Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 39 (1948)
Heft: 5

Artikel: Elektrische Isolierstoffe : eine Übersicht
Autor: Imhof, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057936

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: 22.08.2025

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

39e année | N° 5 | Samedi, le 6 Mars 1948

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Isolationstagung

Bericht über die Tagung des SEV vom 24. April 1947 im Kongresshaus Zürich

Der Präsident des SEV, Prof. Dr. **P. Joye**, begrüsst die rund 250 Anwesenden und eröffnet die Tagung um 10 Uhr 25. Zweck der Tagung ist, über den Stand der Isolationstechnik zu orientieren.

Folgende Vorträge wurden gehalten:

1. **Elektrische Isolierstoffe. Eine Uebersicht.**
   Referent: Prof. *A. Imhof*, Direktor der Moser-Glaser & Co. A.-G., Muttenz.
2. **Quelques matières plastiques nouvelles utilisées dans les isolants électriques.**
   Referent: Dr. *G. de Senarclens*, Chefchemiker der Schweizerischen Isola-Werke, Breitenbach.
3. **Caractéristiques et fabrication des textiles de verre, spécialement conçus pour leur utilisation comme isolant en électrotechnique.**
   Referent: *J. Gaulis*, administrateur-délégué de la Fibres de verre S. A., Lausanne.
4. **Einige Eindrücke aus Amerika.**
   Referent: *H. Tschudi*, Delegierter des Verwaltungsrates der H. Weidmann A.-G., Rapperswil.
5. **Résultats obtenus en France par l'emploi des textiles de verre dans la construction électrotechnique.**
   Referent: *F. Nouvion*, ingénieur principal de la Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF).
6. **Bedeutung einiger Baustoffe für die Starkstrom- und Hochspannungstechnik.**
   Referent: *Ch. Caflisch*, Physiker der Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich-Oerlikon.
7. **Die Wicklungsisolation im Grossmaschinenbau.**
   Referent: *F. Beldi*, Ingenieur der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden.
8. **Entwicklung der Freileitungsisolatoren.**
   Referent: Dr. *H. Kläy*, Ingenieur der Porzellanfabrik Langenthal A.-G., Langenthal.
9. **Englische Arbeiten auf dem Gebiet der Isoliertechnik unter besonderer Berücksichtigung der Arbeiten der Electrical Research Association (ERA).**
   Referent: *G. A. Meier*, Ingenieur, Zürich.
10. **Prüfung und Bewertung von Isoliermaterialien.**
    Referent: Dr. sc. techn. *M. Zürcher*, Ingenieur-Chemiker der Materialprüfanstalt des SEV, Zürich.

Im Anschluss an die Vorträge dankt der Vorsitzende jeweils den Referenten.

Schluss der Tagung 17 Uhr.

Wir beginnen in dieser Nummer mit der Veröffentlichung der Vorträge.

Elektrische Isolierstoffe

Eine Uebersicht

Vortrag von *A. Imhof*, Zürich-Höngg

621.315.61

Der Referent teilt in seiner betrachtenden Uebersicht die Dielektrika als Träger des elektrischen Feldes in 3 Hauptgruppen ein, die nicht von der Zusammensetzung der Stoffe abhängig sind, sondern sich auf die Art ihrer Verwendung und Formgebung beziehen. Jede dieser Gruppen wird technologisch weiter unterteilt. Es wird gezeigt, was man bis heute auf dem weiten Gebiet der Isolierstoffe erreicht hat, und in welchen Richtungen weitere Fortschritte gesucht werden. Der Referent verweilt dann ausführlich bei den Fortschritten der neuesten Zeit, wobei er auch auf die Silikone und auf die härtbaren Niederdruckharze zu sprechen kommt. Anschliessend nennt er als bedeutsame Aufgabe der Isolationstechnik die Eignungs- und Gestaltungslehre, die eine enge Zusammenarbeit der Elektrotechniker und der Chemiker bedingt.

Dans son exposé, l'auteur classe en 3 groupes principaux les diélectriques sièges du champ électrique, non pas d'après la constitution de leur matière, mais d'après leur emploi et leur forme. Chacun de ces groupes se subdivise à son tour selon les caractères technologiques. L'auteur indique les résultats acquis dans le vaste domaine des matières isolantes et montre dans quelles directions de nouveaux progrès seront possibles. Il s'étend ensuite sur les progrès récents, notamment à propos des silicones et des résines durcissables à faible pression. Il termine en insistant sur l'importance des études relatives au comportement et à la conformation des isolants, qui exigent une étroite collaboration entre électrotechniciens et chimistes.

Gute Stromleiter, ferromagnetische Stoffe und Isolierstoffe sind die wesentlichen Werkstoffgruppen aller elektrischen Maschinen und Apparate – das Eisen als Träger des magnetischen Feldes, das Isoliermaterial als Träger des elektrischen Feldes und das gut leitende Metall als Weg des elektrischen Stromes. Sowohl die Träger des magnetischen, als auch die des elektrischen Feldes haben grosse Fortschritte erfahren und damit die Elektrotechnik intensiv gefördert. Unter den drei Werkstoffgruppen

ist es diejenige der Dielektrika, welche sich durch die grösste Mannigfaltigkeit sowohl der beteiligten Stoffe, als auch der interessierenden Eigenschaften auszeichnet.

Es war einmal nicht so. In diesem Hochspannungslaboratorium (Fig. 1), wie es vor rund 200 Jahren bestand, waren Schwefel, Peche, Seide, Glas und Holz beinahe die einzigen technischen Dielektrika.

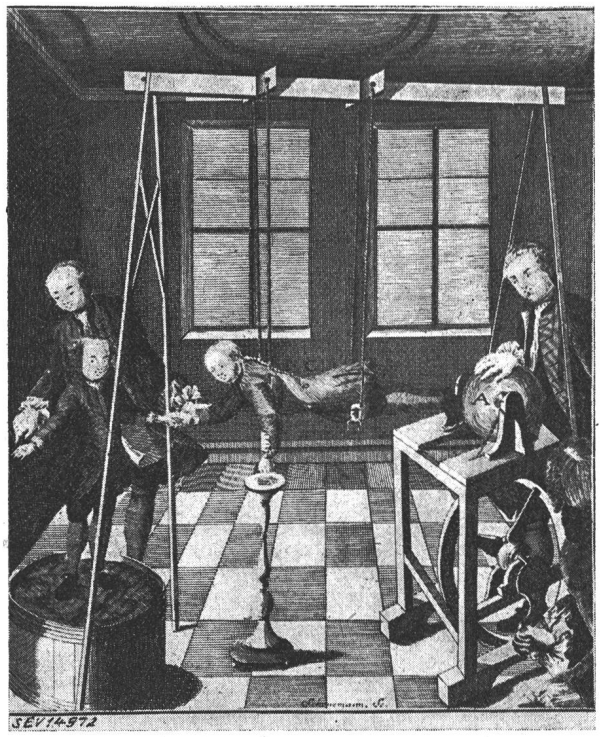


Fig. 1
Versuche mit einer Elektrisiermaschine vor etwa 200 Jahren

Heute verfügen wir über etwa 50 grundsätzlich verschiedene Isolierstoffe, oder, wenn man auch deren Varianten aufzählt, die sich durch Herauszüchtung besonders gewünschter Merkmale noch ergeben, so sind es einige Hundert. Ich möchte nicht mit einer Aufzählung langweilen und auch nicht den allzu üblichen Weg einschlagen, die Herstellungsweise der Isolierstoffe zu zeigen, sondern lieber mit einem ganz kurzen Streifzug die Aufenthaltsorte ihres Wirkens durchwandern. Hiezu mögen Fig. 2 ff. dienen.

Machen wir wieder einmal den Versuch, die elektrischen Isolierstoffe in Gruppen einzuteilen, so gelingt dies ihrer vielfach recht komplexen Zusammensetzung wegen am ehesten, wenn wir die Art ihrer Anwendbarkeit in den Vordergrund rücken. (Alle Versuche, die Chemie der Isolierstoffe hiefür zu verwenden, scheiterten oder ergeben eine dem Elektrotechniker unverständliche Nomenklatur.) Wir können so die zahlreichen, in den Anwendungsbildern gezeigten Stoffe zusammenfassend einteilen in:

A. *Starre, gestaltungsfähige Stoffe*, d. h. Stoffe, die sich konstruktiv zu starren Körpern gestalten lassen.

B. *Hüllstoffe*, die in umhüllender Anordnung als isolierende Ueberzüge wirken.

C. *Ausfüllstoffe*, die Räume zwischen eingetauchten Leitern isolierend ausfüllen.

Zusammengefasst sind es folgende Hauptgruppen technischer Dielektrika:

A. Starre, gestaltungsfähige Stoffe

1. **Keramische Stoffe,** umfassend besonders Porzellane, Steinzeug und Gläser. Hervortretende Eigenschaften sind die Wetterbeständigkeit, gutes dielektrisches Verhalten, z. Teil auch bei Hochfrequenz, statisch gute Festigkeiten, grosse Freiheit in der Gestaltung, grosse Wärmebeständigkeit, chemische und Wasser-Beständigkeit, grosse Härte, Gasdichtigkeit	gebrannte und geschmolzene Mineralien
2. **Geschichtete, gehärtete Kunstharzstoffe.** Diese sind im allgemeinen dielektrisch gut, mechanisch fest, und zwar statisch und dynamisch, für die meisten Verwendungsfälle genügend wärmebeständig, gut bearbeitbar.	Poly-Kondensate
3. **Gehärtete Kunstharz-Formpreßstoffe,** dielektrisch mittelmässig, mechanisch fest, gut gestaltbar für Massenartikel.	
4. **Gegossene, gehärtete Kunstharzstoffe,** dielektrisch mässig, gut bearbeitbar. Neuerdings auch dielektrisch sehr gute Giessharze.	Poly-Kondensate und Polymerisate
5. **Thermoplaste, besonders organische Gläser,** dielektrisch sehr gut, wenig wärmebeständig, widerstehen meist der Feuchtigkeit gut, meist kriechwegfest, z. Teil gute Hochfrequenz-Isolierstoffe.	Polymerisate
6. **Hartgummi,** gut bearbeitbar, wasserfest, dielektrisch ziemlich gut.	Vulkanisierte Stoffe
7. **Holz und Oelholz,** gut bearbeitbar, gutes mechanisches Verhalten, mittlere dielektrische Eigenschaften.	

B. Hüllstoffe

d. h. solche, die in umhüllender Gestaltung als isolierende Ueberzüge von meist hoher Durchschlagfestigkeit wirken.

1. **Papier und Preßspane,** z. Teil auch unter A gehörend.
2. **Papier und Preßspane,** imprägniert mit Oel, leicht schmelzbaren Wachsen, Chlordiphenylen, Preßgas. Hervorragend durchschlagsfest, kleine dielektrische Verluste, in dünnen Schichten verwendbar.
3. **Glimmer und Glimmerstoffe,** wärmebeständig, widerstehen dunkeln Entladungen, formbeständig unter Druck, Reinglimmer dielektrisch hervorragend.
4. **Lacke,** als Imprägnier- und als Ueberzugslacke, Drahtemaillen.
5. **Lacktücher, Lackpapiere,** schmiegsam, wenig hygroskopisch.
6. **Gummi,** feuchtigkeitsundurchlässig.
7. **Polyvinylchloride** (thermoplastische Polymerisate), wasserfest, ozonfest.
8. **Polythen** (thermoplastisches Polymerisat).
9. **Gespinste** aus Seide, Baumwolle, Viscose, Asbest, Glasfasern, Papier, Cotopa. Zur Isolierung von Drähten.

C. Ausfüllstoffe

d. h. solche, die Räume zwischen eingetauchten Leitern isolierend ausfüllen.

1. **Gase, Preßgase:** hohe Durchschlagfestigkeit, porenfüllend.
2. **Oele:** hohe Durchschlagfestigkeit, porenfüllend, kühlend.
3. **Ausgussmassen:** hohe Durchschlagfestigkeit, porenfüllend, unhygroskopisch.

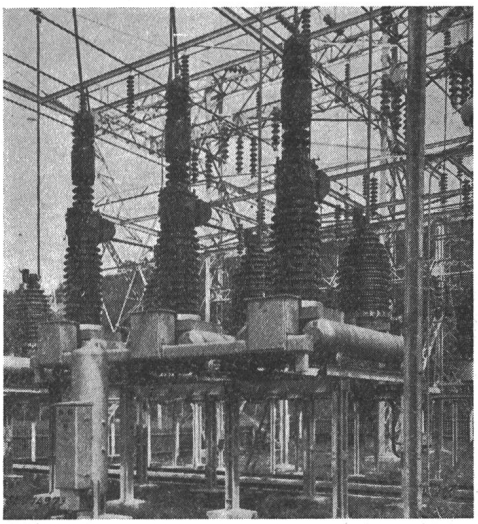


Fig. 2
Die Hauptanwendungsgebiete des *Porzellans* und elektrotechnischen *Steinzeuges:* Freileitungs-Isolatoren und Isoliermäntel an Schaltern und Messtransformatoren im Freien. Charakteristische Merkmale, welche diese Anwendungen bedingen, sind besonders die absolute Wetterbeständigkeit und die fugenlose, mannigfaltige Gestaltbarkeit.

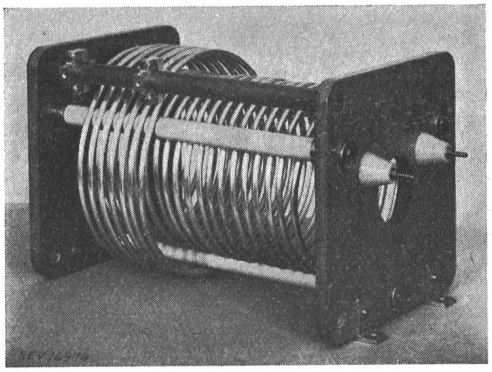


Fig. 3
Hochfrequenz-Keramik. Das Bild zeigt keramische Rundstäbe als Träger einer Hochfrequenz-Induktionsspule. Es gibt Porzellanähnliche Werkstoffe mit tgδ-Werten in der Grössenordnung von 0,03...0,17 %, wie Faradex, Frequentit, Steatit, usw.; sie haben noch die Vorteile guter mechanischer Stabilität, Wärmebeständigkeit, sind unhygroskopisch und mannigfaltig formbar.

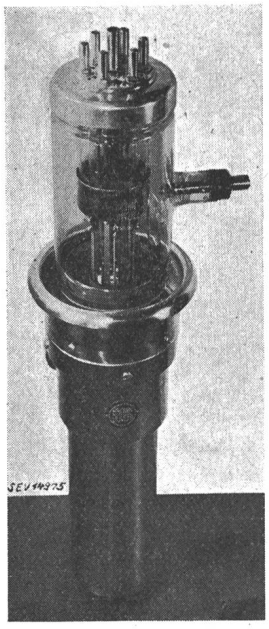


Fig. 4
Glas als gasdichter Behälter und geeignet zu gasdichter Einführung von Elektroden. Wie Porzellan fugenlos und in höchst mannigfaltiger Weise formbar, geeignet aber auch bei kleiner Wandstärke. Ausser der Anwendung für Hochspannungs-Isolatoren finden wir sehr mannigfaltige Anwendungen in der Technik der Ventil- und Röntgen-Röhren, Sende- und Verstärker-Röhren, und in der Beleuchtungstechnik. Im Innern in vielen Fällen der stark *luftverdünnte Raum* als Hochspannungsisolation.

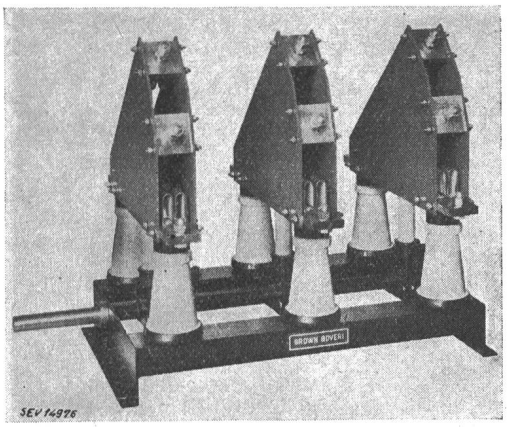


Fig. 5
Grosse Funkenkammern werden im allgemeinen aus *Asbestzementplatten* (z. B. «Eternit») hergestellt. Die Stützisolatoren und Betätigungsstangen bestehen hier aus Porzellan.

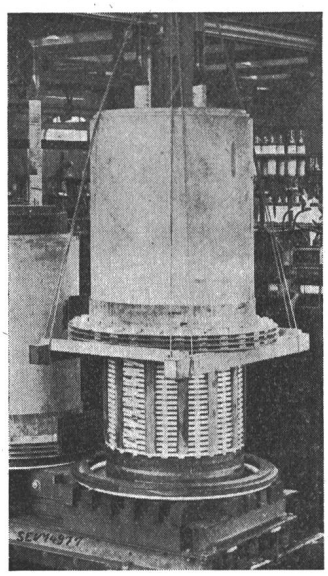


Fig. 6
Hartpapier und Oelholz im Transformatorenbau. Bei der mittleren und der rechten Säule erkennt man 3 grosse koaxiale Hartpapier-Zylinder, welche primäre und sekundäre Wicklung (zusammen mit Oel) gegenseitig isolieren. Bereits sind auch 4 Hartpapier - Winkelringe eingebaut, welche als quer zu den Feldlinien liegende Schirme eine vorzügliche Isolation der Endspulen gegen Nachbarspulen und Joch ergeben. Unten erkennt man ringförmige und balkenförmige Abstützungen aus Oelholz, ferner bei der Säule rechts die streifenförmigen Preßspan-Distanzierungen zwischen der inneren Wicklung und dem nächst folgenden Hartpapier-Zylinder. Die Distanzklötzchen zwischen den Winkelringen bestehen aus Oelholz, diejenigen zwischen den papierisolierten Spulen aus Preßspan oder Oelholz.

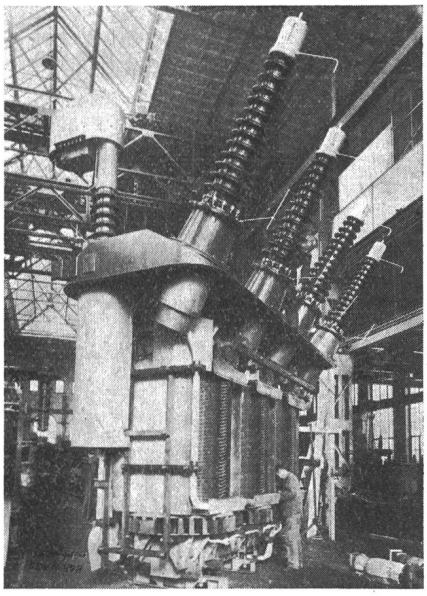


Fig. 7
Hartpapier, Preßspan, ölimprägnierte Papierwickel («Kabelisolation»), *Oelholz* und *Porzellan* im Transformatorenbau. Man erkennt die mit Papierband umwickelte Ableitung zur Nullpunktdurchführung. Die Durchführungsisolatoren (Micafil) für 150 kV Nennspannung besitzen unter den Porzellanüberwürfen ein fein gesteuertes System von Hartpapier-Schirmen und Steuerkörpern, die zusammen mit Transformatorenöl den Bau der schlanken Isolatoren ermöglichen. Unterhalb des Transformatorendeckels sind die Durchführungen mit Hartpapierschirmen umgeben. Oben und unten erkennt man an den durch Oelholz abgestützten Wicklungen winkelförmige Preßspan-Schirme. Hartpapier und Preßspan eignen sich ganz besonders zu Schirmen unter Oel, ölimprägniertes, aufgewickeltes Papier als umhüllende Leiter-Isolation unter Oel.

Fig. 8
Wickelpakete eines Flachwickelkondensators für 500 kV Gleichspannung. Das Dielektrikum ist *ölimprägniertes*, feinstes *Papier*.

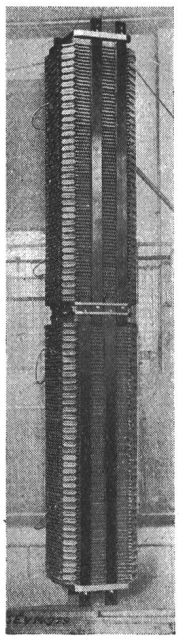


Fig. 9
Anwendung des *Preßspans* zur Nutenisolation. Massgebend sind hier die mechanische Zähigkeit, die einfache Art der Anpassung an die Form der Nuten, die für diesen Zweck günstige Handelsform, der niedrige Preis. Da Preßspan ziemlich hygroskopisch ist, wird er oft in Verbindung mit Oeltuch angewendet. Auch werden die fertigen Anker oft mit Lack imprägniert.

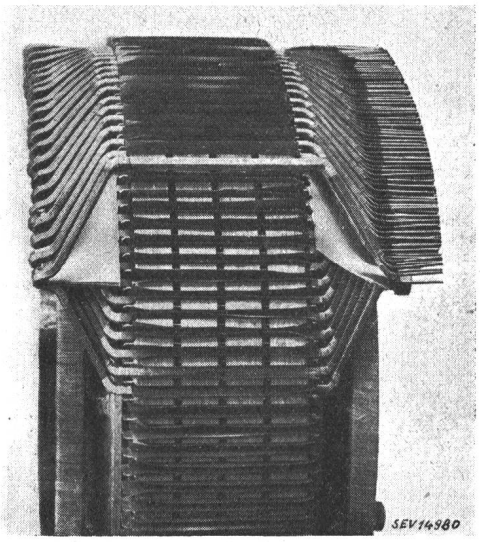


Fig. 9

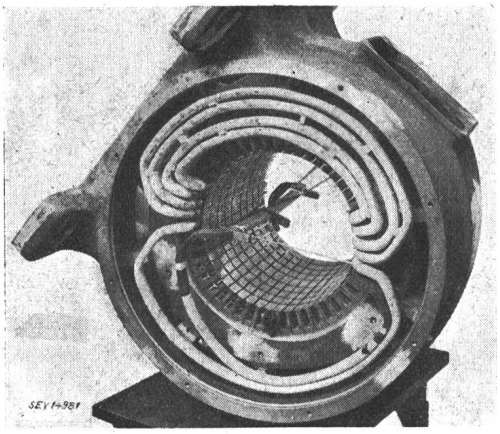


Fig. 10
Einführung der *baumwolle*isolierten Dynamo-Drähte in die weiterhin mit *Preßspan* ausgekleideten Nuten. Man erkennt ferner die isolierende und mechanisch schützende Umbandelung der Spulenköpfe durch bandförmige Isolierstoffe wie *Oeltuch* und *Baumwolle*.

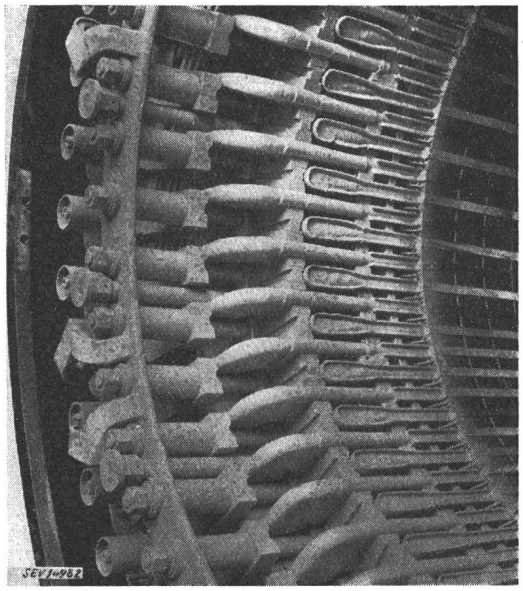


Fig. 11
Spulenköpfe eines Hochspannungs-Generators mit Abstütz-Elementen. Isolation der Spulenköpfe aus Mica-Seidenband, Lack- und Compoundband. Abstützelemente aus Hartpapier.

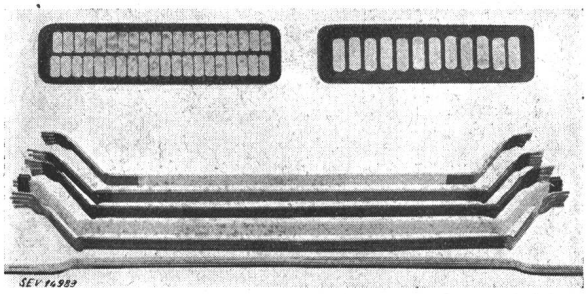


Fig. 12
Hochspannungs-Generatorspulen, Ansicht und Schnitte. Isolation gegen Eisen: Micafolium, ein Schichtstoff aus Papier, Glimmerblättchen und einem Bindemittel, wie Asphaltcompound und Schellack. Band- und tafelförmige Isolierstoffe und Compound als Isolation Leiter gegen Leiter.

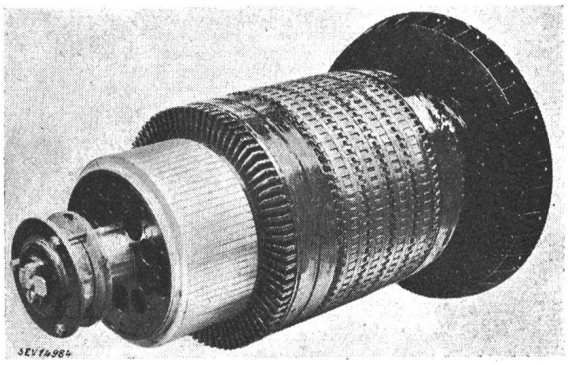


Fig. 13
Anker eines Gleichstrommotors.

Die Isolationen zwischen den Kupferlamellen des Kollektors und zwischen diesen und den äusseren Frontringen bestehen aus bindemittelarmem Micanit. Diese *Glimmerisolation* zeichnet sich durch grosse Beständigkeit ihrer Dicke unter hohem Druck und hoher Temperatur (bis etwa 200 °C), ferner durch eine Querabnützung aus, welche derjenigen der Kupferlamellen nahezu gleich kommt. Für diesen Zweck gibt es noch kein gleich gutes Ersatzmaterial.

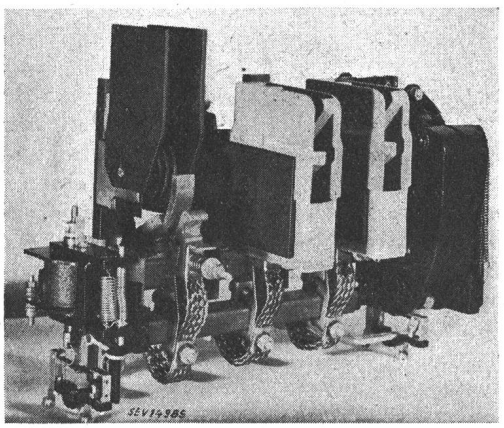


Fig. 14
Isolierstoffe im Schalterbau.
Die Kontakte im magnetischen Blasfeld liegen zwischen keramischen Funkenschutzkammern, die nicht eine hohe Durchschlagfestigkeit, aber eine sichere Standhaftigkeit gegen die Hitzewirkung des Schaltfeuers haben müssen. Darunter eine Vierkantwelle mit umhüllendem Hartpapierrohr. Links und rechts zu unterst je ein Isolierteil aus *Phenolharz-Preßstoff*, aus welchem heute sehr viele Schalterbestandteile, besonders die Schaltergrundplatten, gepresst werden. Die Presstechnik ermöglicht, Rippen, Passflächen, Ziffern usw. anzubringen, so dass die Montage der Metallteile zwangsläufig in schnellster Weise erfolgen kann.

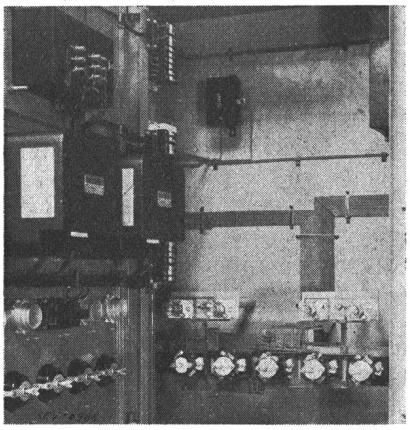


Fig. 15
Mit *Polyvinylchlorid* isolierte Drähte im Schalttafelbau. Verhalten ähnlich der Weichgummi-Isolation.

Was ist erreicht?

Betrachten wir nur die Spitzen des Erreichten, so sind unsere Wünsche über das noch zu erstrebende Ziel bald aufgezählt.

Wir besitzen technisch erhältliche Isolierstoffe mit etwa folgenden dielektrischen Eigenschaften:

Stossdurchschlagfestigkeiten von	1000...2000 kV/cm
in ganz dünnen Schichten, z. B. Lackierungen, von	5000 kV/cm Scheitelwert
Ionisationsdurchschlag 50 Hz bei Schichten von wenigen mm Dicke	300...600 kV/cm
Verlustfaktoren tg δ bei 50 Hz von	0,02 % an
bei 10^6 Hz von	0,01 % an
Biegefestigkeiten von	1000...3000 kg/cm²
Schlagbiegefestigkeiten von	25...200 cmkg/cm²
Dauer-Temperaturbeständigkeiten von	110...300 °C und mehr ohne allzu starke Einbusse der üblichen Eigenschaftswerte
Widerstand gegen Feuchtigkeit	vollkommen

Das sind Werte, mit denen wir eigentlich ausserordentlich zufrieden wären. Fragen wir aber, wie

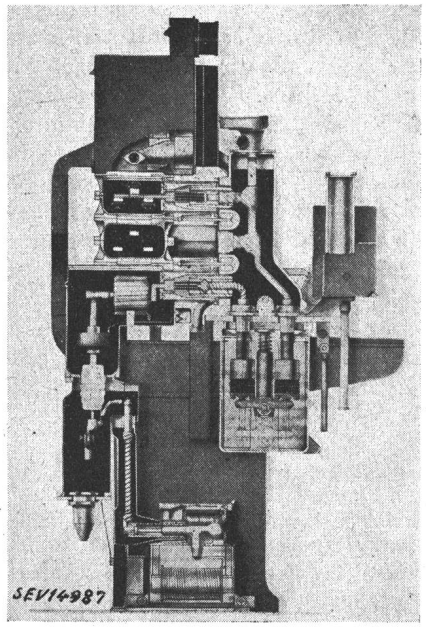


Fig. 16
Eine Anwendung von Compound zeigt das Bild einer eisengekapselten Schaltanlage (Reyrolle Co.). Die Hohlräume mit einem Compound gefüllt, der bei Raumtemperatur halbflüssig ist. Zur Isolation gegen Eisen sind darin zahlreiche Kondensatordurchführungen aus Hartpapier, Kanäle aus Hartpapier, Schirme aus Preßspan und Oeltuchbandagen erkennbar.

viele Isolierstoffe es gibt, die in sich *einige* dieser hohen Werte *vereinigen*, so ist ihre Zahl klein. Die Praxis frägt aber noch nach sehr vielen weiteren Eigenschaften, z. B.

- Spezifisches Gewicht
- Homogenität
- Zug- und Druckfestigkeit
- Härte
- Spaltbarkeit
- elastische Dehnung
- starres oder kaltfliessendes Verhalten
- mechanische Ermüdungsfestigkeit
- Neigung zur Rissbildung bei Bearbeitung und durch Alterung
- Schwindung in der Wärme
- Quellung durch Feuchtigkeit
- Isolationswiderstand im Innern
- Kriechwegfestigkeit
- Glimmfestigkeit
- elektrische Erosionsfestigkeit
- Wetterbeständigkeit
- Ozonfestigkeit
- Gleichmässigkeit der Eigenschaften (Reproduzierbarkeit)
- Bearbeitungsmöglichkeiten
- Gestaltungsmöglichkeiten
- Masshaltigkeit
- Handelsformen
- thermischer Ausdehnungs-Koeffizient
- Wärmeleitfähigkeit
- Brennbarkeit
- Verhalten gegen kurzzeitige Erhitzung
- Aussehen
- Optisches Verhalten: Durchsichtigkeit oder Undurchsichtigkeit
- Gasdichtigkeit
- Chemisches Verhalten
- Oel-Beständigkeit
- Lieferzeiten
- Preis
- u. a. m.

Kurz und gut, es sind zwischen 40 und 50 Charakteristiken, die für die praktischen Verwendungsmöglichkeiten in Betracht fallen, wovon allerdings einige nur selten, andere sehr oft eine Rolle spielen. Aber die meisten Verwendungsarten erfordern die *gleichzeitige Erfüllung mehrerer Anforderungen.*

Es ist leicht, Isolierstoffe zu finden, die durchschlagfest, gegen statische mechanische Beanspruchungen fest, thermisch bis 100 °C verwendbar und annehmbar im Preis sind. Dazu gehören z. B. Porzellane, Gläser, Hartpapier, Phenolharz-Pressteile, Ani-

linharz, Giessharze, Oelholz. Der Freiheitsgrad der Wahl sinkt aber schon erheblich, wenn als weitere Bedingung grosse dynamische Festigkeit tritt: Dann fallen Porzellane, Gläser und die meisten Giessharze weg. Kommt die weitere Bedingung der Gestaltbarkeit zu grossen Zylindern dazu, fallen die Pressteile und das Anilinharz auch weg. Stellt man dazu noch die Bedingung der Isotropie, d. h. gleicher Eigenschaften in allen Richtungen, so bleibt uns kein einziger Stoff übrig.

Solche Beispiele lassen sich beliebig vermehren. Sie zeigen immer wieder, wie viele Lücken die Isolationstechnik noch nicht genügend schliessen kann, trotzdem sie über eine stattliche Zahl von Baustoffen verfügt.

In welchen Richtungen suchen wir Fortschritte?

Die einleitend gegebene Ordnung der Isolierstoffe in starre, gestaltungsfähige Stoffe, Hüllstoffe und Ausfüllstoffe erhält einen besonders klaren Sinn, wenn wir diesen Gruppen die erreichbaren Eigenschaften zuordnen.

Unter den *gestaltungsfähigen Stoffen* besteht kein Mangel an solchen grosser *Wärmebeständigkeit.* Es gibt hier *keramische* Stoffe in zahlreichen Varianten, darunter auch zahlreiche Gläser. Es stehen ja heute Sondermassen und -gläser, z. B. Steatit, Calit, Quarzglas, Pyrexglas und andere zur Verfügung, die noch bei 200 °C dielektrisch recht gut sind. Ja, es gibt solche, die sehr wohl bei 400, 800 und gar bis 1100 °C bei mässiger Beanspruchung verwendbar sind, so Thoriumoxyd, Aluminiumoxydmasse, Zirkonoxyd; aber auf dem Gebiet der leichter erhältlichen *organischen* Isolierstoffe liegen die Dauer-Temperaturgrenzen zwischen etwa 80 und 150 °C. Für alle ist es einesteils die Temperaturfunktion ihrer Eigenschaften, andernteils eine Lebensdauerfrage, über die zum Beispiel bei den organischen Stoffen das Gesetz von *Montsinger* Auskunft gibt. Sehr wesensverschieden verhalten sich die beiden grossen Gruppen künstlicher Harze: Die *härtbaren Harze,* zum Beispiel Phenol-Formaldehydharze und Harnstoff-Formaldehydharze, die auch bei der hinsichtlich Alterung höchstzulässigen Temperatur mechanisch hart sind und nicht wesentlich «fliessen», anderseits die *Thermoplaste,* z. B. die organischen Gläser (Polystyrol, Acrylate), Anilinharz u. a., die schon unterhalb der «Dauer-Grenztemperatur» bei kleiner mechanischer Beanspruchung fliessen und damit ihre Gestalt langsam ändern. Dieses Verhalten ist der Hauptgrund der bis heute geringen Anwendung mehrerer dielektrisch und in anderer Hinsicht ganz ausgezeichneter Kunststoffe.

Ein weites Feld der Wünsche ist die *Gestaltungsfreiheit* der Isolierstoffe. Wie hindernd ist es manchmal, dass z. B. die Kunstharzpreßstoffe teurer druckfester Pressformen bedürfen, dass an Hartpapierröhren nicht wie an solchen aus Porzellan Schirme und Flansche gemacht werden können, welche homogen mit den übrigen Teilen zusammenhängen, oder dass sich Porzellane, wenn gebrannt, gewisse Sorten ausgenommen, nicht einer spanabnehmenden Bearbeitung unterziehen lassen! Oder dass sich in keramische Isolierkörper nicht wie bei den Schichtstoffen Kondensator-Steuerelektroden einfügen lassen.

Unter den *Hüllstoffen,* deren wir im Bau der rotierenden Maschinen, aber auch der Transformatoren, Kabel, Kondensatoren, usw., unbedingt bedürfen, besassen wir bis vor kurzem nicht einen einzigen, dessen Dauerwärmebeständigkeit die Grenze von rund 130 °C überschreitet und der zugleich durchschlagfest ist. Wohl würden die Glimmer-Klebstoffe eine vorzügliche Ausnahme machen, bedürften sie nicht der wenig hitzebeständigen Kleblacke. Auch Asbest- und Glasfaser-Gespinste, ferner die Draht-Emaillierungen sind auf hitzebeständige Lacke angewiesen. *Hier hat die chemische Wissenschaft energisch einzugreifen* und kann offenbar in neuester Zeit Erfolge buchen.

Für die Hüllstoffe ist der Schichtcharakter dann unerlässlich, wenn die Isolation durch leitende Einlagen kapazitiv gesteuert werden soll. Hier geht der Wunsch der Entwicklung dahin, den Schichtcharakter nur während der Herstellungsphase zu haben, ihn dann aber aufzuheben.

Kabel und Drähte, als typische Anwendungen der Hüllstoffe, gehören zu den wenigen, allerdings gewichtigen Fällen, wo jede Erhöhung der Durchschlagfestigkeit und des mechanischen Verhaltens als Geschenk entgegengenommen würde. In den meisten anderen Fällen würde eine höhere elektrische Festigkeit der Oberflächen-Entladungserscheinungen wegen nicht viel nützen.

Für die *Ausfüllstoffe* gilt in thermischer Hinsicht dieselbe Bemerkung des Ungenügens. Fortschritte sollten hier parallel mit denjenigen der Hüllstoffe gehen. Wenn z.B. die Draht-Isolation eines Oeltransformators 200 °C aushält, nützt dies wenig, solange nicht das Oel durch eine hitzebeständige Isolierflüssigkeit ersetzt werden kann.

Eine erschwerte Brennbarkeit wurde mit den Chlordiphenilen erreicht, aber mit höherem Gestehungspreis, grösserer Viskosität und dem Kampf gegen gesundheitliche Gefährdungen des Werkstattpersonals erkauft.

Eine grosse Aufgabe steht den Isolationstechnikern noch in der Bekämpfung der Korona-Erosion offen. Unter *Korona-Erosion* versteht man die langsame Zernagung des Isolierstoffes durch Korona-Punkte, -Linien oder -Flächen. In manchen Fällen ist es fast unmöglich, solche Glimmstellen ganz zu vermeiden, ja, wo es scheinbar der Fall ist, erweisen lang ausgedehnte Untersuchungen, dass doch mit feinsten Gaseinschlüssen gerechnet werden muss. Es scheint, dass nur Glimmer solchen Einwirkungen einigermassen widersteht, ein Hauptgrund seiner Unentbehrlichkeit in Hochspannungsgeneratorspulen.

Man vermeidet Koronastellen im allgemeinen wirkungsvoll durch Anwendung von flüssigen Isolierstoffen, Compounds und Pressgasen. Aber ein Schlagwort der Technik lautet ja «weg vom Oel». Es ist anzunehmen, dass hier die Zusammenarbeit von Elektrotechnik und Chemie Fortschritte zeitigen wird, sind doch gewisse Wege bereits vorgezeichnet.

Ein Grund zum frühen Tod mancher Isolation ist, wie jeder Elektrotechniker weiss, die *Feuchtigkeit*, weil sie schon in kleiner Menge gefährliche Einwirkungen auf das dielektrische Verhalten haben kann, besonders auch wegen der Gefährdung der Oberfläche. Der Kampf gegen die Feuchtigkeit geht grösstenteils gemeinsam mit dem Kampf gegen das berüchtigte Kriechen, von dem an anderer Stelle noch die Rede sein wird.

Fortschritte der neuesten Zeit

Es sind zwei grundsätzlich verschiedenartige Wege der Forschung, welche je und je zu Fortschritten der Isolationstechnik geführt haben. In den Anfangszeiten waren es die Elektrotechniker, welche durch immer neue Kombinationen an sich bekannter Stoffe viel Brauchbares schufen. Dieses Vorgehen hat sich bis in die neueste Zeit mit Erfolg erhalten. Dazu kam die chemische Forschung, die besonders seit den grundlegenden Erkenntnissen über die Erscheinungen der Polymerisation und Polykondensation, d. h. der Lehre über die Bildung grosser Atomgruppen durch Kettenbildungen, manchen schönen Erfolg erntete.

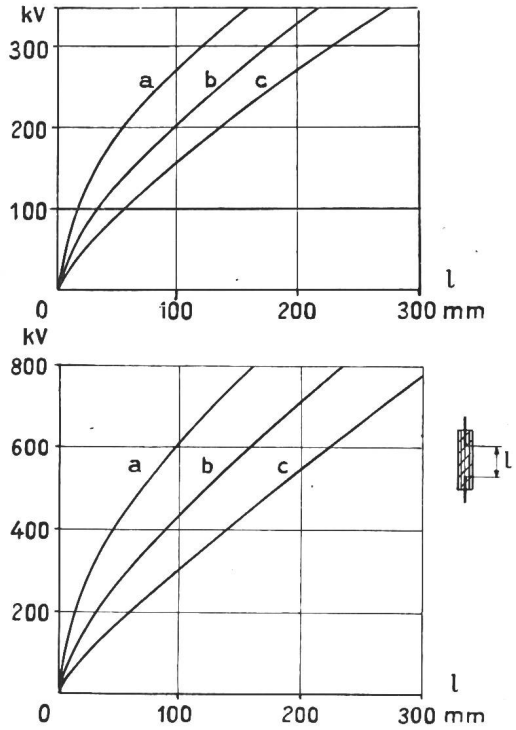


Fig. 17
Elektrische Festigkeit längs den Schichtflächen bei gewöhnlichen und verbesserten Hartpapieren (Micafil)
Bei Wechselspannung 50 Per./s (oben) und bei Stoßspannung, Stoss 1/50 (unten)
Ordinaten: Durchschlagspannung (Scheitelwert)
Abszissen: Durchschlaglänge *l*
a) Resocel-Platte
b) Resocel-Hülse mit erhöhter Längsfestigkeit
c) Resocel-Hülse, Normalqualität

Die erstgenannte Forschung — nennen wir sie kurz *technologische Forschung* — schuf vor Jahrzehnten u. a. die ausserordentlich vielseitig anwendbaren Hartpapiere, Hartgewebe, Hartschichthölzer, Preßspane, Oeltuche, die vielen Kombinationen von Glimmer mit Papier, Seide, Leinen, die emaillierten und die umsponnenen Drähte, die Formpreßstoffe und vieles mehr. In neuerer Zeit verdanken wir dieser Forschung die Glasfadengewebe und ihre Kombinationen mit Glimmer und mit Lacken. Durch Pressen kunstharzdurchtränkter Glasseide oder Glaswolle entstanden Platten von bisher in der Isolationstechnik nicht erreichter mechanischer Festigkeit. Die Absicht war eigentlich eine andere: Man wollte eine höhere Hitzebeständigkeit gewinnen, hatte aber, bis neue Fortschritte auch ein neues Harz schufen, des Bindemittels wegen einen nur mässigen Erfolg.

In die *technologische Forschung* gehören die Fortschritte der letzten Jahre in der Ausgleichung der erreichten Qualitäten, u. a. durch bessere Beherrschung der Kunstharzgeschehnisse im Fabrikationsprozess. Man lernte die Unhomogenität geschichteter Stoffe vermindern und so z. B. die elektrische Festigkeit der Hartpapiere längs den Schichtflächen verbessern (Fig. 17). Man schuf auch Sonderqualitäten, deren mechanische Schubfestigkeit in Schichtrichtung um rund eine Zehnerpotenz gehoben wurde. Die dielektrischen Verluste der Hart-

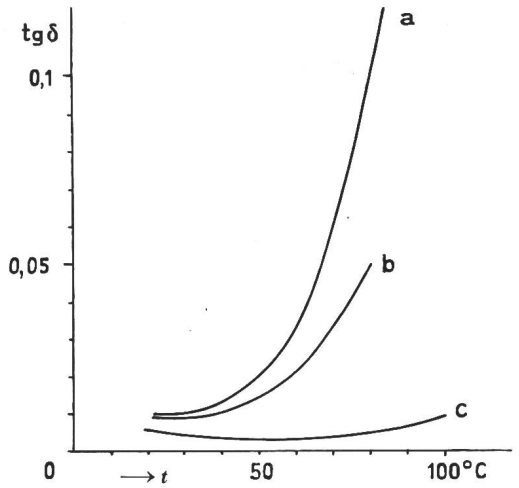


Fig. 18
Dielektrische Verluste von Hartpapieren in Funktion der Temperatur
a) Schellack-Hartpapier
b) Kunstharz-Hartpapier (Normalqualität)
c) Hochspannungsqualität (Super-Resocel)

papierrohre wurden von anfangs mehreren Prozenten auf 5...7 ‰ und deren Anwachsen bei erhöhten Temperaturen ebenfalls erheblich vermindert (Fig. 18), wodurch die Bedeutung des Wärmedurchschlages in Hochspannungsapparaten fast der Vergessenheit verfiel. Die Kriechweggefahr wurde durch neue Lackierungen stark vermindert.

Für Druckluftapparate konnten dichtere und gegen Abspaltung von Schichten gesicherte Rohre geschaffen werden. Während Hartpapierplatten vor Jahren meist noch Verlustfaktoren von 20 % und noch weit mehr aufwiesen, gelingt es heute, Platten mit tg-ϑ-Werten von 3...5 % herzustellen.

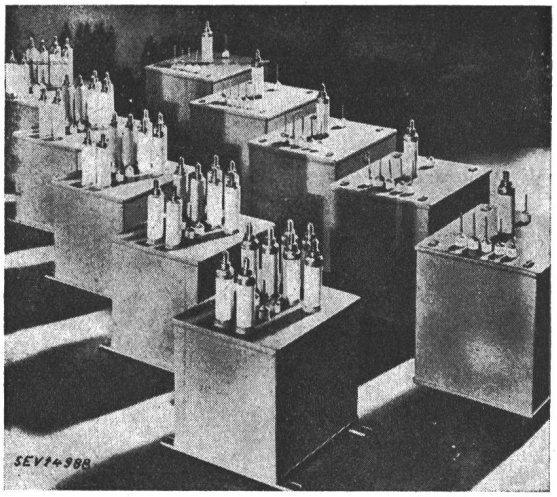
Auch im Bereich der *Keramik* wurden im Sinne der Erschaffung von Massen mit kleinen Hochfrequenzverlusten einerseits, grosser Temperaturbestän-

digkeit anderseits, wesentliche Fortschritte gemacht, aber sie liegen grösstenteils schon ziemlich weit zurück. Erwähnenswert ist die neuerdings gut gelungene Lötmetallisierung.

Einiges zu sagen ist auch über die *Gläser*. Sie erfuhren ja schon in den ehrwürdigen Anfangszeiten der Elektrotechnik grosses Lob. «Das Glaß hat bistrichen noch unter allen Coerpern fast wegen der elektrischen Tugend den Preiß erhalten», schrieb einst ein Doktor der Weltweisheit (Fig. 20). Lange Zeit musste es dann aber später im Zeitalter der jungen Starkstromtechnik wenig beachtet und ein bisschen bescholten in der Ecke stehen, bis es im Zeitalter der Röhrentechnik und der Glasfasern wieder glanzvoll vortrat. Eine ausgedehnte Forschung, besonders in den USA, in England und auch in Deutschland, ward ihm zuteil. Durch Variation des Si-Gehaltes vom reinen Quarzglas bis zu etwa 57 % herunter, durch Zugabe von B_2O_3, Al_2O_2, CaO, MgO, BaO, PbO, Na_2O, K_2O passte man sich den verschiedensten Verwendungsgebieten an: Hochdruckquecksilberdampf-Lampen, Quecksilberdampf-Gleichrichter, Hartglas-Elektronengeräte, Bestandteile zum Einschmelzen von Wolfram oder Molybdän, gegossene Hochspannungsisolatoren und anderes mehr. Alkaliarme Gläser mit kleinen dielektrischen Verlustfaktoren wurden entwikkelt.

Während die Messergebnisse der optischen, Wärme-, elektrischen und anderer Glaskonstanten an ähnlichen Probestücken untereinander gut übereinstimmen, schwanken die Resultate mechanischer Festigkeitsmessungen so stark, dass sie statistisch behandelt werden müssen. Glas hält bei Dauerbelastung nur 30 % der mittleren Bruchbelastung über wenige Sekunden aus, es erfordert deshalb einen hohen mechanischen Sicherheitsfaktor. Aber durch Tempern kann die Zug- und die Schlagbiegefestigkeit bis auf das 10fache, meist 3...6fache erhöht werden. Mit Erfolg wurden Gläser grosser Wärmewiderstandsfähigkeit (d. h. die Temperaturdifferenz, bei der ein plötzlich abgekühltes Probestück von Standardabmessungen bricht) geschaffen. Grössenordnungen von 280...100 °C werden genannt.

Von grosser Bedeutung für die Technik wurden die *Glas-Metall-Kombinationen*, so besonders für die Röhrentechnik. Diese Glas-Durchführungen mit eingeschmolzenen sogen. vorgeschobenen Elektroden gestatten absolut flüssigkeits- und gasdichten Abschluss und werden deshalb, z. B. im Kleinkondensatorenbau, in ausgedehntestem Mass verwendet.



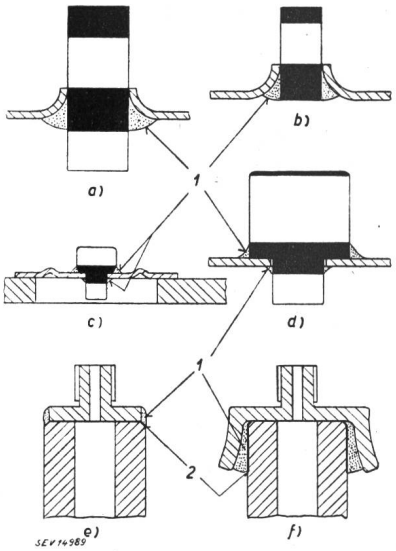


Fig. 19
Keramische Kleindurchführungen mit Lötmetallisierung

Die Zugfestigkeit des Glases wächst ganz ausserordentlich bei kleinem Stab-, resp. Faserdurchmesser. Die Glasfaser und deren Gespinste und Gewebe gaben der Elektrotechnik einen Fingerzeig, wie Hüllisolierungen wesentlich erhöhter Wärmebeständigkeit geschaffen werden können.

Es scheint auf Grund neuer Muster, dass der unter den Namen *Micalex* und *Mikroy* bekannte Hochfrequenz-Isolierstoff, bestehend aus in Glasfluss eingelagertem Feinglimmer, Fortschritte im Sinne einer feineren Kornstruktur erfahren hat. Das mechanische Verhalten kommt demjenigen von Gusseisen nahe. Micalex und Mikroy halten Temperaturen bis 500 °C ohne Schädigung aus. Der Verlustfaktor bleibt von 0,3 bis weit über 10 Megahertz fast unverändert etwa 1,5 %. Handelsformen sind Platten, Stäbe und einfache Formstücke.

Zu neuen, bemerkenswerten Isoliermaterialien aus der *chemischen* Forschung gehören einige Kunstharze und Kunstharzlacke.

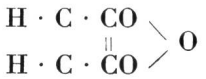
In neuester Zeit machen die sog. Kontaktharze oder «*Low Pressure resins*», d. h. unter kleinem Druck pressbare, ohne Abscheidung flüchtiger Bestandteile (Polymerisation oder «innere» Kondensation) härtbare Harze, wenn auch noch etwas schüchtern, von sich reden. Die Eigenschaft, sich ohne wesentlichen Druck oder ganz ohne Ueberdruck, ähnlich wie einige Thermoplaste, blasenfrei aushärten zu lassen, ist höchst wertvoll, besonders wenn sie, bei Raumtemperatur oder höherer Temperatur, leicht flüssig, giessbar und zu Imprägnie-

rungen geeignet sind. Manche Isolierprobleme gestaltungstechnischer Natur dürften sich damit in neuartiger Weise lösen lassen.

Die dielektrischen Eigenschaften einiger Niederdruckharze sind bemerkenswert gut.

Man kennt bis heute etwa folgende Klassen von Kontaktharzen:

1. Den Alkyltyp, abgeleitet von Maleinsäureanhydrid



Die Maleinsäure ist durch Styrol verbunden.

2. Den Allyltyp, z. B. Diallylphtalat (der Diäthylenester von Diallylkarbonat).

3. Den Acryltyp, erhalten durch Kombination von Glycol und Metacrylsäure.

4. Den Ethylenoxyd-, resp. Ethylen-Chlorhydrat-Typ.

5. Vinylderivate.

In der Draht- und Kabeltechnik haben die Polyvinylchloride wegen ihrem gummiähnlichen, indes ozonfesten Verhalten einen nicht mehr wegzudenkenden Platz gefunden. Sie gehören schon nicht mehr zu den eigentlich neuen Errungenschaften.

Mit wenigen Worten sei auch die Entwicklungstendenz der *emaillierten Drähte* skizziert: Bis gegen das Jahr 1935 beherrschte die Drahtlackierung mit Oellacken, die Harze und auch etwa Asphalt enthielten, weitgehend das Feld. Ihr Vorzug ist eine hohe elektrische Festigkeit und das sehr unhygroskopische Verhalten, ihr Nachteil eine geringe Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beschädigungen. Die Tendenz zu möglichster Raumeinsparung im Motorenbau förderte die Verwendung des emaillierten Drahtes, so dass die Forderung nach abreibungsfestem und gegen die üblichen

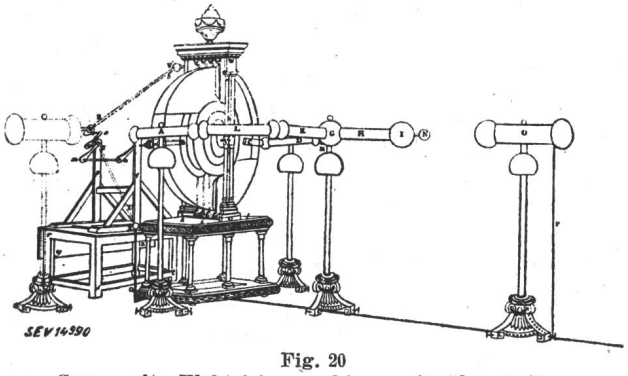


Fig. 20
Grosse alte Elektrisiermaschinen mit Glasscheiben

Lacklösungsmittel widerstandsfähigem Emaildraht zur Verwendung von *Kunstharz*lacken drängte. So entstanden die verschiedenen Emaildrähte auf Kunstharzbasis. Die mechanische Widerstandsfähigkeit dieser Emaillierungen ist etwa 20-...50mal grösser als bei Oelemaillierungen und ihre Widerstandsfähigkeit gegen Lösungsmittel praktisch vollkommen, ihre elektrische Festigkeit allerdings niedriger. Die Tendenz im Motorenbau geht dahin, für dünne Drähte, z. B. bis etwa 0,50 mm, Oellackierung zu verwenden, für dickere Drähte Kunstharzlackierung.

Ein sehr schöner neuer Hochfrequenzisolierstoff ist das in England entwickelte Polyäthylen oder kurz *Polythen* $n(C_2H_4)$ der Imperial Chemical Industries, Ltd., im Handel auch Alkathene genannt. Es ist ein Polymerisationsprodukt des Aethylens C_2H_4, das unter ausserordentlich hohem Druck

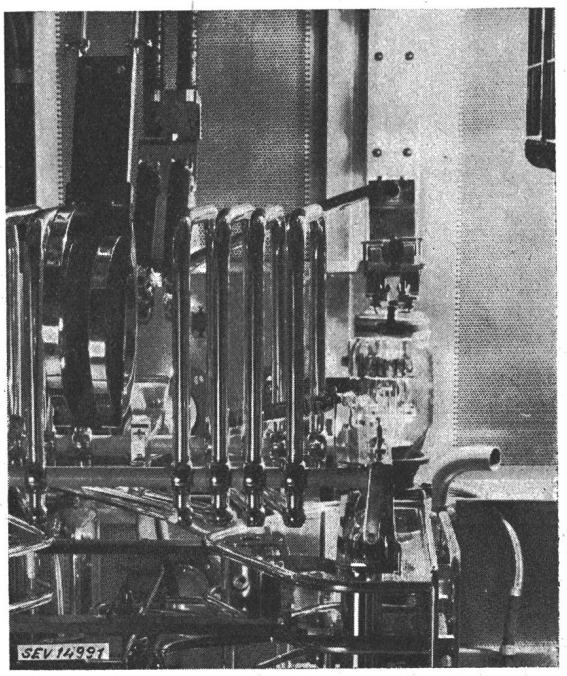


Fig. 21
Keramische Rundstäbe und Micalex-Flachstäbe im Hochfrequenz-Senderbau

von etwa 12 000 kg/cm² zustande kommt. Sein mechanisches Verhalten ist ähnlich demjenigen von Gummi, Balata, Nylon und den Polyvinylchloriden. Hervortretende Eigenschaften des Polythens sind eine hohe Durchschlagfestigkeit, ein niedriger Verlustfaktor von nur 0,2...0,3 % über einen weiten Frequenzbereich, grosse chemische Beständigkeit, unhygroskopisches Verhalten, mannigfachste Verarbeitungsmöglichkeiten durch Spritzen, Pressen, Strangpressen, Giessen, Niederschlagen aus Lösungsmitteln, Ueberziehen von Metallteilen. Die wichtigsten elektrotechnischen Anwendungen sind Kabelisolationen, insbesondere für Hochfrequenzkabel, Akkumulatorenbehälter, Filme. Die Erfindung des Polythens gehört zu den wirklich grossen Errungenschaften der chemischen Technik.

Es scheint nun, als könnte der lang ersehnte Traum der Elektrotechniker, einen Kunststoff erheblich höherer Wärmebeständigkeit zu erhalten, durch die amerikanische Entwicklung der *Silikone* [1]) in Erfüllung gehen. Es gelang der Gemeinschaftsforschung der Dow Chemical Co und den Corning Glass Works, die längst bekannten Kohlenstoff-Silicium-Verbindungen, die sehr unbeständig waren,

[1]) Ausführliche Angaben siehe *G. de Senarclens:* Les Silicones. Bull. SEV Bd. 37(1946), Nr. 5, S. 117...126.

zu stabilen Verbindungen zu entwickeln, die sich polymerisieren lassen und so zu Atomverbänden werden, die mit interessanten Eigenschaften behaftet sind.

Man kennt bis jetzt etwa 25 flüssige Silikone und einige Silikon-Compounds, aber am wichtigsten für die Elektrotechnik dürften wohl die Silikon-Lacke werden. Auch Silikon-Harze und -Formpreßstoffe, genannt Silastics, sind bekannt.

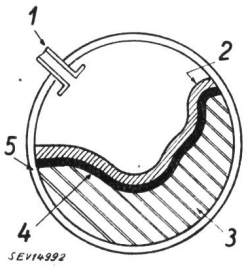


Fig. 22
Ein Pressverfahren für Niederdruckharz
1 Dampf unter Druck; *2* Gummidecke; *3* Pressform; *4* Schutzschicht; *5* Kessel

Unter Verwendung von *Silikon-Lacken* sind mehrere elektrische Isolierstoffe geschaffen worden, so Lackglastuch, Mica-Glastuch, mit Glasfaden umsponnene Drähte, mit Glasfaden geflochtene Isolierschläuche, Email-Drähte, Asbestgewebe.

Auf dem Gebiete der Lacke liegt, wie erwähnt, wahrscheinlich die grösste Bedeutung der Silikone, da sie die einzigen bisher bekannten Isolierlacke sind, welche Temperaturen von etwa 170 °C dauernd aushalten. Man empfand es längst als unbefriedigend, dass anorganische Lackträger, die höhere Temperaturen als die organischen ertragen, mit organischen, wenig temperaturfesten Lacken zusammengebracht werden mussten. Die Behandlung von Wicklungen geschieht nach den gewohnten Verfahren durch Tauchen, z. B. unter Anwendung von Vakuum und Ueberdruck, durch Spritzen mit der Pistole, usw. Aber zum «Trocknen» sind Temperaturen von mindestens 200 °C nötig. Fig. 24 zeigt, dass die Durchschlagfestigkeit auch bei Silikonen mit wachsender Temperatur rasch sinkt. Fig. 25 gibt ein trotzdem hoffnungsvolles amerikanisches Inserat wieder, wie sie so und ähnlich bereits häufig zu finden sind.

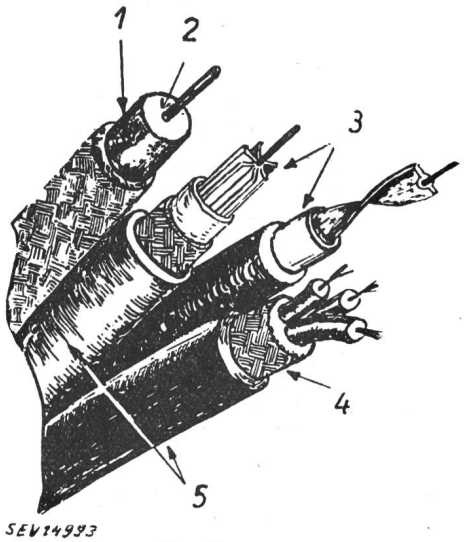


Fig. 23
Mit Polythen isolierte Hochfrequenzkabel
1 Polyvinylchloridschicht; *2* Polythen-Kern; *3* Polythen; *4* Metallgeflecht; *5* Polyvinylchloridhülle

Bisher wurden geschichtete Glasgewebeplatten meist mit Melamin-Harz gebunden. Die neueren mit Silikon DC 2103 gebundenen Glasgewebeplatten weisen im Vergleich zu den Melamin-gebundenen Platten nur etwa halb so grosse mechanische Festigkeitswerte bei etwa gleicher Durchschlagfestigkeit auf. Das sind die Nachteile. Die Vorteile aber sind: Eine Wasserabsorption von nur 15 %, ein Leistungsfaktor von nur 20 %, eine Verlustziffer von nur 10 % derjenigen mit Melamin-Bindung. Der Isolationswiderstand nach Wasserlagerung ist sogar 2000mal höher, die Flammbogensicherheit 60 % höher, die Wärmebeständigkeit mindestens 25 % höher.

Die *flüssigen Silikone* werden zur Zeit am ehesten als Füllmittel für Dämpfungsvorrichtungen und als Schmiermittel Verwendung finden, weil sich deren Viskosität von sehr tiefer bis zu hoher Temperatur nicht wesentlich ändert. Aber die niedrigen Verlustfaktoren, auch noch bei Radiofrequenzen (tg ϑ =

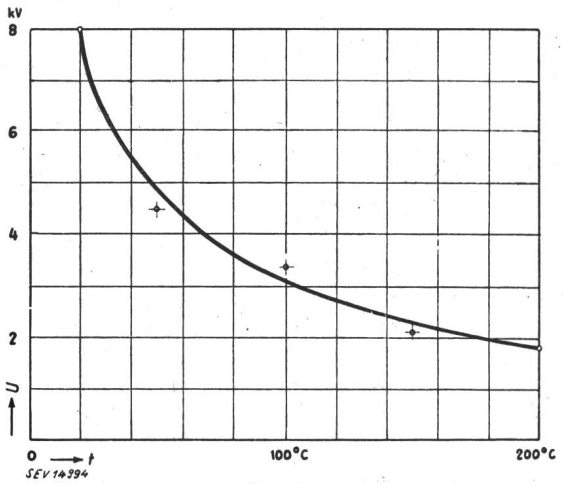


Fig. 24
Durchschlagfestigkeit eines silikonimprägnierten Glasgeweberöhrchens in Funktion der Temperatur
(Messung Micafil)

0,0001...0,0002 bei 10^3...10^7 Hz; $\varepsilon = 2{,}83$), und die dem Oel scheinbar nicht nachstehende Durchschlagfestigkeit lassen die flüssigen Silikone in gewissen Fällen an die Stelle von Mineralöl treten. Der hohe Preis wird allerdings hier ein ernsteres Hindernis sein als bei den Lacken.

Auch die *Silikon-Compounds* zeichnen sich durch ihre Unempfindlichkeit gegen niedrige und hohe Temperaturen aus. Zwischen — 40 °C und + 200 °C findet weder ein Erhärten noch ein Schmelzen statt, und es bilden sich keine Risse. Sie trocknen an der Luft nicht aus, auch nicht bei lang dauernder erhöhter Temperatur. Ferner sollen sie auf jeder Art Oberfläche gut haften, unhygroskopisch sein und eine sehr zuverlässige Abdichtung gewährleisten.

Die *Silastics-Preßstoffe* scheinen noch einer sehr komplizierten Presstechnik zu bedürfen, und ihre technischen Eigenschaften sind noch ungenügend.

Bereits werden Motoren, Generatoren, Spulen von Elektromagneten und Transformatoren mit silikonhaltigen Isolierstoffen gebaut. Die damit bisher gemachten Erfahrungen mit Dauer-Temperaturen zwischen 130 und 200 und mehr °C über viele tausend Stunden seien günstig. Die mögliche Gewichtsersparnis gegenüber einer Isolierung nach Klasse A beträgt etwa 30...45 %, so dass sich der etwas hohe Preis der neuen Lacke wahrscheinlich in manchen Fällen rechtfertigt.

Wenn auch vielleicht die Silikone sich in allernächster Zeit noch nicht in jeder Hinsicht als die erwarteten Wunder der Isolationstechnik erweisen werden, so ist das grosse Interesse an diesen Stoffen doch vollauf schon durch die Tatsache berechtigt, dass sich der chemischen Technik eine neue weite Welt aufgetan hat. Denn wie die Kohlenstoff-Chemie durch die ungeheuer mannigfaltigen Möglichkeiten

Fig. 25
Ein amerikanisches Inserat über Silicone

der Bindungen mit Wasserstoff und zum Teil auch noch mit Sauerstoff, Chlor, Fluor und Stickstoff und die riesige Ausweitung dieses Feldes durch die Poly-Kondensation und Polymerisation zur Erschaffung einer kaum absehbaren Zahl nützlicher künstlicher Stoffe führte, so wird nun die analoge Silicium-Chemie eine weitere, in ihrer Grösse erst zu ahnende Zahl neuer Stoffe gebären.

Es gelang der amerikanischen chemischen Industrie, offenbar in Anlehnung an die Erfindung des Polyäthylens, noch auf anderem Wege auch hitzebeständigere Thermoplaste herzustellen. Es ist dies *polymerisiertes Tetrafluoräthylen*

$$n\begin{pmatrix} F & F \\ C = & C \\ F & F \end{pmatrix} \qquad -\begin{matrix} F & F & F & F \\ C & - C & - C & - C \\ F & F & F & F \end{matrix}-\cdots$$

Durch Sprengung der Doppelbindung der C-Atome entsteht die rechts dargestellte Atomkonfiguration. Die Aehnlichkeit des chemischen Aufbaues mit dem genannten Polyäthylen fällt auf.

Tetrafluoräthylen entsteht in Pulverform und wird zu Blöcken gegossen, sieht wachsartig aus und wird, neben dem reinen Material, auch mit verschiedenen anorganischen Zusätzen versehen. Hervortretende Merkmale sind wenig ändernde mechanische Festigkeitswerte über einen weiten Temperaturbereich, vor allem aber gute dielektrische Eigenschaften über einen weiten Frequenzbereich (tg $\delta \leqq$ 0,02 % zwischen 60 und 10^8 Hz), eine starke chemische Indifferenz und eine gegenüber anderen Thermoplasten hohe Temperaturbeständigkeit (dauernd ca. 135 °C, vorübergehend bis 240 °C).

Dieser Neustoff lässt sich zu Stangen und Röhren oder zu Drahtumhüllungen und auch zu Formkörpern pressen und zu Folien verarbeiten. Er ist indessen noch nicht auf dem Markt, und der Gestehungspreis ist einstweilen noch zu hoch.

Wo die Elektrotechnik *Oel* verwendete, war es im allgemeinen schlechthin das mit «Transformatorenöl» bezeichnete, gewisse Bedingungen erfüllende Mineralöl, für Kabel auch vermengt mit Kolophonium. Einzelnen Firmen gelangen verbessernde Modifikationen solcher Oele, aber es wachten darüber begreiflicherweise tiefe Geheimnisse. In neuerer Zeit hat eine eigentliche und erfolgreiche Forschung im Sinne der Vereinheitlichung und der Anpassung der Oele an die verschiedenen Verwendungsgebiete eingesetzt. Es wurden ein Spezialöl für Transformatoren, ein zweites für Oeldruckkabel, ein drittes für Massekabel und ein viertes für Kondensatoren geschaffen. Dabei wird u. a. von der Zerlegung in Komponenten und von geeigneter Addition dieser Komponenten Gebrauch gemacht, ferner von geeigneten Zugaben, z. B. vakuumdestilliertem Kolophonium für Kabel. Für hochbeanspruchte Imprägnieröle wird besonderer Nachdruck auf die Eigenschaft gelegt, dass der bei Koronaentladungen entstehende Wasserstoff absorbiert wird.

Mit solchen Leistungen der Forschung steht leider die vielerorts noch sehr im Rückstand befindliche Fabrikation längst bekannter Stoffe in argem Gegensatz. Ungenügende Kenntnisse, unvollkommene Durcharbeitung der Fabrikationsvorschriften und der Fabrikationseinrichtungen, mangelnde Exaktheit in der Führung der Arbeitsprozesse und der Mess- und Kontrollverfahren bringen nicht selten bewährte Baustoffe in Misskredit. Die Hebung der Qualität auf das grösstmögliche Niveau leistet oft mehr, als es neue Errungenschaften der Forschung zu tun vermögen. Diese Feststellung ist einer ganz intensiven Betonung wert. Wir gehören in der Schweiz glücklicherweise und zum Vorteil unserer Elektrotechnik nicht zu den schlechtesten, so dass unsere Isolationstechnik eine beachtliche Stellung errungen hat, trotzdem sie noch nicht durch viele neue Stoffe bekannt geworden ist.

Eine bedeutsame Aufgabe der Isolationstechnik ist der *Eignungs- und Gestaltungslehre* und ihrer weitern Erforschung gestellt. Die Eignungslehre ist bestrebt, das Verhalten der Stoffe unter verschiedensten Bedingungen der Praxis möglichst eingehend

darzustellen. Die Gestaltungslehre befasst sich mit der Lehre der werkstoffgerechten, konstruktiven Behandlung der zu lösenden Aufgaben. Sie ist zu einer vielseitigen Kunst geworden, denn sie erfordert eine tiefe Beherrschung der Isolierstofftechnik und gleichzeitig der elektrischen Festigkeitslehre. Mit der exakten Rechnung allein lässt sich den Problemen nicht beikommen, ein durch Erfahrung und durch Rechnung gelenktes Gefühl ist unerlässlich. Die Lieferfirmen und Verbände können viel zur erfolgreichen Verwendung ihrer Produkte beitragen, wenn sie dem Ausbau und der Verbreitung der Eignungs- und Gestaltungslehre ihre volle und initiative Aufmerksamkeit schenken.

Eine sorgfältig ausgebaute Technik der Isolierstoffe und eine hoch entwickelte Wissenschaft ihrer konstruktiven und werkstattechnischen Anwendung wird die Qualität unserer elektrotechnischen Erzeugnisse sehr fördern. Elektrotechniker und Chemiker sollten sich noch mehr als bisher in gegenseitiger Achtung die Hand reichen und lernen, sich so auszudrücken, dass sie einander verstehen.

Adresse des Autors:
A. Imhof, Direktor der Moser-Glaser & Co. A.-G., Muttenz (BL).

Quelques matières plastiques nouvelles utilisées dans les isolants électriques

Conférence donnée par *G. de Senarclens*, Breitenbach (SO)

621.315.616.96

Après un bref exposé de l'évolution des matières isolantes thermoplastiques, l'auteur traite des propriétés chimiques et de la technologie des principaux groupes: caoutchouc synthétique, polyisobutylène, polyvinyle et polyéthylène.

Les nouvelles matières plastiques introduites depuis quelques années n'étaient pas de simples produits de remplacement destinés à la pénurie provoquée par la guerre, mais bien le début d'une évolution, grâce à laquelle nous disposerons bientôt de matières ayant des propriétés remarquables, nettement supérieures à celles des isolants actuels.

Der Autor beschreibt kurz die Entwicklung der thermoplastischen Isoliermaterialien und behandelt die Eigenschaften der wichtigsten Gruppen (synthetischer Gummi, Polyisobotylene, Polyvenile und Polyäthylene) in chemischer und technologischer Beziehung.

Die neuen plastischen Materialien, die während der letzten Jahre bekannt wurden, waren keine Kriegserzeugnisse, die nach kurzer Zeit verschwanden, sondern sie stellen den Anfang einer Entwicklungsperiode dar, die uns in nächster Zukunft Materialien mit hervorragenden, bisher unerreichten Eigenschaften liefern wird.

Les matières organiques appelées «Matières plastiques» ont pris un développement surprenant pendant ces dernières années et leur essor s'affirme toujours davantage. Elles sont répandues avec succès dans presque toutes les branches de la technique, en particulier dans le domaine des isolants électriques, où elles ont acquis une place prépondérante. Il serait néanmoins inexact d'admettre, comme on le fait souvent, qu'elles sont, pour la plupart, des matériaux nouveaux ayant trouvé un champ d'application pendant la guerre, en raison de la disparition de certains produits naturels. Le celluloid a été découvert il y a quatre-vingts ans, la fibre vulcanisée il y a environ soixante ans, la corne artificielle et les bakélites il y a quarante ans. Cependant, des progrès très importants ont été réalisés dans leur fabrication, sans lesquels leur mise en œuvre eut été impossible. D'autre part, des produits nouveaux d'un très grand intérêt ont fait leur apparition ces dernières années, grâce au développement considérable de la chimie industrielle. *Imhof* a relevé les propriétés diélectriques ou thermiques remarquables de certains d'entre eux.

Vous savez sans doute qu'on différencie les matières thermodurcissables des matières thermoplastiques. Les premières, auxquelles appartiennent les bakélites, les résines d'urée ou de la mélamine, durcissent sous l'effet d'une élévation de température, tandis que les matières thermoplastiques se ramollissent à chaud et reprennent leur état primitif au refroidissement. C'est principalement de cette dernière classe que je voudrais vous entretenir quelques instants, en particulier des matières plastiques qui ont été appelées à remplacer le caoutchouc dans les isolants électriques.

Il ne peut être question d'en énumérer les caractéristiques. Qu'il me soit simplement permis de vous en faire vivre le développement, de vous faire entrevoir les possibilités qu'offre la chimie moderne, enfin d'ouvrir une petite porte sur l'avenir de quelques matières plastiques.

Il y a 150 ans un savant français *La Condamine* apportait du Brésil une résine d'origine végétale, qui n'était autre que le caoutchouc. De petites quantités furent utilisées, sans succès d'ailleurs, pour imperméabiliser des manteaux de pluie ou pour effacer les traits de crayon (d'où le nom anglais «Rubber»). La résine manquait de plasticité, devenait collante à chaud et s'altérait rapidement au contact de l'air.

En 1839 *Goodyear* remarqua qu'en chauffant le caoutchouc avec du soufre et du carbonate de plomb, il perdait sa thermoplasticité et augmentait sa résistance chimique et mécanique. Cette découverte, une des plus importantes du siècle dernier, ne trouva pas d'explication scientifique. Il aurait fallu connaître pour cela la constitution chimique du caoutchouc qui ne put être fixée que vers 1900. En effet, si les chimistes sont habiles à déterminer la constitution et à faire la synthèse de produits bien définis, solides, liquides ou gazeux, il en est tout autrement lorsqu'il s'agit de reproduire des masses plus ou moins plastiques, se ramollissant lentement lorsqu'on élève la température et résistant bien aux agents d'investigation habituels.

On découvrit cependant que le caoutchouc était constitué par un corps chimique relativement sim-