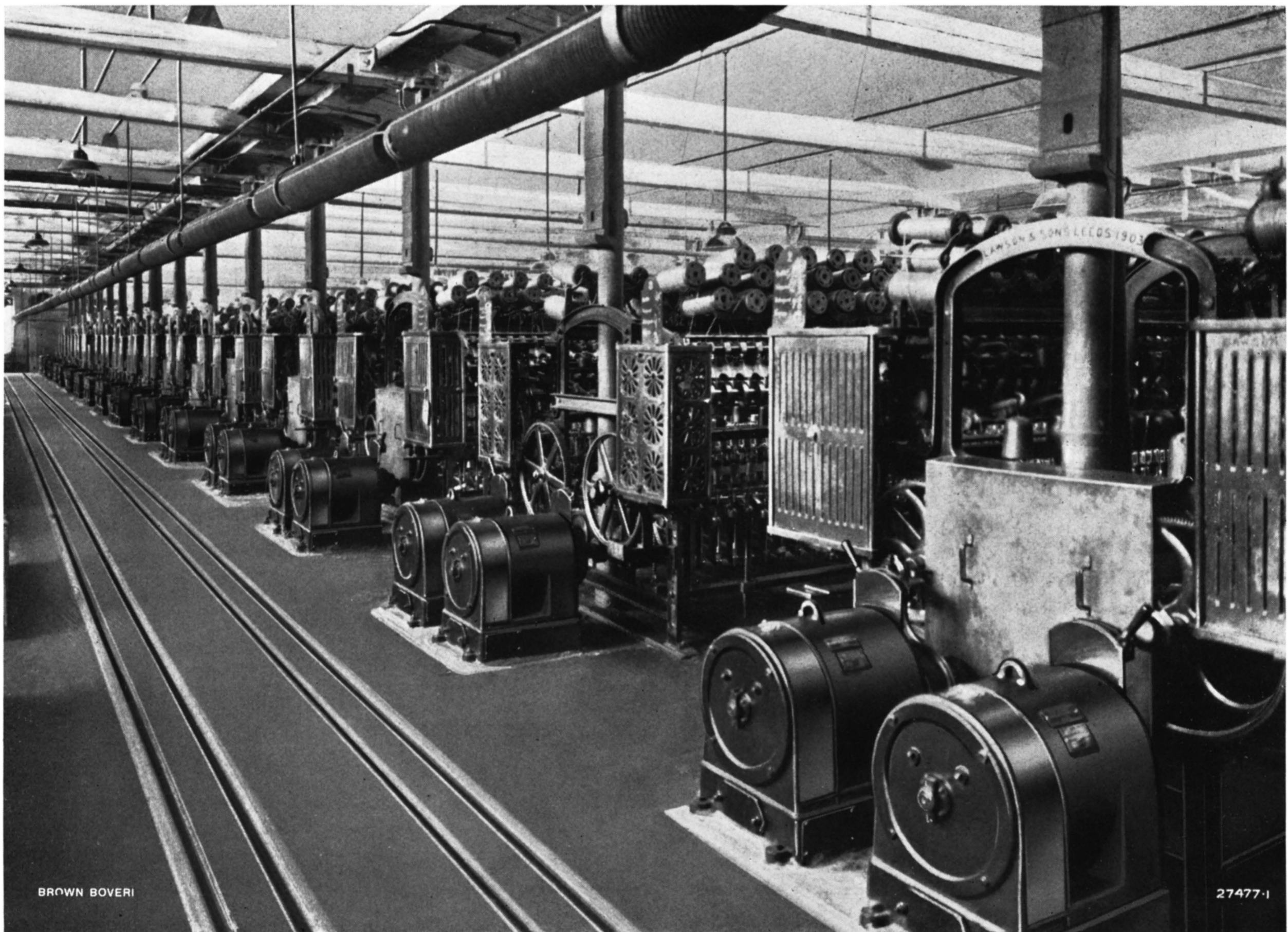


BROWN BOVERI MITTEILUNGEN

Herausgegeben von der Aktiengesellschaft BROWN, BOVERI & C^{IE}, BADEN (Schweiz)



TROPFAUER JUTEFABRIK GEBR. HATSCHKE, A.-G., TROPFAU.

Einzelantrieb von doppelten Jute-Flügelspinnmaschinen durch Brown Boveri-Wechselstrom-Kommutatormotoren mit eingebautem Zahnradvorgelege.

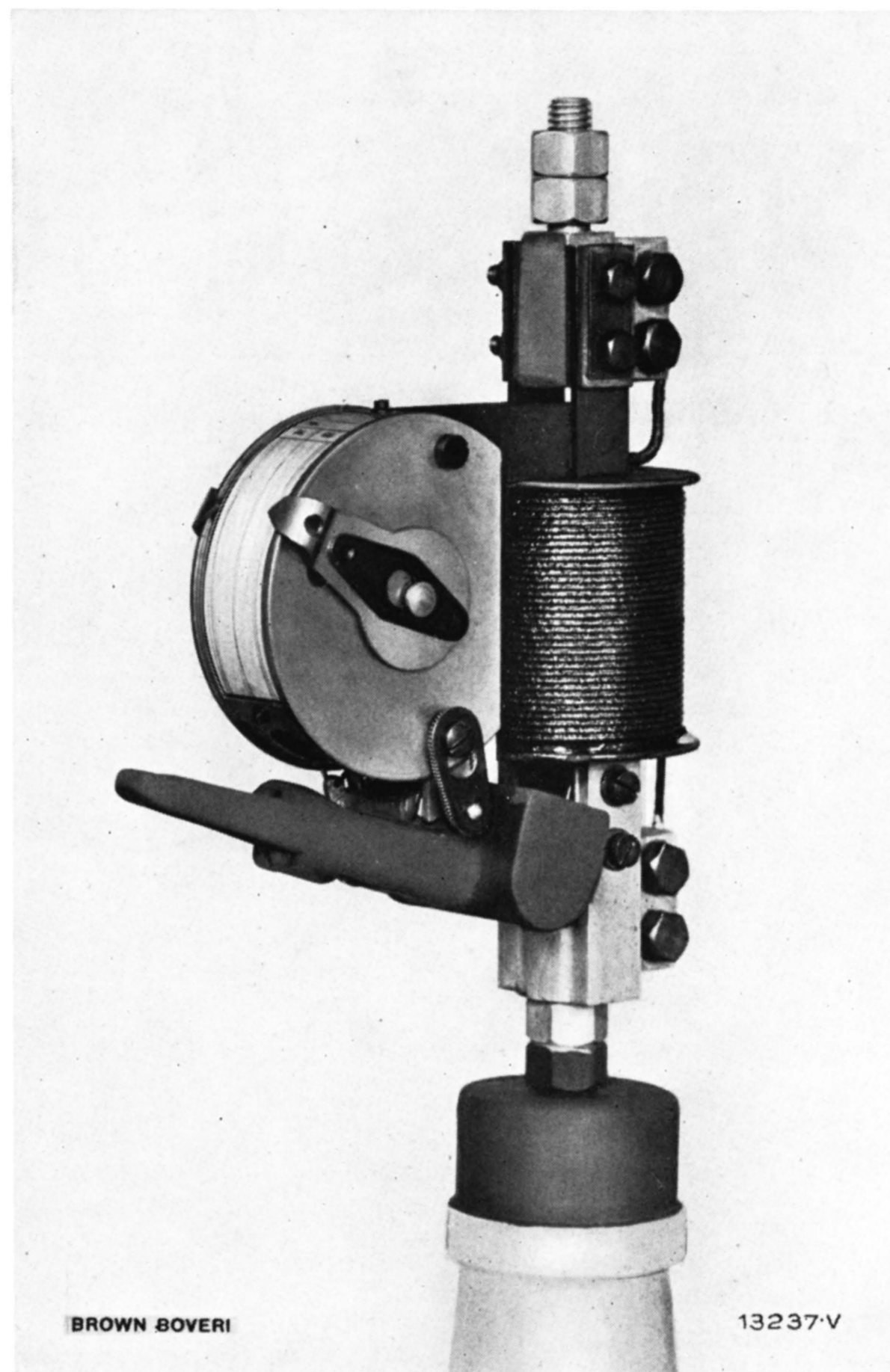
INHALT:

	Seite		Seite
Eigenspannungen, Wärmespannungen und Dampfturbinenkonstruktion	243	B + B-Schmalspur-Lokomotiven für die Bahn La Guaira-Caracas in Venezuela	269
Der Antrieb von Weston-Zentrifugen	254	Brown Boveri-Turbinen in Japan	270
Zur Kenntnis der Bleiglätteglyzerinkitte. (Schluss)	260	Die Heizung elektrisch betriebener Eisenbahnzüge	270
Kleine Mitteilungen:			
Sicherheitseinrichtung für elektrische Fahrzeuge	268		

HAUPTSTROMRELAIS TYPE H

VON 4 BIS

1000 A



ZUM UNMITTELBAREN EINBAU IN DIE ZU SCHÜTZENDE LEITUNG UND MIT DIREKTER
EINWIRKUNG AUF DEN ÖLSCHALTER OHNE STROMWANDLER, AUSLÖSEMAGNETEN
UND HILFSSTROMQUELLE

MECHANISCHE VORZÜGE:

KAPSELUNG DES GETRIEBES - GROSSE SICHTBARE SKALEN FÜR STROM UND ZEIT
KLEINE AUSSENABMESSUNGEN - ANSCHLUSSKLEMMEN IN DER LEITUNGSACHSE

ELEKTRISCHE VORZÜGE:

GROSSE SCHLAGÄHNLICHE AUSLÖSEKRAFT
KEINE NACHWIRKUNG BEI STROMRÜCKGANG - UNABHÄNGIGKEIT DER LAUFZEIT
EINSTELLBARKEIT FÜR MOMENTANAUSLÖSUNG BEI KURZSCHLUSS

VIELE TAUSENDE IN BETRIEB

BROWN BOVERI MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER A.-G. BROWN, BOVERI & C^{IE} IN BADEN

XVI. JAHRG.

SEPTEMBER 1929

Nr. 9

Die Brown Boveri Mitteilungen erscheinen monatlich einmal. Der Nachdruck von Aufsätzen und die Wiedergabe von Abbildungen sind unter Quellenangabe gestattet. Einzelheft Fr. 1.—; Jahresabonnement Fr. 10.—, ausschliesslich Verpackungs- und Portospesen.

EIGENSPANNUNGEN, WÄRMESPANNUNGEN UND DAMPFTURBINENKONSTRUKTION.

Dezimalindex 621.165.14.

I. EINLEITUNG.

Unter der Bezeichnung „Eigenspannungen“ werden alle jene in einem Körper auftretenden Spannungen zusammengefasst, die nicht durch Massenkkräfte oder durch äusserlich am Körper angreifende Kräfte wachgerufen werden. Nach der Ursache ihrer Entstehung lassen sich die Eigenspannungen in zwei verschiedene Arten unterteilen:

1. Die eigentlichen Eigenspannungen, nachfolgend kurz als Eigenspannungen bezeichnet;
2. Die Wärmespannungen, die bei verschiedener Temperatur verschiedener Teile des Körpers durch deren ungleiche Ausdehnung entstehen.

Das übereinstimmende mechanische Verhalten der beiden Arten berechtigt eine gemeinsame Besprechung.

In beiden Fällen bilden die sämtlichen auftretenden innern Kräfte ein in sich geschlossenes und mit sich selbst im Gleichgewicht stehendes System. Äusserlich treten die Eigenspannungen kaum in Erscheinung, wenn sie nicht örtlich die Tragfähigkeit des Materials überschreiten und einen Bruch hervorrufen. Feststellen lassen sie sich nur durch Dehnungsmessungen am Körper in unverändertem Zustande und nach teilweiser Unterbrechung des ursprünglichen Zusammenhangs¹⁾. Ursache eigentlicher Eigenspannung sind durch den Herstellungsvorgang erzeugte Unstimmigkeiten der Dimensionen. Wie aus Heyns klassischer Darstellung²⁾ hervorgeht, treten Eigenspannungen jedesmal dann auf, wenn je zwei Teile eines Körpers in verschiedenem Grade plastisch deformiert worden sind, sodass die entstandene Unstimmigkeit durch elastische Deformation und Verspannung überbrückt werden muss, soll der Zusammenhang erhalten bleiben. Ungleiche plastische Verformungen können aber die Folge vieler Herstellungsverfahren sein, an erster Stelle aller Formgebungen in der Kälte. Gleiche Wirkung können

plastische Verformungen durch Überbeanspruchungen haben³⁾. — Bei der Warmverarbeitung sowie nach dem Giessen ist die Grösse der Eigenspannungen bedingt durch den Temperaturunterschied verschiedener Teile des Körpers beim Übertritt aus dem Gebiet plastischen in das Gebiet elastischen Verhaltens, während die Kristallisationsschwindung und die flüssige und feste Kontraktion bei höheren Temperaturen darauf keinen direkten Einfluss haben⁴⁾. Gußspannungen lassen sich daher durch langsame Abkühlung vermeiden oder vermindern, weil dabei die Temperaturunterschiede zwischen dicken und dünnen Teilen kleiner werden.

Wie die Feststellung von Wärme- und Eigenspannungen Schwierigkeiten bereitet und die Zerstörung des Körpers verlangt, so ist auch ihre Berechnung mit Schwierigkeiten verbunden und nur auf Grund vereinfachender Annahmen möglich. — Durch Kaltverformung entstandene Eigenspannungen entgehen der Berechnung ganz, solange die Grösse der plastischen Deformationen und ihre Unterschiede nicht gemessen werden können. — Durch verschiedene Abkühlung bedingte Eigenspannungen bieten der Berechnung deshalb grosse Schwierigkeiten, weil der Übergang aus dem plastischen in das elastische Gebiet nicht bei einer bestimmten Temperatur, sondern in einem weiten Temperaturintervall vor sich geht. In diesem Intervall wird plastisches, mit bleibender Verformung verbundenes Fliessen abnehmen und allmählich verschwinden, während, entsprechend der wachsenden Tragfähigkeit des Materials, elastische Spannungen und Deformationen entstehen. Zur weiteren Komplikation des Problems trägt der Umstand bei, dass der Elastizitätsmodul vorerst klein ist und sich erst nach und nach mit abnehmender Temperatur dem gewöhnlich dafür angegebenen Wert nähert.

¹⁾ R. v. Steiger, Dissertation „Über Gußspannungen“, Zürich 1913.

²⁾ Martens-Heyn, „Materialkunde“, Band II a, Berlin 1912.

³⁾ E. Honegger, „Ausgleich der Beanspruchung einer rasch rotierenden Radscheibe durch passenden Vorspannungszustand“. BBC Mitteilungen, Jahrgang 1919, Heft 11, S. 273.

⁴⁾ Indirekt können sie einen Einfluss haben, wenn das Nachfliessen während der Erstarrung behindert ist.

Die für einfachste Verhältnisse in der angeführten Arbeit von v. Steiger vorgenommene Vorausberechnung der Gußspannungen hat zu befriedigenden Ergebnissen geführt, falls angenommen wurde, das Gusseisen verhalte sich bei einer Temperatur von über 400° plastisch. Mit dieser Annahme stimmen neuere, in der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt durchgeführte Messungen¹⁾ über die Dauerstandfestigkeit von Gusseisen genügend gut überein, nach welchen die Dauerstandfestigkeit zwischen 400° und 500° sich rasch dem Werte Null nähert. — Die Temperatur des Elastischwerdens dürfte für Stahlguss mittlerer Härte ähnlich wie für Gusseisen liegen, für schmiedbares Eisen etwas höher, jedoch wird sie sicher nicht weit über 500° steigen²⁾. Die absolute Höhe ihres Wertes ist insofern von Bedeutung, als mit ihr auch die Grösse des grösstmöglichen Temperaturunterschiedes wächst.

Eine theoretische Bearbeitung haben die Eigenspannungen in Föppls Lehrbuch der technischen Mechanik gefunden³⁾, wo als Beispiel die Gußspannungen einer Kugel besprochen sind. In technischen Kreisen weniger bekannt dürfte die Untersuchung „Über den in einer isotropen Kugel durch ungleichförmige Erwärmung erregten Spannungszustand“ von Grünberg⁴⁾ sein, in welcher Untersuchung aus dem berechneten Temperaturverlauf in einer plötzlich in wärmere Umgebung gebrachten Kugel die auftretenden Wärmespannungen ermittelt sind. Auf die wertvollen Ergebnisse dieser Arbeit wird im nachfolgenden noch zurückzukommen sein.

Im nachfolgenden sind Eigenspannungs- und Wärmespannungszustände von Kugeln und Zylindern unter verschiedenen Annahmen für die Dimensionsunstimmigkeit und den Temperaturverlauf zusammengestellt und mit den Forschungsergebnissen Grünbergs verglichen. — Abb. 1 und die anschliessende Tabelle erläutern die benützten Bezeichnungen.

Es bedeuten im nachfolgenden Text:

E = Elastizitätsmodul (für Eisen $2,1 \cdot 10^6$).

ν = Querkontraktions-Koeffizient (für Eisen 0,3).

¹⁾ E. Honegger, „Über das Verhalten von Gusseisen in der Wärme“, XXXVII. Diskussionsbericht der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt, Dezember 1928.

²⁾ Man vergleiche „Properties of Materials at High Temperatures I, II and III“ von Tapsell und Clenshaw; London, His Majesty's Stationery Office, 1927, 1928.

³⁾ V. Band, „Die wichtigsten Lehren der höheren Elastizitätstheorie“, fünfter Abschnitt.

⁴⁾ Zeitschrift für Physik, Jahrgang 1925, Band 35, Seite 548.

η = Ausdehnungs-Koeffizient (für Eisen 0,000 011).

λ = Wärmeleitungs-Koeffizient
(für Eisen $56 \frac{\text{Cal}}{\text{m h } ^{\circ}\text{C}}$).

γ = Spezifisches Gewicht (für Eisen 7,86).

c = Spezifische Wärme (für Eisen $0,115 \frac{\text{Cal}}{\text{kg } ^{\circ}\text{C}}$).

$a^2 = \frac{\lambda}{\gamma c}$ Temperaturleitzahl.

x = Argument, Mittelpunkts- oder Achsenabstand.

r = Radius von Kugel oder Zylinder.

ξ = Radiale Verschiebung.

$\varphi(x)$ = Funktion von x , Temperaturverteilung.

$f(x)$ = Funktion von x .

$f'(x) = \frac{df(x)}{dx}$.

t = Temperatur.

$a_1, a_2, \dots a_n$ } Konstanten verschiedener Dimen-
 $\tau_1, \tau_2, \dots \tau_n$ } sion.

σ = Spannung. Index r, t, a = radial, tangential, axial.

lg = natürlicher Logarithmus.

II. THEORETISCHER TEIL.

1. Gemäss Abb. 2 sei in spannungslosem Zustande die Vollkugel ϱ durch einen Spalt Δr von der äusseren Hohlkugel getrennt. Wachsen die beiden Teile zu einem Ganzen zusammen, so entstehen in ihnen Spannungen und Deformationen von der Grösse:

Innenkugel:

$$\sigma_r = \sigma_t = \frac{2 E}{3(1-\nu)} \left(\frac{r^3}{\varrho^3} - 1 \right) \frac{\varrho^2 \Delta r}{r^3};$$

$$\xi = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \left(\frac{r^3}{\varrho^3} - 1 \right) \frac{\varrho^2 \Delta r}{r^3} x;$$

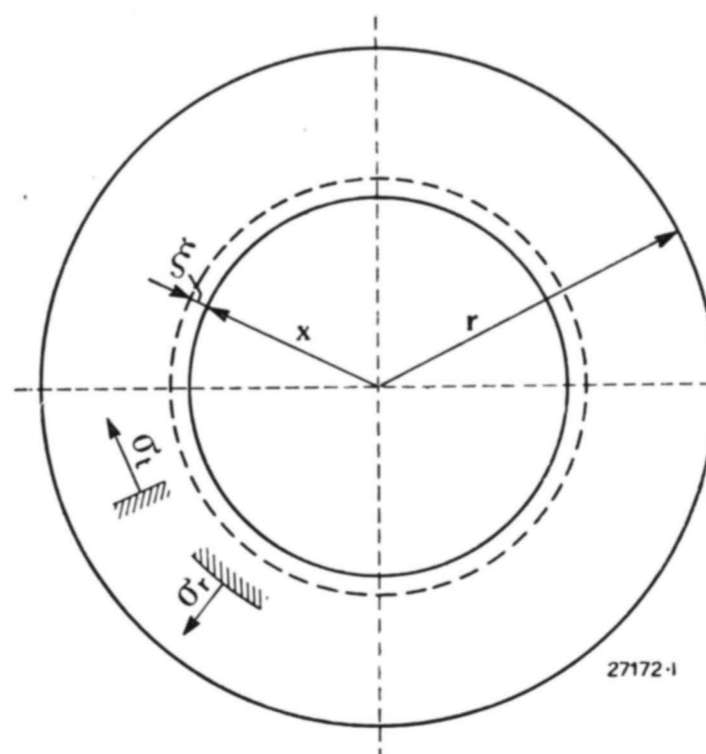


Abb. 1. — Erläuterung der Bezeichnungen.

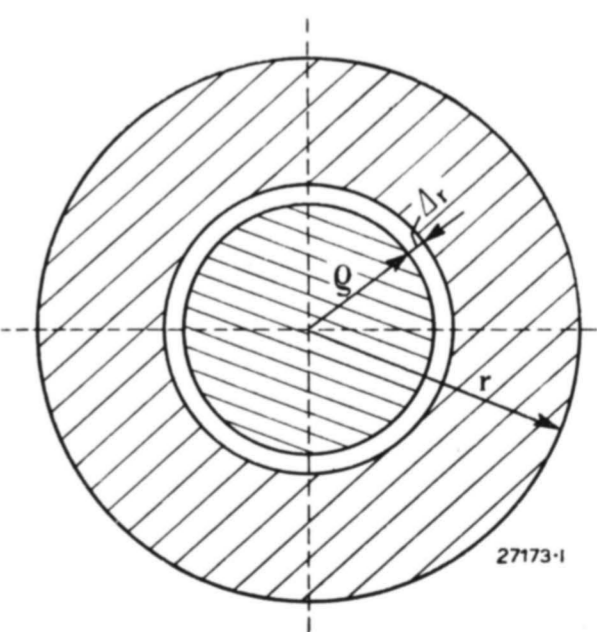


Abb. 2. — Schnitt durch ungespannte Körper.

Hohlkugel:

$$\sigma_r = \frac{2E}{3(1-\nu)} \left(\frac{r^3}{x^3} - 1 \right) \frac{\rho^2 \Delta r}{r^3};$$

$$\sigma_t = \frac{-2E}{3(1-\nu)} \left[\frac{1}{2} \frac{r^3}{x^3} + 1 \right] \frac{\rho^2 \Delta r}{r^3};$$

$$\xi = \frac{-1}{3(1-\nu)} \left[2(1-2\nu)x + (1+\nu) \frac{r^3}{H^2} \right] \frac{\rho^2 \Delta r}{r^3}.$$

Für Stahl oder Eisen, $\rho = \frac{1}{2} r$ und $\Delta r = r \cdot 10^{-4}$ sind diese Werte in Abb. 3 dargestellt.

2. Die unter 1. für die Kugel gemachten Annahmen führen beim Zylinder zu folgenden Ergebnissen, falls die Längsspannungen vernachlässigt werden:

Innenzylinder:

$$\sigma_r = \sigma_t = \frac{E}{2} \left(\frac{r^2}{\rho^2} - 1 \right) \frac{\rho \Delta r}{r^2};$$

$$\xi = \frac{1-\nu}{2} \left(\frac{r^2}{\rho^2} - 1 \right) \frac{\rho \Delta r}{r^2} x;$$

Hohlzylinder:

$$\sigma_r = \frac{E}{2} \left(\frac{r^2}{x^2} - 1 \right) \frac{\rho \Delta r}{r^2}; \quad \sigma_t = \frac{-E}{2} \left(\frac{r^2}{x^2} + 1 \right) \frac{\rho \Delta r}{r^2};$$

$$\xi = - \left(\frac{1-\nu}{2} x + \frac{1+\nu}{2} \frac{r^2}{x} \right) \frac{\rho \Delta r}{r^2}.$$

Wiederum unter gleichen Annahmen wie vorhin sind die Werte in Abb. 4 graphisch aufgetragen.

Im gleichen Bilde sind auch die bei ebenem Deformationszustand auftretenden Verhältnisse dar-

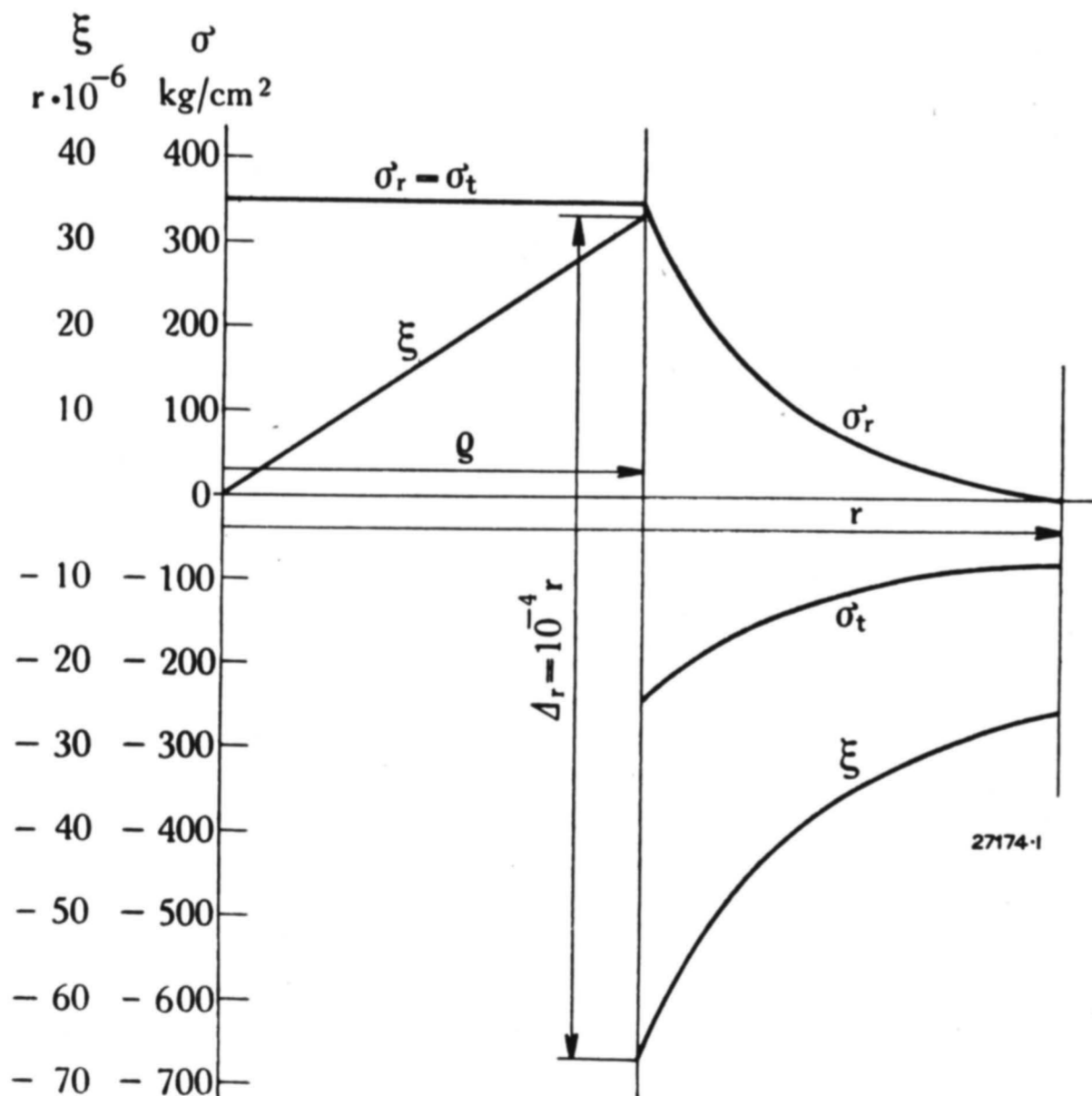


Abb. 3. — Spannungs- und Deformationszustand in einer Kugel. (Abb. 2.)

gestellt, mit welchen bei sehr langen Zylindern zu rechnen wäre. Der Unterschied ist aber nicht sehr erheblich: Die Spannungen werden im Verhältnis $1:(1-\nu^2)$ grösser; die hinzutretende, nicht dargestellte axiale Spannung wird $= \nu(\sigma_r + \sigma_t)$ und ist daher kleiner als die andern beiden Hauptspannungen.

Tritt unter 1. und 2. an die Stelle des Spaltes zwischen dem innern und äussern Körper eine gegenseitige Überdeckung, so liegt der bekannte Fall des Aufschrumpfens vor, der in den vorliegenden Ableitungen zu einem Vorzeichenwechsel führt¹⁾.

3. Ist die Unstimmigkeit nicht an einer Stelle konzentriert, sondern stetig zwischen $x=0$ und $x=r$ verteilt, so liegt eine Kugel vor, deren einzelne Schalen nicht zu ihren Radien passen. Es besitze eine befreite ungedehnte Kugelschale den Radius x ; die ungespannte Länge eines vom übrigen Material getrennten, vom Kugelmittelpunkt bis zu der betrachteten Schale reichenden Radialstäbchens soll hingegen $[x + f(x)]$ betragen; bilden die verschiedenen Kugelschalen ein zusammenhängendes Ganzes, so werden sich der Radius der betrachteten Kugelschale und der radiale Abstand vom Mittelpunkt

¹⁾ Die Schrumpfspannungen von Zylindern haben eine eingehende Behandlung gefunden in: E. Honegger, „Über das Aufschrumpfen von Rädern auf Wellen oder Trommeln“, BBC Mitteilungen, Jahrgang 1919, Heft 9, Seite 222.

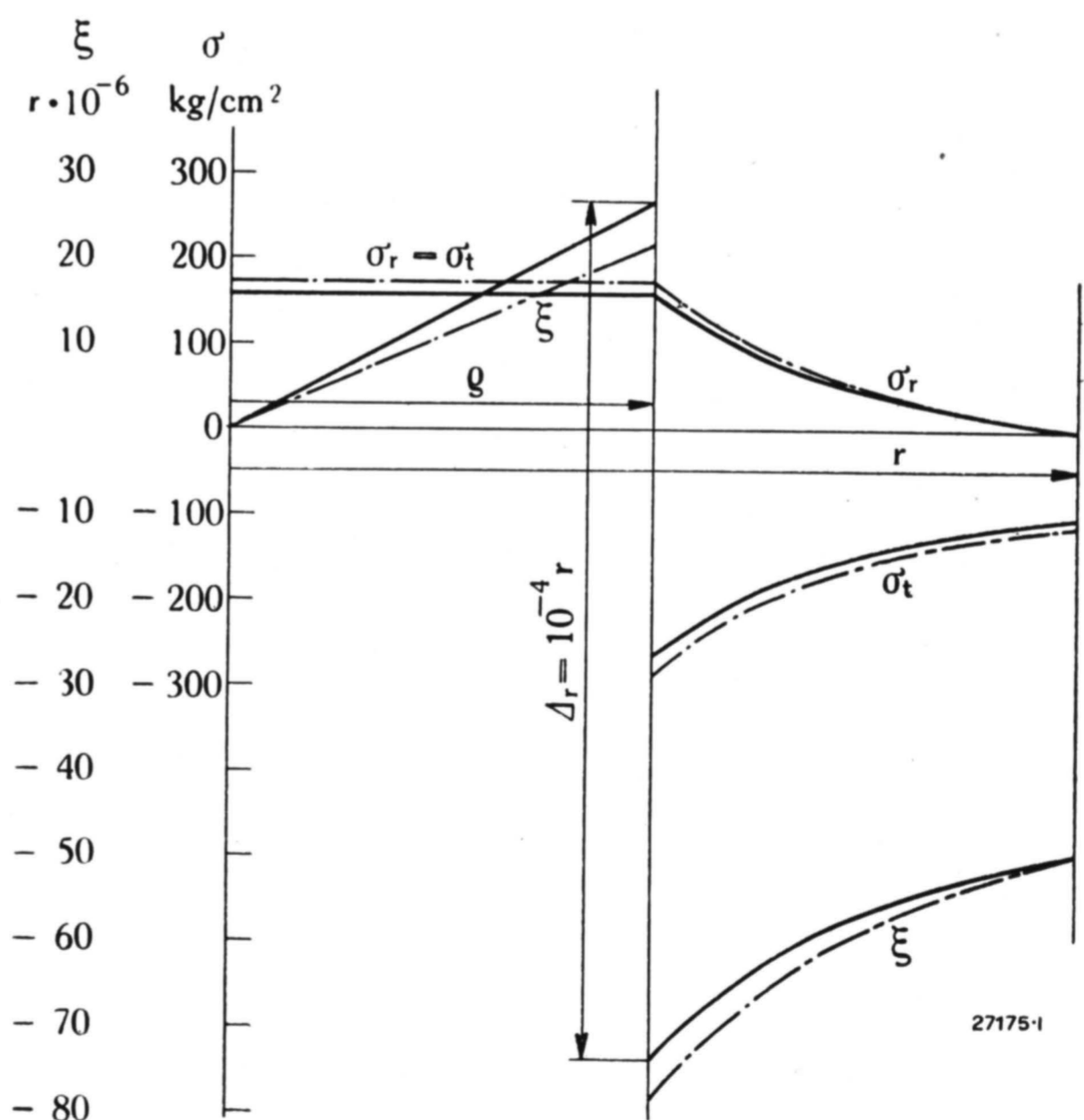


Abb. 4. — Spannungs- und Deformationszustand in einem Zylinder. (Abb. 2.)
Strichpunktirt: Ebener Deformationszustand.

auf eine gemeinsame Länge einigen müssen, was durch radiale und tangentielle Verspannung geschehen wird. Die Länge des gemeinsamen Radius sei $(x + \xi)$, wobei für ξ , einer Funktion von x , überall gilt: $0 < \xi < f(x)$. Dann wird:

$$\varepsilon_t = \frac{\xi}{x} = \frac{1-\nu}{E} \sigma_t - \frac{\nu}{E} \sigma_r$$

$$\varepsilon_r = \xi' - f'(x) = -\frac{2\nu}{E} \sigma_t + \frac{\sigma_r}{E}$$

$$\sigma_r = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \left[(1-\nu)\xi' + 2\nu\frac{\xi}{x} - (1-\nu)f' \right]$$

$$\sigma_t = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \left(\frac{\xi}{x} + \nu\xi' - \nu f' \right)$$

In die Differentialgleichung der massenkräftefreien Kugel: $(x^2 \sigma_r)' - 2x \sigma_t = 0$ eingesetzt, folgt:

$$x^2 \xi'' + 2x \xi' - 2\xi = \frac{2(1-2\nu)}{1-\nu} x f' + x^2 f''.$$

Die vollständige Lösung der reduzierten Gleichung lautet: $Ax + \frac{B}{x^2} = \xi$, wo A und B Integrationskonstanten sind. Ist die Kugel nicht durchbohrt, so verschwindet B . Zu dieser Lösung tritt dann noch ein partikulares Integral ξ_0 , das von der Funktion $f(x)$ abhängig ist. Nachfolgend sind die Funktionen ξ_0 für zwei verschiedene Annahmen für $f(x)$ berechnet:

$$f_1 = a_1 x \quad \xi_0 = \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} a_1 x (\lg x - 1) \quad \text{I}$$

$$f_n = a_n x^n \quad \xi_0 = \frac{(n+1) - (n+3)\nu}{(n+2)(n-1)(1-\nu)} n a_n x^n \quad \text{II}$$

Mit Hilfe dieser Integrale der Differentialgleichungen lassen sich folgende Lösungen des Problems berechnen, falls angenommen wird, die Kugeloberfläche sei spannungsfrei:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -E \frac{2a_1}{3(1-\nu)} \lg \frac{r}{x}; \\ \sigma_t &= E \frac{2a_1}{3(1-\nu)} \left(\frac{1}{2} - \lg \frac{r}{x} \right). \end{aligned} \right\} \text{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -E \frac{2na_n}{(n+2)(n-1)(1-\nu)} (r^{n-1} - x^{n-1}) \\ \sigma_t &= E \frac{2na_n}{(n+2)(n-1)(1-\nu)} \left(\frac{n+1}{2} x^{n-1} - r^{n-1} \right) \end{aligned} \right\} \text{II}$$

$$\xi = \left[\frac{3-2\nu-5\nu^2}{3(1-\nu^2)} - \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} \lg r \right] a_1 x + \frac{2(1-2\nu)}{3(1-\nu)} a_1 x (\lg x - 1) \quad \text{I}$$

$$\xi = \frac{na_n}{(n+2)(n-1)(1-\nu)} \left\{ 2(1-2\nu)r^{n-1}x + [(n+1) - (n+3)\nu]x^n \right\} \quad \text{II}$$

4. Die genau analoge Untersuchung führt für den Zylinder über die einfachere Differentialgleichung:

$$x \xi'' + \xi' - \frac{\xi}{x} = (1-\nu)f' + x f''$$

zu den unter gleichen Annahmen bei Vernachlässigung der axialen Spannungen gültigen Ergebnissen:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -E \frac{a_1}{2} \lg \frac{r}{x}; \quad \sigma_t = E \frac{a_1}{2} \left(1 - \lg \frac{r}{x} \right); \\ \xi &= \frac{a_1}{2} \left(\frac{2+\nu-\nu^2}{1+\nu} - \frac{1-\nu}{2} \lg r \right) x + \frac{1-\nu}{2} a_1 x (\lg x - 1); \end{aligned} \right\} \text{I}$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -E \frac{na_n}{n^2-1} (r^{n-1} - x^{n-1}); \\ \sigma_t &= E \frac{na_n}{n^2-1} (n x^{n-1} - r^{n-1}); \\ \xi &= \frac{na_n}{n^2-1} [(n-\nu)x^n - (1-\nu)r^{n-1}x]. \end{aligned} \right\} \text{II}$$

Die Annahme I, wonach $f(x)$ nur linear mit x abnimmt, führt sowohl in der Kugel wie im Zylinder zu unendlich grossen Spannungen für verschwindende x und beschreibt einen nicht realisierbaren Fall; sie soll daher nicht weiter verfolgt werden. Die der zweiten Annahme entsprechenden Spannungszustände sind für eine angenommene Verspannung zwischen den Radien und den Schalen und für $n=2, 3, 4$ und 5 in den Abb. 5, 6, 7 und 8 für Kugel und Zylinder dargestellt. Die Kurven gelten für zu kurze Radien, also für eine Funktion $f(x) < 0$; durch Umkehrung der Vorzeichen gehen daraus die Werte für zu lange Radien hervor.

5. Ist die Temperatur nicht überall gleich, sondern eine Funktion $\varphi(x)$ des Achsenabstandes x , so würde eine befreite Schale den Radius annehmen:

$$x' = x + \eta x \varphi(x). \quad 1)$$

Ein radialer Stab würde sich hingegen für sich allein auf die Länge einstellen:

$$x'' = \int_0^x [1 + \eta \varphi(x)] dx,$$

1) Striche ' bedeuten hier keine Ableitungen.

die vom oben angegebenen Werte verschieden ist, sobald $\varphi(x)$ keine Konstante ist. Um über die Grösse des Unterschieds der Ausdehnung ein Urteil zu gewinnen, sei folgende Annahme für die Funktion $\varphi(x)$ geprüft:

$$\begin{aligned} \varphi_n(x) &= \tau_n x^{n-1}; \quad x' = x + \eta \tau_n x^n; \\ x'' &= x + \frac{1}{n} \eta \tau_n x^n; \quad x' - x'' = \frac{n-1}{n} \eta \tau_n x^n; \end{aligned}$$

wo $n = 2, 3, 4, 5, \dots$

Daraus geht somit hervor, dass diese Wärmespannungen mit den früher berechneten Eigenspannungen übereinstimmen, falls

$$a_n = \frac{n-1}{n} \eta \tau_n$$

gemacht werden. Die in den Abb. 5 a bis 8 a und b dargestellten Spannungs- und Deformationszustände können in spannungslosen Kugeln oder in spannungslosen Zylindern durch die in den Abb. 5 c bis 8 c dargestellten Temperaturverteilungen wachgerufen werden.¹⁾ Bei allen untersuchten Fällen ist die Oberfläche 100^0 wärmer als der Mittelpunkt oder die Achse angenommen worden; bei nach aussen fallender Temperatur sind einfach die Vorzeichen zu wechseln. Die Kurven „b“ für Zylinder gelten, wie schon erwähnt, für ebenen Spannungszustand, wenn die Axialspannungen unberücksichtigt bleiben dürfen.

6. Nach der angeführten Untersuchung Grünbergs tritt die grösste Beanspruchung im Mittelpunkt einer plötzlich erhitzten Kugel nach der Zeit:

$$z = 0.0574 \frac{r^2}{a^2}, \quad \text{wo } a^2 = \frac{\lambda}{\gamma c} \text{ die Temperaturleitzahl}$$

ist, ein und erreicht die Grösse:

$$\sigma_r = \sigma_t = 0.771 \frac{\eta E}{2(1-\nu)} \cdot \Delta t.$$

Dabei ist angenommen, die Oberfläche nehme sofort die neue Temperatur an, d. h. der Wärmeübergangskoeffizient sei sehr gross.

Für eine Stahlkugel von $r = 10$ cm, für $\Delta t = 100^0$ ergibt die Ausrechnung eine maximale Spannung von:

$$1272 \text{ kg/cm}^2 \text{ nach } 0,556 \text{ min} = 33,4 \text{ sec.}$$

Wie Abb. 6 a zeigt, führt bei 100^0 Übertemperatur

¹⁾ Die Kurven $f_n(x)$ sind früher so gewählt worden, dass sie in allen Fällen gerade der durch einen Temperaturunterschied von 100^0 von innen nach aussen erzeugten Verspannung entsprechen.

eine mit dem Achsenabstand quadratisch wachsende Temperatur auf nahezu gleiche Beanspruchung im Mittelpunkt:

$$= 1320 \text{ kg/cm}^2.$$

Steigt die Temperatur nach einer höheren Potenz mit dem Achsenabstand (Abb. 7 a und 8 a), so fällt die genannte Beanspruchung bei gleichem Temperaturunterschied kleiner aus. — Lineare Temperaturverteilung gibt noch höhere Beanspruchung.

In Abb. 9 ist der Verlauf der Erwärmung einer Kugel unter den gemachten Voraussetzungen dargestellt²⁾, und gestrichelt sind die den vorliegenden Berechnungen zugrunde liegenden Temperaturverteilungen eingetragen. Die Kurven stimmen nicht gut überein, doch liegt die Linie φ_3 nicht allzuweit vom wahren Temperaturverlauf nach etwa 30 sec, so dass die Übereinstimmung der Beanspruchungen verständlich erscheint. Die höchste Beanspruchung tritt offenbar dann ein, wenn im Mittelpunkt die Temperatur gerade zu steigen beginnt.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass unter den gemachten Annahmen die Oberflächenspannung im ersten Augenblick der Erwärmung das absolute Maximum erreicht:

$$\sigma_t = \frac{-E}{1-\nu} \cdot \eta \cdot \Delta t = 33 \Delta t \text{ kg/cm}^2.$$

Diese Spannung, die auch im Zylinder gleiche Grösse annehmen wird, wird mit wachsender Durchwärmung kleiner. Sie ist im vorliegenden Fall als Druckspannung den meisten Metallen ungefährlich; bei plötzlicher Abkühlung wird sie zur grössten auftretenden Zugspannung und verdient dann volle Beachtung.

7. In Abb. 10 ist der Temperaturverlauf nach 10 sec und nach 25 sec und mehr Sekunden in einem, unter den unter 6. gemachten Voraussetzungen, von aussen erwärmten Zylinder dargestellt³⁾. Die Temperaturgesetze, für welche die Wärmespannungen berechnet worden sind, weichen nicht allzusehr von den zu erwartenden Temperaturverteilungen ab; die Linie φ_5 fällt ziemlich gut mit der Temperaturkurve nach 10 sec zusammen, während φ_4 sich etwa mit der wahren Kurve nach 20 sec decken dürfte. φ_3 würde

²⁾ Berechnet nach der entsprechenden Zahlentafel in: H. Gröber, „Einführung in die Lehre von der Wärmeübertragung“, Berlin, Julius Springer, 1926.

³⁾ A. Stodola, „Die Dampf- und Gasturbinen“, Berlin, Julius Springer, 1922, V. Auflage, Seite 961.

einer noch späteren Zeit entsprechen, ist aber für kleine Werte von x sehr ungenau.

Die zu erwartenden Beanspruchungen werden also gegeben nach 10 sec durch Abb. 8 b, nach 20 sec durch Abb. 7 b. Darin erreicht für 100° Temperatur-

unterschied die Spannung in der Achse den Wert $\sigma_r = \sigma_t = 470 \text{ kg/cm}^2$. — Da bald nach dieser Zeit auch die Temperatur in der Achse des Zylinders zu steigen beginnt, dürfte mit keinem wesentlichen weiteren Anstieg der Spannungen über den ange-

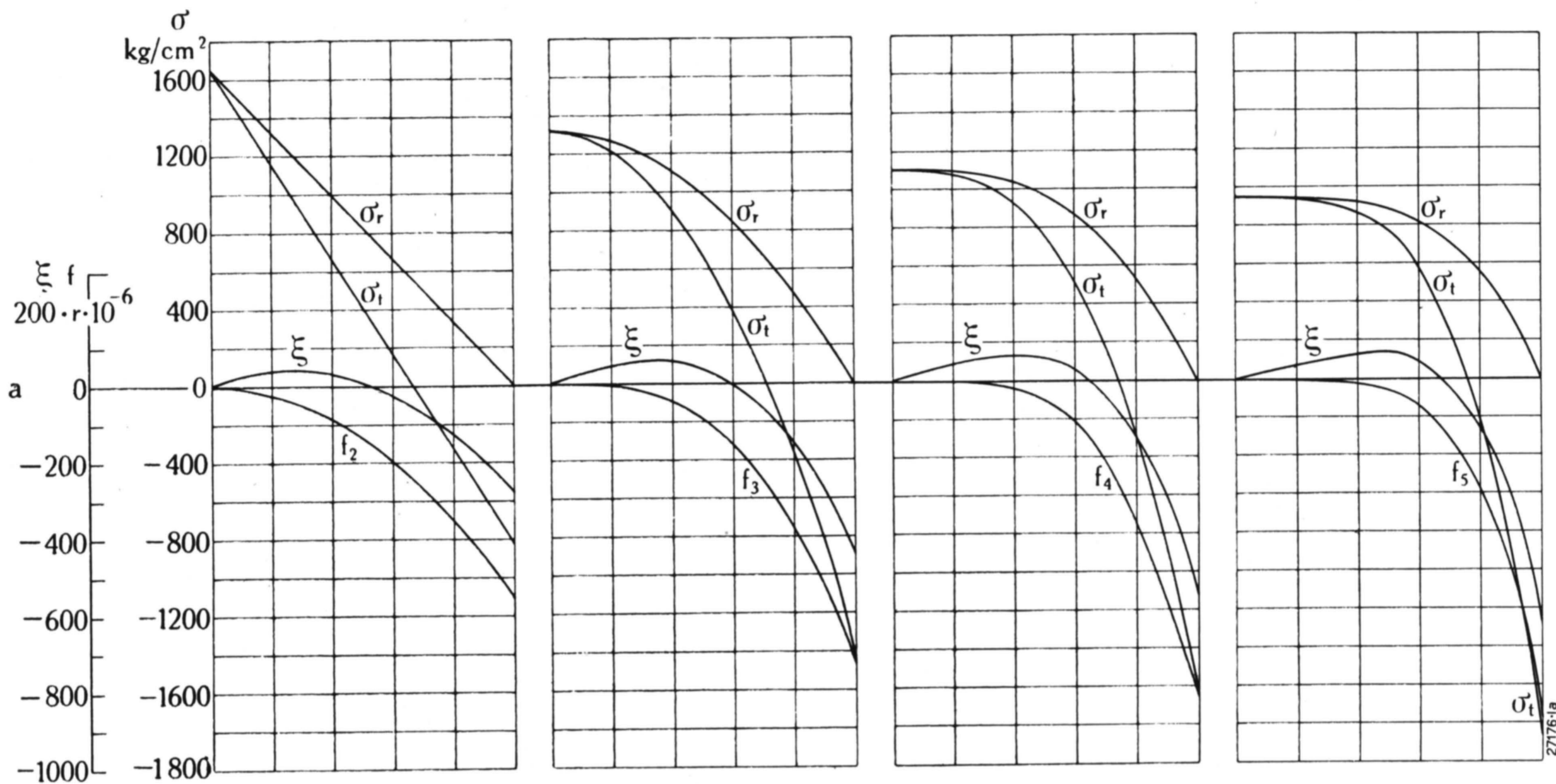


Abb. 5a — 8a. — Spannungs- und Deformationszustand in einer Kugel.

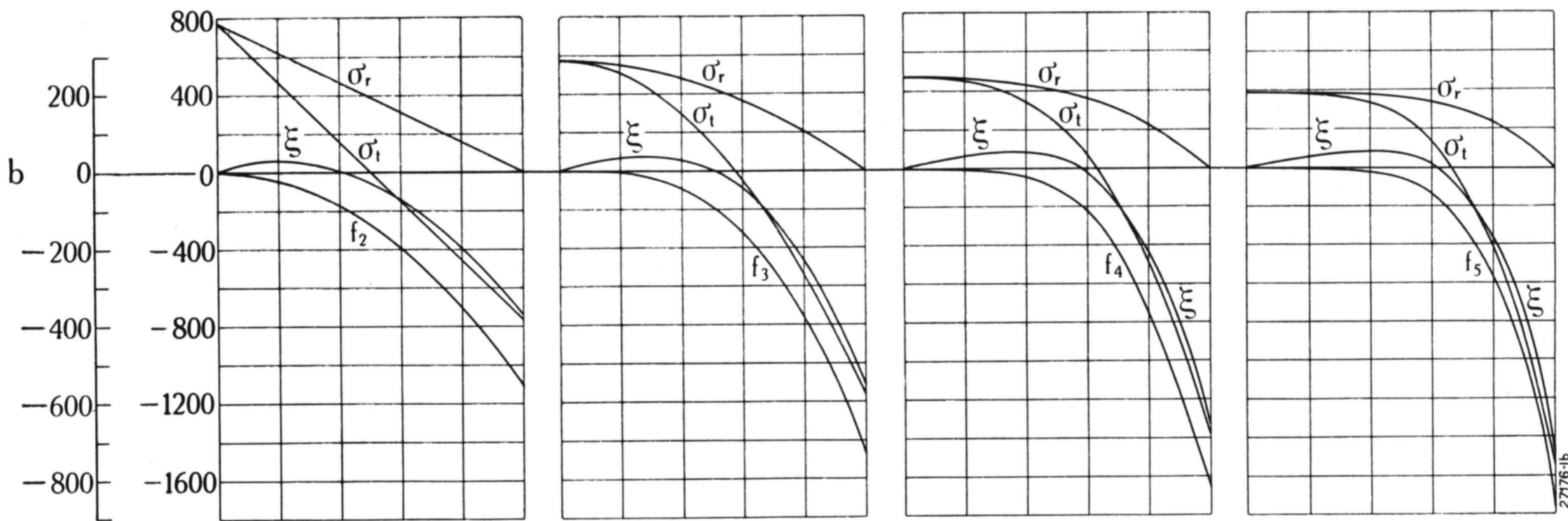


Abb. 5b — 8b. — Spannungs- und Deformationszustand in einem Zylinder.

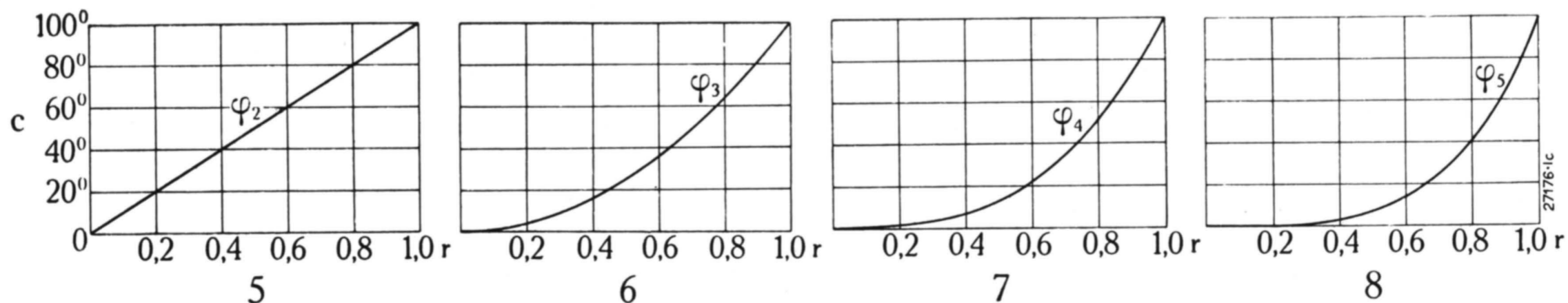


Abb. 5c — 8c. — Den Spannungszuständen der Abbildungen a und b entsprechende Temperaturverteilungen.

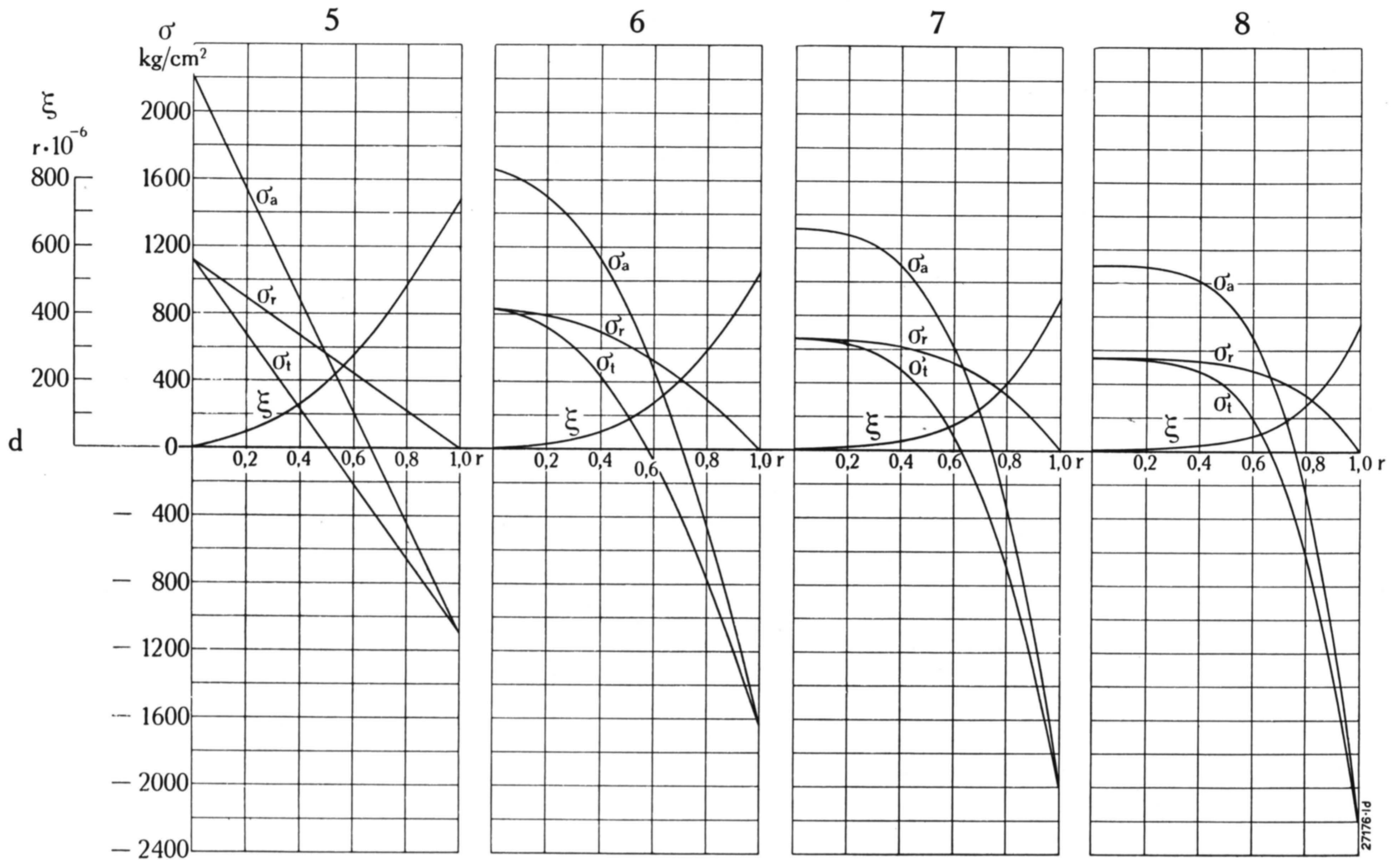


Abb. 5d—8d. — Spannungs- und Deformationszustände im mittleren Teil eines langen Zylinders bei den in den Abb. 5c—8c gegebenen Temperaturverteilungen.

gebenen, nach 20 sec erreichten Wert hinaus zu rechnen sein. Die der Kurve φ_3 entsprechende Spannung von 575 kg/cm^2 (Abb. 6b) wird jedenfalls bei weitem nicht erreicht, da φ_3 und die Temperaturkurve nach 25 sec sich schneiden. — Diese Angaben gelten bei ebenem Spannungszustand.

8. Liegt ein Zylinder von beträchtlicher Länge vor, so darf nicht mehr mit einem ebenen Spannungszustand gerechnet werden; ist die Länge ein Mehrfaches des Durchmessers, so wird hingegen für

den mittleren Teil des Zylinders mit genügender Genauigkeit angenommen werden dürfen, ebene Querschnitte bleiben auch bei ungleicher Erwärmung eben. Vom ebenen Spannungszustand unterscheidet sich dieser Fall nicht nur durch die behinderte axiale Querdehnung, sondern auch durch das Hinzutreten direkter Wärmespannungen in Richtung der Zylinderachse. Die frühere Berechnung ist somit nicht mehr gültig; die auftretenden Wärmespannungen sind jetzt die Folge

sowohl der zu kurzen Radien, als der verschiedenen axialen Längendilatationen an verschiedenen Stellen des Zylinders. Für die Temperaturverteilung:

$$t = \tau_{n+1} x^n$$

führt die Rechnung zu folgenden Spannungen und Deformationen:

$$\sigma_r = A_n [r^n - x^n];$$

$$\sigma_t = A_n [r^n - (n + 1) x^n];$$

$$\sigma_a = A_n [2r^n - (n + 2) x^n];$$

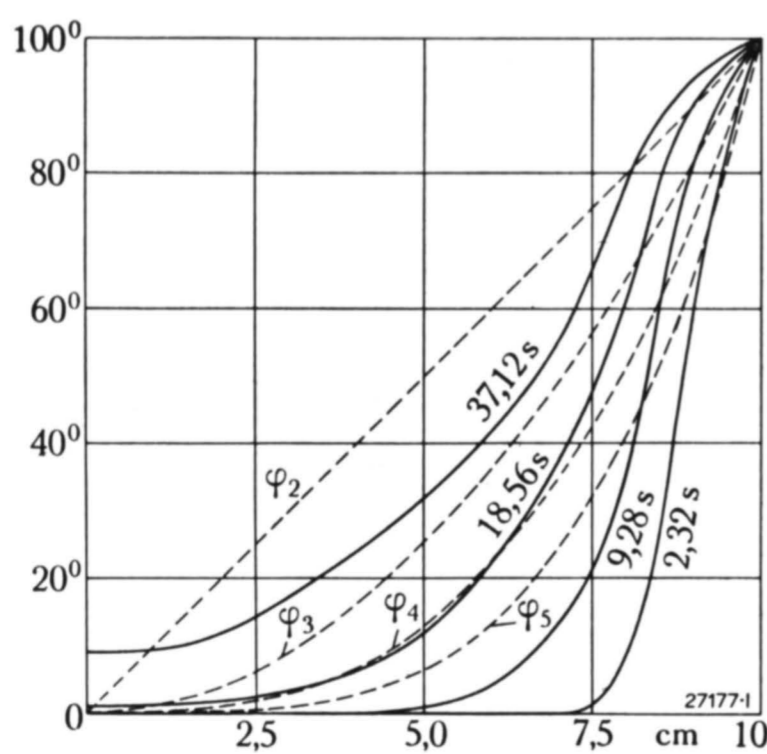


Abb. 9. — Temperaturverlauf in einer Kugel.

Gestrichelt: Den vorliegenden Berechnungen zu Grunde gelegte Temperaturverteilungen.

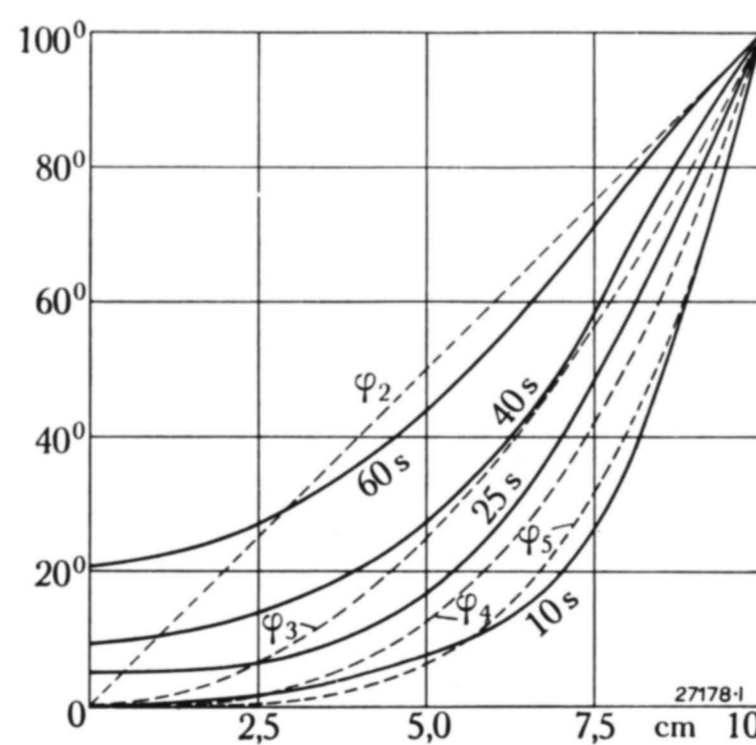


Abb. 10. — Temperaturverlauf in einem erwärmten Zylinder.

$$\xi = \frac{1 + \nu}{E} A_n \left[\frac{1 - 3\nu}{1 + \nu} r^n + x^n \right] x$$

$$\text{wo } A_n = \frac{E \eta \tau_{n+1}}{(1 - \nu)(n + 2)}$$

Diese Werte gelten unter der Voraussetzung, dass die Summe der Spannungen über den Querschnitt die Kraft Null ergebe, d. h., dass die Zylinderenden spannungsfrei seien.

Für die früher schon betrachteten vier verschiedenen Temperaturverteilungen führt diese Berechnung zu den in den Abb. 5 d bis 8 d dargestellten Verhältnissen. Wie ersichtlich wird die

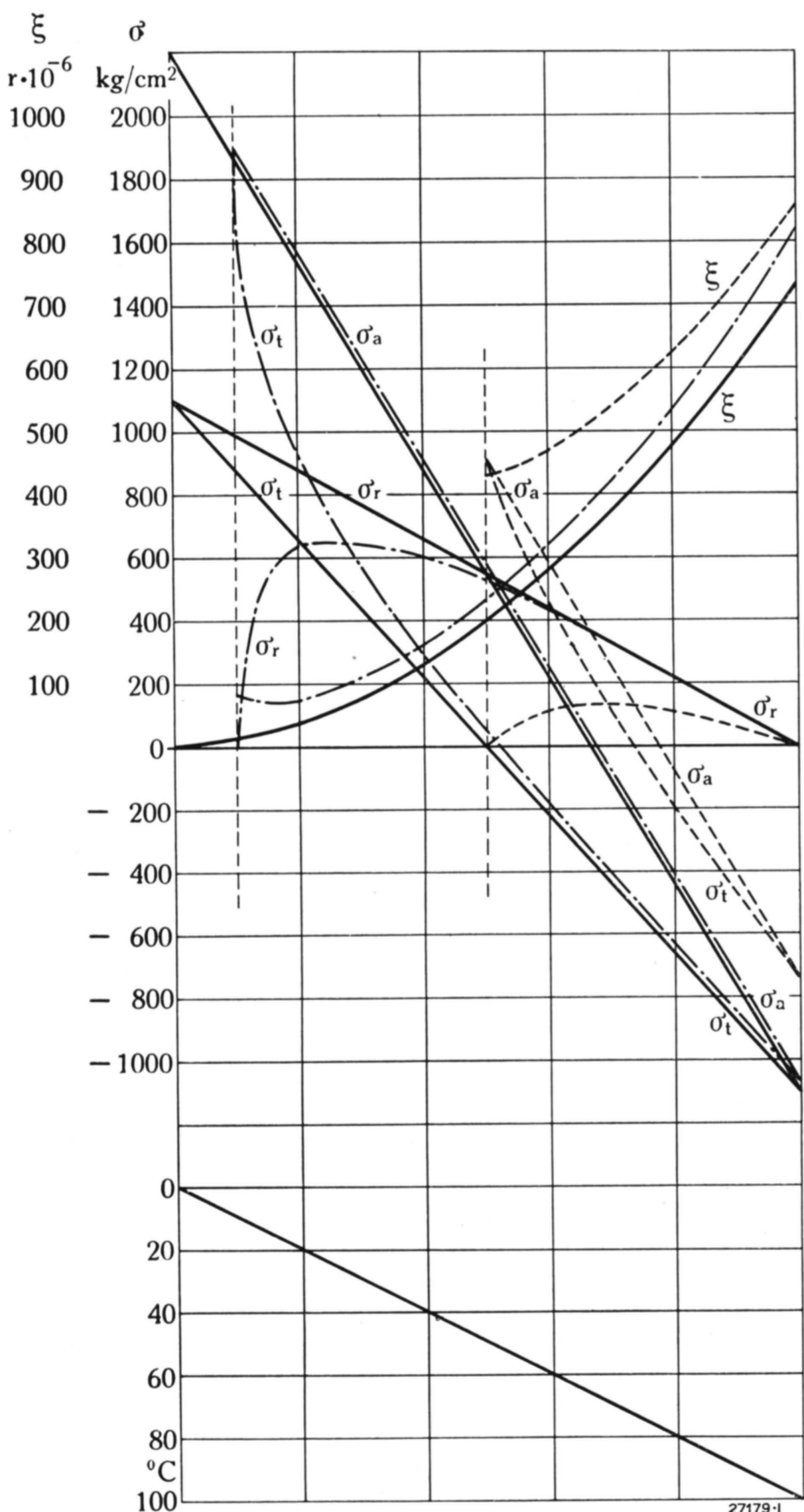


Abb. 11. — Spannungen und Deformationen langer Zylinder bei linearer Temperatur und verschiedenen Bohrungen.

axiale Spannung in der Mitte doppelt so gross, wie die andern beiden Spannungen, während sie an der Zylinderoberfläche mit der Tangential-Spannung übereinstimmt. ξ gibt hier wie für 9 die Verschiebung an, ausgehend von der, die gleichmässige Temperatur 0° aufweisenden spannungsfreien Welle.

9. Technisch verwendete Wellen und Zylinder sind sehr oft durchbohrt, weshalb dieser Fall auch geprüft sei. Die Verhältnisse ändern sich, da die radiale Spannung an der Bohrung verschwinden

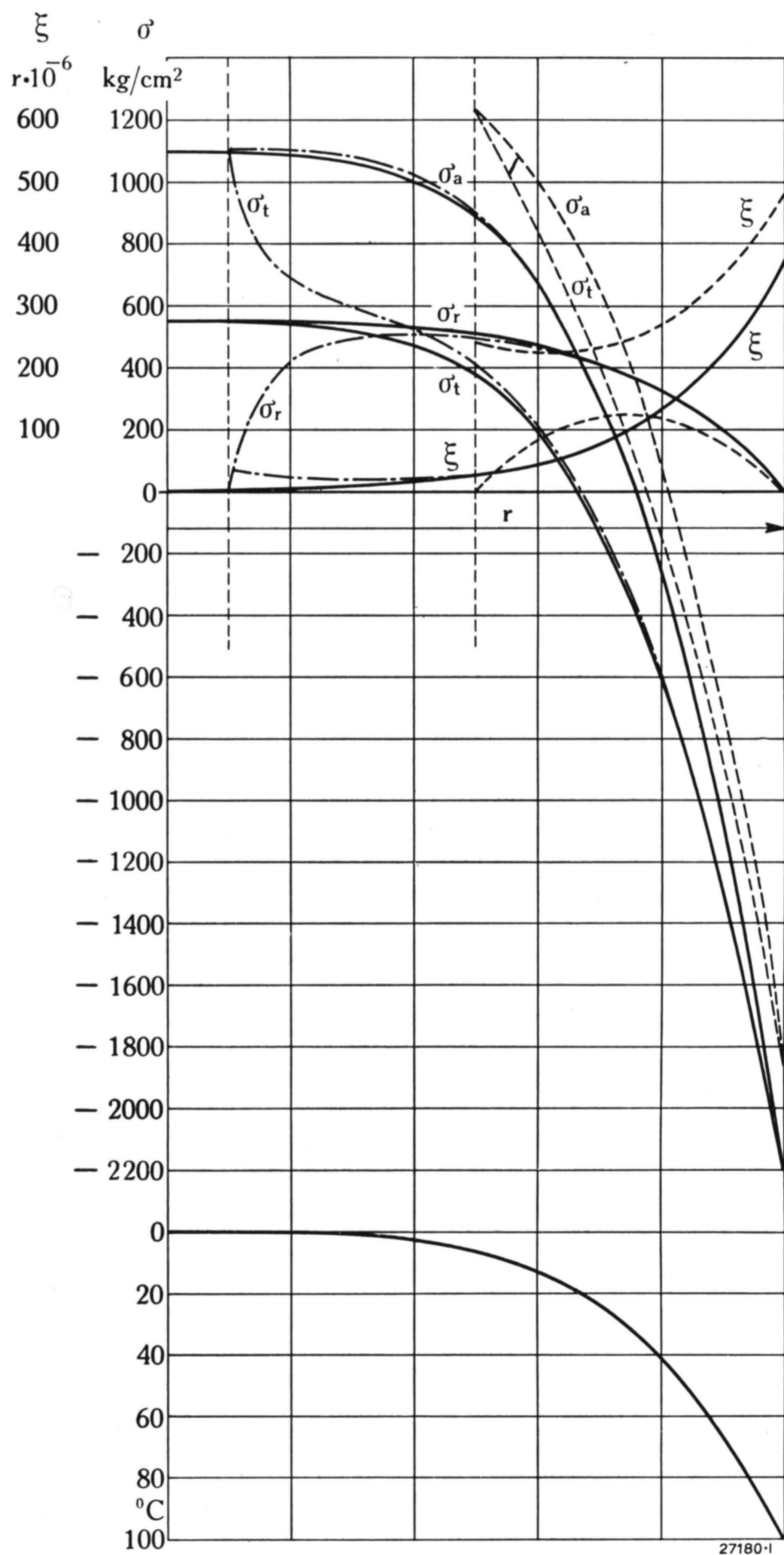


Abb. 12. — Spannungen und Deformationen langer Zylinder bei der angegebenen Temperaturverteilung und bei verschiedenen Bohrungen.

muss; dementsprechend steigt an dieser Stelle die tangentielle Spannung ungefähr auf den doppelten Wert. Für die Temperaturverteilung:

$$t = \tau_{n+1} x^n$$

und verschwindende Summe der Axialspannungen, geben die folgenden Formeln Spannungen und Verschiebungen, falls mit ρ der Radius der Bohrung bezeichnet wird:

$$\sigma_r = A_n \left[B_{n+2} - B_n \frac{r^2 \rho^2}{x^2} - x^n \right]$$

$$\sigma_t = A_n \left[B_{n+2} - B_n \frac{r^2 \rho^2}{x^2} - (n+1) x^n \right]$$

$$\sigma_a = A_n [2 B_{n+2} - (n+2) x^n]$$

$$\xi = \frac{1+\nu}{E} A_n \left[\frac{1-3\nu}{1+\nu} B_{n+2} x + B_n \frac{r^2 \rho^2}{x} - x^{n+1} \right]$$

$$\text{wo } B_n = \frac{r^n - \rho^n}{r^2 - \rho^2}$$

An der Bohrung und an der Oberfläche werden σ_t und σ_a gleich gross und erreichen ihre maximalen Werte. Für $\rho = \frac{1}{10} \cdot r$ und $\rho = \frac{1}{2} r$ und für die

Temperaturverteilungen Abb. 5 c und Abb. 8 c, $n=1$ und $n=4$, sind die entstehenden Verhältnisse in den Abb. 11 und 12 dargestellt. Dabei beträgt der grösste Temperaturunterschied, der jetzt zwischen Oberfläche und Bohrung auftritt, nicht mehr 100°. Um den Vergleich zu erleichtern sind in Abb. 11 und 12 auch die Kurven für volle Wellen eingetragen.

10. Der Berechnung von Wärmespannungen sind im vorliegenden Aufsatz verhältnismässig einfache Temperaturverteilungsgesetze zu Grunde gelegt worden, von denen die tatsächlich eintretenden Temperaturen mehr oder weniger stark abweichen. Wie aus Abb. 10 hervorgeht, sind allerdings die in einem erwärmten Zylinder nach kurzer Zeit

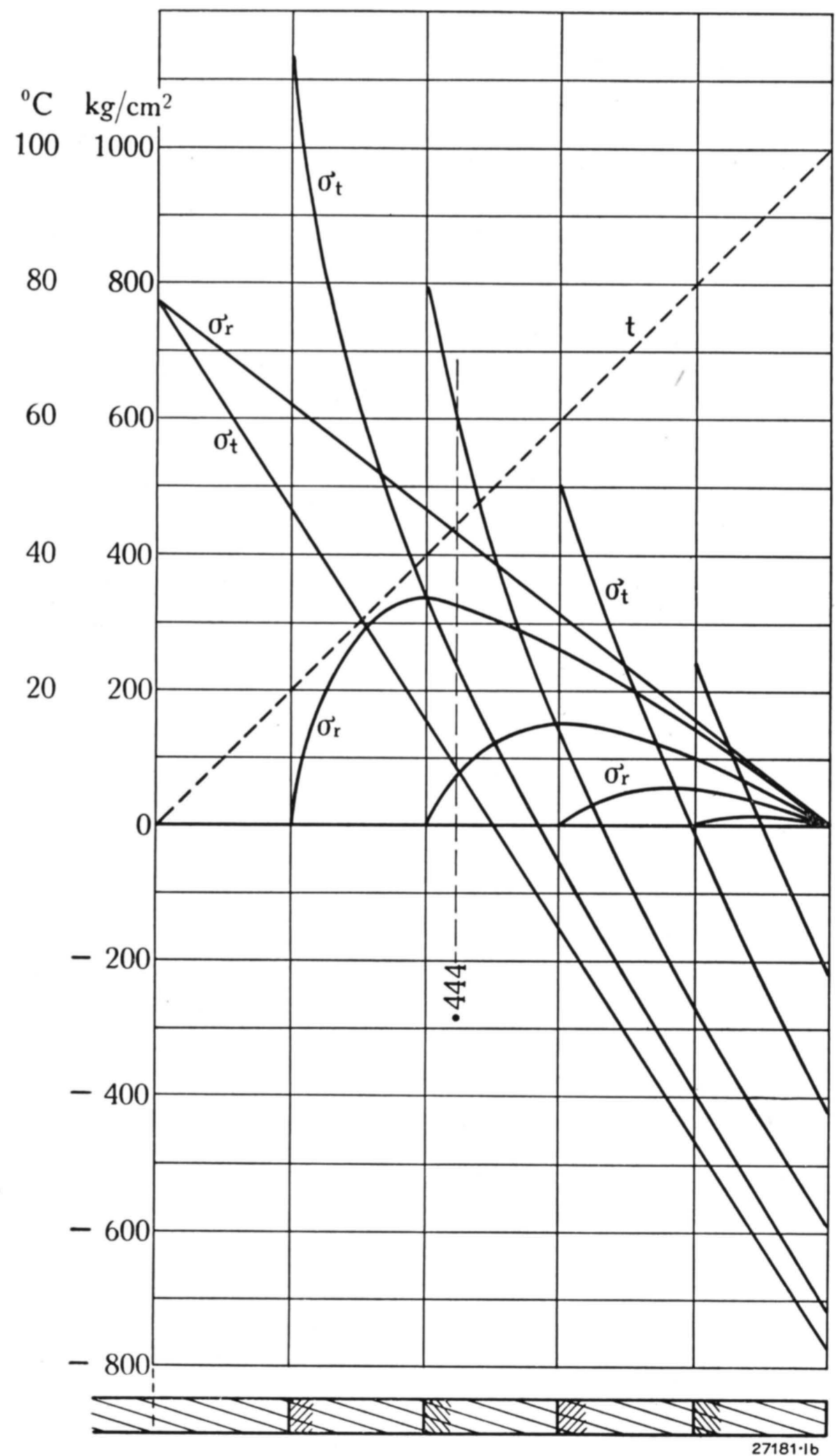
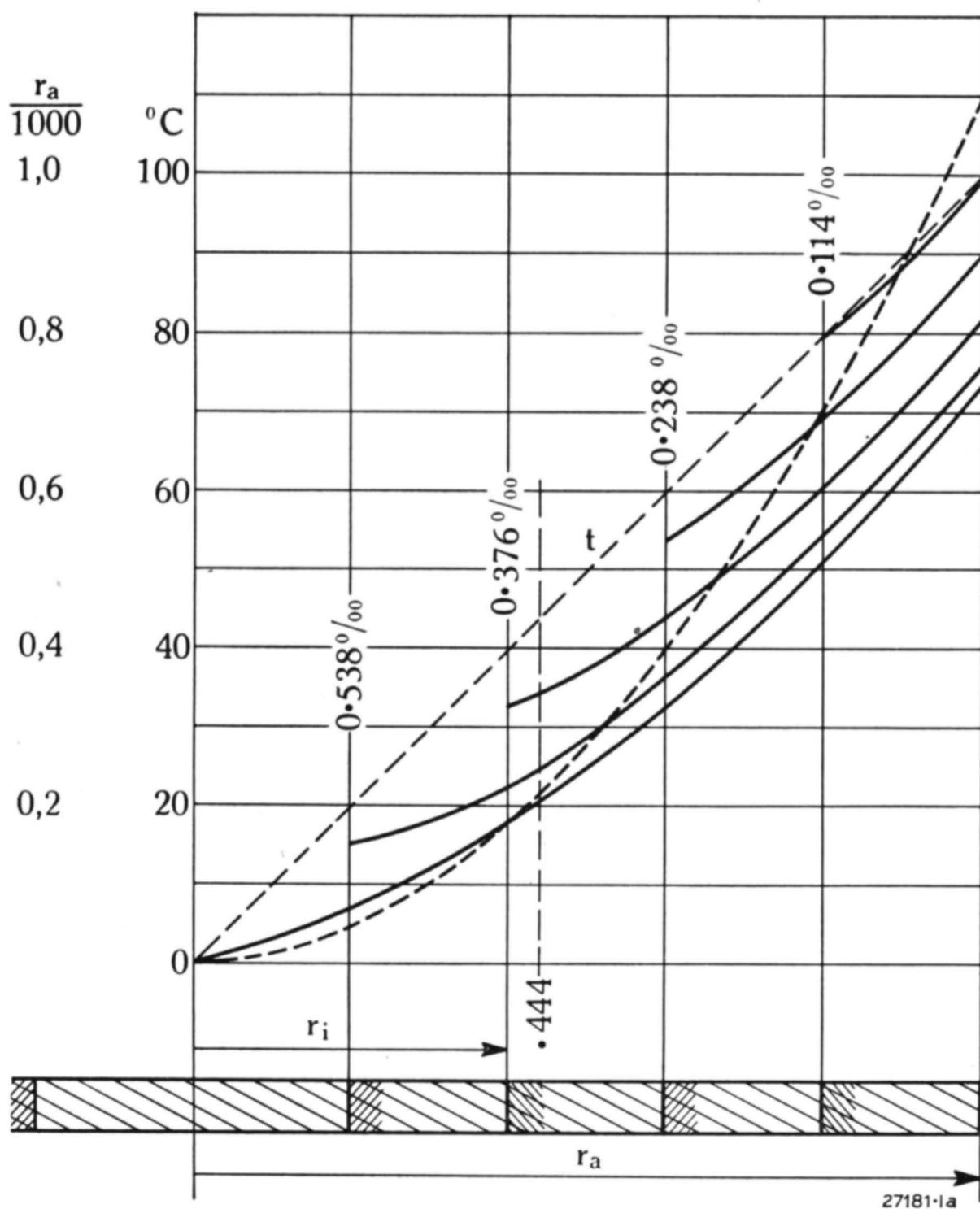


Abb. 13a und 13b. — Spannungen und Verschiebungen in Scheiben gleicher Dicke infolge der angegebenen verschiedenen Erwärmungen bei verschiedenen Bohrungen.

Die Zahlen am Rande der Bohrungen geben die Dehnung der betreffenden Scheibe gegenüber einem gleichwarmen, spannungslosen Ringe an.

auftretenden Temperaturkurven von den einfachen Potenzgesetzen nicht sehr stark verschieden, so dass die berechneten Spannungsverteilungen als gute Annäherungen betrachtet werden können.

Wird eine bessere Annäherung angestrebt, so lässt sich eine solche durch Superpositionen verschiedener, mit passenden konstanten Koeffizienten multiplizierten einfachen Lösungen erreichen:

$$\varphi = K_1 \varphi_1 + K_2 \varphi_2 + \dots + K_n \varphi_n$$

In analoger Weise müssen dann natürlich auch die den einzelnen Lösungen entsprechenden Spannungszustände superponiert werden.

11. Die nur aus wissenschaftlichem Interesse mitbehandelten Kugeln seien hier nicht weiter verfolgt, da ihre technische Verwendung ausserhalb des Arbeitsgebietes der A.-G. Brown, Boveri & Cie. liegt. Wärmespannungen in Scheiben und Zylindern sind hingegen von grösstem Interesse für den Hersteller von Turbogeneratoren.

Ebene Spannungszustände durch Temperaturunterschiede können in Dampfturbinenscheiben sowie in Scheiben, aus denen Generatorrotoren zusammengesetzt sind, auftreten. Von den unter 4. und 5. berechneten Fällen unterscheiden sich diese durch die gewöhnlich vorhandene Bohrung, gegebenenfalls auch durch die verstärkte Nabe. Abb. 13 zeigt den Einfluss der Bohrung, während sich Abb. 14 auf Scheiben gleicher Dicke mit Nabe bezieht, einem Fall, der sich den gewöhnlichen Turbinenscheiben stark nähert.

Wärmespannungen in Scheiben sind aber kaum gefährlich, da die grosse Oberfläche eine gleichmässige Erwärmung und einen guten Temperaturengleich begünstigt. Bei den ersten Rädern einer Turbine könnte der Kranz etwas wärmer sein als die Nabe, da die Beschauflung die Temperatur des überhitzten Dampfes annehmen und ein steter Wärmefluss durch die Scheibe nach der Nabe und der kühleren Welle stattfinden wird. Jedoch bleiben auch in diesem Fall bei den Temperaturen der Dampfturbinen die Wärmespannungen sehr mässig.

Weniger leicht werden die Wärmespannungen in den Scheiben von Gasturbinen zu beherrschen sein, da dort mit wesentlich grösseren Temperaturen und Temperaturunterschieden zu rechnen ist.

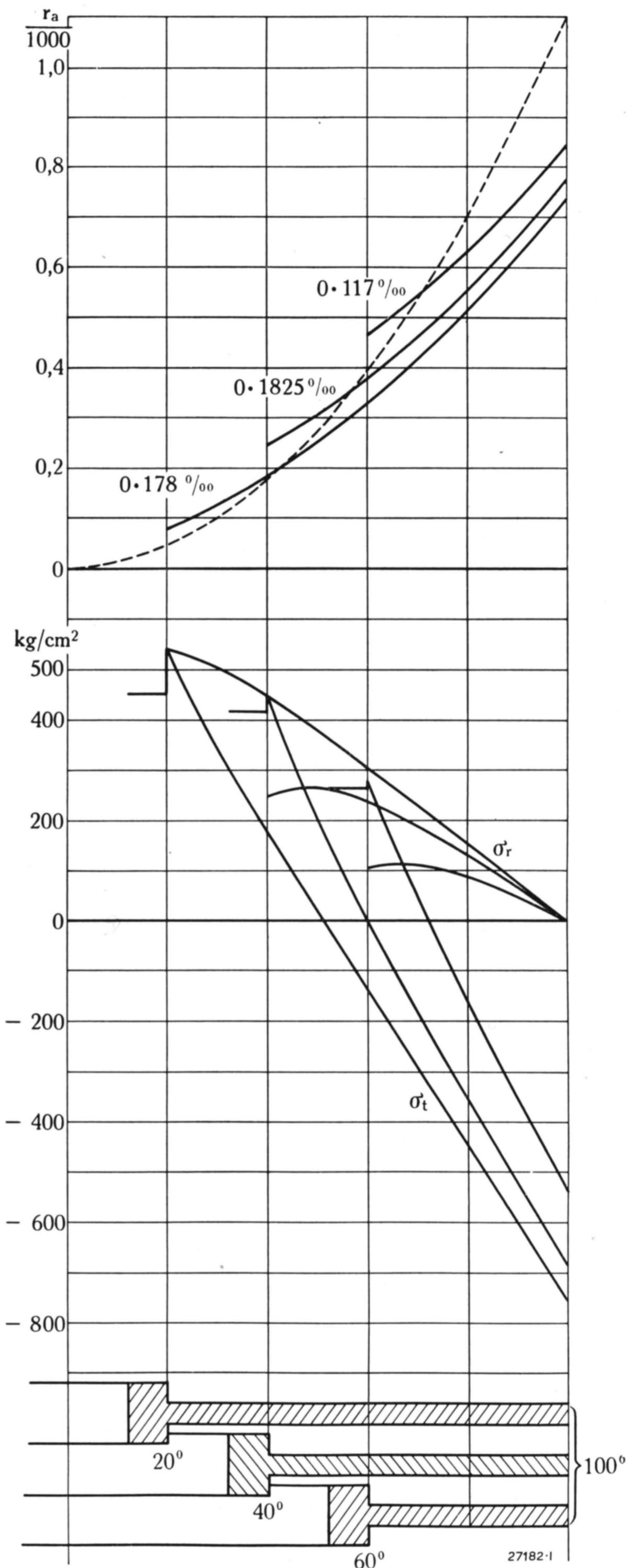


Abb. 14. — Radiale Verschiebung; radiale und tangentielle Spannungen.

Temperatur der Nabe konstant. Temperatur der Scheibe linear mit dem Radius zunehmend. Die gestrichelte Kurve gibt die Wärmedilatation freier Ringe an. Die Zahlen am Rande der Bohrung geben die Dehnung der betreffenden Scheibe gegenüber einem gleichwarmen, spannungslosen Ringe an.

12. Auch im Dampfturbinenbau können die Wärmespannungen sehr gross werden, wenn Konstruktionsteile vorkommen, deren Durchwärmung längere Zeit in Anspruch nimmt, sodass zeitweise grössere Temperaturunterschiede darin bestehen können. Dabei ist zu beachten, dass wohl die Wärmespannungen an sich von der Grösse des Stückes unabhängig sind, dass aber die Erwärmungszeiten mit den Abmessungen quadratisch ansteigen; grössere Stücke weisen daher während viel längeren Zeiten grosse Temperaturunterschiede auf, als kleine Stücke geometrisch ähnlicher Form.

So können in grossen Turbinen Wellen, namentlich aber in massiven Trommeln Wärmespannungen von beängstigender Grösse auftreten. Da die Länge der Trommeln gewöhnlich beträchtlich ist, wird sicher mit einem räumlichen Spannungszustand zu rechnen sein, gemäss 8., falls die Trommel voll ist, gemäss 9., falls sie durchbohrt ist. Diese beiden Fälle unterscheiden sich grundsätzlich dadurch, dass bei voller Trommel vor allem die axialen Wärmespannungen zu befürchten sind, während bei durchbohrter Welle die ebenso grossen Tangentialspannungen, zu denen während des Betriebes die Fliehkraftspannungen zu zählen sind, die gefährlichsten Werte erreichen. Diese Wärmebeanspruchung ist um so sorgfältiger zu prüfen, als die Trommeln im Längssinne geschmiedet sind und in tangentialer Richtung daher entsprechend geringere mechanische Eigenschaften aufweisen.

Um die auftretenden Verhältnisse zu veranschaulichen, sei ein praktisches Beispiel besprochen: eine längere Trommel von 80 cm Durchmesser und 8 cm Bohrung, wie solche in grossen Dampfturbinen gelegentlich angetroffen werden. Die in Abb. 10 dargestellten Temperaturkurven werden durch die Bohrung unwesentlich verändert und bleiben gültig, nur sind die Zeiten dem vierfachen Durchmesser entsprechend mit 16 zu multiplizieren. Nach 160 Sekunden würde somit angenähert der in Abb. 12 dargestellte Spannungsverlauf eintreten, falls die Oberfläche um 100° wärmer wäre als die Bohrung; die grösste Spannung von 1100 kg/cm^2 ist dem Temperaturunterschied proportional und würde bei 250° Über-temperatur schon 2750 kg/cm^2 erreichen. Der

gewaltige Temperaturunterschied zwischen Trommeloberfläche und Bohrung wird eine längere Zeit anhalten, indem nach 16 Minuten Erwärmungszeit die Temperatur an der Bohrung erst etwa 22% der Oberflächentemperatur erreicht haben wird. Dementsprechend werden auch die Wärmespannungen während dieser Zeit nur unwesentlich abnehmen.

Wird die Turbine in Drehung gesetzt, bevor ein besserer Temperatenausgleich stattgefunden hat, so kann durch die hinzutretenden Fliehkraftspannungen die Tragfähigkeit des Materiales ganz oder nahezu erreicht werden. — In der Tat sind Fälle bekannt, in denen Turbinentrommeln während des Anlaufens versagten. — Ein einigermaßen vollkommener Temperatenausgleich wird aber erst nach etwa zwei Stunden erreicht sein.

Rotoren von der eben angeführten Grösse sind nicht selten und gehören nicht zu den grössten, die im Dampfturbinenbau bisher zur Verwendung gekommen sind. Es sind Turbinen bekannt, deren massive Rotoren bis ein und einhalb Meter Durchmesser aufweisen. Wie gesagt, werden dadurch die Spannungen absolut nicht grösser, hingegen wachsen die Zeiten, während welchen während der Anwärmung gefährliche Wärmespannungen auftreten. Verglichen mit dem vorhergehenden Beispiele wird die Anwärmezeit viermal länger: Nach einer vollen Stunde werden die Wärmespannungen noch nahezu ihre grössten Werte aufweisen, sodass eine Inbetriebsetzung der Maschine gefährlich sein könnte.

Bei dieser ganzen Untersuchung ist vorausgesetzt worden, die Oberfläche nehme sofort die Temperatur des vorbeiströmenden Dampfes an. Mit Rücksicht auf die Geschwindigkeit des Dampfes und auf die durch die Schaufeln wesentlich vergrösserte Oberfläche wird das näherungsweise oft zutreffen. Eine Abweichung von dieser Annahme wirkt dahin, die Erwärmung zu verzögern; demgemäss müsste die Anwärmezeit noch länger gewählt werden als hier gefordert¹⁾.

(MS 563)

Dr. E. Honegger.

¹⁾ Dieser Aufsatz ist in kürzerer und etwas verschiedener Fassung zuerst erschienen in der „Festschrift zum 70. Geburtstag von Prof. Stodola“ im Orell Füssli-Verlag, Zürich, 1929.

DER ANTRIEB VON WESTON-ZENTRIFUGEN.

Dezimalindex 621.39.

Die Weston-Zentrifuge, nach ihrer Herkunft einst auch englische Zentrifuge genannt, ist dadurch gekennzeichnet, dass die den Schleuderkorb tragende Welle in einem beweglichen Topflager pendelnd aufgehängt ist. Derartige Zentrifugen werden hauptsächlich in Rohzuckerfabriken und Raffinerien, aber auch in vielen anderen Industrien, wie in Textilfabriken, chemischen Fabriken usw. verwendet.

Der Schleuderprozess vollzieht sich bei den bisher üblichen Ausführungen in Spielen von kürzerer oder längerer Dauer, je nach der Art des Schleudergutes.

Die wesentliche Aufgabe des Antriebes besteht darin, den gefüllten Korb möglichst rasch auf die volle Drehzahl zu bringen. Wegen der grossen Massen, die zu beschleunigen sind, erfordert dies ein kräftiges Drehmoment. Während des Schleuderns selbst dagegen ist

nur die Lager- und Luftreibung zu überwinden, wofür ein Bruchteil des Anlaufdrehmomentes genügt.¹⁾

Beim Antrieb von einer Transmission aus leiden die Riemen naturgemäss stark durch das Gleiten während der langen Anlaufdauer, ganz besonders, wenn die Luft des Betriebsraumes feucht ist. Die Anlaufdauer wird mit der Zeit länger und länger und die beständigen Schwierigkeiten mit den Riemen lassen trotz angestrengter Wartung Betriebsstörungen nicht vermeiden.

In Zuckerfabriken hat man daher, offenbar in der Erkenntnis, dass sich der Betrieb der Zentrifugen

durch unmittelbaren Einzelantrieb wesentlich verbessern lasse, schon vor Jahrzehnten einen originellen Antrieb durch Wasserturbinen geschaffen (Abb. 1), der gewissermassen als Vorläufer des elektrischen Einzelantriebes betrachtet werden kann. Auf das obere Ende der Zentrifugenwelle wird ein Peltonrad gesetzt, das von einem eigenen Druckwasserbehälter aus gespeist wird. In der Tat hat dieser Antrieb Vorzüge, die sich dadurch ergeben, dass praktisch an keinem

dieser Teile eine Abnützung auftritt. Dagegen braucht er ausserordentlich viel Wasser, besonders dann, wenn eine kurze Anlaufzeit eingehalten werden soll; er ist also sehr unwirtschaftlich. Störungen sind möglich, wenn gleichzeitig mehrere Zentrifugen anlaufen und die verfügbare Wassermenge dafür nicht ausreicht. Nicht unbedenklich ist die Eigenschaft der Wasserturbine,

dass ihre Drehzahl einerseits von Wasser, Druck und Menge, andererseits von der Belastung stark abhängt. Es ist deswegen nicht nur schwierig, die Drehzahl genau auf den richtigen Wert einzustellen, sondern es ist ausserdem möglich, dass, wenn durch Versagen des Regulators das Anlassventil sich nicht rechtzeitig schliesst, der Zentrifuge eine unzulässig hohe Drehzahl erteilt und sie — was schon vorkam — durch übermässige Drehzahl zertrümmert wird.

Die Durchbildung eines brauchbaren elektrischen Zentrifugenantriebes hat lange Zeit Schwierigkeiten bereitet. Der Motor mit Schleifringanker (Abb. 2), der sich diesen Arbeitsbedingungen sehr gut anpassen lässt, erwies sich wegen der umständlichen Bedienung

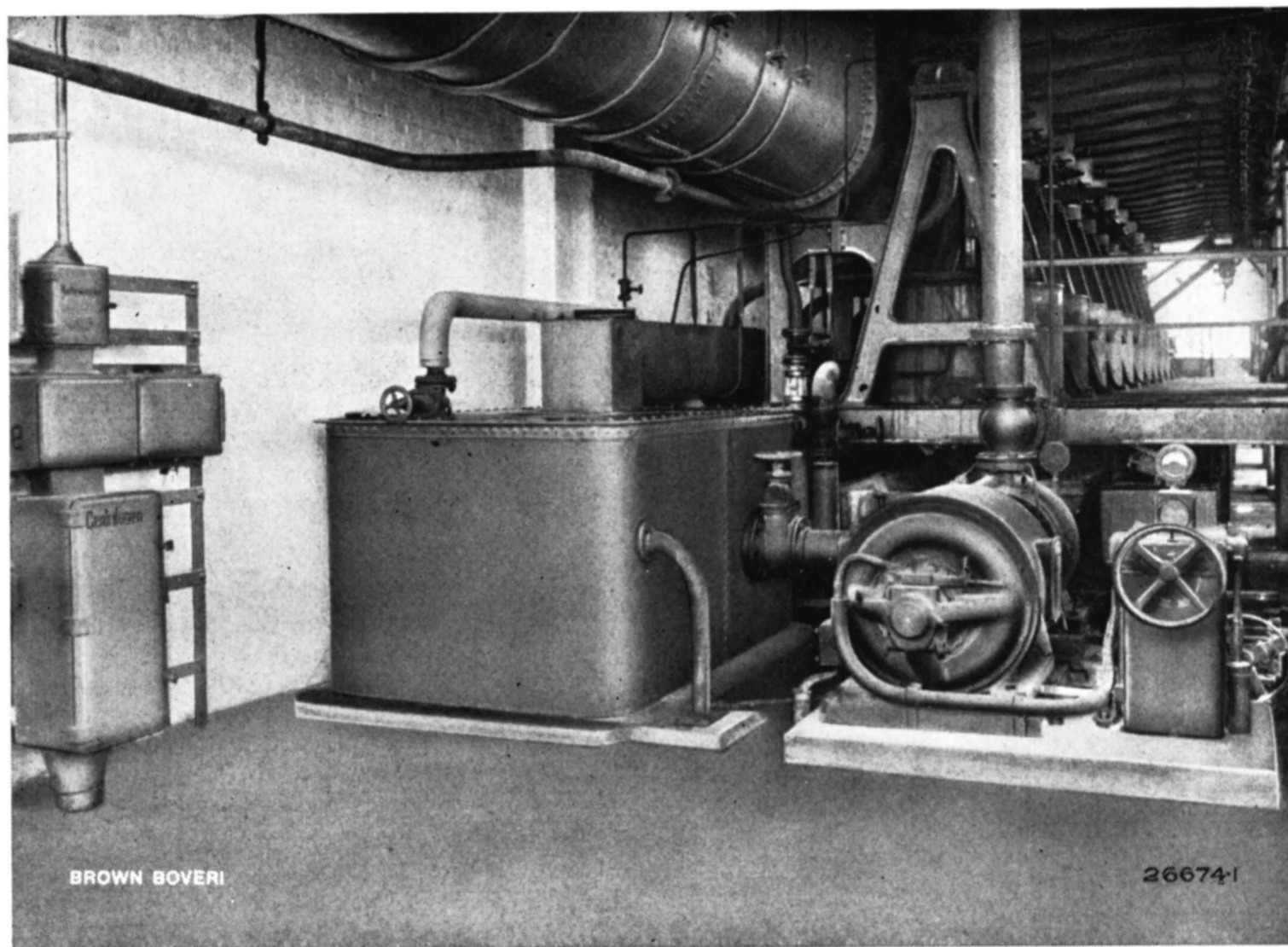


Abb. 1. — Zentrifugenanlage mit Druckwasserantrieb in einer Zuckerfabrik. Zentrifugal-Druckwasserpumpe, angetrieben durch einen direkt gekuppelten Dreiphasenmotor von 100 kW Leistung, Drehzahl 1500.

¹⁾ BBC Mitteilungen, Jahrgang 1922, Heft 9, Seite 191: Beitrag zur Grössenbestimmung von Motoren für Zentrifugalantriebe.

des Anlassers, die den Arbeiter zu sehr von der Bedienung der Zentrifuge ablenkt, als ungeeignet. Der Motor mit Kurzschlussanker dagegen, den man an seiner Stelle verwendet, ist bei den Zentrifugen der in Zucker- und den meisten anderen Fabriken üblichen Grössen nicht imstande, die Hauptaufgabe des Antriebes, nämlich die immer wiederkehrende, lang dauernde Beschleunigung der Trommel auf die Schleuderdrehzahl, von sich allein aus zu bewältigen. Dies hat darin seinen Grund, dass der Kurzschlussankermotor beim Einschalten den dreieinhalb- bis fünffachen Strom aufnimmt, der erst während des Anlaufes allmählich auf seinen normalen Wert fällt. Da die Erwärmung des Motors mit dem Quadrat des Stromes ansteigt, würde der Motor viel zu heiss werden. Man muss daher eine Schleifkupplung verwenden, die dem Motor gestattet, zunächst allein anzulaufen, während die Zentrifuge selbst nach und nach durch die Reibung der Schleifbacken an der getriebenen Kupplungshälfte mitgenommen wird. Selbstverständlich wird aber die Kupplung durch diese

grosse Reibungsarbeit hoch beansprucht und nützt sich entsprechend ab. Der Anlauf dauert dadurch mit der Zeit länger und länger, sodass die Ausnützung der Zentrifuge entsprechend vermindert wird. Auch die Qualität des Schleuderprozesses wird durch die Verlängerung der Anlaufdauer in gewissen Fällen, z. B. bei Zucker, nachteilig beeinflusst. Dazu kommt, dass, wenn die Schleifstücke der Kupplung nicht gleich schwer sind, die ungleichmässige Mitnahme ein Pendeln der Zentrifuge hervorrufen kann, wodurch nicht nur der Betrieb empfindlich gestört, sondern auch das Personal gefährdet wird.

Um den Anlaufstrom zu verkleinern und somit die Zentrifuge über eine direkt wirkende Kupplung antreiben zu können, trotzdem aber die Bedienung einfach zu gestalten, hat man auch Motoren mit erhöhtem Widerstand im Rotorstromkreis verwendet. Mit der Vergrösserung dieses Widerstandes wird wohl der Anlaufstrom kleiner, doch fällt das Drehmoment im oberen Drehzahlbereich stark ab, sodass die Anlaufdauer wesentlich länger werden muss. Infolge des

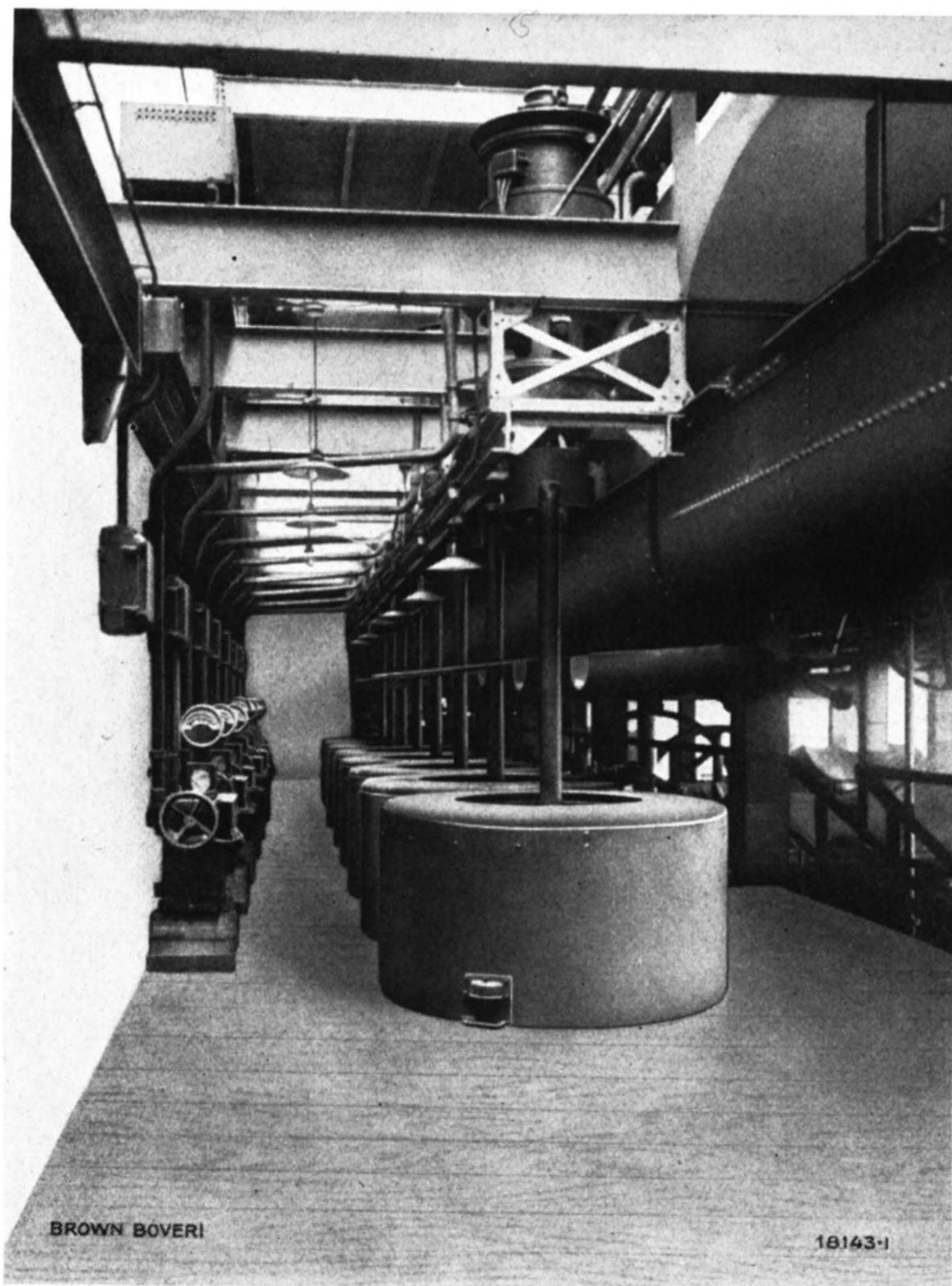


Abb. 2. — Weston-Zentrifugen in einer Zuckerfabrik, angetrieben durch vertikale Dreiphasenmotoren mit Schleifringanker und getrennten Rotoranlassern.

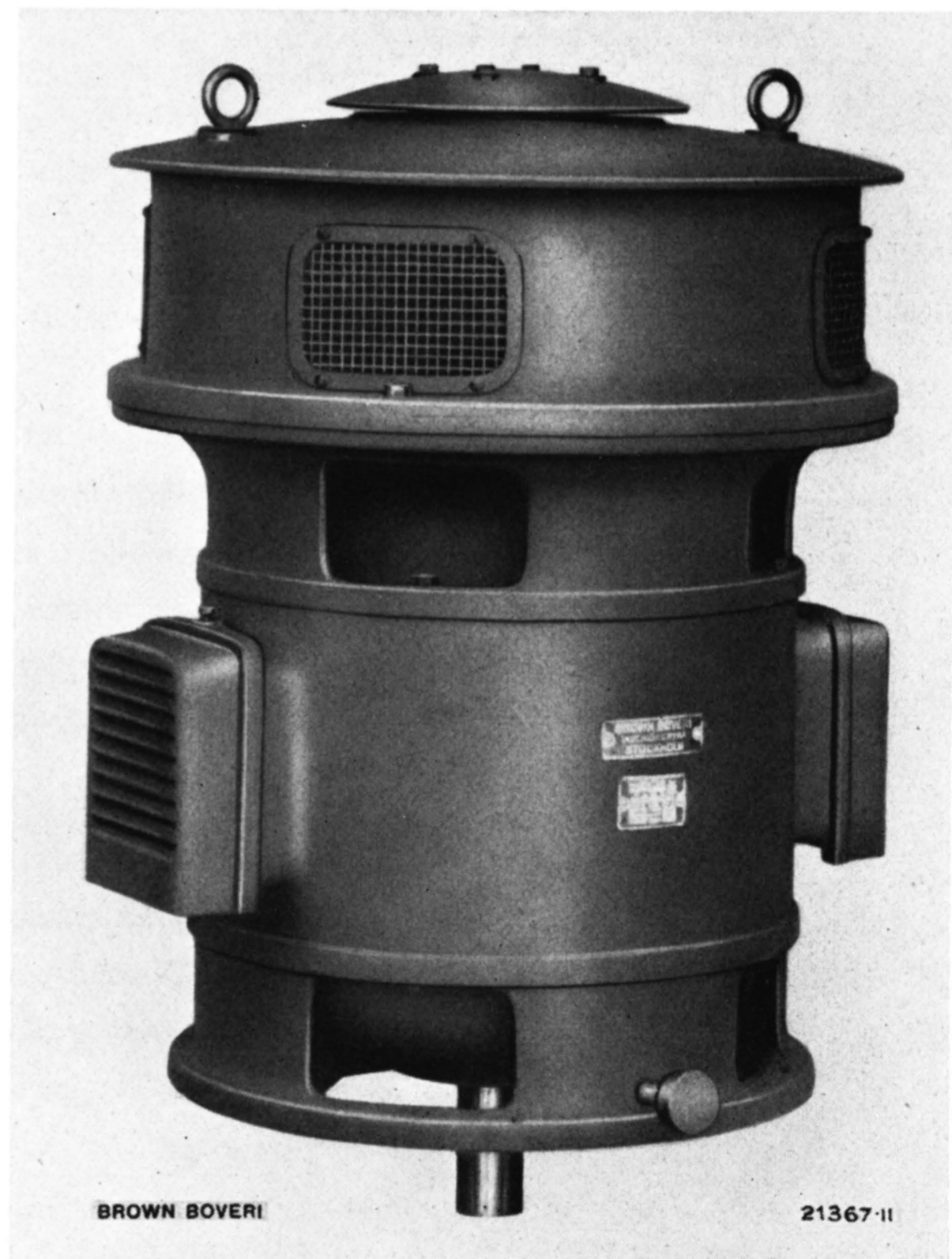


Abb. 3. — Dreiphasen-Zentrifugenmotor Type MZ mit Zentrifugalanlasser.

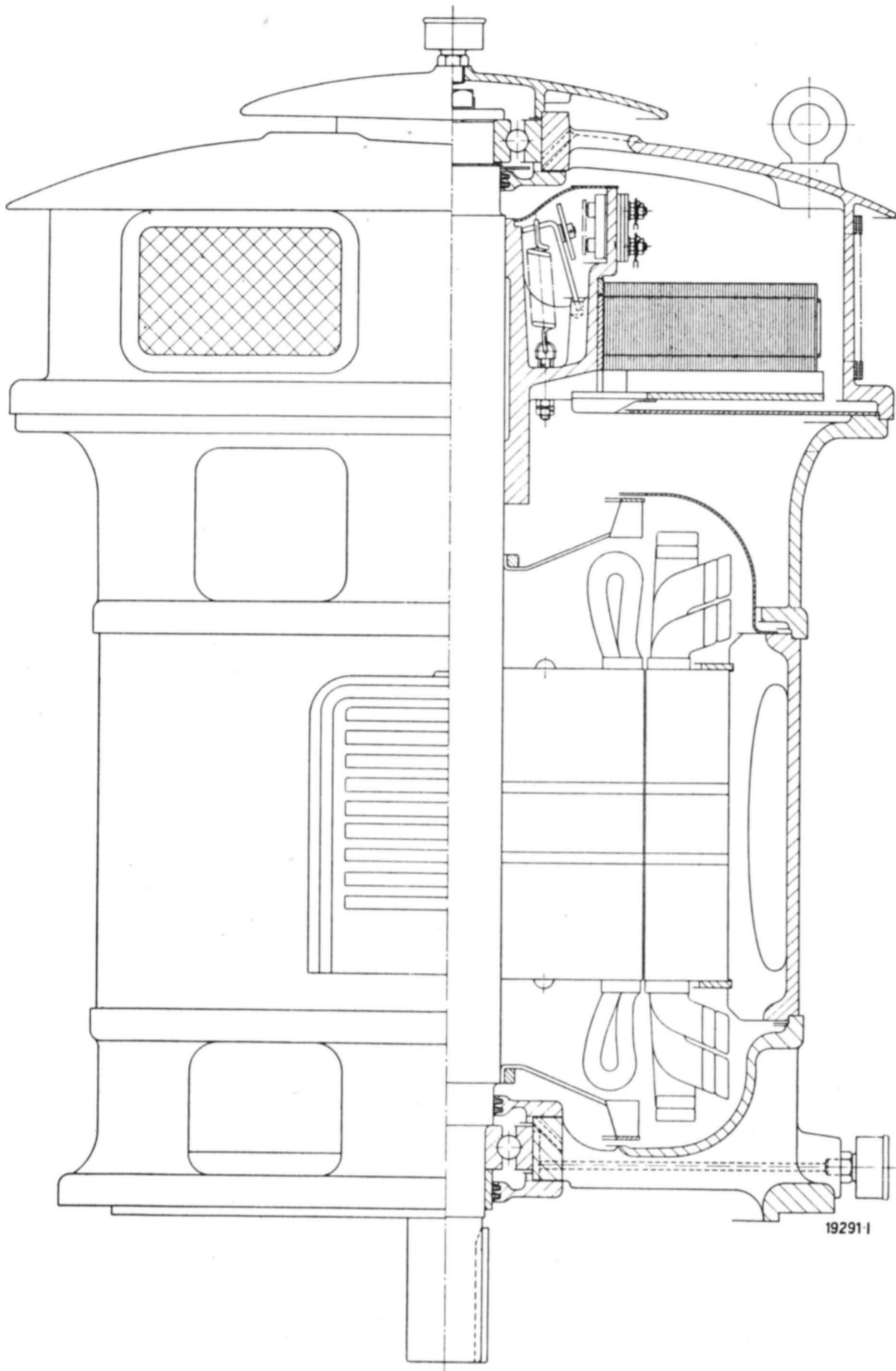


Abb. 4. — Dreiphasen-Zentrifugenmotor Type MZ mit Zentrifugal-anlasser.

Der Motor wird so einfach, etwa wie man eine Glühlampe bedient, durch *blosses Schliessen des Schalters* angelassen. Der auf der Welle befestigte Anlasswiderstand wird durch kräftige Fliehkraftschalter in dem Masse kurzgeschlossen, als die Drehzahl ansteigt. Der Anlaufstrom beträgt im Mittel *nur etwa das 1,6 fache* des der Nennleistung entsprechenden Wertes. Er belastet weder die Zentrale ungünstig, noch ist er dem Motor selbst schädlich. Dieser entwickelt ein kräftiges Drehmoment bereits vom Stillstand aus und beschleunigt die Zentrifuge auch *ohne* Verwendung einer Schleifkupplung in *kürzester Zeit* auf die *volle* Schleuderdrehzahl. Die überschüssige Anlaufenergie wird im Anlasswiderstand elektrisch, somit *ohne Ab-nützung*, in Wärme umgesetzt, sodass die Anlauf-dauer Spiel für Spiel die gleiche bleibt. Die Zentrifuge arbeitet daher immer gleichmässig mit *ihrer grössten Leistungsfähigkeit*, und die Güte ihres Produktes wird ebenfalls stets dieselbe bleiben.

dauernd eingeschalteten Widerstandes kann die volle Schleuderdrehzahl nicht erreicht und somit auch die volle Schleudwirkung nicht erzielt werden. Ein befriedigendes Arbeiten lässt sich also auch mit diesem Antrieb nicht erreichen.

Brown Boveri hat nach langen und sorgfältigen Versuchen den Motor mit Zentrifugalanlasser auch für Zentrifugenantriebe durchgebildet und damit einen Antrieb geschaffen, der tatsächlich die Bedingungen, die hier gestellt werden, voll und ganz erfüllt (Abb. 3-11).

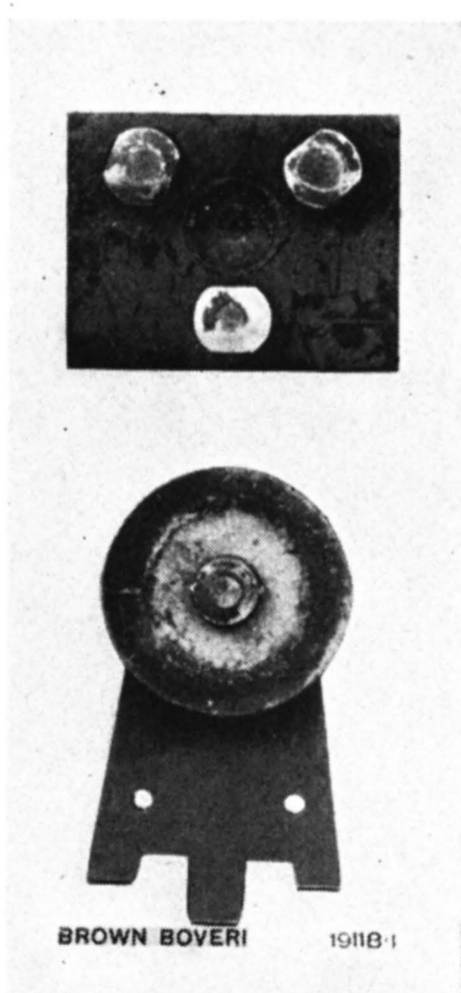


Abb. 5. — Kontaktbolzen mit Kontaktteller eines Motors mit Zentrifugalanlasser für Zentrifugenantriebe nach etwa 100 000 Schaltungen.



Abb. 6. — Weston-Zentrifuge mit aufgebautem, über direkt mit-nehmende Kupplung treibenden Dreiphasenmotor mit Zentrifugalanlasser.

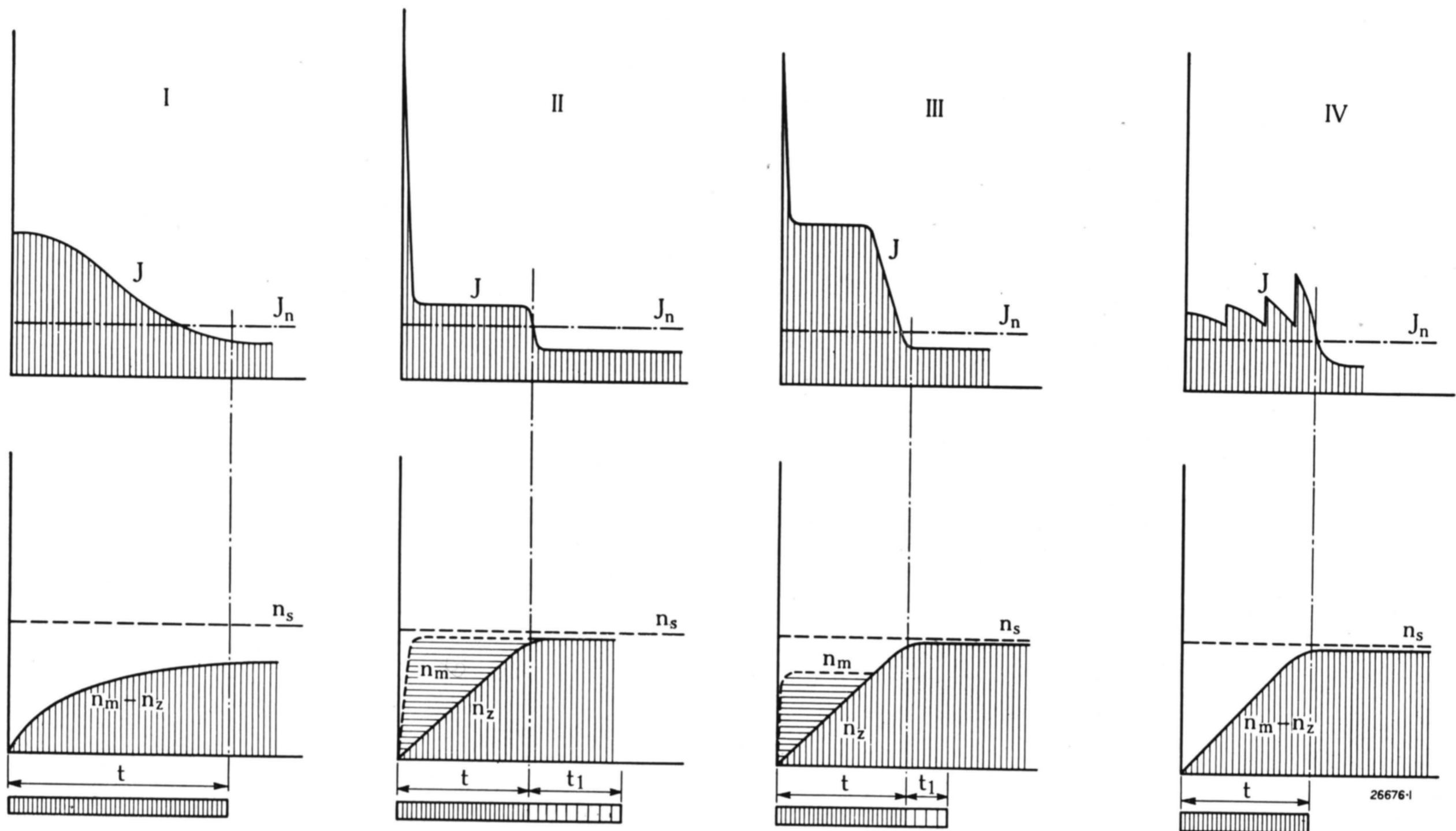


Abb. 7. — Vergleich der Anlaufkurven bei verschiedenen Arten des elektrischen Antriebes von Zentrifugen.

- I = Schleifringankermotor mit festem Schlupfwiderstand ohne Schleifkupplung.
- II = Kurzschlussankermotor mit Schleifkupplung, eingestellt auf Mitnahme der Zentrifuge bei voller Drehzahl.
- III = Kurzschlussankermotor mit Schleifkupplung, eingestellt auf Mitnahme der Zentrifuge bei etwa 70 % der Motordrehzahl.
- IV = Zentrifugenmotor Type MZ mit Zentrifugalanlasser ohne Schleifkupplung.

- J = Vom Motor aufgenommener Strom.
- J_n = Nennstrom des Motors.
- n_m = Drehzahl des Motors.
- n_z = Drehzahl der Zentrifuge.
- n_s = Synchrone Drehzahl des Motors.
- t = Anlaufdauer.
- t_1 = Verlängerung der Anlaufdauer bei Verschleiss der Kupplung.

Der für die Zentrifugenantriebe verwendete Manövrierschalter ist mit Hammerkontakten versehen, da sich diese Kontakte für grosse Schalthäufigkeiten am besten bewährt haben (Abb. 12 und 13). Sie werden durch unrunde Scheiben der Schalterwelle abgehoben und durch kräftigen Federdruck aufgelegt. Das guss-eiserne Gehäuse schützt die Schaltermechanismen gut gegen Spritzwasser.

Um die Bedienung der Zentrifuge so bequem als möglich zu gestalten, wird der Antrieb des Schalters in der Regel von der Bremswelle abgenommen, und zwar entweder durch ein einfaches Hebelsystem oder eine Kettenübertragung. In der linken Endlage des Handrades ist die Bremse angezogen und der Schalter ausgeschaltet. In einer mittleren Lage, die durch eine Rast deutlich fühlbar gemacht werden kann, ist die Bremse gelöst, der

Motor aber noch ausgeschaltet. Die Zentrifuge kann also von Hand gefahrlos gedreht werden. In der rechten Endlage wird der Schalter eingelegt und der Motor in Betrieb gesetzt. Zum Abstellen ist lediglich das Handrad ganz nach links zurückzudrehen, und die Zentrifuge wird durch die Bandbremse rasch stillgesetzt.

Derartige Antriebe sind bereits in grosser Zahl, zum Teile schon seit Jahren in Betrieb und haben sich bestens bewährt. Eine Zuckerfabrik, die mehrere solcher Antriebe hat, urteilt hierüber folgendermassen:

„Die Motoren besitzen folgende Vorzüge: einen kleinen Stromverbrauch bei sehr grosser Beschleunigung, einfache Bedienung und vollständig ruhigen Lauf ohne nennenswerte Erwärmung des Motors.“

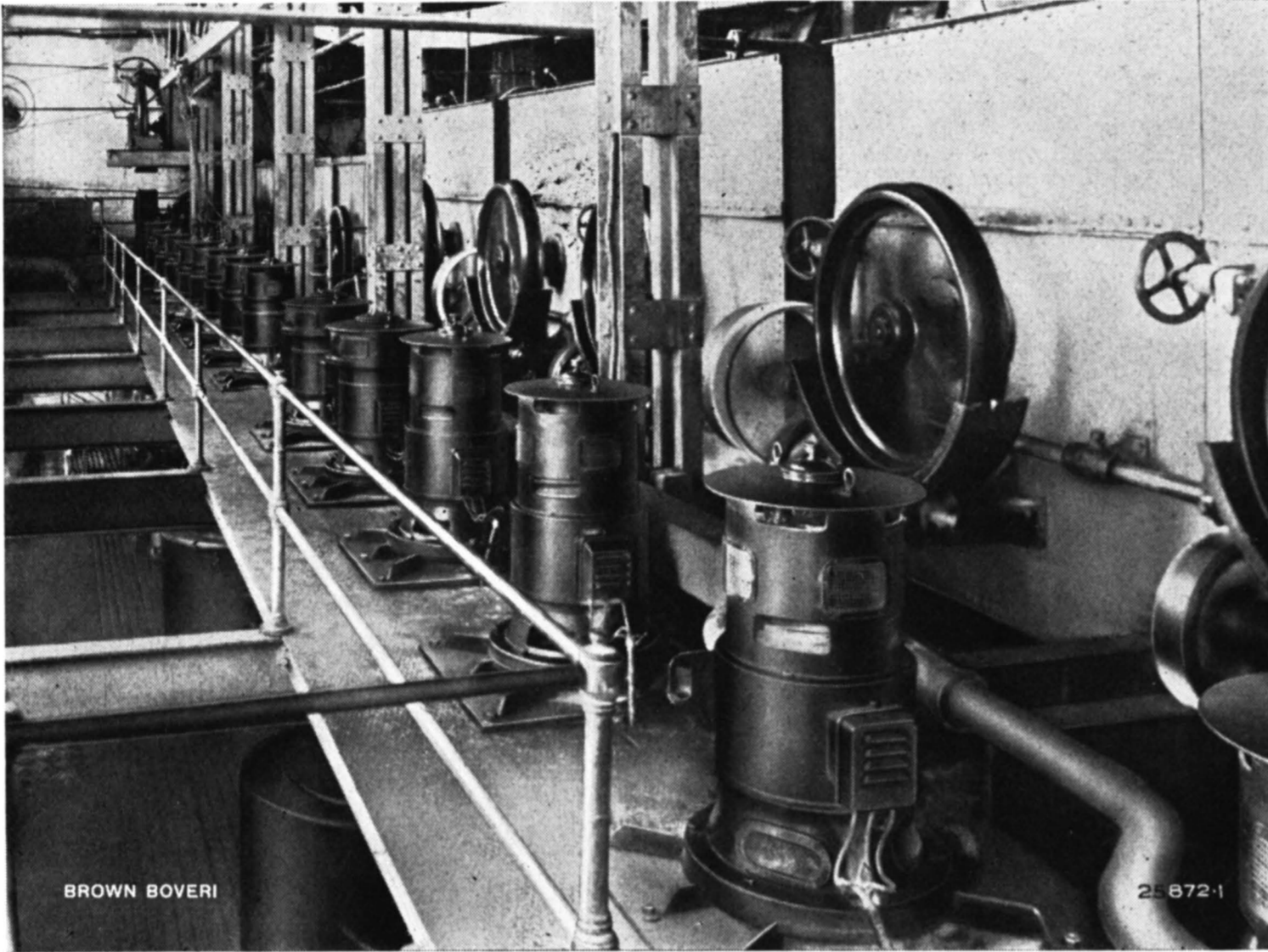


Abb. 8. — Zentrifugenstation einer Zuckerfabrik mit Einzelantrieben durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser.

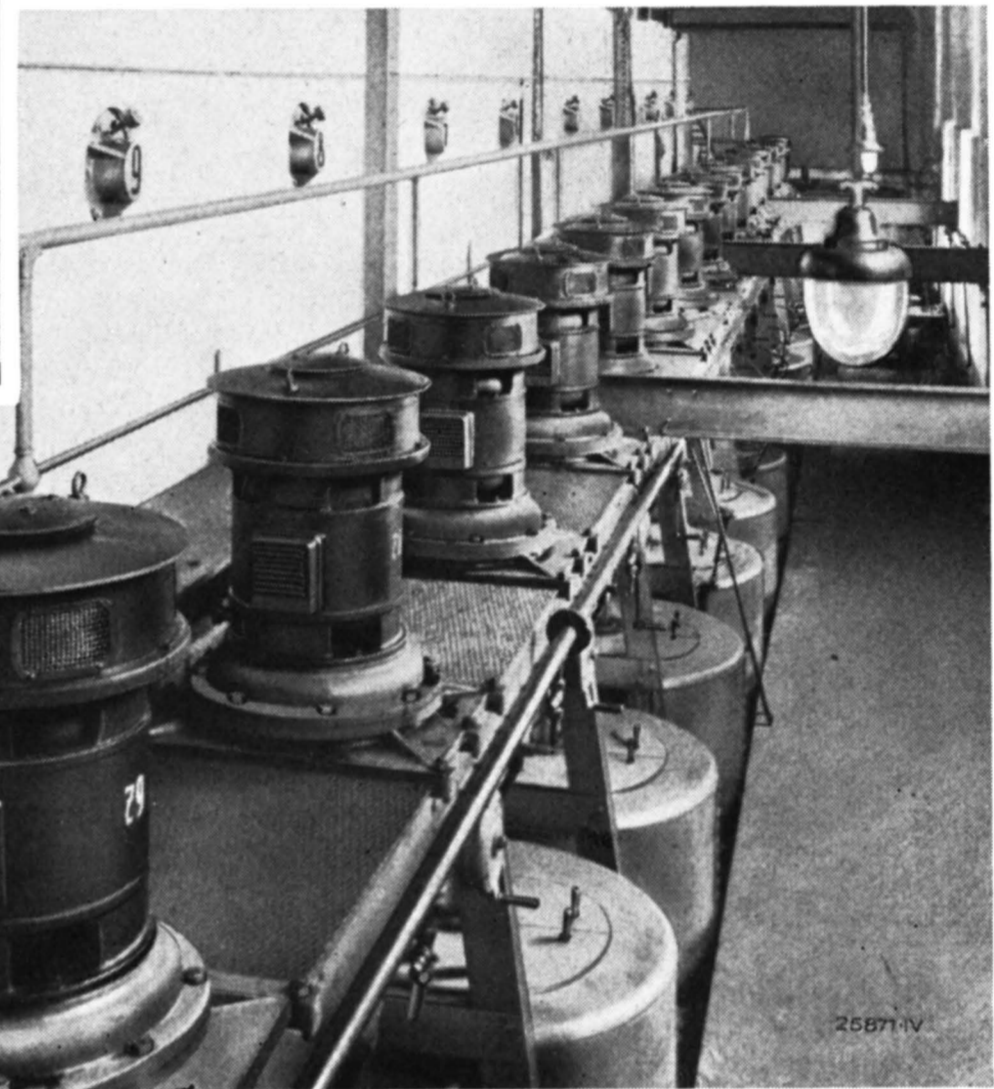


Abb. 10. — Zentrifugenstation einer Zuckerfabrik mit Einzelantrieben durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser.

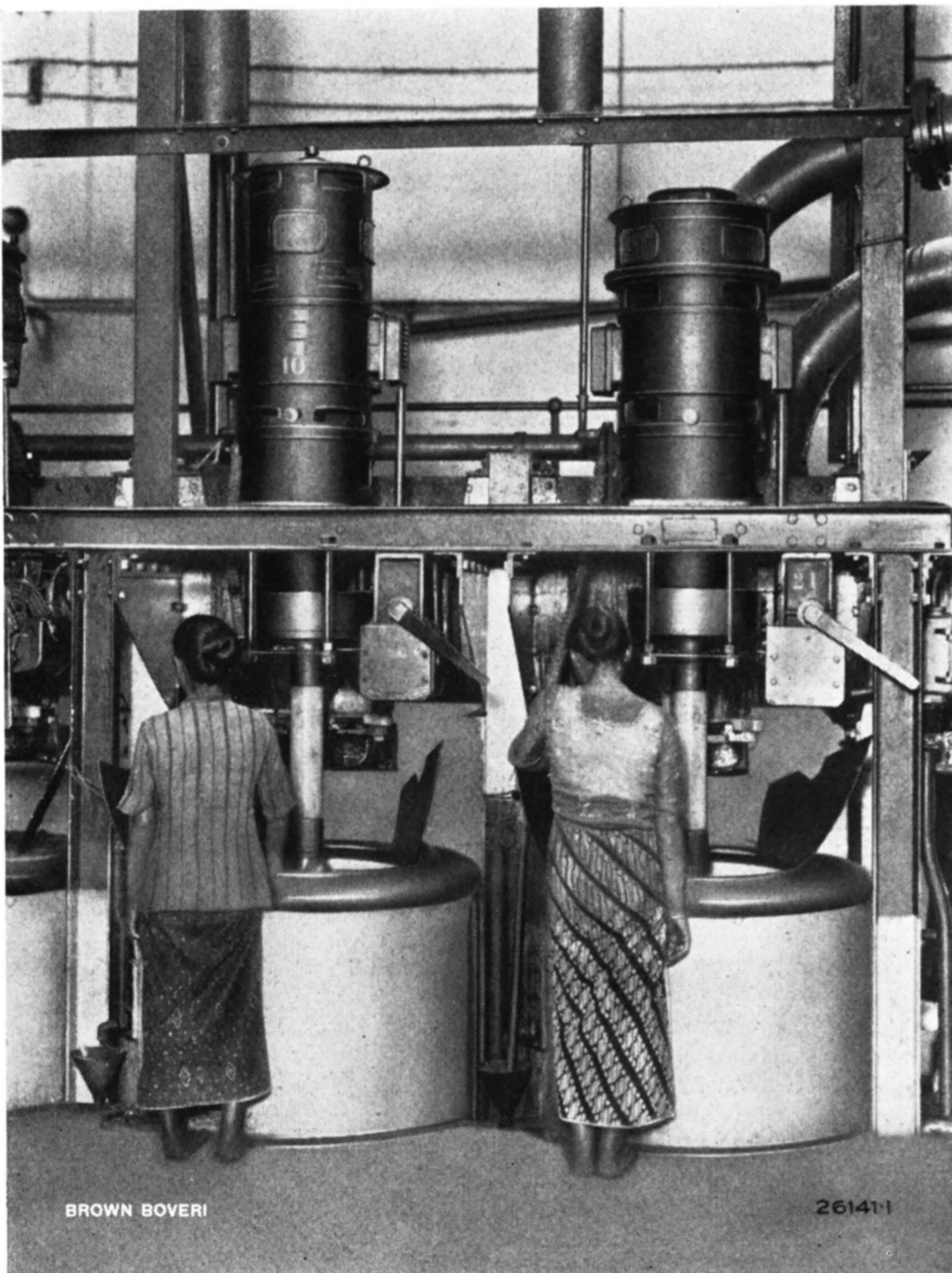


Abb. 9. — Zentrifugen einer Rohrzuckerfabrik auf Java mit Einzelantrieb durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser.

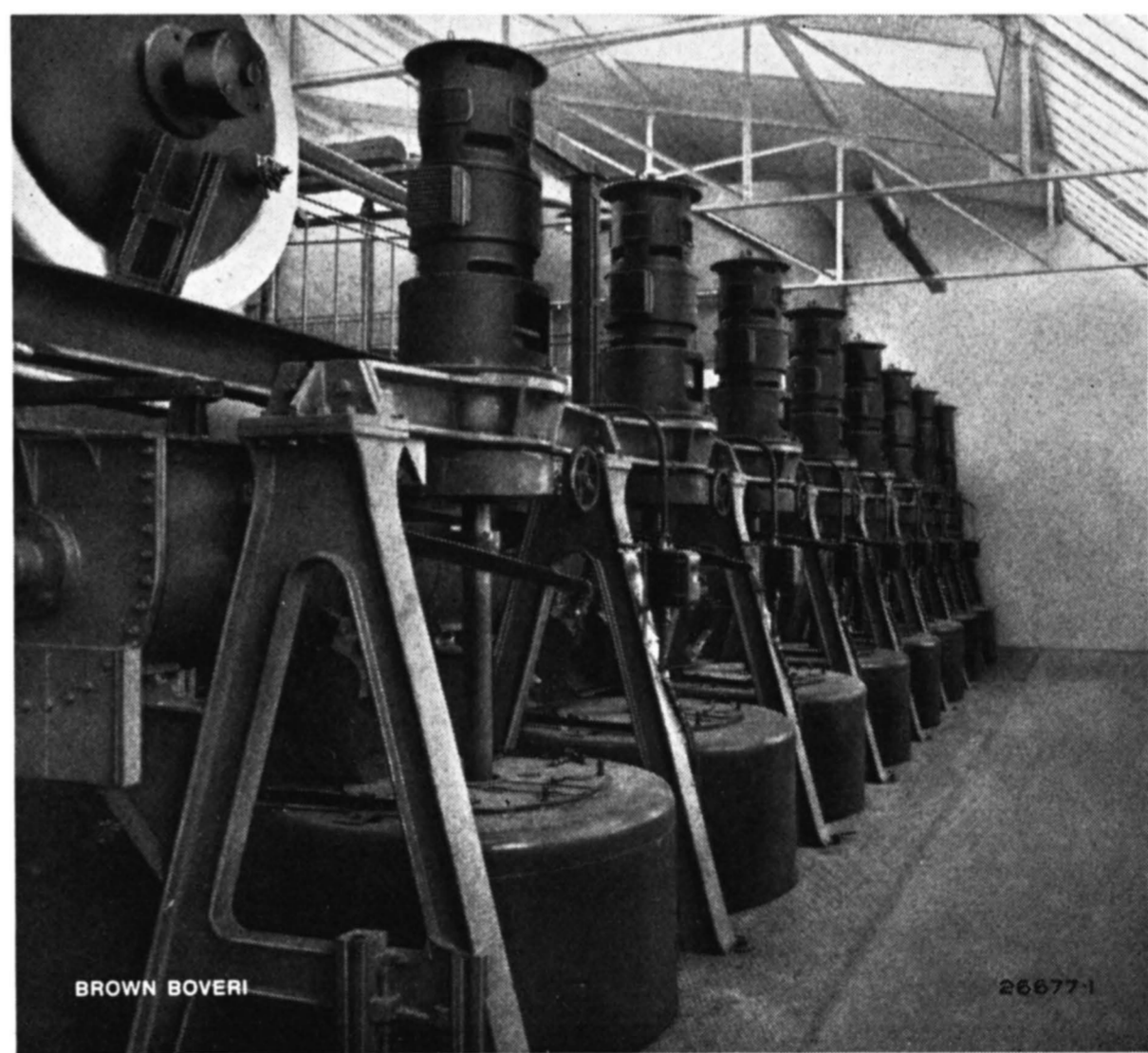
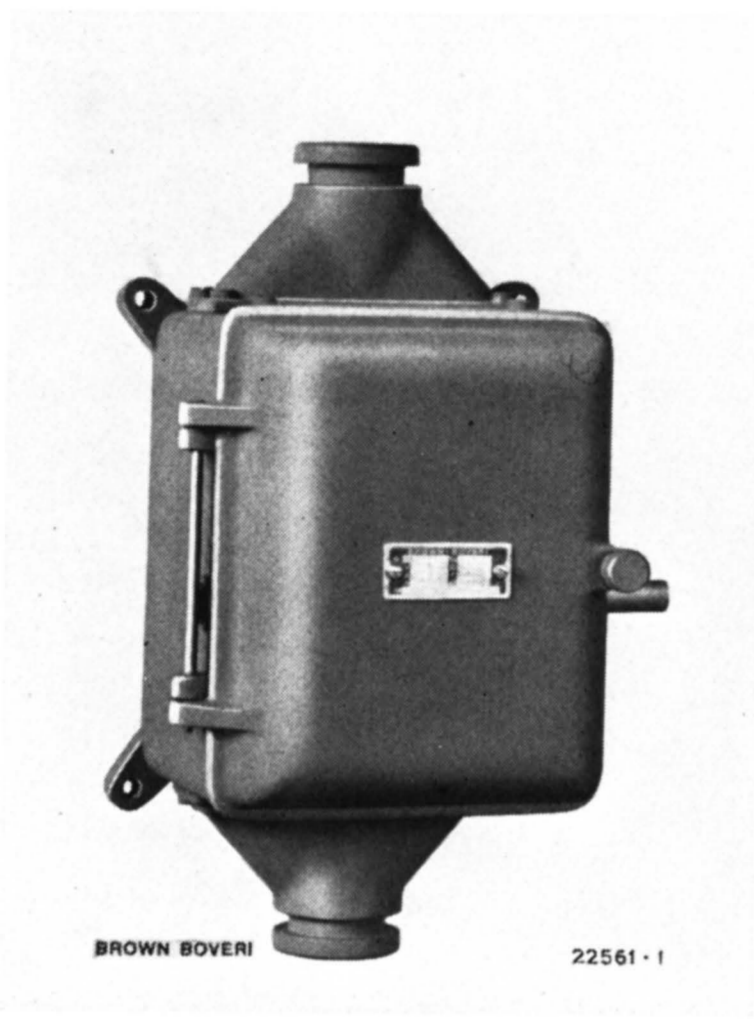
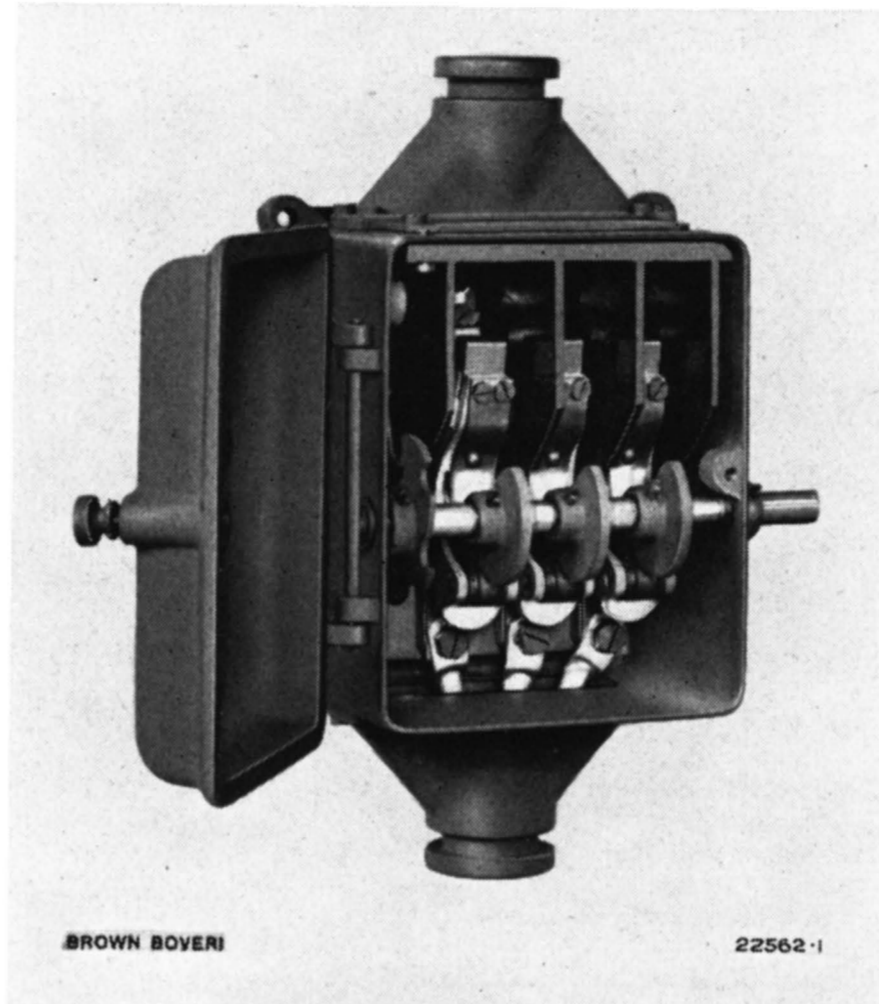


Abb. 11. — Zentrifugenstation einer Zuckerfabrik mit Einzelantrieben durch Dreiphasenmotoren mit Zentrifugalanlasser.
(Ältere, höhere Bauart.)



BROWN BOVERI 22561-1

Abb. 12. — Zentrifugenschalter mit Hammerkontakten für hohe Schalthäufigkeit (geschlossen).



BROWN BOVERI 22562-1

Abb. 13. — Zentrifugenschalter mit Hammerkontakten für hohe Schalthäufigkeit (geöffnet).

„Trotz der Anwendung von Motoren mit einer verhältnismässig sehr kleinen Leistung sind wir im Stande, den Schleuderprozess bedeutend zu be-

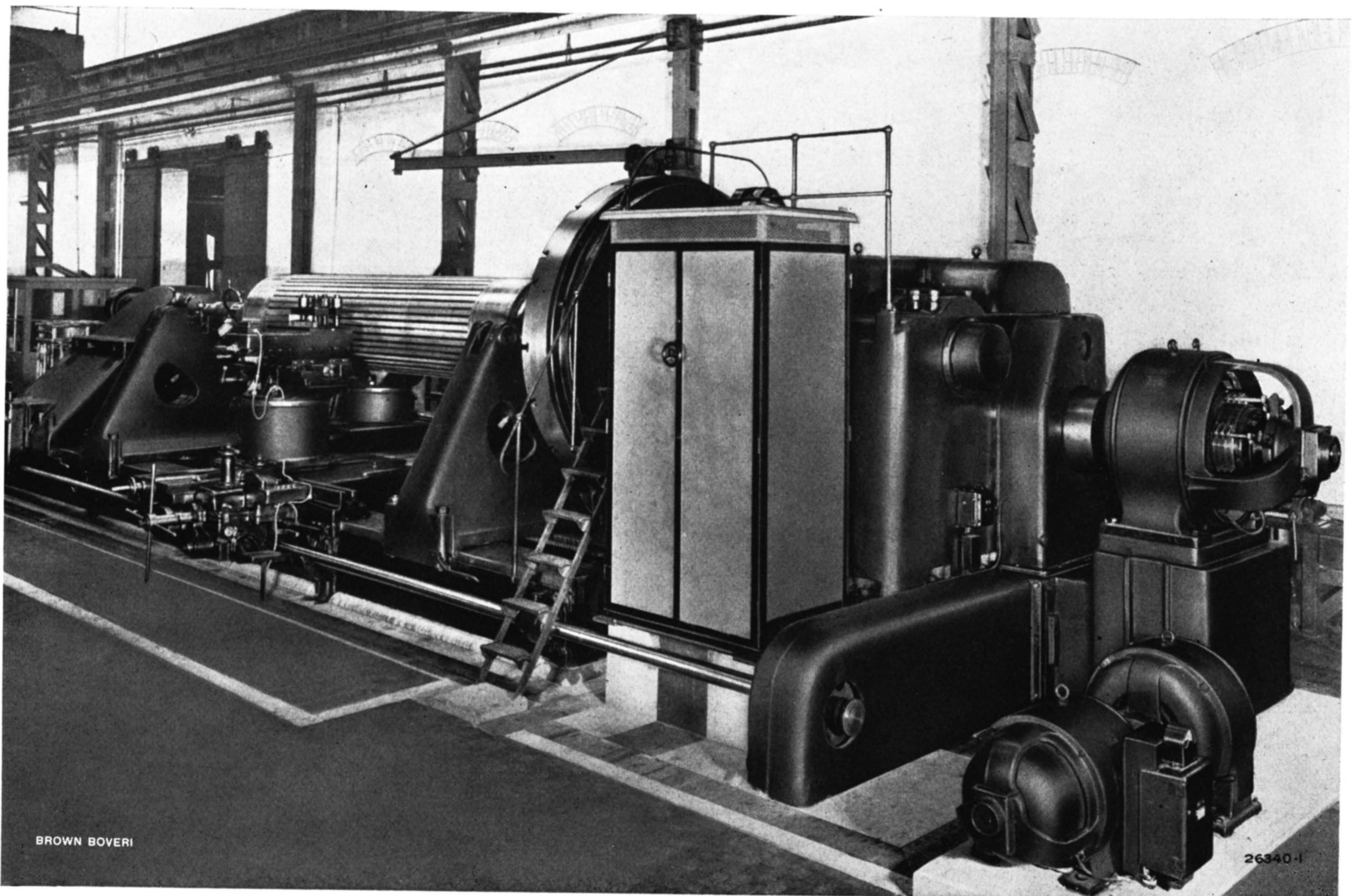
der Motoren durch zusätzliche Ventilatoren verwenden.“

(MS 555)

schleunigen, da die Dauer einer Charge bei gutem Rohzucker im ganzen vier Minuten beträgt. Öfters sind wir sogar auf 16 Chargen in der Stunde gelangt. Da wir sehr grosse Zentrifugen mit 52" Durchmesser besitzen, ermöglichte uns dies, die Ausbeute der Zentrifugen bedeutend zu erhöhen, ohne dass die Tourenzahl der Zentrifugen dabei erhöht wurde.

„Wir betonen, dass wir keine künstliche Kühlung

S. Hopferwieser.



BROWN BOVERI

26340-1

Spitzendrehbank mit Einzelantrieb durch Gleichstrom-Umkehrmotor von 50 kW Leistung, Drehzahl 320—960, mit Universal-Schützensteuerung und Druckknopfbetätigung Bauart Brown Boveri.

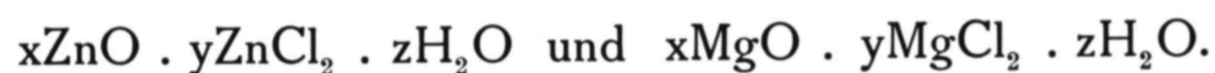
ZUR KENNTNIS DER BLEIGLÄTTEGLYZERINKITTE.

(Schluss.)

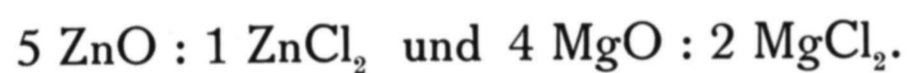
Dezimalindex 620.15.

III. UNTERSUCHUNG DER EINZELNEN KITTE.

Schon bei der praktischen Verwendung der Bleiglätteglyzerinkitte hat es sich gezeigt, dass es nur gewisse Mischungsverhältnisse sind, in denen die beiden Komponenten zusammengebracht werden müssen, damit überhaupt ein einigermaßen harter Kitt entsteht. So sind denn auch heute dem Praktiker einige empirische Rezepte für die Zusammensetzung der Kitten bekannt, ohne genauere Kenntnis der Reaktionsbedingungen. In den Arbeiten von Nagel und Grüss über Zinkoxyd-Zinkchlorid- und Magnesiumoxyd-Magnesiumchlorid-Kitte wurde zum ersten Mal für diese beiden Systeme die Abhängigkeit der mechanischen Festigkeit und der Abbindezeit von den Mischungsverhältnissen untersucht. Sowohl für die zinkhaltigen als auch für die magnesiumhaltigen Kitten liessen sich einwandfrei bestimmte Höchstwerte für die Festigkeit feststellen. Die beiden Autoren nehmen an, dass sich dabei chemische Verbindungen bilden, die z. B. folgende allgemeine Formeln aufweisen:



Die grössten Festigkeiten sind dabei vorhanden bei den Verhältnissen



Auf Grund der Versuchsergebnisse dieser Autoren musste man sich in erster Linie mit der Frage der Mischungsverhältnisse von Bleiglätte und Glyzerin für die untersuchten Kittmischungen befassen. Die Festigkeitswerte der einzelnen Mischungen wurden in einer Apparatur ermittelt, die schon vor Erscheinen der erwähnten Arbeit zusammengestellt und nachträglich abgeändert worden war, um vergleichbare Versuchsergebnisse zu erhalten.

Das Gerät, mit dem die Abbindezeit und die Kittfestigkeit bestimmt wurden, ist sehr einfach gebaut. In einem Stahlklotz von gegebenem Durchmesser und bestimmter Dicke wurden am Rande zehn Löcher gebohrt von je zehn Millimeter Durchmesser und 20 Millimeter Tiefe. Diese Löcher wurden mit der Kittmasse vollgestrichen. Dann wurde je ein mit einer Marke versehener Stift von 8 Millimeter Durchmesser 19 Millimeter tief in je ein Loch eingesetzt. Als Kittschichtdicke ergibt sich am Boden und an den Wänden je ein Millimeter. Abb. 11 zeigt die Anordnung schematisch. Am oberen freien Ende der Stifte ist ein Gewinde angebracht und man schraubt dort eine einfache Halte-

vorrichtung auf, die in die Klemmbanken einer gewöhnlichen Amslerschen Zerreißmaschine hineinpasst. Abb. 12 zeigt die Anordnung der ganzen Apparatur fertig zum Versuch. Abb. 13 lässt die Einzelheiten noch etwas deutlicher erkennen. Die Eignung dieser Anordnung wurde durch eine grosse Reihe von Vorversuchen ermittelt. Es hat sich im Verlaufe der Untersuchungen gezeigt, dass bei den so erhaltenen Festigkeitswerten, d. h. Ausreißwerten, wohl Streuungen vorhanden sind, diese können aber darum vernachlässigt werden, da man eindeutige Ergebnisse erhält, wenn man die Gesamtheit der Messergebnisse berücksichtigt.

Bei den Untersuchungen wurde so vorgegangen, dass die verschiedensten Mischungsverhältnisse verfolgt wurden, vorerst immer mit der gleichen Glyzerinkonzentration (85% Glyzerin, chemisch rein) und nach der gleichen Abbindezeit (40 Stunden). Auch bei den Bleiglätteglyzerinkitten ergaben sich einwandfrei bestimmte günstigste Mischungsverhältnisse. Ausgehend von der Annahme, dass sich zwischen Glyzerin und Bleiglätte irgendwelche chemische Verbindungen bilden, wurden die Mischungen in molaren Verhältnissen angesetzt. Die im folgenden in der Arbeit angegebenen Festigkeitswerte sind immer Mittelwerte aus den Er-

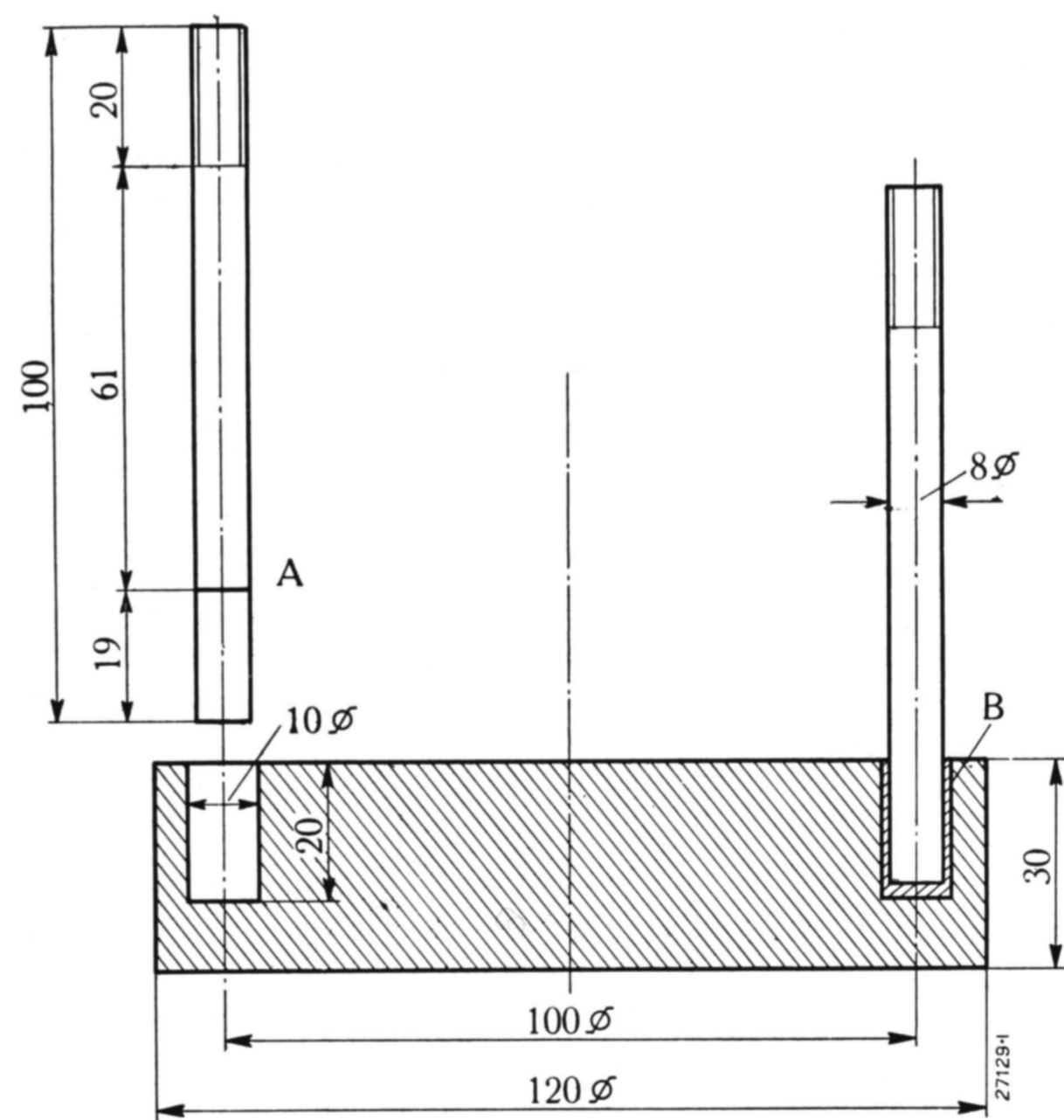


Abb. 11. — Schematische Darstellung der Apparatur für die Festigkeitsversuche.

A = Marke.

B = Kitt.

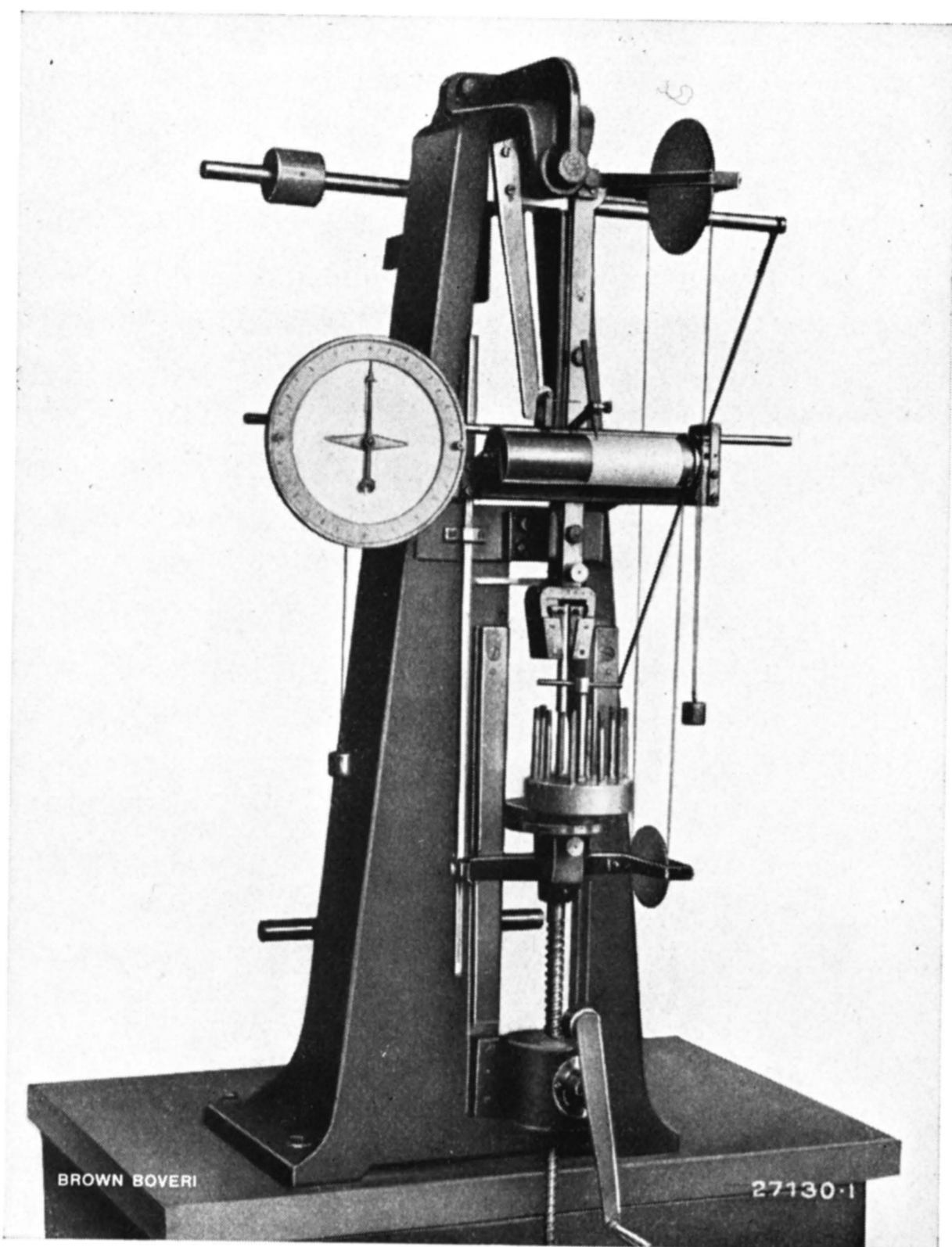


Abb. 12. — Gesamtansicht der Apparatur für die Festigkeitsversuche.

gebnissen von mindestens zehn Ausreissversuchen. Aus Tabelle 1 sind die Werte der verschiedenen Mischungen ersichtlich.

Tabelle 1.

Oxyd Nr.	Ausreissfestigkeit in Kilogramm nach 40 Stunden Abbindezeit bei einem Mischungsverhältnis PbO : Glyzerin von			
	3 : 1	2 : 1	1 : 1	1 : 2
1	—	189	76	2
2	—	119	30	4
3	—	227	32	2
4	—	242	114	3
5	286	153	89	2
6	—	—	163	15
7	—	—	232	26

Die Mischung 3 PbO : 1 Glyzerin war bei den meisten Oxyden nicht mehr zu messen, da die Erstarrung der Masse sofort, d. h. schon beim Anreiben erfolgte. Damit verlieren diese Kitten für die Praxis auch jede Bedeutung. Nur bei Kitt Nr. 5 war es noch möglich, die Mischung 3 : 1 einwandfrei zu messen. Bei den hochdispersen Tegoglättungen 6 und 7 war es sogar aus dem gleichen Grunde nicht mehr möglich die Mischung

2 PbO : 1 Glyzerin zu bestimmen, dagegen fällt auf, dass bei diesen beiden Sorten die Werte für 1 PbO : 1 Glyzerin verhältnismässig hoch sind. Die Mischung 1 PbO : 2 Glyzerin ergab keine brauchbaren Werte mit Ausnahme der beiden Tegoglättungen, bei denen allein noch eine messbare Ausreissfestigkeit festzustellen war. Es ist wohl an dieser Stelle von Interesse, auf Grund der früheren Mitteilung, noch einmal auf die mehrfach erwähnte Ölzahl zurückzukommen. Es zeigen sich, wie aus den untenstehenden Zahlen hervorgeht, interessante Parallelen zwischen den Ausreissfestigkeiten der günstigsten Kittmischungen und den Ölzahlen.

Oxyd	1	2	3	4	5	6	7
Ölzahl l	13,5	7,5	12,2	12,5	6	11,0	17,0
Ausreissfest. 2 PbO : 1 Glyz.	189	119	227	242	153	—	—
1 PbO : 1 Glyz.	—	—	—	—	—	163	232

Aus Abb. 14 sind die Verhältnisse ebenfalls ersichtlich.

Bei den Oxyden 1—5, deren günstigste Verhältnisse allgemein bei 2 PbO : 1 Glyzerin liegen, ergeben

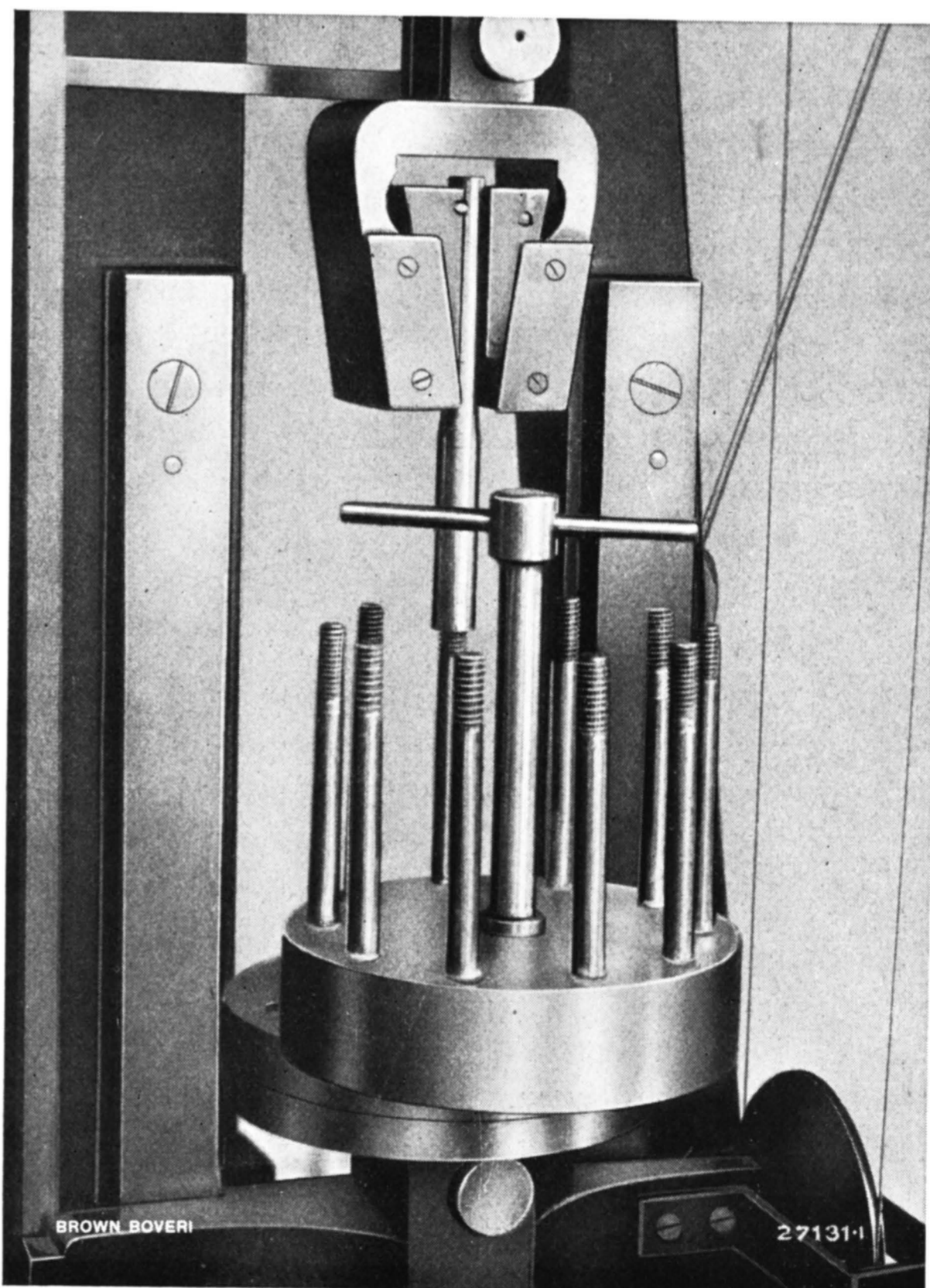


Abb. 13. — Einzelheiten der Apparatur für die Festigkeitsversuche.

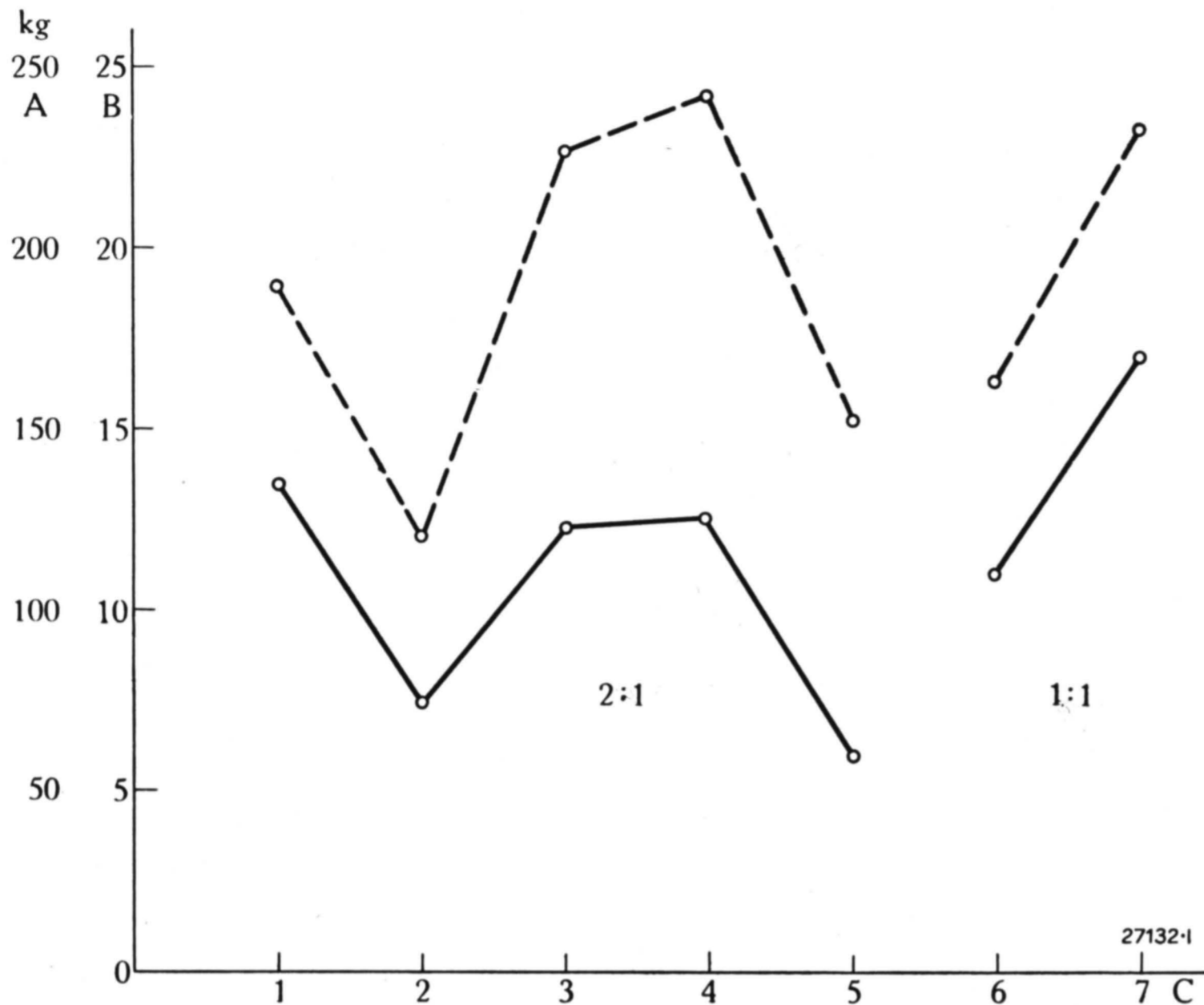


Abb. 14. — Vergleich der Kittfestigkeiten mit der Ölzahl.
 A = Ausreissfestigkeit. Ausgezogene Kurve = Ölzahl.
 B = Ölzahl. Gestrichelte Kurve = Kittfestigkeit.
 C = Oxyd.

diejenigen mit den niedrigeren Ölzahlen auch die ungünstigsten Werte für die Ausreissfestigkeit. Bei den dispersen Tegoglätten sind die besten Mischungsverhältnisse 1 : 1, aber auch da entspricht der höheren Ölzahl die höhere Festigkeit. Obschon ein gewisser Vergleich möglich ist, so wäre es doch unzulässig, auf Grund der Ölzahl allein, Schlüsse auf die Kittbildungsfähigkeit eines Oxydes zu ziehen. Am besten ist das ja zu beweisen an Hand der erwähnten Tegoglätten.

Aus diesen Versuchen ergibt sich, dass die günstigsten Mischungsverhältnisse für die einzelnen Oxyde die folgenden sind:

- Oxyd 1 2 PbO : 1 Glycerin
- " 2 2 PbO : 1 Glycerin
- " 3 2 PbO : 1 Glycerin
- " 4 2 PbO : 1 Glycerin
- " 5 3 PbO : 1 Glycerin
- " 6 1 PbO : 1 Glycerin
- " 7 1 PbO : 1 Glycerin.

Für die weitem Versuche wurden denn auch diese Mischungen allein verwendet. Dadurch, dass sieben verschiedene Bleioxyde zur Herstellung der Kitte verwendet wurden, waren von dieser Seite aus genügende Möglichkeiten gegeben, und es musste daher auch der Einfluss der anderen Komponente, nämlich des Glycerins, genauer untersucht werden. Zu diesem

Zwecke wurden Versuchsreihen mit den obenerwähnten besten Mischungen durchgeführt, wobei das Glycerin verschiedene Wassergehalte aufwies. Normalerweise wurde eine 85%ige Glycerinlösung verwendet und von dieser gehen auch die Untersuchungen aus. Daneben wird chemisch reines Glycerin mit einem Gehalt von 97%, von 75% und von 65% Glycerin benutzt. In Tabelle 2 sind die mit diesen Lösungen erhaltenen Werte zusammengestellt.

In graphischer Darstellung sind diese Ergebnisse in Abb. 15 enthalten.

Die Veränderung des Wassergehaltes im Glycerin bedingt einige sehr bemerkenswerte Erscheinungen. Bei 97%igem Glycerin sind die Werte eines Teiles der Kitte, nämlich diejenigen, die mit Oxyd 1, 2, 4 und 5 hergestellt worden sind, praktisch gleich geblieben, wie bei 85%igem Glycerin. Dagegen ist sehr auffallend, dass der Kitt aus Oxyd 3 und diejenigen aus 6 und 7 sehr schlechte Eigenschaften aufweisen. Bei 25% Wassergehalt im Glycerin gehen die Festigkeitswerte gegenüber dem 15%igen durchgehend etwas zurück.

Tabelle 2.

Oxyd Nr.	Ausreissfestigkeit in Kilogramm nach 40 Stunden Abbindezeit bei einem Wassergehalt des Glycerins von			
	PbO : Glycerin	3 %	25 %	35 %
1	2:1	202	182	103
2	2:1	89	75	46
3	2:1	100	138	62
4	2:1	232	176	95
5	3:1	215	132	91
6	1:1	95	155	111
7	1:1	82	164	124

Dagegen sind im Vergleich mit den Werten des 3% Wasser enthaltenden Glycerins die Festigkeiten der Kitte 6 und 7 wieder wesentlich besser geworden. Beim grössten Wassergehalt, d. h. also bei 35%, sind alle Festigkeitswerte sehr schlecht. Am günstigsten sind diejenigen der Kitte 6 und 7.

Daraus ergibt sich, dass ein Wassergehalt von 15% im Glycerin in Bezug auf die Haft- und Ausreissfestigkeit im allgemeinen die besten Werte ergibt. Ein bestimmter Wasserzusatz für die richtige Erhärtung des Kittes ist also erforderlich. Aus dem Verhalten

der beiden Tegoglätten lässt sich sogar vermuten, dass die Bleioxyde zuerst Wasser anlagern und sich dabei hydratisieren und dass erst nachher die Glycerinbildung erfolgen kann. Es wäre in diesem Falle anzunehmen, dass ein Wassergehalt von 3% zur Auslösung dieser Reaktion bei den Tegoglätten ungenügend ist und damit die schlechten Festigkeitswerte eine Erklärung finden würden.

Nachdem der Einfluss des Wassergehaltes bei der Kittherstellung erkannt war, lag es nahe, zu verfolgen, welche Rolle die Luftfeuchtigkeit beim Erhärten solcher Kitte spielen kann. In dieser Richtung wurde eine Versuchsreihe durchgeführt und zwar so, dass man die verschiedenen Kitte in der günstigsten Zusammensetzung herstellte und in einer Atmosphäre von 100% relativer Luftfeuchtigkeit abbinden liess. Dabei ergaben sich folgende Werte (zum Vergleich sind noch diejenigen in gewöhnlicher Zimmerluft angeführt):

Oxyd	1	2	3	4	5	6	7
Zimmerluft	189	119	227	242	286	163	232
100% relat. Luftfeuchtigkeit	177	114	156	280	253	—	240

Für die praktische Herstellung kann aus diesen Werten geschlossen werden, dass die Luftfeuchtigkeit für die Erhärtung und die Festigkeit der Kitte keine Rolle spielt. Nur bei Nr. 3 ist eine wesentliche Erniedrigung in feuchter Atmosphäre festzustellen, die andern Werte liegen alle innerhalb der Methodenfehler. Ob also Bleiglätteglycerinmischungen bei feuchtem oder trockenem Wetter angemacht und verarbeitet werden, hat für die Festigkeit der Kittstelle keine Bedeutung, wenn das Glycerin, das verwendet wird, den richtigen Wassergehalt aufweist.

Im Betriebe können gelegentlich Verkittungen beobachtet werden, die an der Oberfläche eine weisse, krümelige Ausscheidung aufweisen, die sehr leicht weggeschwemmt werden kann. Die chemische Untersuchung solcher Massen ergab, dass es sich dabei um Bleikarbonat, gegebenenfalls um basisches Bleikarbonat handelt. Dieses muss sich an der Luft durch den Einfluss der in ihr enthaltenen Kohlensäure bilden können. Die im folgenden zu besprechende Versuchsreihe sollte darüber Aufschluss geben, in wie weit Kohlensäure (CO₂) imstande ist, freie Kittoberflächen zu zerstören. Aus

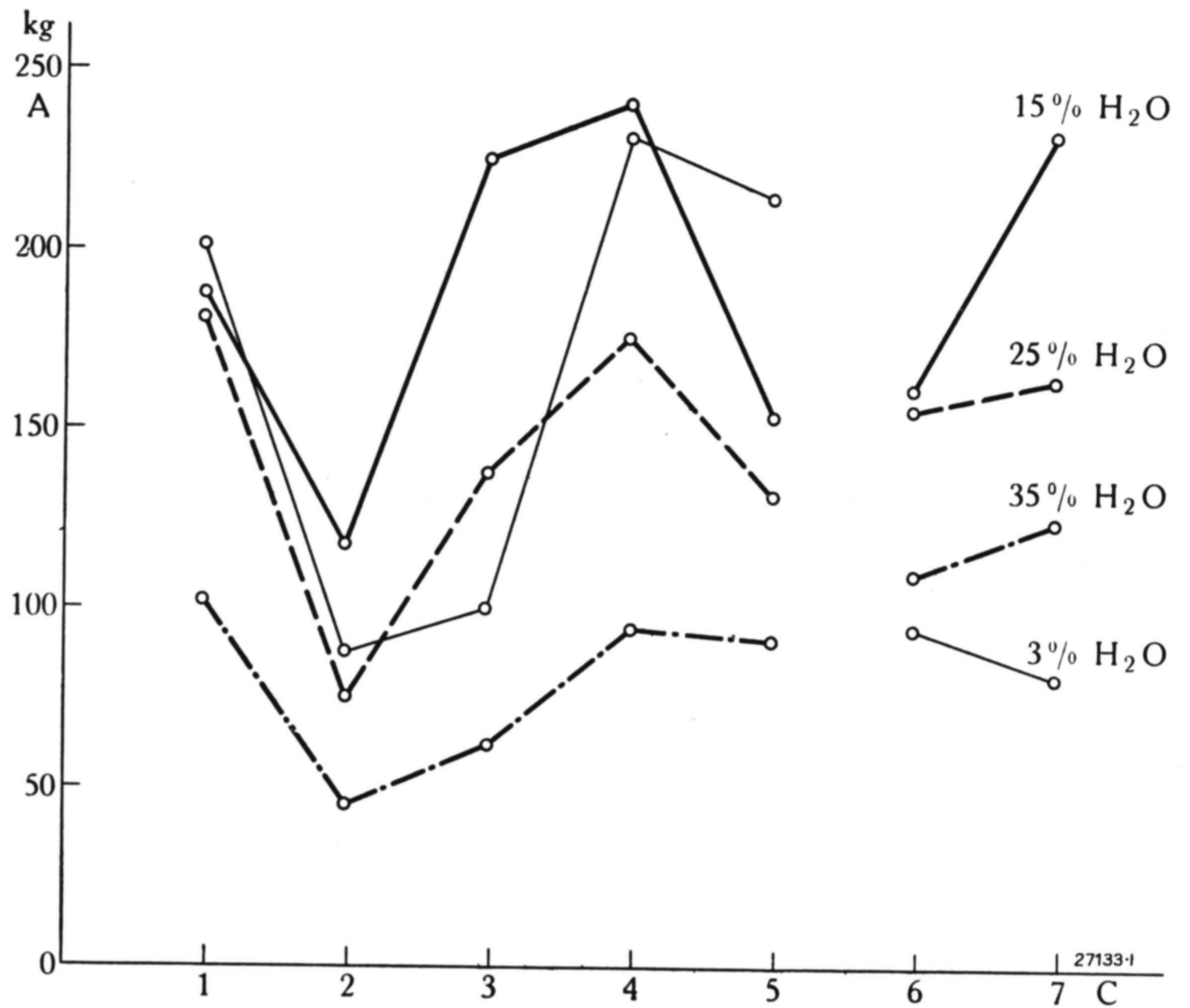


Abb. 15. — Abhängigkeit der Kittfestigkeit vom Wassergehalt des Glycerins.
A = Ausreissfestigkeit.
C = Oxyd.

den zur Verfügung stehenden Oxyden wurden Kitte hergestellt und in Ringe von rund 50 mm Durchmesser, rund zehn Millimeter Höhe bei einer freien Oberfläche von ungefähr 12 cm² eingespachtelt sowie an der Oberfläche gut geglättet. Nach dem Erhärten dieser Proben wurden sie in einen Exsikkator in trockener Luft unter Durchleiten von CO₂ während mehrerer Tage aufbewahrt. Nach zehn und 20 Tagen wurden die Proben gewogen und die Gewichtszunahme als Prozente CO₂ berechnet. Als Ergänzung dieser Bestimmungen wurde von den gleichen Proben nach 20-tägiger Einwirkung von CO₂ die oberste Schicht vorsichtig entfernt und der Kohlensäuregehalt darin quantitativ bestimmt. Auf diesem Wege wurden folgende Werte festgestellt:

Oxyd Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Verhältnis PbO:Glycerin	2:1	2:1	2:1	2:1	3:1	1:1	1:1
CO ₂ Aufnahme nach 20 Tagen in g	0,94	0,74	0,69	0,77	0,48	1,53	1,55
CO ₂ Gehalt der obersten Schicht	12,9%	7,1%	7,1%	7,9%	6%	15,9%	15,2%

Die schon mehrfach zum Vergleich herbeigezogenen Ölzahlen sind in Abb. 16 mit den Werten über die CO₂ Aufnahme zusammengestellt. Es zeigt sich bei

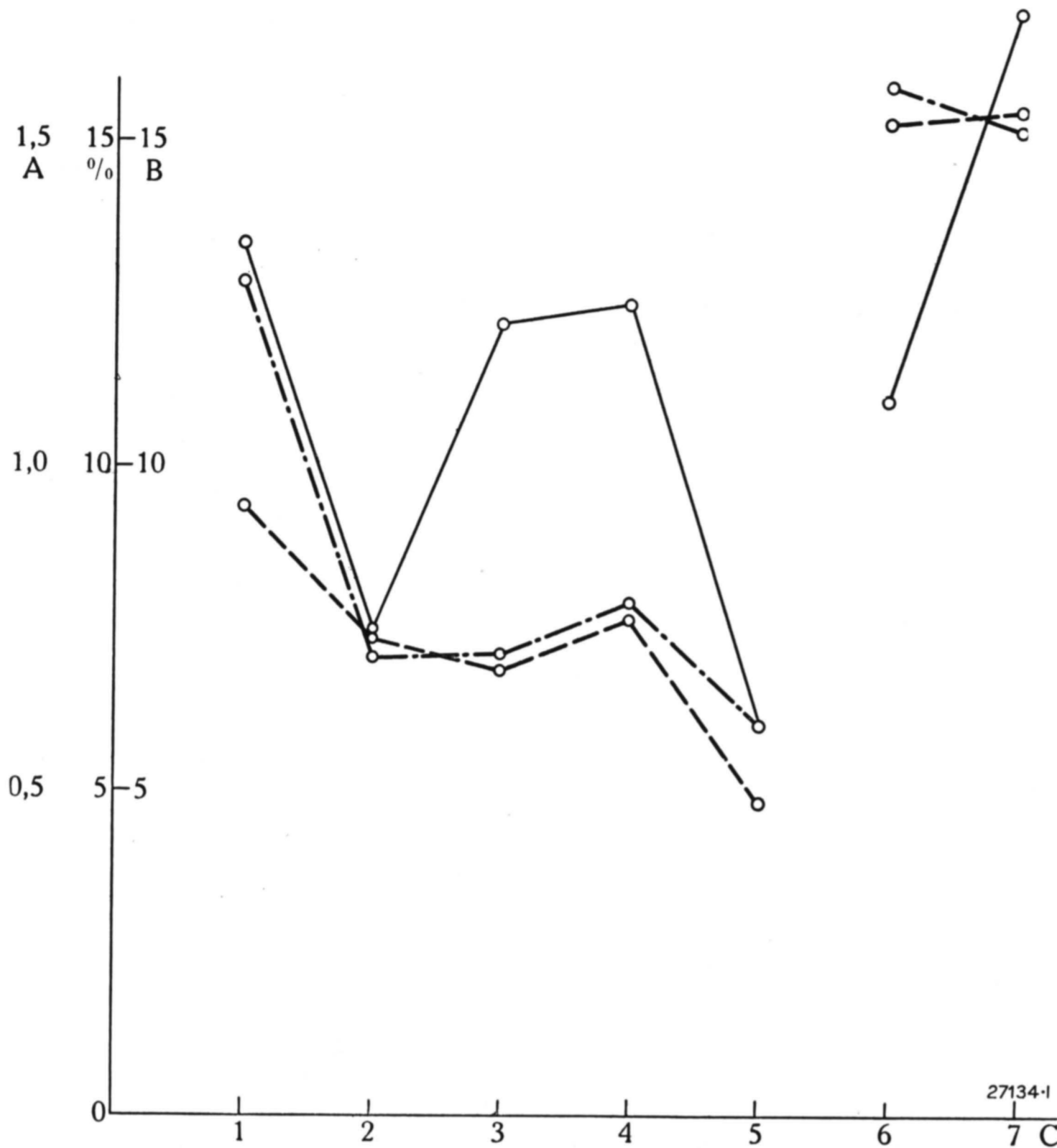


Abb. 16. — Kohlensäureaufnahme der verschiedenen Kitten.

A = CO₂-Aufnahme in Gramm und Prozenten.

B = Ölzahl.

C = Oxyd.

— — — = CO₂ in gr. - · - · - = CO₂ in %/o. ————— = Ölzahl.

einigen Oxyden eine gute Übereinstimmung in den Kurven. Theoretisch lässt sich aus diesem Ergebnis der Schluss ziehen, dass die feineren, disperseren Bleioxyde, also diejenigen mit den grössten Ölzahlen, wahrscheinlich ein lockereres oder poröseres Gefüge haben, was den Zutritt der Kohlensäure begünstigt. Diejenigen Kitten, die aus den Oxyden mit niedrigsten Ölzahlen hergestellt sind, nehmen am wenigsten CO₂ auf. Aus der Reihe heraus fallen allerdings die Proben 3 und 4, wobei jedoch betont werden muss, dass die CO₂ Bestimmung nicht ganz fehlerfrei durchzuführen ist.

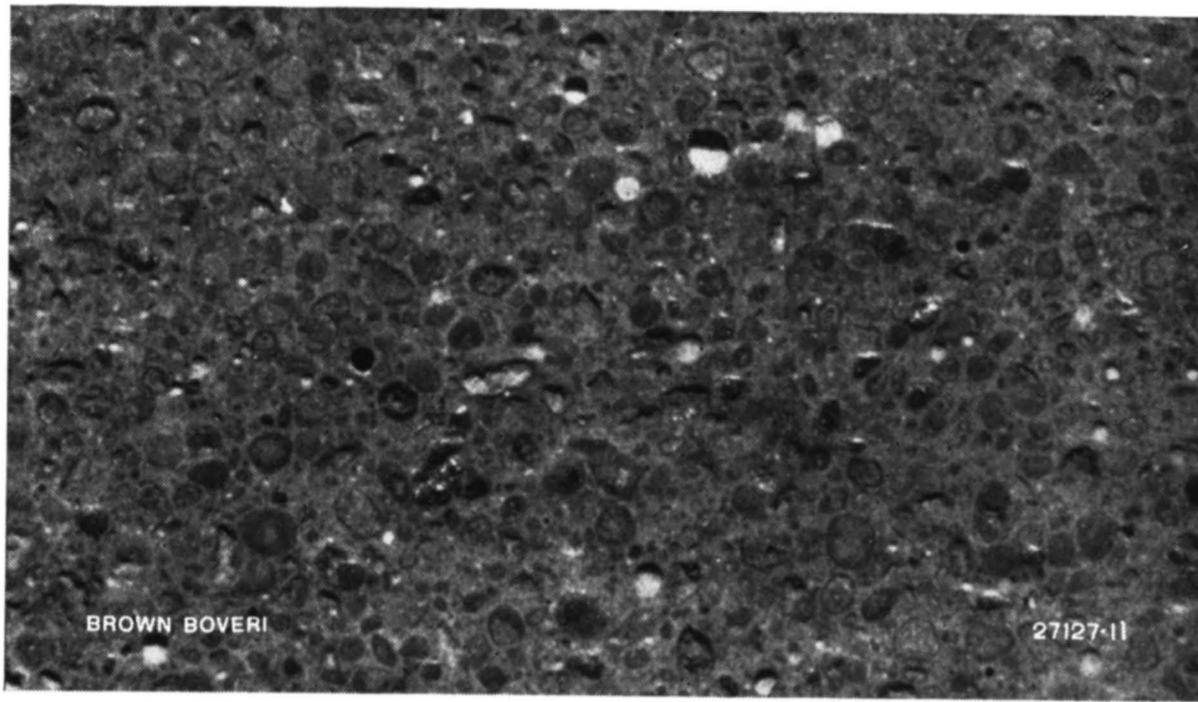
Dieses Verhalten konnte auch auf einem andern Wege nachgeprüft werden und zwar durch die Stempel-druckprobe. Eine Bestimmung der Härte der Kitten mit Hilfe der Brinellschen oder einer andern ähnlichen Prüfmethode war infolge des ungleichmässigen Gefüges unmöglich. In den Abb. 17a bis d sind einige solcher Gefüge in zehnfacher Vergrösserung wiedergegeben. Man ersieht daraus, dass die einzelnen Kitten sehr verschieden aufgebaut sind. Die grössten Unterschiede im Gefüge trifft man beim Kitt aus Oxyd 4 (17b) an. In diesem

Bilde sieht man eine grosse Zahl verschiedenartig scharf umgrenzter Kristallite. In Bezug auf die CO₂-Aufnahme verhält sich dieser Kitt besser als sich aus der Ölzahl vermuten liesse, was wohl mit dem Gefüge in Zusammenhang gebracht werden kann. Das Bild 17b ist die mit Oxyd 4 hergestellte Probe. Das Gefüge ist geschlossen, allerdings durchsetzt von einigen Kristalliten. Das Gefüge 17a weist auch wieder verschiedene Bestandteile auf, die aber kleiner sind als diejenigen von 17b. Im Gegensatz zu diesem hat der mit Oxyd 6 hergestellte Kitt ein eigenartig verschwommenes Gefüge mit nur wenigen angedeuteten Kristalliten. Gerade dieser Kitt ist aber sehr aufnahmefähig für CO₂.

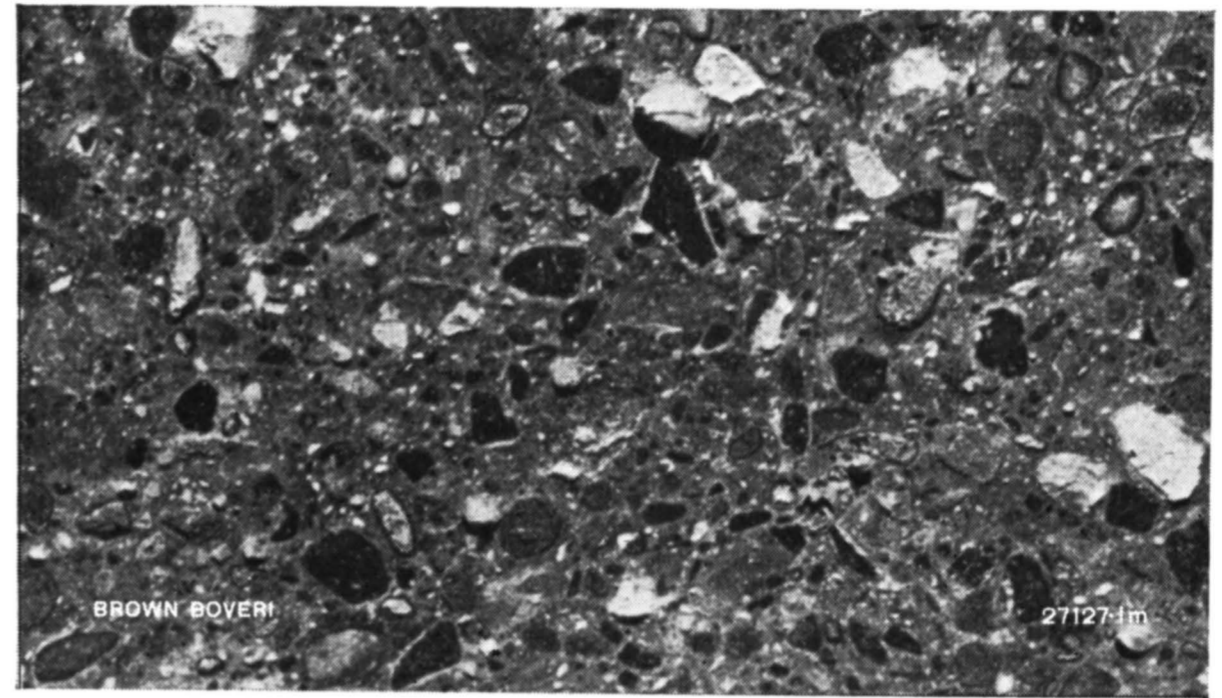
Schon früher hat Meyer¹⁾ Untersuchungen veröffentlicht über die Härteprüfung von Isoliermaterialien. Er hat festgestellt, dass es unmöglich ist, irgend eine der üblichen Härteprüfmethode für diesen Zweck zu verwenden und hat daher vorgeschlagen, an Stelle von Kugeln oder Spitzen einen Druckstempel von 9,5 mm Durchmesser aus gehärtetem Stahl zu verwenden. Diese Methode hat sich für

die vorliegenden Untersuchungen sehr gut bewährt. Im Martensapparat wurde die Kugel durch einen Stempel mit den angegebenen Abmessungen ersetzt und bei einem Druck von 400 kg die Eindringtiefe in den einzelnen Kittproben bestimmt. Abb. 18 veranschaulicht das Verhalten der untersuchten Kitten bei dieser Probe. Die Prüfungen wurden über 20 Tage ausgedehnt. Die Proben wurden in möglichst kohlenstofffreier Atmosphäre gelagert. Bei dieser Untersuchung lassen sich wiederum die Kitten in zwei voneinander im Verhalten stark abweichende Gruppen unterscheiden. Die Mischungen aus den Oxyden 1 bis 5 sind wesentlich härter und steigern im Verlaufe der Zeit ihre Werte eher noch etwas. Auffallend ist die bei fast allen zu beobachtende Erweichung zur Zeit des vierten Prüftages. Es muss angenommen werden, dass sich beim Abbinden irgendwelche Vorgänge abspielen, die diese Erscheinung ver-

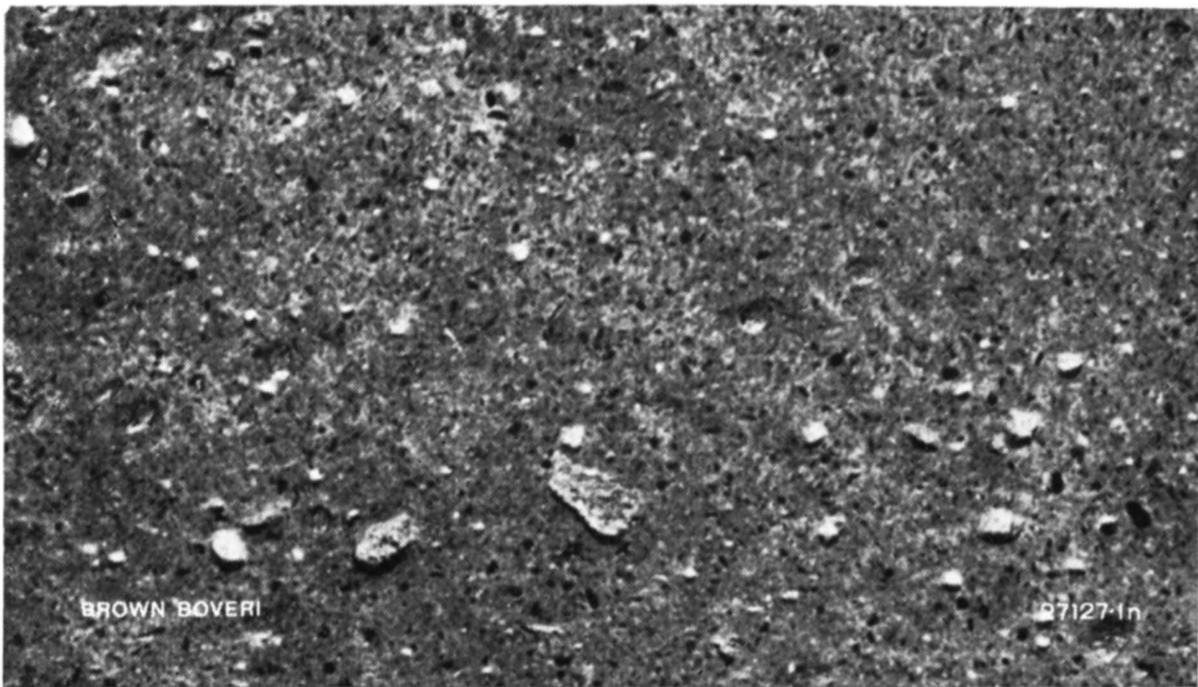
¹⁾ Elektrotechnische Zeitschrift, Band 42, Jahrgang 1922, Seite 1285.



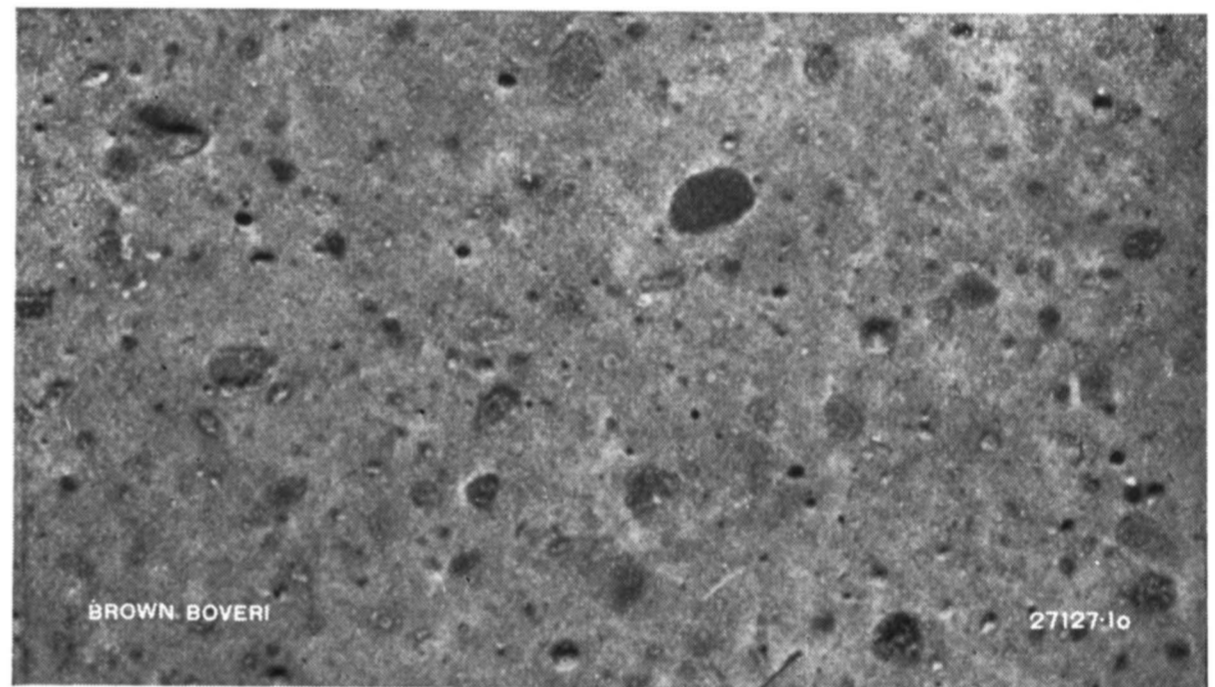
Oxyd 3. × 10.



Oxyd 4. × 10.



Oxyd 5. × 10.



Oxyd 6. × 10.

Abb. 17a-17d. — Gefügaufnahmen verschiedener Kitten.

ursachen, aber für das Verhalten des Kittes im Betriebe keine Bedeutung haben. Grundsätzlich verschieden verhalten sich die Kitten aus den Oxyden 6 und 7. Oxyd 7 war bei einer Belastung von 400 kg überhaupt nicht mehr zu prüfen, die Eindrücke waren schon bei einer Belastung von 290 kg grösser als 0,6 mm. Die schon ausgesprochene Vermutung, dass diese Kitten poröser seien, scheint auch hier wieder ihre Bestätigung zu finden. Sie sind schon im Anfange viel weicher als alle übrigen und werden im Laufe der Zeit immer noch weicher. Aus diesen Ergebnissen und den entsprechenden Festigkeiten muss geschlossen werden, dass es sich bei der Bildung von Kitten aus Bleioxyden und Glycerin nicht um eine reine Glyceridbildung und damit Kristallisation der Masse handelt, sondern dass noch andere Vorgänge die Abbindung begleiten. In diesem Zusammenhange ist auch wieder auf die früher schon erwähnte Hydratbildung der Bleioxyde hinzuweisen. Erst nach diesem Vorgang ist mit einer Glyceridbildung zu rechnen. Dabei bilden sich aber nicht etwa einfache Verbindungen wie im Falle der Magnesia und Zinkoxydzemente, sondern es bilden sich wahrscheinlich

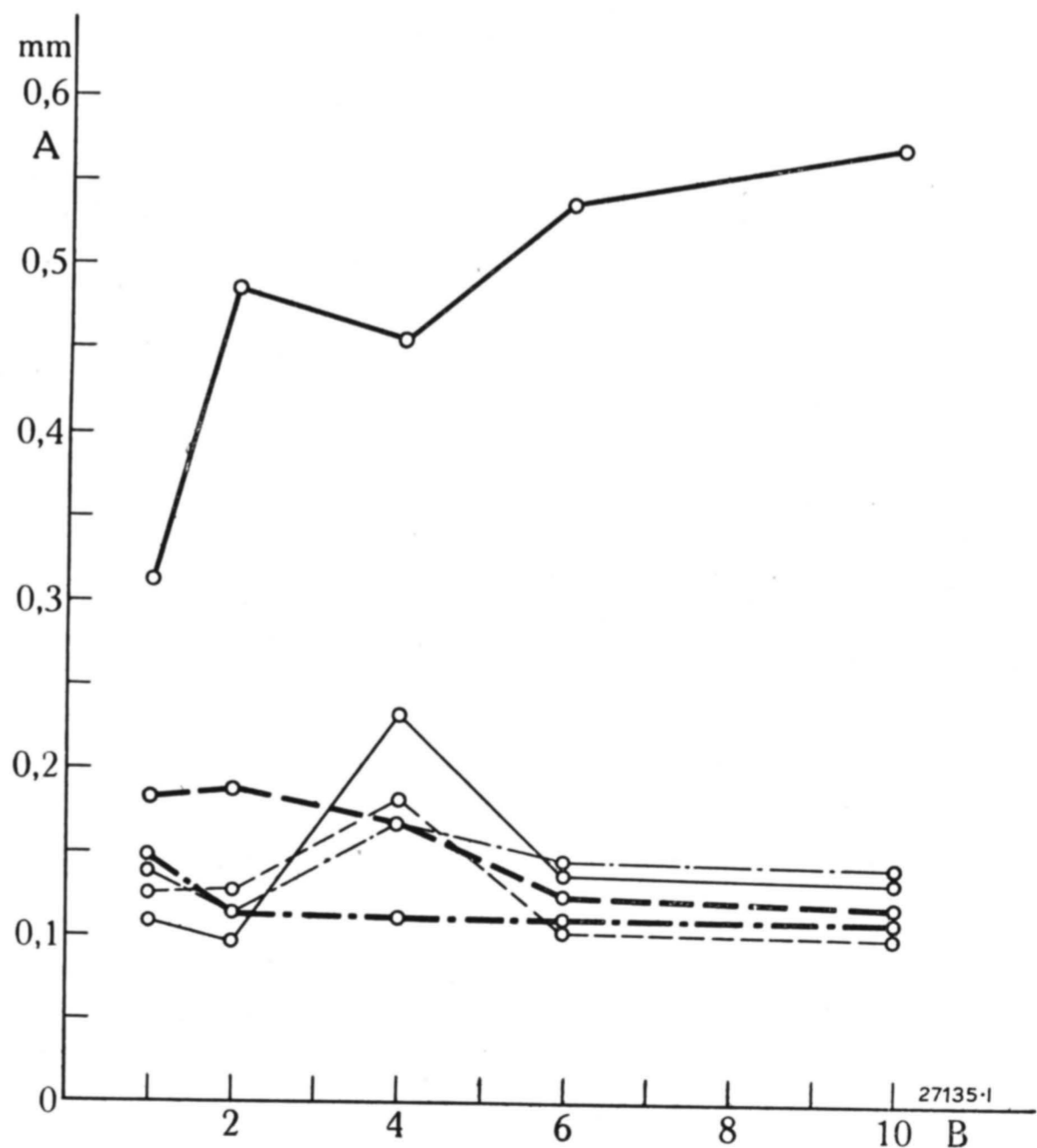


Abb. 18. — Druckstempelprobe in Abhängigkeit der Zeit.
 A = Eindrücktiefen in Millimetern.
 B = Tage.

komplizierte Aggregate, auch Aggregationen genannt, bei denen nicht nur die reinen Valenzkräfte, sondern auch Mizzellarkräfte eine ausschlaggebende Rolle spielen. Auf diesem Wege liessen sich dann auch die Erscheinungen der hohen Plastizität bei der Druckprobe erklären. Da diese Aggregationen noch von Wasserhüllen (Solvatbildung) umgeben sein können, so ist wohl auch das Verhalten in der Kohlensäureatmosphäre erklärlich.

Für die Praxis ist es von Bedeutung, zu wissen, wie rasch ein gegebener Kitt abbindet, d. h. seine höchste Festigkeit aufweist. In diesem Zusammenhange

Tabelle 3.

Oxyd Nr.	Abbindezeit in Stunden	Verhältnis PbO : Glycerin		
		3 : 1	2 : 1	1 : 1
1	2	—	173	24
	5	—	193	50
	10	—	204	86
	20	—	204	86
2	2	—	88	22
	5	—	103	25
	10	—	116	25
	20	—	120	31
3	2	—	97	3
	5	—	115	11
	10	—	196	25
	20	—	196	33
4	2	—	203	37
	5	—	225	64
	10	—	225	69
	20	—	240	128
5	2	206	54	7
	5	220	142	34
	10	225	142	34
	20	271	175	60
6	2	—	—	129
	5	—	—	147
	10	—	—	192
	20	—	—	192
7	2	—	—	128
	5	—	—	144
	10	—	—	168
	20	—	—	215

wurden daher einige Versuchsreihen durchgeführt mit Kittmischungen, wie sie hier beschrieben wurden. Die Ausreissfestigkeiten werden nach 2, 5, 10 und 20 Stunden bestimmt. Die schon mitgeteilten Werte für 40 Stunden sind früher angegeben worden und die Tabelle 3 enthält dementsprechend nur diejenigen bis 20 Stunden. Die Kitten wurden entsprechend früheren Erfahrungen mit 85%igem Glycerin hergestellt.

Die Erhärtung erfolgt bei den günstigsten Mischungsverhältnissen sehr rasch. Nach 20 Stunden ist in allen untersuchten Fällen die höchste Festigkeit erreicht. Für weitere Untersuchungen auf dem Gebiete der Kittfestigkeiten empfiehlt es sich, nur Abbindezeiten von dieser Grössenordnung zu wählen. Es sei denn, dass die Einzelvorgänge am Anfange der Reaktion genauer untersucht werden sollen.

Als Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen kann folgendes festgehalten werden:

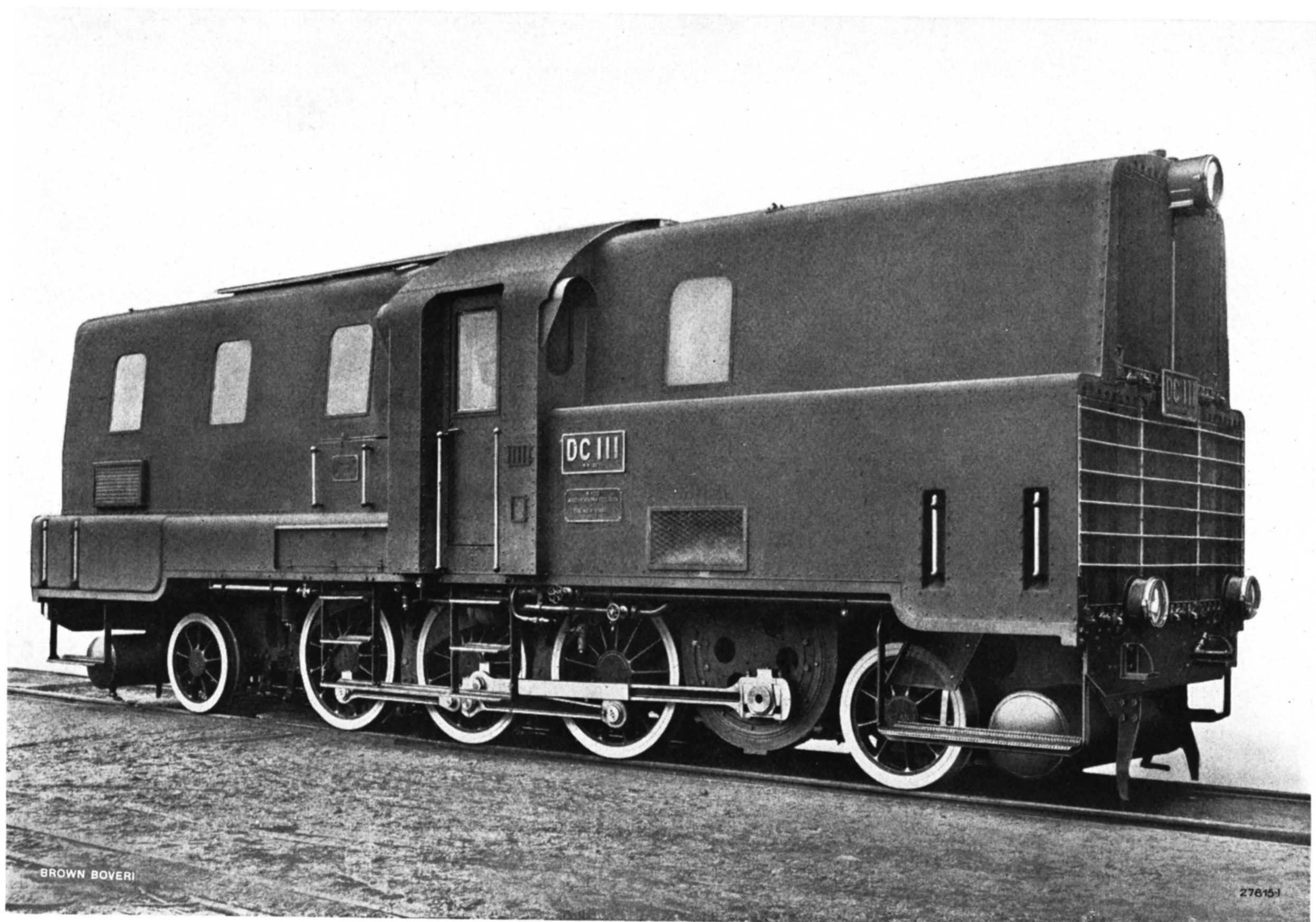
Die Bildung eines einwandfreien Bleiglätteglycerinkittes ist in hohem Masse abhängig von den Ausgangsmaterialien Bleioxyd und Glycerin. Zur Beurteilung eines Bleioxydes auf seine Eignung oder Reaktionsfähigkeit ist die Sedimentationsanalyse, die die Teilchengrösse angeben soll, nicht brauchbar. Es kommt für die Aktivität nicht so sehr auf die Teilchengrösse, als vielmehr auf die reaktionsfähige Oberfläche der Oxyde an. Einen bessern Anhaltspunkt gibt der Quotient Gewicht/Sedimentationsvolumen. Zur Ermittlung der Oberfläche der Gesamtheit der Teilchen ist die Ölzahl verhältnismässig gut geeignet. So lassen sich Beziehungen feststellen zwischen diesem Wert und der Ausreissfestigkeit. Die Bildung der Kitten ist aber auch abhängig vom Wassergehalt des verwendeten Glycerins. Zur Erzeugung guter Kitten soll dieses ungefähr 15% Wasser enthalten. Im Gegensatz zu den Zinkoxyd- und Magnesiumoxydkitten, die ein ausgesprochenes Festigkeitsmaximum bei einem bestimmten Mischungsverhältnis des festen Oxydes und der flüssigen Salzlösung haben, ist die Erhärtung der Bleiglättekitten von anderen Faktoren als der Bildung chemischer Verbindungen in stärkerem Masse abhängig. Es ist festgestellt worden, dass je nach der aktiven Oberfläche des Bleioxydes bei verschiedenen Mischungsverhältnissen die besten Festigkeitswerte auftreten. So ergibt z. B. das Oxyd mit der geringsten Ölzahl, vermutlich der geringsten reaktionsfähigen Oberfläche, die besten Festigkeitswerte bei der Mischung 3PbO : 1 Glycerin, während

das Oxyd mit der höchsten Ölzahl praktisch ebenso gute Werte bei der Mischung 1PbO : 1 Glycerin ergibt. Es kann daher gesagt werden, dass die sich bei der Erhärtung abspielenden Vorgänge nicht wie bei Zinkoxyd- und Magnesiumoxydkitten in erster Linie auf die Bildung von chemischen Verbindungen zurückführen lassen. Der Vorgang lässt sich, wie bereits erwähnt, so auffassen, dass sich zuerst Bleioxyd hydriert, je grösser die Oberfläche, um so besser (siehe Oxyd 6 und 7 bei 3% Wassergehalt). Nachher bilden sich die optisch aktiven Glyceride, die aber stark zur Bildung von Aggregaten neigen und dadurch das Gefüge des fertigen Kittes bedingen. Wenn die Kristallisationsgeschwindigkeit der entstehenden Glyceride sehr gross ist, was unter bestimmten Bedingungen der Fall sein kann, dann können auch ausgesprochen kristalline Kitten entstehen. Die besonderen Verhältnisse müssen

noch genauer untersucht werden. Ein Kitt mit stark kristallinem Gefüge wird sich dementsprechend anders verhalten, als ein solcher mit einem dispersen, wenig kristallinen. So hat sich gezeigt, dass die Festigkeitswerte der zweiten Art von Gefügen (Kitten aus Oxyd 6 und 7) bei andern Mischungsverhältnissen ebenso hoch sind wie diejenigen der ersten Art. Die Druckfestigkeit ist jedoch infolge der plastisch deformierbaren aggregierten Bestandteile bedeutend geringer, als diejenige der härteren Kristallite. Mit diesen Eigenschaften zusammen hängt auch das Verhalten in Kohlensäureatmosphäre. Die Abbindegeschwindigkeit ist bei allen günstigen Mischungsverhältnissen gross. Praktisch kann wohl gesagt werden, dass ein guter Kitt in längstens 20 Stunden seine höchste Festigkeit erreicht hat.

(MS 544)

Dr. H. Stäger.



Dieselelektrische Lokomotive von 600 PS für die Japanischen Staatsbahnen.

Elektrischer Teil geliefert von der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden, mechanischer Teil von der Maschinenfabrik Esslingen, Dieselmotor von der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg.

KLEINE MITTEILUNGEN.

Sicherheitseinrichtung für elektrische Fahrzeuge.

Dezimalindex 621.334.4.

Seit der letzten Veröffentlichung in dieser Zeitschrift¹⁾ hat der Sicherheitsapparat Bauart Brown Boveri bei zahlreichen Bahngesellschaften, die sich zur Einführung des Einmannsystems entschlossen haben, Eingang gefunden. Unter anderem haben die Deutsche Reichsbahn und die Österreichischen Bundesbahnen Versuche in grösserem Umfange mit diesem Sicherheitsapparat vorgenommen. Bei den Schweizerischen Bundesbahnen sind bereits 90 Stück davon in Betrieb, die zum Teil seit dem Jahre 1926 einwandfrei arbeiten. Dieses Jahr sind bis jetzt von der Deutschen Reichsbahn 182 Stück und von den Schweizerischen Bundesbahnen weitere 48 Stück Brown Boveri-Sicherheitsapparate bestellt worden.

Der Apparat hat sich als sehr anpassungsfähig erwiesen und konnte in einfacher Weise auf bestehenden Lokomotiven und Motorwagen untergebracht werden, wobei der geringe Kraftbedarf (das Drehmoment der Antriebswelle beträgt zwei Zentimeterkilogramm, die Aufnahme der Magnetspule 25 Watt bei Normalspannung) sehr zu statten kam. Wesentliche Änderungen an der seinerzeit beschriebenen Konstruktion wurden nicht mehr vorgenommen und auch die indirekte Betätigung der Bremsauslöseventile wurde beibehalten. Befürchtungen wegen des Einfrierens der kleinen Vorsteuerventile haben sich auch

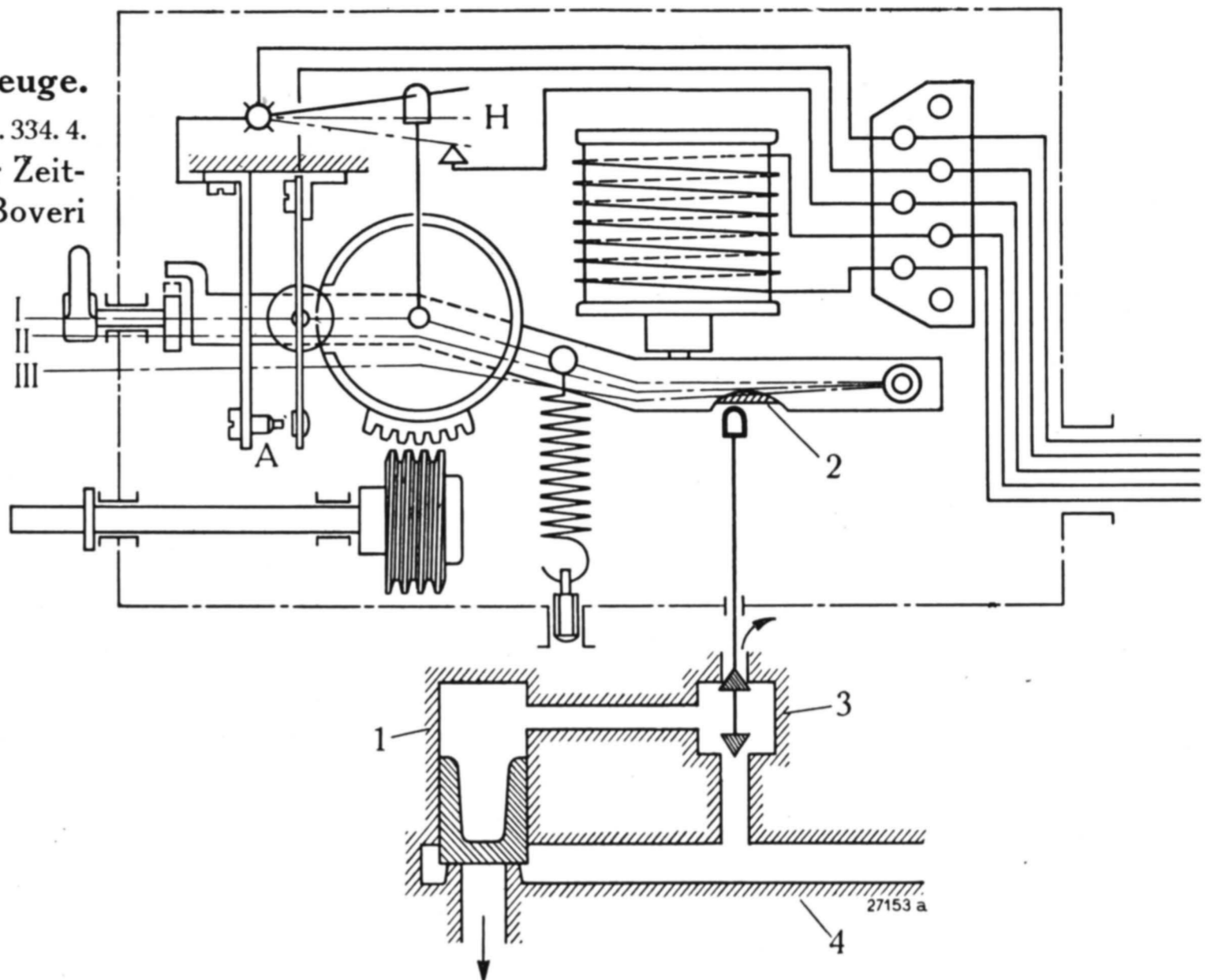


Abb. 1. — Sicherheitsapparat mit Schnellbrems-Auslöseventil für automatische Druckluftbremse (in Fahrstellung).

- | | |
|-----------------------------------|--|
| I = Fahrstellung. | 1 = Schnellbrems-Auslöseventil für automatische Druckluftbremse (in Fahrstellung). |
| II = Eingriffstellung. | 2 = Magnethebel. |
| III = Auslösestellung. | 3 = Vorsteuerventil (in Fahrstellung). |
| A = Alarmkontakt. | 4 = Brems-Hauptleitung. |
| H = Hauptschalter-Auslösekontakt. | |

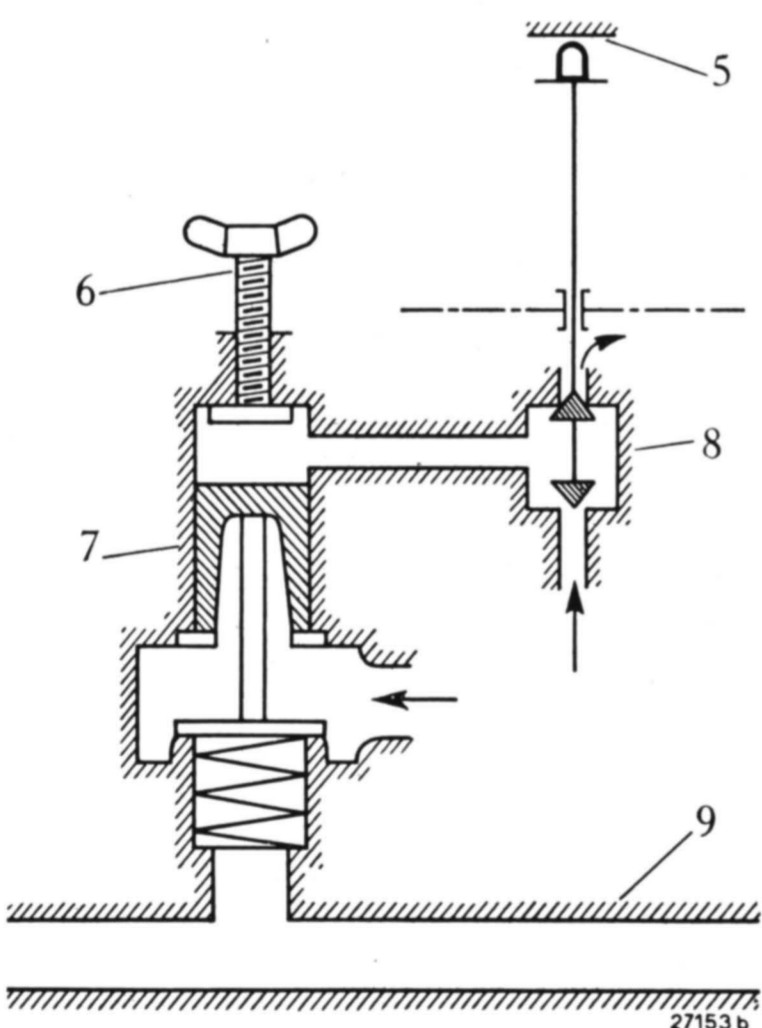


Abb. 2. — Schnellbrems-Auslöseventil mit Druckluftbetätigung für Vakuumbremse (in Fahrstellung).

- | |
|---|
| 5 = Magnethebel. |
| 6 = Arretierschraube. |
| 7 = Schnellbrems-Auslöseventil (in Fahrstellung). |
| 8 = Vorsteuerventil (in Fahrstellung). |
| 9 = Vakuum-Bremsleitung. |

im Laufe des verfloßenen strengen Winters als unbegründet erwiesen.

Ausser Sicherheitsapparaten in Verbindung mit der Druckluftbremse wurden auch solche zur Betätigung der Vakuumbremse an mehrere Bahngesellschaften geliefert. Auf den beigegebenen drei Abbildungen sind die von Brown Boveri entwickelten Systeme schematisch dargestellt, wobei das Schema des Sicherheitsapparates von Abb. 1 auch bei Abb. 2 und Abb. 3 Anwendung findet.

Abb. 1 gilt für die Auslösung einer automatischen Druckluftbremse. In der

Auslösestellung, in welcher die Ventilschindel des Vorsteuerventils durch den Magnethebel nach unten gedrückt wird, kommt die obere Kammer des Schnellbrems-Auslöseventils mit dem Freien in Verbindung, sodass der Überdruck der Bremsleitung den Kolben hochhebt und die Luft aus der Bremsleitung ins Freie ausströmen lässt.

Abb. 2 gilt für die Auslösung einer Vakuumbremse unter Zuhilfenahme von Druckluft, die auf vielen mit Vakuumbremsen ausgerüsteten Fahrzeugen schon vorhanden ist, für Betätigung von Stromabnehmer, Hauptschalter usw. In der Fahrstellung wird der Ventilteller des Schnellbrems-Auslöseventils durch die Druckluft über dem Kolben geschlossen.

In der Auslösestellung wird die Kammer über dem Kolben durch das Vorsteuerventil mit dem Freien verbunden, sodass die Feder unterhalb des Ventiltellers zur Wirkung kommt und durch

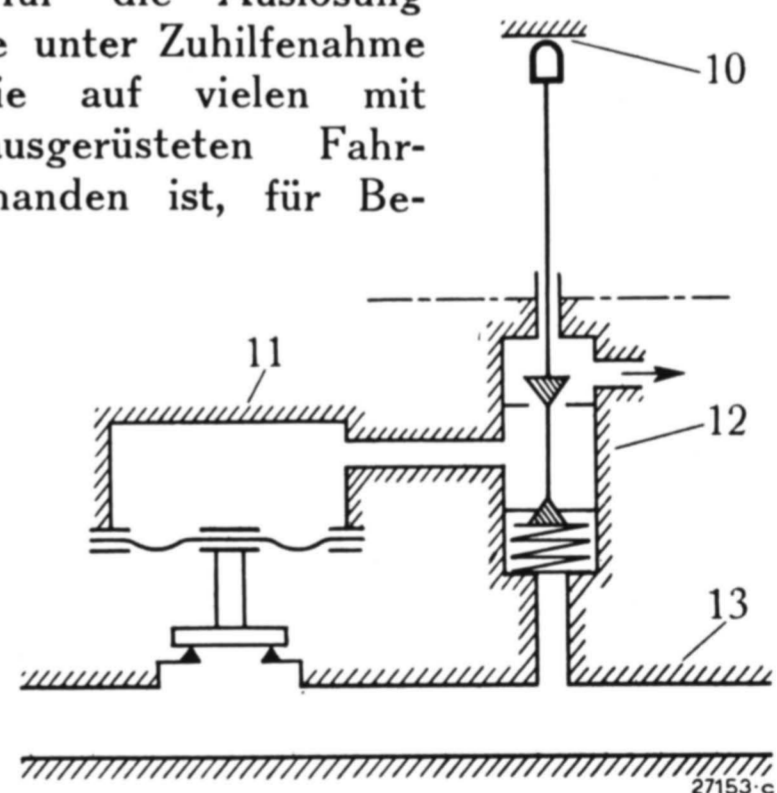


Abb. 3. — Schnellbrems-Auslöseventil mit Betätigung durch Vakuum für Vakuumbremse (in Fahrstellung).

- | |
|---|
| 10 = Magnethebel. |
| 11 = Schnellbrems-Auslöseventil mit Betätigung durch Vakuum für Vakuumbremse (in Fahrstellung). |
| 12 = Vorsteuerventil (in Fahrstellung). |
| 13 = Vakuumbremsleitung. |

¹⁾ BBC Mitteilungen, Jahrgang 1927, Heft 5, Seite 137.

Öffnen des Ventils die Aussenluft in die Vakuumleitung einströmen lässt.

Wie ersichtlich, weist dieses Auslöseventil eine Arretierschraube auf, mit welcher im Bedarfsfalle der Ventilteller auf den Ventilsitz gedrückt wird, damit z. B. ein ausser Betrieb gesetztes Fahrzeug, auf welchem keine Druckluft mehr vorhanden ist, an die Vakuumbremsleitung angeschlossen und abgeschleppt werden kann.

Natürlich können mit einem einzigen Vorsteuerventil nach Abb. 1 oder 2 auch mehrere Auslöseventile und zwar gegebenenfalls gleichzeitig solche für Druckluftbremse und solche für Vakuumbremse betätigt werden, sodass sich dieses System auch für Züge mit kombinierter Druckluft- und Vakuumbremse eignet.

Abb. 3 gilt ebenfalls für die Auslösung einer Vakuumbremse und zwar ohne Zuhilfenahme von Druckluft. Wird die Kammer über der Membrane des Schnellbrems-Auslöseventils mit der Aussenluft verbunden, so bleibt das Ventil geschlossen. Wird die Kammer mit der Vakuumleitung in Verbindung gesetzt, so öffnet der Druck der Atmosphäre auf die Membrane das Ventil und leitet die Bremsung ein.

Als Neuerung ist noch der im Schema mit A bezeichnete Alarmkontakt zu erwähnen, welcher im Führerstand eine Klingel oder eine elektrische Hupe in Tätigkeit setzt, sobald das Zahnsegment abzulaufen beginnt. Es dient dies zur Erleichterung des Führerdienstes, da es besonders bei ungeschulter Bedienung vorkommen kann, dass das Betätigungsorgan der Sicherheitseinrichtung aus Unachtsamkeit frei gelassen wird.

(MS 556)

H. Ruegg.

B + B-Schmalspur-Lokomotiven für die Bahn La Guaira-Caracas in Venezuela.

Dezimalindex 621. 334. 2 (87).

Im Laufe des Jahres 1927 wurden von der A.-G. Brown, Boveri & Cie., in Zusammenarbeit mit den Consulting-Engineers Heap & Digby, jetzt Heap & Ryley, in London, fünf B + B-Lokomotiven für die elektrische Schmalspurbahn, die den venezuelischen Hafen La Guaira mit der Hauptstadt Caracas verbindet, geliefert. Die seit der Inbetriebsetzung, anfangs des Jahres 1928, damit gemachten Erfahrungen waren so günstig, dass sich die La Guaira & Caracas Railway Co. London entschlossen hat, bei der A.-G. Brown, Boveri & Cie. eine sechste, genau gleiche Lokomotive zu bestellen. Dieser Anlass soll benützt werden, um hier eine kurze Charakteristik der Fahrzeuge zu geben.

Die Bahn ist eine Adhäsionsbahn von ungefähr 37 km Länge, einer Spurweite von 914 mm, einer grössten Steigung von 40 ‰ und einem kleinsten Kurvenradius von 35 m. Sie ist ausgerüstet mit Schienen von 32,2 kg pro Meter, der Achsdruck ist auf zehn Tonnen beschränkt. Die Fahrleitung mit Einfachaufhängung steht in der Nähe der Unterstation

unter einer Gleichstromspannung von 1500 V, im Mittel beträgt die Spannung ungefähr 1275 V.

Die Lokomotiven von der Achsanordnung B + B wiegen insgesamt rund 32,2 Tonnen, wovon 10,5 Tonnen auf den elektrischen und 21,7 Tonnen auf den mechanischen Teil entfallen. Ihre Höchstgeschwindigkeit beträgt 27 km/h, diejenige bei Stundenleistung der Motoren 18 km/h. Jedes der beiden Drehgestelle ist ausgerüstet mit einer achtklötzigen Bremsvorrichtung (Handspindel und Westinghouse) und angetrieben durch je zwei dauernd in Serie geschaltete Motoren mit Tramaufhängung, Type GDTM 451a6 von 84 kW Stundenleistung bei einer Drehzahl von 560 und 67 kW Dauerleistung bei 600 Umdrehungen in der Minute, beides unter Voraussetzung einer Klemmenspannung von $\frac{1275}{2}$ V. Die Motoren werden mit je 30 m³/min Luft fremdventiliert; das Übersetzungsverhältnis beträgt 14:76 Zähne und der Triebraddurchmesser 914 mm.

Der Lokomotivkasten, der sich über die ganze Länge des Fahrzeuges erstreckt, enthält an den beiden Enden je einen Führerstand, daran anschliessend je einen Raum für Apparate und Hilfsmaschinen, und zwischen diesen einen Gepäckraum,

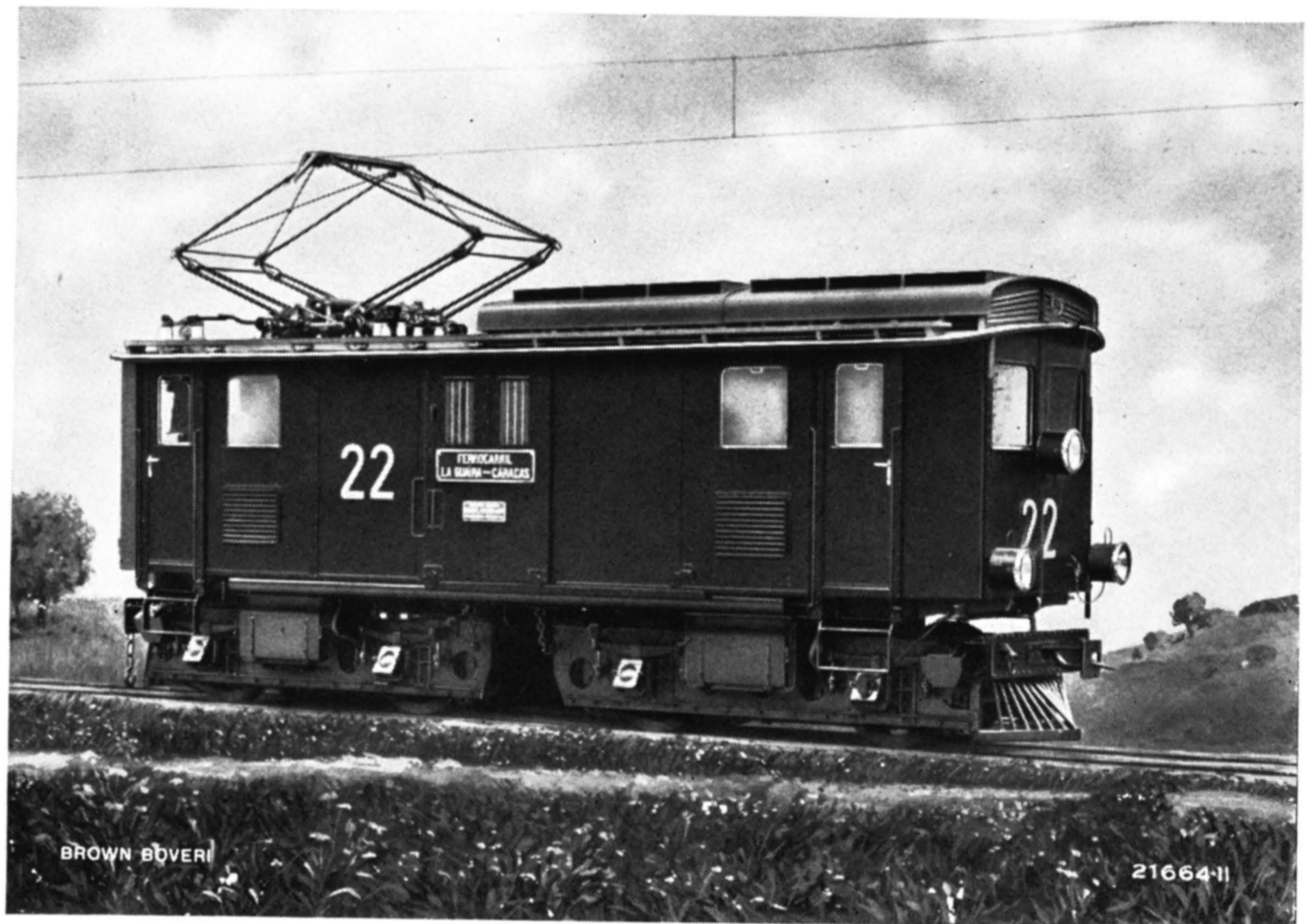


Abb. 1. — Ansicht der Lokomotive für die Bahn La Guaira-Caracas.

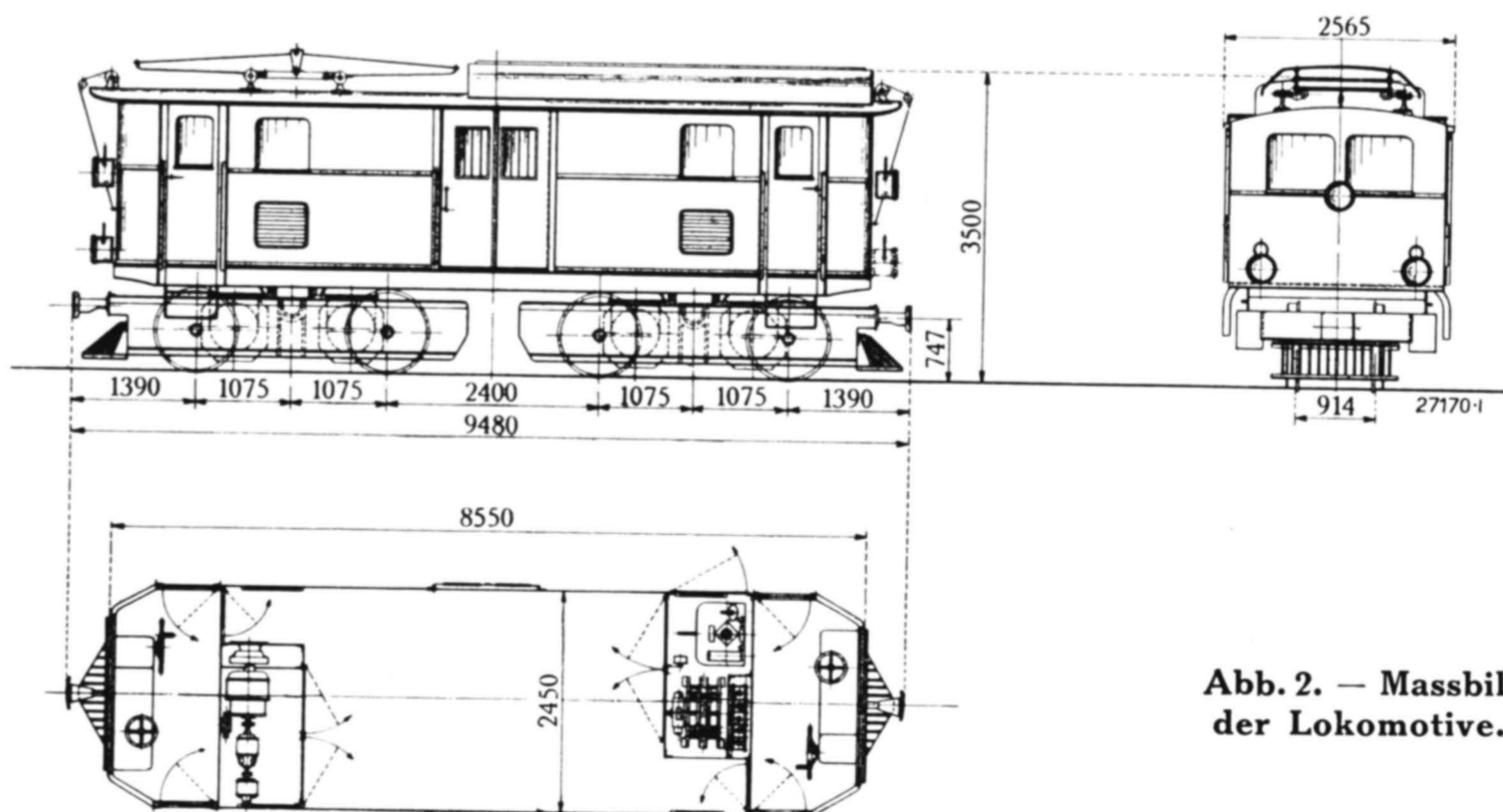


Abb. 2. — Massbild der Lokomotive.

aus welchem die Kühlluft für die Triebmotoren angesogen wird. Zur Steuerung der Motoren dient ein zentraler Nockenkontroller, der von den beiden Blindkontrollern in den Führerständen mechanisch angetrieben wird. Es sind neun Serie-, sechs Parallel- und eine Stellung mit geschwächtem Feld vorhanden. Ferner kann unter Benützung der Seristellungen und mit Hilfe eines besondern Bremsumschalters auf Widerstände gebremst werden. Den Überstromschutz besorgt ein Selbstausschalter, der auch Kurzschlußströme bis 5000 A bewältigen kann.

(MS 559)

Th. Boveri.

Brown Boveri-Turbinen in Japan.

Dezimalindex 621.165 (49.4 + 52).

Während der letzten Jahrzehnte ist die industrielle Entwicklung in Japan eine ganz ausserordentliche gewesen. Hand in Hand mit dieser äusserst raschen Entfaltung ging auch die Nachfrage nach elektrischem Strom. Dementsprechend wurden zahlreiche grosse Wasserkraftwerke gebaut, die jedoch, in Anbetracht der Wasserstandsverhältnisse der japanischen Flüsse, durch viele thermische Zentralen ergänzt werden mussten. Heutigentags gibt es in Japan wohl kein einziges Dorf, und sei es noch so entlegen, das nicht an ein Verteilungsnetz angeschlossen wäre.

Die Dampfturbine fand auch Verwendung in den hauptsächlichsten Industrien des Landes, so z. B. in Papierfabriken, Spinnereien, Zementfabriken usw. Bisher hat die A.-G. Brown, Boveri & Cie. nach Japan 72 Turbo-

generatoren geliefert, die in 51 Anlagen Aufstellung fanden. Die beigegebene Abbildung 1 zeigt deren Verteilung über das ganze Land.

(MS 567)

Die Heizung elektrisch betriebener Eisenbahnzüge.

Dezimalindex 621.39 : 536.83 : 625. 23.

In der M rznummer des Jahrganges 1929 der Brown Boveri Mitteilungen war auf Seite 106 ein Schema über die Anordnung der Verriegelung von Zugheizungskuppungen abgebildet. Der Vollständigkeit halber sei hier nachgetragen, dass eine ähnliche Schaltung von den Herren Charles Dachary und Louis Vigui r im französischen Patent 557095 vorgeschlagen wurde.

(MS 573)

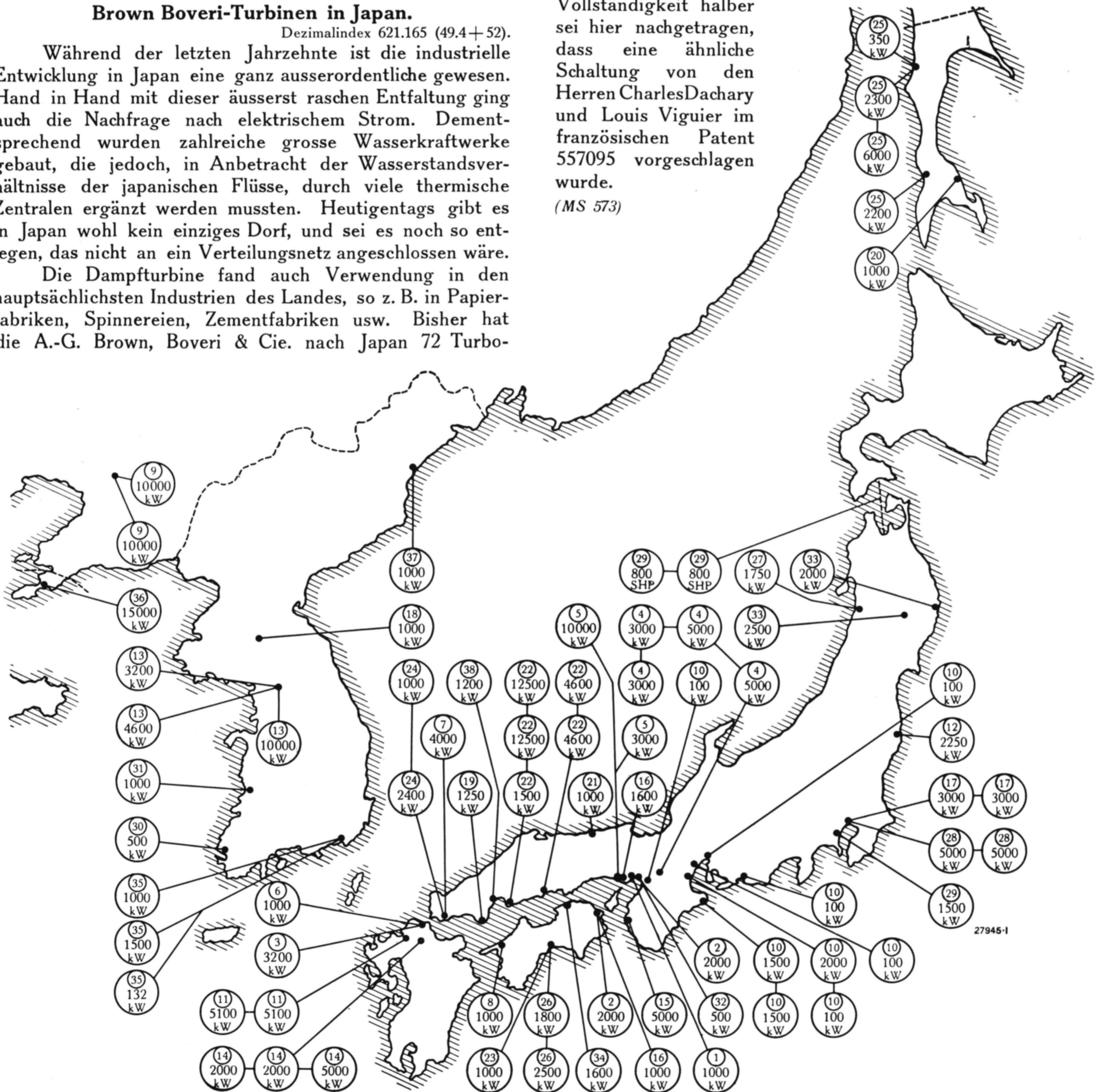
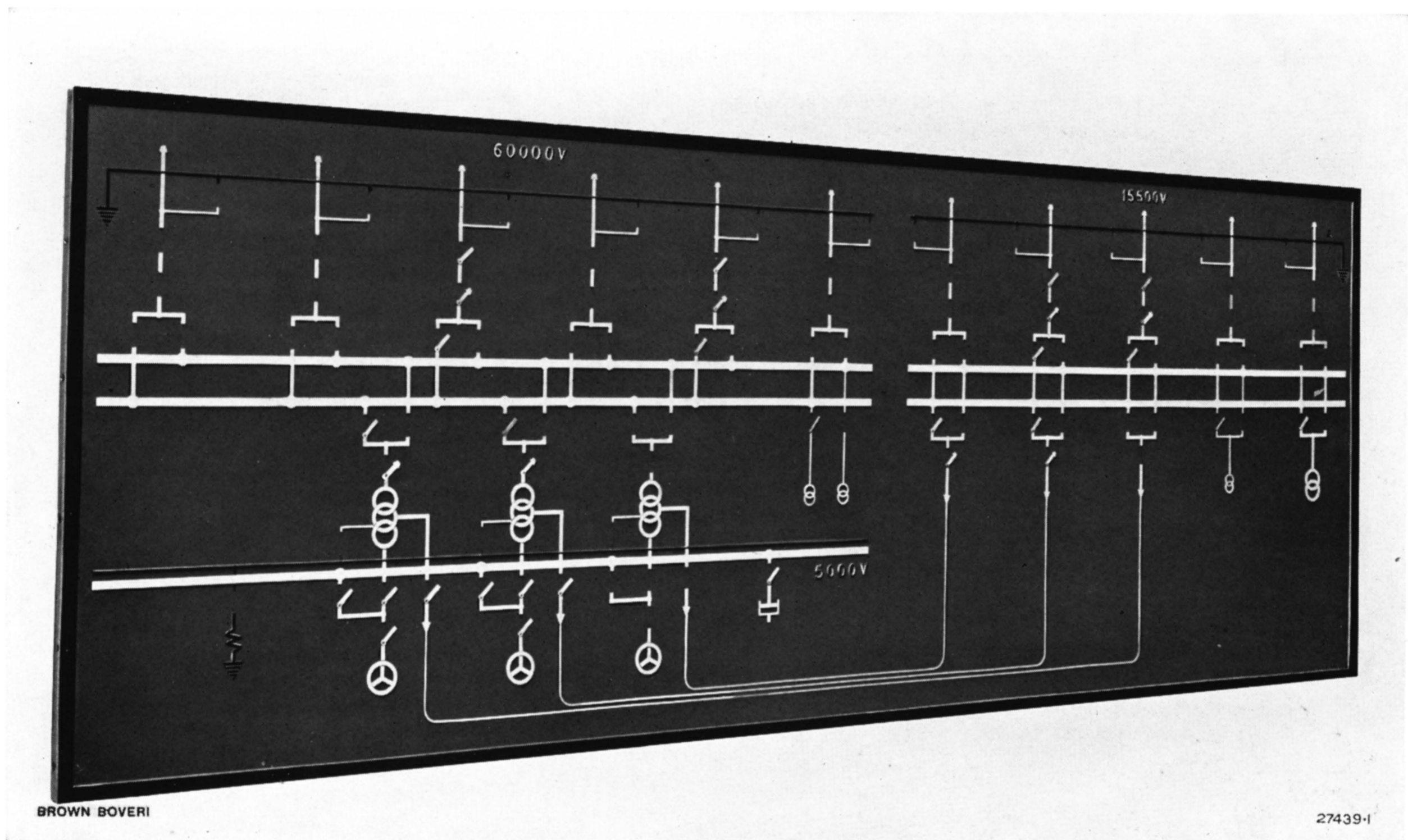


Abb. 1. — Die gegenwärtige Verbreitung der Brown Boveri-Turbinen in Japan.

SCHALTANLAGEN

FÜR JEDE STROMART, SPANNUNG UND STROMSTÄRKE



ZENTRALE „RILA“ DER BULGARISCHEN AKTIENGESELLSCHAFT „GRANITOID“ FÜR ELEKTRISCHE UND INDUSTRIELLE UNTERNEHMUNGEN, SOFIA,
ausgerüstet mit zwei Generatoren von je 4000 kVA, 5000 V, 50 Perioden. Rückmeldetafel mit Stellungsanzeiger.

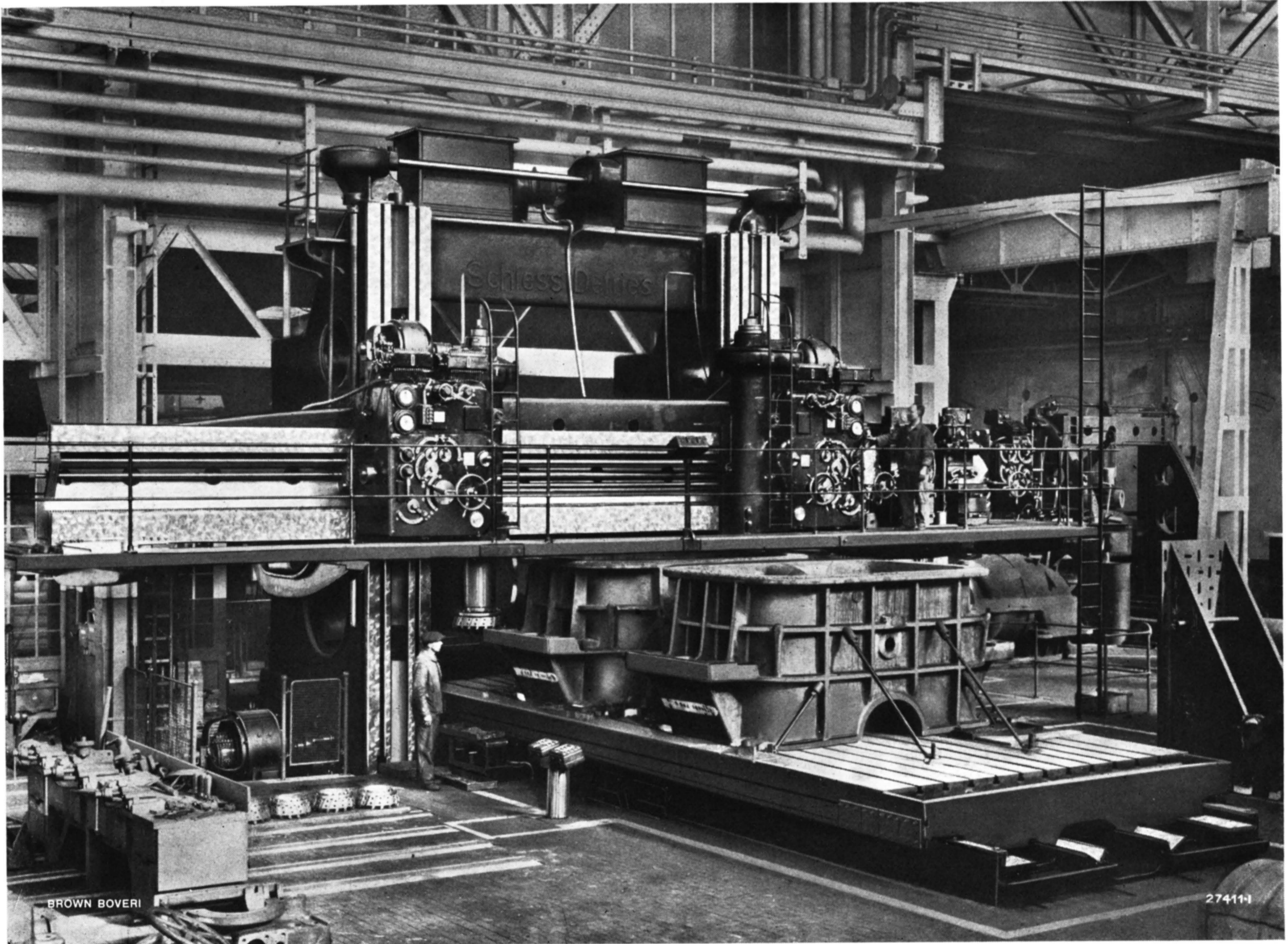
SCHALTANLAGEN

SCHALTTAFELN - SCHALTPULTE

SCHALTKASTEN - SCHALTSÄULEN

AKTIENGESELLSCHAFT
BROWN, BOVERI & C^{IE}
BADEN (SCHWEIZ)

WERKSTÄTTEN IN BADEN (AARGAU) UND MÜNCHENSTEIN BEI BASEL



KOMBINIERTE HOBEL- UND FRÄSMASCHINE DER SCHIESS-DEFRIES A.-G., DÜSSELDORF, MIT BROWN BOVERI-MEHRMOTORENANTRIEB,
DRUCKKNOPF- UND SELBSTTÄTIGER STEUERUNG
aufgestellt in den Badener Werkstätten der A.-G. Brown, Boveri & Cie.

ANTRIEB VON WERKZEUGMASCHINEN
GLEICH- UND WECHSELSTROM-AUSRÜSTUNGEN
FÜR WERKZEUGMASCHINEN JEDER ART
MIT HAND-, DRUCKKNOPF- UND SELBSTTÄTIGEN STEUERUNGEN