sollen. Es scheint fast, als ob man früher oder später bei der Wahl der Schalter auch die Eigenfrequenz der Netzteile und deren Einfluss auf die wiederkehrende Spannung berücksichtigen, ja vielleicht in Regeln festlegen müsse. Dazu müsste man allerdings vorher noch sehr viele Erfahrungen sammeln; bis das so weit ist, besteht aber die Gefahr der Unsicherheit bei den Bestellern.

Herr Dr. A. Roth, Direktor der Sprecher & Schuh A.-G., Aarau: Ich bin mit dem Herrn Vorsitzenden einig, dass man mit der Einführung der Ergebnisse der an sich sehr interessanten Studien über den Einfluss der Eigenfrequenz in die Praxis noch zuwarten muss. Wir hätten wohl besser getan, diese Frage überhaupt noch nicht in der Öffentlichkeit zu erörtern, denn es ist zu fürchten, dass die Betriebsleitungen, die ja ohnehin mit Sorgen aller Art belastet sind, hinsichtlich des guten Funktionierens der Schalter unsicher werden. Die Betriebsleitungen können jedoch ganz ruhig sein, da uns die Natur zu Hilfe kommt, denn in Wirklichkeit wirken sich diese Fragen nicht so schlimm aus, wie die Theorie vermuten lässt; warum, weiss man noch nicht, es bestehen hierüber nur Hypothesen. Bauen wir Forschung und Theorie vorläufig weiter aus und lassen wir sich die Sache noch während einiger Jahre entwickeln. Zweifellos werden wir später in der Lage sein, die Rückwirkung der wiederkehrenden Spannung zuverlässig zu überblicken. Vielleicht werden wir

<sup>2)</sup> Siehe Bull. SEV 1927, Nr. 11, Seite 713, Bull. SEV 1937, Nr. 17, Seite 394.

(Fortsetzung des Berichtes folgt.)

## Ueber den Einbau von Lautsprechern.

Von W. Furrer, Bern.

621.395.6:3.7

*Der Einbau eines Lautsprechersystems in eine Schallwand hat den Nachteil, dass für eine gute Wiedergabe der tiefen Frequenzen grosse Abmessungen nötig sind; ferner wird die Frequenzkurve durch die Art der Aufstellung der Schallwand stark beeinflusst. Durch Einbau in einen geschlossenen Kasten, dessen Volumen und Dämpfung passend dimensioniert sind, lassen sich diese Nachteile vermeiden.*

*L'installation d'un système de haut-parleur dans une paroi acoustique présente l'inconvénient d'exiger, pour une bonne reproduction des basses fréquences, une paroi de dimensions encombrantes; d'autre part, la courbe de fréquence est fortement influencée par l'emplacement de la paroi acoustique. En installant le haut-parleur dans une caisse étanche ayant un volume et un amortissement appropriés, on arrive à supprimer ces inconvénients.*

Ueber den zweckmässigsten Einbau von elektrodynamischen Lautsprechern herrscht heute noch vielfach grosse Unklarheit. Es soll hier der Fall

von separat einzubauenden Systemen besprochen werden, die häufig für hochwertige Wiedergabe von Musik verwendet werden. Für den Einbau von

Lautsprechern in Rundspruchgeräte sind noch eine Reihe anderer Gesichtspunkte massgebend, die hier nicht erörtert werden sollen.

Für sämtliche Versuche wurde dasselbe Lautsprechersystem verwendet (Fabrikat der «Cinaudagraph» Corp. USA, Modell HY-12-12, Membrandurchmesser 28 cm, Belastbarkeit etwa 12 Watt, permanentes Feld). Die Messungen des Frequenzganges wurden im Freien, am Rande eines erhöht liegenden, flachen Daches durchgeführt. Damit liessen sich Störungen durch stehende Wellen, Rückwürfe usw. vollständig vermeiden. Der Leistungsverstärker war gegengekoppelt und lieferte eine belastungsunabhängige, konstante Spannung. Gemessen wurde mit einem dynamischen Mikrophon mit bekannter Frequenzkurve, dessen Spannung über geeignete Verstärker einem Pegelschreiber mit logarithmischer Charakteristik zugeführt wurde. Die Genauigkeit der Messresultate ist durch die Eichkurve des Messmikrophons bestimmt; sie beträgt ungefähr:  $\pm 1$  db von 50 bis 1000 Hz,  $\pm 2$  db von 1000 bis 5000 Hz,  $\pm 4$  db von 5000 bis 10 000 Hz. Es wurde ausschliesslich in der Lautsprecherachse, in einer Entfernung von 150 cm gemessen.

Die am häufigsten angewandte Einbauart für elektrodynamische Lautsprechersysteme ist die Schallwand. Es ist allgemein bekannt, dass die Wiedergabe der tiefen Frequenzen um so besser ist, je grösser die Abmessungen der Schallwand sind. Fig. 1 zeigt den Frequenzgang für eine quadratische

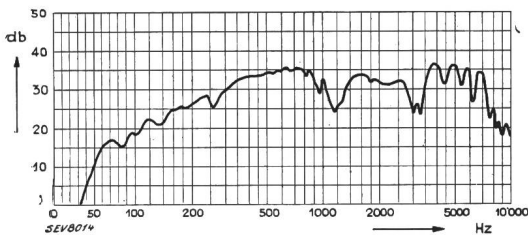


Fig. 1. Schallwand 56 x 56 cm.

Schallwand von 56 cm Seitenlänge, Fig. 2 für eine rechteckige mit Seitenlängen von 110 und 90 cm; das Lautsprechersystem war bei beiden zentral angeordnet. Die grössere Schallwand bringt eine Verbesserung der Wiedergabe bei 100 Hz um 4 db; es resultiert schon ein als gut zu qualifizierender Frequenzgang. Diese Verhältnisse ändern sich aber gründlich, wenn der Lautsprecher nach rückwärts

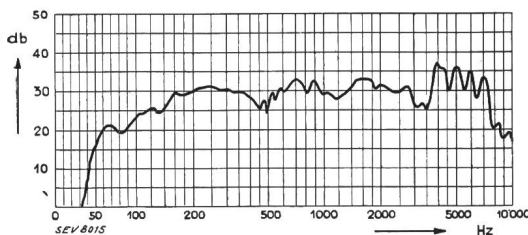


Fig. 2. Schallwand 90 x 110 cm.

nicht mehr frei abstrahlen kann, so z. B. wenn die Schallwand in einer Ecke eines Raumes angebracht wird. Den Einfluss einer solchen Aufstellung zeigt

Fig. 3. Bei dieser Messung war die Schallwand (90·110 cm) vor 2 zueinander annähernd rechtwinklig stehenden Sperrholzplatten (Zimmerecke) angeordnet, so dass die Ecke sich etwa 60 cm hinter der Mitte des Lautsprechers befand. Das entspricht durchaus einem allgemein üblichen Fall. Aus dem

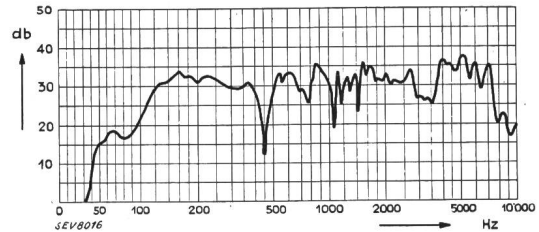


Fig. 3. Schallwand 90 x 110 cm in einer Ecke.

Messresultat ist ersichtlich, dass dadurch die Wiedergabe der tiefen Frequenzen wieder verschlechtert wird und dass vor allem sehr starke Unregelmässigkeiten im Frequenzgebiet zwischen 400 und 2000 Hz auftreten, die durch Ueberlagerung des von der Zimmerwand reflektierten Anteils mit dem nach vorn abgestrahlten Schall entstehen. Diese Unregelmässigkeiten wirken sich auf die Qualität der Wiedergabe sehr ungünstig aus.

Aehnliche Verhältnisse ergeben sich auch, wenn die Lautsprecherschallwand nicht in einer Ecke eines Raumes, sondern etwa in geringem Abstand parallel einer Wand aufgehängt wird. Es ist deshalb naheliegend, nach einer Einbauart zu suchen, die durch ihre nähere Umgebung nicht beeinflusst wird. Dies ist nur möglich, wenn die Abstrahlung nach rückwärts unterdrückt wird, d. h. wenn das Lautsprechersystem in eine Wand eines vollständig geschlossenen Kastens eingesetzt wird. Dadurch entsteht aber ein Luftpolster, das zusammen mit der Masse der abschliessenden Membrane ein schwingungsfähiges System bildet. Die Resonanzfrequenz dieses Systems muss einen bestimmten Wert haben; sie liefert daher die Dimensionierung des Kastens. Es bestehen die folgenden Beziehungen:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{s}{m_e}} \quad (1)$$

$\omega_0$  Kreisfrequenz bei Resonanz,  
 $s$  Federkonstante des Luftpolsters,  
 $m_e$  Effektive Masse der Lautsprechermembrane.

Einen Ausdruck für  $s$  liefert das adiabatische Gasgesetz  $p \cdot V^\gamma = \text{const.}$  Wir differenzieren nach der Verschiebung  $x$  der Membrane und erhalten:

$$\frac{\partial}{\partial x} (p \cdot V^\gamma) = \gamma \cdot p \cdot V^{\gamma-1} \frac{\partial V}{\partial x} + V^\gamma \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$s$  ist definiert durch die Kraft, die aufgewendet werden muss, um die Membrane um die Längeneinheit zu verschieben, d. h.

$$s = A \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \quad A \text{ Fläche der Membrane} \quad (3)$$

Dieser Ausdruck kann aus (2) durch Multiplikation mit  $A/V^\gamma$  erhalten werden:

$$\frac{\gamma \cdot p \cdot A}{V} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} = -A \frac{\partial p}{\partial x} = -s \quad (4)$$

Das negative Vorzeichen bedeutet, dass  $p$  mit abnehmendem  $x$  zunimmt.

In der Gl. (4) kann man setzen  $\partial V = A \partial x$

$$s = \frac{\gamma \cdot p \cdot A^2}{V} \quad (5)$$

wo  $p = p_0$  (Atmosphärendruck).

Aus (5) und (1) ergibt sich nun

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\gamma \cdot A^2 \cdot p_0}{V \cdot m_e}} \quad (6)$$

oder, nach  $V$  aufgelöst und die Konstanten eingesetzt:

$$p_0 = 10^6 \text{ dyn/cm}^2 \quad \gamma = 1,40$$

$$V = 3,55 \cdot 10^4 \frac{A^2}{f_0^2 \cdot m_e} \begin{cases} A & \text{in cm}^2 \\ f_0 & \text{in Hz} \\ m_e & \text{in g} \end{cases} \quad (7)$$

In der Formel (7) kommt die *effektive Masse* der Lautsprechermembrane  $m_e$  vor. Eine solche Membrane ist im wesentlichen eine runde Scheibe, die in der Mitte angetrieben wird. Wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in radialer Richtung so gross wäre, dass die Zeit für die Fortpflanzung der Energie von der Mitte bis zum Rand der Scheibe klein wäre gegen die Zeitdauer einer Viertelperiode, könnte die Scheibe als starrer Körper angesehen werden. Für wirkliche Lautsprechermembranen ist das jedoch nur bei sehr tiefen Frequenzen der Fall, während in dem in Frage kommenden Frequenzbereich die radiale Fortpflanzungsgeschwindigkeit relativ klein ist. Es werden sich also von der Mitte gegen den Rand hin fortschreitende Wellen ausbilden, welche am Rand reflektiert werden, so dass die effektive Masse bei den verschiedenen Frequenzen sehr grossen Schwankungen unterworfen ist.

Es ist daher einleuchtend, dass eine Berechnung von  $m_e$  auf Grund der Konstruktionsdaten des Lautsprechers nicht einfach wäre, so dass  $m_e$  besser experimentell bestimmt wird. Eine Möglichkeit hiezu bieten Impedanzmessungen.

Die elektrische Impedanz  $Z$  eines elektrodynamischen Lautsprechers wird durch den folgenden Ausdruck dargestellt:

$$Z = R + j\omega L + \frac{(H \cdot l)^2}{r + j(\omega m - s/\omega)}$$

wo

- $H$  Magnetische Feldstärke im Luftspalt,
- $l$  Länge des Schwingspulenrahtes im Magnetfeld,
- $R$  Widerstand der Schwingspule,
- $L$  Selbstinduktion der Schwingspule,
- $m$  Masse des beweglichen Systems,
- $s$  Steifheit der elastischen Einspannung,
- $r$  Dämpfungswiderstand des beweglichen Systems.

Dieser Ausdruck setzt sich also aus der Impedanz der ruhenden Spule  $R + j\omega L$ , die sich bei gebremster Membran messen lässt und einem zweiten komplexen Glied zusammen, das den Einfluss der Membranbewegung enthält. Um die effektive

Masse  $m_e$  herauszuschälen, greift man zweckmässig zu einer elektrischen Analogie, indem man einen aus  $L$  und  $C$  bestehenden elektrischen Schwingungskreis mit einem durch  $m$  und  $s$  bestimmten mechanischen System vergleicht. Die Impedanz des elektrischen Schwingungskreises ist

$$Z = \omega L - \frac{1}{\omega C} = \omega L_e$$

wo  $L_e$  die effektive Induktivität bedeutet. Analog ist die Impedanz des mechanischen Systems

$$Z_m = \omega m - \frac{s}{\omega} = \omega m_e$$

Der Ausdruck  $\omega m - \frac{s}{\omega}$  ist der Imaginärteil des Bewegungsgliedes der Lautsprecherimpedanz und kann also durch Messung bestimmt werden. Daraus ergibt sich sofort:

$$m_e = m - \frac{s}{\omega^2}$$

Die Impedanzmessungen verlangen eine erhebliche Genauigkeit; besondere Aufmerksamkeit ist auch dem Festbremsen der Schwingspule zu schenken; am besten eignet sich das Verkleben des Luftspaltes mit Wachs oder dgl.

Wie tief kann nun die Resonanzfrequenz angesetzt werden? Sie muss einmal höher liegen als die durch die Masse der Membrane und die Steifheit ihrer elastischen Einspannung bestimmte Resonanzfrequenz. Diese lässt sich leicht oszillographisch bestimmen oder einfacher durch Aufnahme der Impedanzkurve im betreffenden Frequenzbereich (Kurve 1, Fig. 4); sie liegt hier bei etwa 45 Hz.

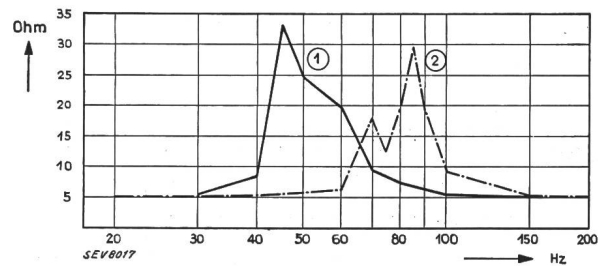


Fig. 4. Impedanzen bei Resonanz.

Nach unten wird die Resonanzfrequenz auch noch begrenzt durch die grösste Amplitude, mit der die Membrane schwingen kann, ohne dass störende Nichtlinearitäten auftreten. Im untern Frequenzbereich ist die Amplitude bekanntlich umgekehrt proportional der Frequenz. Am einfachsten lässt sich dies durch Klirrfaktormessungen bestimmen.

Im vorliegenden Fall wurde mit 8 V Klemmenspannung bei 500 Hz 3 % und bei 80 Hz 5 % Klirrfaktor gemessen. Da man den zweiten Wert nicht überschreiten wollte, wurde die Resonanzfrequenz zu 80 Hz gewählt. Die übrigen Daten waren die folgenden:

$$A = 490 \text{ cm}^2$$

$$m_e = 17 \text{ g}$$

Durch Einsetzen in die Formel (7) ergab sich ein Gehäusevolumen von  $7,9 \cdot 10^4 \text{ cm}^3$ , so dass die Abmessungen des Kastens zu  $56 \cdot 56 \cdot 25 \text{ cm}$  bestimmt wurden.

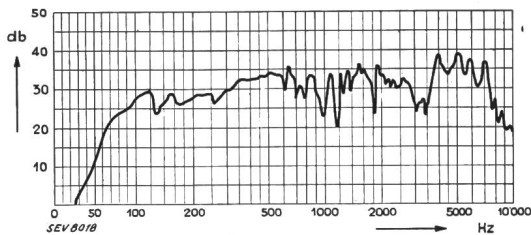


Fig. 5.  
Geschlossener Kasten, ohne Dämpfung.

Die mit diesem Einbau erhaltene Frequenzkurve zeigt Fig. 5. Die Wiedergabe bei 80 Hz ist gegenüber der gleich grossen Schallwand (Fig. 1) um etwa 8 db verbessert worden. Dagegen sind zwischen 500 und 2000 Hz starke Unregelmässigkeiten aufgetreten, die von Reflexionen an der Rückwand des Kastens herrühren. Die Dämpfung bei der Resonanzfrequenz ist genügend gross, so dass es nur nötig ist, die Frequenzen über 500 Hz zu absorbie-

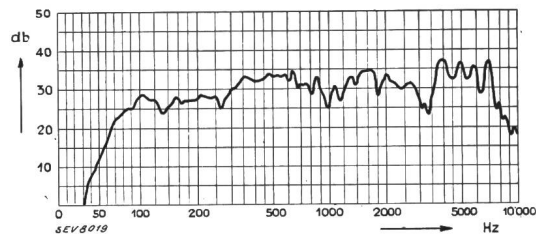


Fig. 6.  
Geschlossener Kasten, 3 cm Glaswolle.

ren, was am besten mit einem porösen Schluckmaterial erfolgt. Fig. 6 zeigt den Einfluss einer 3 cm starken Glaswolle, Fig. 7 den einer 6 cm starken Schicht desselben Materials. Es ist deutlich

zu sehen, wie die erwähnten Unregelmässigkeiten im mittleren Frequenzgebiet mit zunehmender Absorption verschwinden, ohne dass die gewollte Resonanz bei 80 Hz merklich gedämpft würde.

Ein Vergleich mit der Frequenzkurve in der grossen Schallwand (Fig. 2) zeigt, dass trotz den bedeutend kleineren Abmessungen ( $3100 \text{ cm}^2$  gegen  $10000 \text{ cm}^2$ ) die Wiedergabe im Frequenzbereich von 70 bis 120 Hz um etwa 3...5 db verbessert wurde.

Eine Impedanzmessung (Strom bei konstant gehaltener Spannung) des in den Kasten eingebauten Lautsprechersystems zeigt deutlich die durch das Luftpolster von 45 auf etwa 80 Hz gestiegene Re-

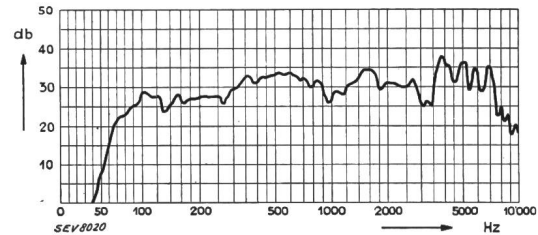


Fig. 7.  
Geschlossener Kasten, 6 cm Glaswolle.

sonanzfrequenz (Fig. 4, Kurve 2). Man hat damit gleichzeitig ein einfaches Mittel in der Hand, die vorstehend beschriebene Methode, bei der die Bestimmung von  $m_e$  etwas umständlich ist, zu umgehen, indem man vorerst einen Kasten von beliebigem Volumen baut, die sich einstellende Resonanzfrequenz mit einer Impedanzmessung bestimmt und dann das für die gewünschte Resonanzfrequenz nötige Volumen durch Umrechnung erhält. Dabei ist allerdings zu beachten, dass  $m_e$  frequenzabhängig ist, so dass diese Methode nicht sehr genau ist.

#### Literatur.

N. W. McLachlan, Loud Speakers, Oxford 1934.



## Schweizerische Landesausstellung 1939 Zürich — Exposition Nationale Suisse 1939 Zurich

### Die vollelektrifizierte Molkerei.

Im Dörfli kann man jeden Tag die vollelektrifizierte Grossmolkerei in Betrieb sehen. Sie umfasst eine Milchzentrale mit Reinigungszentrifugen, Pasteurierungs- und Kühlapparaten, Lagerungstanks und automatischer Kannenwaschmaschine, ferner eine Zentralbutterei mit Plattenpasteurierungsmaschine, grossen Gefässen zur Säuerung des Rahms und zur Züchtung von Reinkulturen, Butterfertiger, Modelliermaschinen und Kühlraum, sowie eine Abteilung für Spezialprodukte wie Flaschenmilch, Ice-Cream usw. Diesen Einrichtungen für den Betrieb schliessen sich ein Kontroll- und Untersuchungslaboratorium und eine Milchbar an.

In der Molkerei sind rd. 70 Lampen installiert, die 10 kW aufnehmen. Die Kühlanlage umfasst 11 Motoren von zusammen 65 kW. Im Betrieb sind weitere 36 Motoren vorhanden, mit einem Gesamtanschlusswert von 67 kW. Die Milchbar weist an elektrischen Apparaten einen Grill von 7 kW, eine Kaffeemaschine von 8,5 kW und ein Schokoladeschmelzgefäss von 5 kW auf.

Schliesslich verdient der mit  $3 \times 6000 \text{ V}$  gespeiste Elektrodampfkessel, der allein 700 kW aufnimmt, besondere Erwähnung.

### Aus dem Programm der Abteilung Elektrizität.

(Die Vorträge finden im Kino je um 20 h statt. Eintritt frei.)

Freitag, den 7. Juli: Vortrag von Herrn O. Rüegg (Z. f. L.) über *gute Beleuchtung*, mit Film.

Samstag, den 8. Juli: Vortrag von Herrn A. de Quervain (ETH) über *Fernsehen*, mit Demonstrationen.

Sonntag, den 9. Juli: Filmvorführungen.

Montag, den 10. Juli: Filmvorführungen und Demonstrationen im *Höchstspannungsraum*.

Dienstag, den 11. Juli: Vortrag von Herrn L. Hartmann über *Unfallversicherung und Unfallverhütung*.

Mittwoch, den 12. Juli: Vortrag von Herrn A. de Quervain (ETH) über *Fernsehen*, mit Demonstrationen.

Donnerstag, den 13. Juli: Vortrag von Herrn Prof. P. Scherrer über *künstliche Atomumwandlungen*.

Freitag, den 14. Juli: Demonstration des *Wasserbaumodells*.

Samstag, den 15. Juli: Vortrag von Herrn C. Bodmer (MFO) über *Grosslokomotiven*.

Sonntag, den 16. Juli: Filmvorführungen.

Montag, den 17. Juli: Vortrag von Herrn Prof. Imhof (Mica-fil) über den *Tensator*.