**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens
**Band:** 50 (1959)
**Heft:** 23

**Artikel:** Synthetische Polymere für Kabelisolationen
**Autor:** Weber, H.M.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1057830

**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:** 08.08.2025

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

für jeden Verantwortlichen. Sie geht in einer stillen und doch steten Art seinem unmittelbar praktischen Auftrage parallel. Jetzt bin *ich* da, und morgen wird ein *anderer* da sein. An jeder Stelle, die ich übersehe und die in meiner Einwirkungssphäre liegt, wird ein Wechsel eintreten. Das Ganze soll beharren und soll weiter gehen. Uns war es vergönnt, Gedanken und Impulse hineinzutragen; was an ihnen gültig bleibt, wird weiterhin wirken, mit oder ohne unseren Namen; und das übrige wird durch Besseres ersetzt oder fortgesetzt werden. Uns ist die schöne Gelegenheit geboten, dieses Bessere schon vorzubereiten, dadurch, dass wir uns bemühen, für jeden Posten Tüchtige nachzuziehen. Im Grunde ist das der verheissungsvollste Teil unseres Auftrages. Und wir haben viele schöne Gelegenheiten, ihm gerecht zu werden. Wir müssen nur unsere Ängstlichkeit und unsere Eitelkeit dorthin weisen, wo sie hingehören: in den Bezirk des Unbeachtlichen und intern zu Erledigenden.

Innerhalb des Betriebs ist die wertvolle Möglichkeit des Vorausschauens auf weite Sicht immer offen. Wir können den Menschen begleiten in seinem wesentlichen Werden, das nie aufhört, und das vielleicht sogar erst spät anfängt, nach aussen sichtbar zu sein. Es wird wohl auch zu den Prinzipien moderner Betriebsführung gehören, Chefauslese auf grosse Distanz zu üben. Dazu gehört denn gewiss auch das Bemühen um Vorbereitung. Hier sind abermals zwei Wege offen: der der Schulung und der der Förderung. Sie haben beide ihr unabstreitbares Recht. Der erste wird mehr begangen, weil er einleuchtender ist in seiner Absicht und seinen Konsequenzen. Es ist erfreuend, wieviel Einsatz und Bereitschaft auf diesem Felde heute vorhanden ist und wie sehr die Unternehmung sich die Bildung ihres Führernachwuchses angelegen sein lässt. Es ist auch ganz gewiss so, dass mit der Mehrung des geistigen Besitzes die Bereitschaft zur Führungsleistung intensiver und sicherer wird. Der reichere Mann ist nun einmal der bessere Führer; es stehen ihm in jeder Lage mehr Aushilfen zur Verfügung, und er wird in allen persönlichen Angelegenheiten aus grösserer Freiheit entscheiden.

Zum andern aber bleibt die Tatsache in Kraft, dass man zum Chef und zu höheren Chefaufgaben nicht heranerzogen wird, sondern heranwächst. Das, was von innen heraus in Bewegung kommt, wird bestimmend. Doch ist auch dieses der äusseren Einwirkung nicht entzogen und einer Förderung keineswegs unzugänglich. Nur muss sie mit den feinsten Mitteln der Seelenkunde angewendet werden, und sie ist viel mehr das Ergebnis des Miteinandergehens als einer gewollten Beeinflussung. Die echteste Nachfolge und den kernigsten Nachwuchs erziehen wir Führende uns unterwegs. Der Belehrung und der Ermahnung erstehen immer Widerstände; sie sind um so stärker und hemmender, je mehr der Werdende schon etwas ist. Das Beispiel allein, und nur wenn es ohne jede Absichtlichkeit dasteht, wirkt unwiderstehlich. Und es ergreift den am innigsten, der selber schon am kräftigsten bewegt ist.

Vielleicht haben wir damit einige Gesichtspunkte für unsere hohe Aufgabe, Führungsnachwuchs heranzuziehen, uns etwas deutlicher ins Licht gerückt. Wir dürfen sie auf einige Forderungen, die zugleich Ermunterungen sein mögen, zusammendrängen. Das erste möchte sein: alles Missbehagen abschalten; es ist immer etwas Frohes, an dem zu arbeiten, was nachher sein wird, und auch an dem, was nach uns sein wird. Das zweite ist: Freiheit bewahren; es kommt nicht darauf an, dass meine Meinung und meine Haltung ihren Fortgang nehmen, wohl aber dass das Werk seinen tüchtigen Fortsetzer finde. Ein Drittes: Bedrängende auslesen; wir suchen Menschenführer, und das sind nicht die Gewandten und nicht die Kenntnisreichen, sondern die aus der Tiefe heraus Bewegenden. Im weiteren: Anschauende sein; das Bild eines Menschen in seiner Ganzheit aufnehmen, um es auch als ein Ganzes zu würdigen und an der ihm zukommenden Stelle einzuordnen. Ferner: den Mut des eigenen Urteils bewahren; unser Entschluss hat die Kraft eines Bekenntnisses. Und endlich: Fördern, nicht durch Belehrung, aber durch Erweckung. Das Beste bieten wir dem andern durch unser Vorangehen; Glück ihm und uns, wenn er begabt ist, uns zu überholen.

**Adresse des Autors:**
Dr. *E. Schumacher*, Bolligen bei Bern.

# Synthetische Polymere für Kabelisolationen [1])

Von *H. M. Weber*, Pfäffikon

621.315.21 : 621.315.616.9

*Synthetische Neopren- und Butylkautschuke eignen sich sehr gut für die Fertigung von Kabelisolationen. Die Eigenschaften dieser synthetischen Elastomere sind aber so verschieden, dass es schwer fällt, sich die notwendige Übersicht über die Vorteile und die Nachteile dieser Materialien zu verschaffen. Um diese Übersicht zu erleichtern, wurden die wichtigsten Eigenschaften in einer Tabelle zusammengefasst und zusammengehörende Eigenschaften in Eigenschaftsblöcken zusammengezogen. Diese Blöcke ermöglichen es, mit einem Blick vergleichend festzustellen, in welcher Eigenschaft dieser oder jener Isolierstoff schwach oder stark ist.*

*Les caoutchoucs synthétiques de Néoprène et de Butyl se prêtent excellemment à l'isolation de câbles. Toutefois, les qualités de ces élastomères synthétiques sont très variées et il n'est pas aisé de se faire une idée d'ensemble concernant leurs avantages et défauts. Afin d'y parvenir, un tableau résume, en des groupes de caractéristiques cohérents, les qualités requises le plus fréquemment. Ces groupes permettent de constater immédiatement si, sous tel ou tel aspect, une matière d'isolation est forte ou faible.*

Elektrische Kabel dienen zur Übermittlung von elektrischer Energie. Es kommen zum Bau von Kabeln hauptsächlich zwei Gruppen von Werkstoffen in Frage:

a) Elektronendurchlässige Stoffe — Metalle —, welche als Energiebeförderer dienen, und

b) elektronendichte Stoffe — Isolierstoffe —,

[1]) Vortrag, gehalten an der Vortragstagung des Verbandes Schweizerischer Gummi- und Thermoplast-Industrieller (VSGT) und des Verbandes der Fabriken isolierter Leiter (VFL) vom 12. Mai 1959 in Zürich.

welche elektrische Ströme zur Einhaltung vorgeschriebener Wege zwingen.

Die idealen Isolierstoffe — wie z. B. Papier und Polyäthylen — besitzen nicht immer die notwendige mechanische Festigkeit und sind im Falle des Papiers wasserempfindlich. Im gebrauchsfertigen Kabel müssen diese Stoffe deshalb durch eine Ummantelung geschützt werden. Werkstoffe, welche für einen Schutzmantel verwendet werden können, haben somit vorwiegend mechanische Funktionen, müssen daher hohe mechanische Festigkeit haben und sicheren Schutz gegen Feuchtigkeit und chemische Einflüsse von aussen gewährleisten.

Da ein elektrisches Kabel nicht nur an geschützten Orten verlegt wird, sondern viel öfter in exponierten Lagen unter den schwierigsten Bedingungen Verwendung findet, versucht man durch sinnvolle Auswahl oder Kombination einzelner Werkstoffe die erforderlichen mechanischen und chemischen Eigenschaften zu erzielen. Bei Verlegung in die Erde sind Bleimäntel, neuestens aber auch Stahl- und Kupfermäntel üblich.

Mit fortschreitender Entwicklung der Technik werden immer bessere Werkstoffe für Isolations- und Ummantelungszwecke entwickelt, damit die teure Metallbewehrung überflüssig wird. Es konnten jedoch bisher keine Isolations- oder Mantelwerkstoffe gefunden werden, die allen schädlichen Einflüssen, welchen ein Kabel ausgesetzt ist, widerstanden hätten. Ummantelungswerkstoffe sollten die Kabel nicht nur gegen mechanische und korrosive Einflüsse schützen, sondern zusätzlichen Anforderungen wie gute Bereitbarkeit, Festigkeit gegen Rissbildung, Masshaltigkeit, Aussehen wie Glanz, Farbe oder Durchsichtigkeit, Wasserbeständigkeit, gute Flexibilität in Kälte und vieles andere mehr entsprechen.

Dem Ursprung nach können die zum Bau von Kabelisolationen und Schutzmänteln verwendeten Werkstoffe natürlich oder künstlich, dem chemischen Aufbau nach organisch oder anorganisch, der Struktur nach kristallin oder amorph, dem Aggregatzustand nach fest, flüssig oder gasförmig sein.

Es liessen sich hier interessante Vergleiche zwischen elektrischen und mechanischen Eigenschaften, der Lebensdauer, der Wärmebeständigkeit u. a. m. aufführen. Es erübrigt sich jedoch, darauf einzutreten, da dies in der «Encyclopédie des isolants électriques», welche im Auftrage der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) vom Fachkollegium 15 des Schweiz. Elektrotechnischen Komitees (CES) ausgearbeitet wurde, in ganz vorzüglicher Weise geschehen ist. Es soll vielmehr ein Sprung zu einer eng umschriebenen Isolationsgruppe — den Kautschuken — gemacht werden. Die Eigenschaften dieser Elastomere sind in der erwähnten Publikation mittels tabellarisch zusammenfassender Darstellungen behandelt; die Thermoplaste werden dabei nur kurz gestreift.

In welchem Masse sich die Synthese-Kautschuke in die Praxis eingeführt haben, geben die von *Lehmann* an der letzten Kautschuktagung vom 4. März 1959 [1] [2]) in Zürich genannten Zahlen Aufschluss (Tabelle I).

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

*Die Weltproduktion von Kautschuk*

Tabelle I

| Jahr | Naturkautschuk $10^3$ t | Synthese-Kautschuk $10^3$ t |
|---|---|---|
| 1950 | 1860 | 534 |
| 1954 | 1810 | 716 |
| 1957 | 1902 | 1262 |
| 1958 | 1920 | 1260 |

Die Produktion der UdSSR ist in den Zahlen nicht inbegriffen

Der riesige Aufschwung der Synthese-Kautschukproduktion in den letzten zwei Jahren ist natürlich nur zum kleinen Teil — ca. 3 % — auf die Kabelfabrikation zu beziehen (Fig. 1) [2].

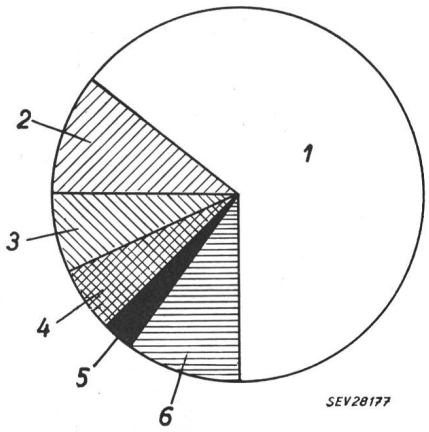


Fig. 1

*1* Auto- und Traktorenreifen; *2* Formartikel; *3* Schuhsohlen; *4* Latex-Produkte; *5* Kabel; *6* Verschiedenes

Parallel zur Kunstkautschuk-Entwicklung haben sich die thermoplastischen Kunststoffe — vor allem Polyvinylchlorid (PVC) und Polyäthylen — als Isolier- und Mantelwerkstoff im Kabel- und Leitersektor in solch ungeahntem Ausmasse eingeführt, dass für Kabel mit Naturkautschuk-Mantel (Gummikabel) kaum noch Lebensraum zu bestehen scheint.

Gummielastische Werkstoffe finden besondere Beachtung für bewegliche Leiter, welche sowohl in der Kälte als auch in der Wärme ihre Flexibilität und Standfestigkeit beibehalten und zu jeder Zeit gefahrlos verwendet werden können. Die Verwendungsmöglichkeit von Thermoplastkabeln muss bei solchen Beanspruchungen eingeschränkt werden, obschon die Alterungsbeständigkeit der Thermoplaste infolge Wettereinflusses zweifellos sehr gut ist. In der Kälte wird das Thermoplastmaterial ab etwa —5 °C steif und unhandlich; über das Verhalten in Wärme orientiert Fig. 2 [3]. Diese Figur zeigt die Änderung der Shore-Härten von Isolierstoffen in einem Temperaturbereich von 0...160 °C. Bei Raumtemperatur sind die beiden Thermoplaste — PVC und Polyäthylen — reichlich hart, während die Naturkautschukmasse bei etwa 50 ° Shore auf gute Flexibilität hinweist. Bei einer Temperatur von 100 °C liegt jedoch der Fall anders. Die Thermoplaste werden weich; bei einer weiteren Erwärmung um 10...30 °C wird die Masse sogar so weich, dass die Formstabilität verloren geht. Die durch Vulkanisation vernetzten Elastomere hingegen werden von

der Wärme in ihrer Formstabilität nicht gestört, wodurch sie auch bei höheren Temperaturen Sicherheit bieten. Infolge dieser Eigenschaft finden sie für wärmebeanspruchte Leiter Verwendung. Wir wissen, dass wärmebeständige Gummiisolationen, z. B. bei Butylkabeln, bis 100 °C verwendet werden können [4]; Silikonkabel können sogar bei Temperaturen von 150...170 °C eingesetzt werden.

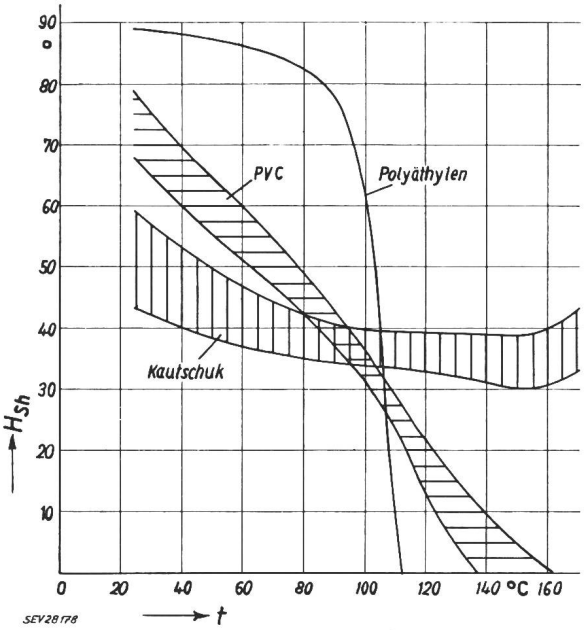


Fig. 2

**Shore-Härte $H_{Sh}$ von Isolierstoffen in Abhängigkeit von der Temperatur $t$**

In Fig. 3 wird ein Vorschlag gemacht zu einer neuen, vergleichenden Darstellung von 14 wichtigen Eigenschaften einiger Elastomere in ihren in der Kabeltechnik verwendeten Mischungen. Gemäss diesem Vorschlag sollen die Eigenschaften durch Güteziffern von 1 bis 10 charakterisiert werden, wobei 10 die beste Note sei. Die Güteziffern der Eigenschaften eines zu betrachtenden Elastomers sind untereinandergesetzt, wodurch leicht einprägsame Eigenschaftsblöcke entstehen. Je geschlossener und voller ein solcher Block erscheint, um so günstiger sind die Gesamteigenschaften des betreffenden Stoffes. Schwache Eigenschaften eines Elastomers stechen sofort als Lücke im Block hervor. (Vergleiche in Fig. 3 im 1. Block die Linien 4 und 6, sowie die Linien 12 und 13. Die verkürzten Linien deuten hier die schwachen Eigenschaften von Naturkautschuk an.)

Da man eine vergleichende Tabelle meist zum schnellen Heraussuchen einer bestimmten Eigenschaft verwenden möchte, sind die 14 einzelnen Eigenschaften in vier Eigenschaftsgruppen zusammengezogen worden (Tabelle II). Mittels dieser Eigenschaftsblöcke lässt sich auf einen Blick feststellen, ob der betreffende Stoff in dieser oder jener Eigenschaftsgruppe schwach ist und wo er seine Stärken hat.

Aus den Blöcken von Neopren- und von Butylkautschuk in Fig. 3 ist sofort ersichtlich, dass diese zwei Synthese-Kautschuke für die Herstellung von Kabeln am besten geeignet sind. Hätte der Butyl-

*Zusammenfassung der Eigenschaften von Kautschuken in Gruppen*

Tabelle II

| Eigenschaftsgruppe Nr. | Name | In der Gruppe enthaltene Eigenschaften |
|---|---|---|
| 1 | Mechanische Eigenschaften | Zerreissfestigkeit<br>Bruchdehnung |
| 2 | Technische Eigenschaften | Kältebeständigkeit<br>Alterungsbeständigkeit bei 100 °C<br>Alterungsbeständigkeit bei 70 °C<br>Ozon- und Wetterbeständigkeit |
| 3 | Elektrische Eigenschaften | Isolationswiderstand<br>Dielektrizitätskonstante<br>Dielektrische Verluste<br>Spannungsfestigkeit |
| 4 | Chemische Eigenschaften | Wasserbeständigkeit<br>Ölbeständigkeit<br>Flammwidrigkeit<br>Säure- und Laugebeständigkeit |

kautschuk nicht einige Nachteile aufzuweisen, wie geringe Ölbeständigkeit, geringe Flammwidrigkeit und geringe Standfestigkeit in der Verarbeitung, so wäre mit diesem Elastomer der ideale Stoff für die Isolation und den Kabelmantel zugleich gefunden.

Auf diese Weise aber müssen Gummikabel, welche Flammwidrigkeit und Beständigkeit gegen aromatische Öle aufweisen sollen, mit einem Neoprenmantel versehen sein. Bei Thermoplastkabeln müssen die Kabelmäntel aus entsprechenden PVC-Mischungen hergestellt werden.

Die beiden zweifellos erstklassigen Isoliermaterialien Neopren und PVC mahnen jedoch beim Einsatz als Mantel für Hochspannungskabel zu gewisser Vorsicht, falls diese feuchtigkeitsbeständig sein müssen und zudem undurchlässig gegenüber Gasen und Dämpfen. Auf die wichtige und im allgemeinen wenig beachtete Eigenschaft von Isolierstoffen — die Durchlässigkeit von Feuchtigkeit, von Gasen und Dämpfen — sei in aller Kürze hier eingetreten.

Durch die Entwicklung der synthetischen Elastomere sind die Kenntnisse über deren Gasdurchlässigkeit, Löslichkeit und Diffusion von Gasen und Dämpfen stark gefördert worden. Als praktische Konsequenz der Erkenntnis, dass Butylkautschuk eine sehr geringe Gasdurchlässigkeit besitzt, wurde dieser Kunstgummi in Luftschläuchen für Autoreifen mit grossem Erfolg eingesetzt.

Dass die Gasdurchlässigkeit bei den Kabelmantelmischungen dann eine eminente Rolle spielt, wenn die Kabel der Feuchtigkeit ausgesetzt oder ohne Bleimantel in die Erde verlegt werden, kam erst mit dem Auftreten unerklärlicher Ausfälle an Kabeln zutage. In den USA verlegte man Hochspannungskabel in grossen Längen in die Erde, deren Isolation aus Butylkautschuk bestand, welche aber gegen äussere Einflüsse mit einer Neoprenummantelung geschützt war. Da nun aber durch den Neopren-Kabelmantel beachtliche Mengen von Feuchtigkeit durchdiffundieren konnten, war der zwangsläufige Ausfall der Hochspannungskabel unvermeidbar. Fig. 4 zeigt das Resultat eines Versuches, bei welchem solche Kabel 8 Monate lang bei einer Temperatur von 70 °C gelagert wurden. Man versuchte nun das Phänomen der Wasserdurchlässig-

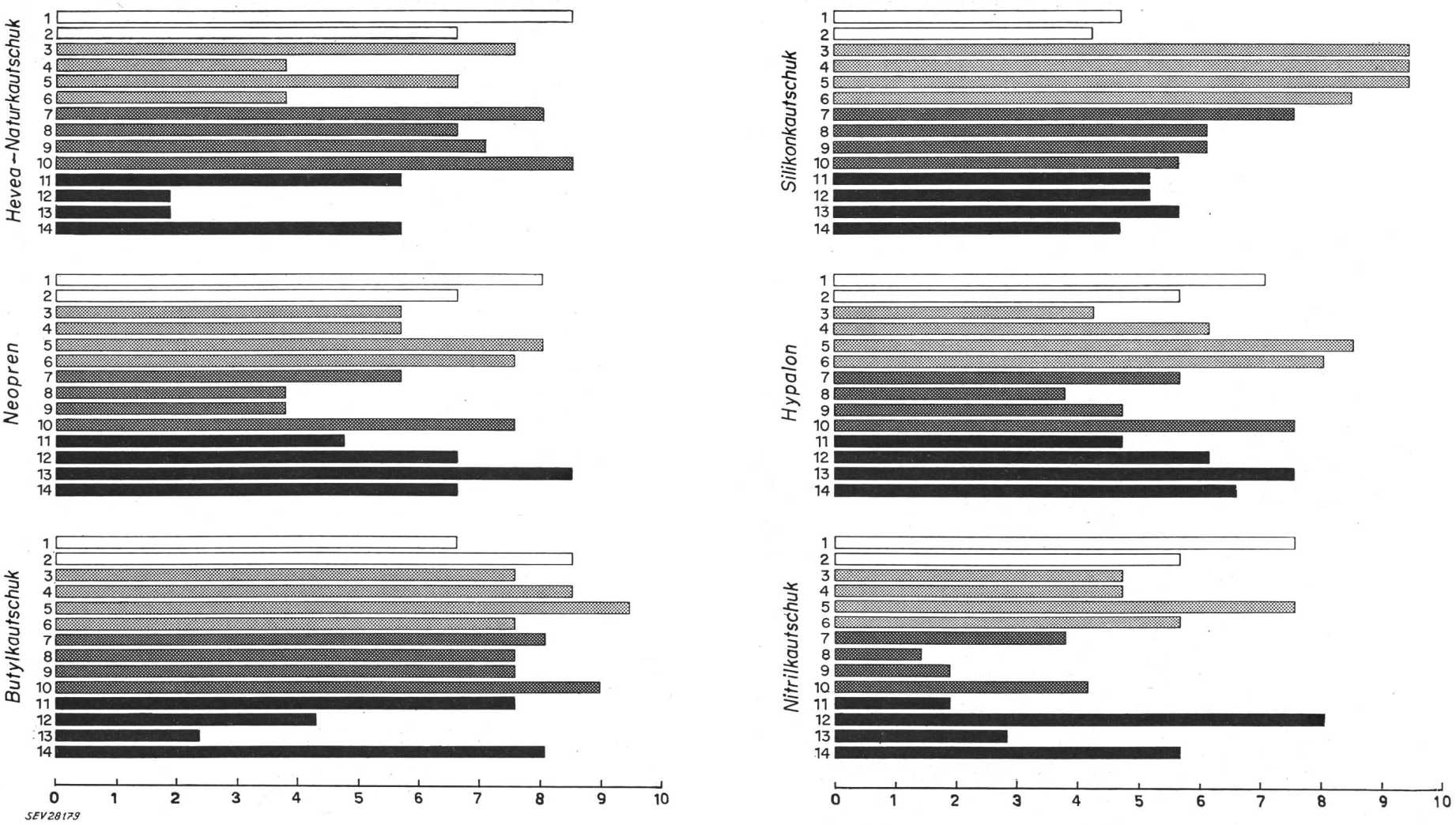


**Fig. 3**

**Vergleich von Eigenschaften verschiedener Kautschuke im Kabelbau**

*Mechanische Eigenschaften*

1 Zerreissfestigkeit
2 Bruchdehnung

*Thermische Eigenschaften*

3 Kältebeständigkeit
4 Alterungsbeständigkeit bei 100 °C
5 Alterungsbeständigkeit bei 70 °C
6 Ozon- und Wetterbeständigkeit

*Elektrische Eigenschaften*

7 Isolationswiderstand
8 Dielektrizitätskonstante
9 Dielektrische Verluste
10 Spannungsfestigkeit

*Chemische Eigenschaften*

11 Wasserbeständigkeit
12 Ölbeständigkeit
13 Flammwidrigkeit
14 Säure- und Laugenbeständigkeit

keit der Neopren-Mäntel zu klären. Aus diesen Untersuchungen ging fogende Reihenfolge betreffend die Wasserdurchlässigkeit von Isolierstoffen hervor:

1. Polyäthylen
2. Butyl
3. Neopren
4. Hevea
5. PVC — je nach Mischung, bzw. Füllstoffe und Weichmachergehalt unterschiedlich
6. Acrylo-Nitril-Mischung

Eine PVC-Mischung mit guten wasserabweisenden Eigenschaften soll ausgewählte Füllstoffe enthalten und mit einem Minimum an Weichmachern, möglichst sogar mit Polyester-Weichmachern oder Acrylo-Nitril-Kautschuk weichgestellt sein.

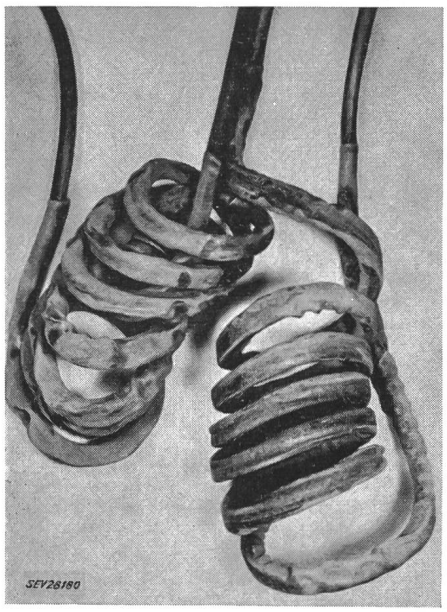


Fig. 4
**Während 8 Monaten bei einer Temperatur von 70 °C in Wasser gelagerte Kabel**

Die Wasserdurchlässigkeit eines polymeren Stoffes ist abhängig von:

a) Natur der Polymere;
b) Wasserlösliche Anteile;
c) Natur und Menge des Füllstoffes.

Bei farbigen Neoprenmischungen muss besonders auf die Farbpigmente geachtet werden.

Es stellt sich nun die Frage, welche Bedeutung der Wasserdurchlässigkeit bezüglich der Tropenbeständigkeit zuzumessen ist.

Die Eroberung überseeischer Absatzgebiete durch die Elektroindustrie hat dazu geführt, dass den Problemen der Tropenbeständigkeit grösste Beachtung geschenkt wird. Die Tropenbeständigkeit ist aber weitgehend abhängig von den vorherrschenden Feuchtigkeitsbedingungen. Die klimatischen Bedingungen der «gemässigten Zone» wurden vom Comité d'Etudes 42 (Technique des essais à haute tension) der CEI im Jahre 1956 folgendermassen festgelegt:

$$20\ °C,\ 760\ mm\ Hg,\ 11\ g\ H_2O/m^3 = 63\ \%\ RF$$
bei 20 °C

Ausserhalb Europa sind diese Bedingungen nur in Teilen Amerikas, Russlands, Chinas und Argentiniens vorzufinden. In den übrigen Gebieten muss mit Tropen-, Subtropen- und arktischem Klima gerechnet werden. Tropenklima begegnet man nach DIN 50010 zwischen den zwei Wendekreisen; man unterscheidet danach zwischen tropischem Regenklima, tropischem Trockenklima und eigentlichem Wüstenklima.

Die gefürchteten Anforderungen an tropenfeste Stoffe sind gekennzeichnet durch das Zusammentreffen von hoher Temperatur, grossen Temperaturschwankungen und hoher relativer Feuchtigkeit, wozu noch starke Lichtstrahlung, Salznebel und Mikroorganismen kommen können.

Wenn man das DIN-Blatt 50010 betrachtet, so treten in den darin enthaltenen Prüfungen besonders die Wechselklimaprüfungen hervor, die grosses Gewicht auf das Auftreten von Schwitzwasser, bzw. wechselnd auftretende Feuchtigkeit und damit auf die Wasserdurchlässigkeit legen. Es hat sich auch gezeigt, dass wasserundurchlässige Stoffe zu den tropenbeständigsten gehören. Für Kabelisolationen sind dies vor allem:

| | |
|---|---|
| *Polyäthylen* | für Telephon- und Hochspannungskabel; |
| *Butylkautschuk* | für spannungführende, wärme- und kältefeste Leiter; |
| *PVC* | für Niederspannung führende Leiter und Kabelmäntel; |
| *Neopren* | für Kabelmantelmischungen. |

Über die *Diffusion von Gasen* in verschiedenen Polymeren hat besonders *Van Amerogen* [5] verschiedene Arbeiten veröffentlicht. Ihnen ist Tabelle III entnommen. Aus dieser Tabelle ist zu ersehen, dass Butylkautschuk auch gegen $H_2$, $N_2$, $O_2$, $CO_2$ und sogar gegen He weniger durchlässig ist als Naturkautschuk.

*Gasdurchlässigkeit verschiedener Elastomere bei 25 °C*
Tabelle III

| Isolierstoff | Gasdurchlässigkeitsfaktor von | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2$ | $N_2$ | $O_2$ | $CO_2$ | He |
| Naturkautschuk | 37 | 6 | 18 | 100 | 24 |
| Nitrilkautschuk | 9 | 0,5 | 2 | 14 | 7,5 |
| Butylkautschuk | 6 | 0,25 | 1 | 4 | 6 |

Die bei Wasser und Gasen gemachten Erkenntnisse betreffend die Durchlässigkeit gelten auch für Öl und Öldämpfe, nur sind hier ganz andere Gesetze bezüglich der Diffusion zu beachten, da gewisse Öle die Kautschukmasse quellen, eventuell auch darin gelöst werden, wodurch die Struktur des Kautschuks wesentlich verändert wird. So wird Butylkautschuk von aromatischen Ölen und Fetten stark, von mineralischen und vegetabilen Ölen nur unbedeutend gequollen. Polychloropren wird von Ölen und Fetten bei Raumtemperatur nur unbedeutend gequollen. Dieser Kautschuk darf also bei nicht erhöhten Temperaturen als ölbeständig bezeichnet werden. Er besitzt jedoch trotz seiner Ölbeständigkeit die Eigenschaft, Öle und Fette in einem gewissen Ausmasse durchzulassen. Dies kann für die oben erwähnten idealen Kombinationen von Butyl- und Neoprenisolationen von ausschlaggebender Bedeutung sein, da ein Neoprenkabelmantel — trotz der Ölbeständigkeit von Neopren — die Öle durchdif-

fundieren lässt, wodurch am kombinierten Kabel, besonders bei höheren Temperaturen, die Butylisolation quellen kann. In diesem Zusammenhang ist vor unsachgemässen Quellungsversuchen zu warnen, besonders vor Schnelltesten. Das Einholen des Urteils eines Fachmannes bezüglich der Ölbeständigkeit ist zu empfehlen.

Aus den gemachten Darlegungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Elektrische Kabelmäntel, hergestellt aus Hevea-Naturkautschuk, sind durch Kabelmäntel aus synthetischen Kautschuken überholt worden. Die Kunstgummi-Kabel weisen gegenüber dem Naturgummi-Kabel z. T. bessere, z. T. neue Eigenschaften auf (vgl. Fig. 3).

2. Butyl- und Polychloropren-Kautschuk sind zur Zeit für die Gummikabelfertigung die aussichtsreichsten Elastomere. Butylkautschuk ist die ideale Gummiisolation und gibt wasser-, wetter- und tropenfeste Kabelmantelmischungen, die auch eine zwar beschränkte Ölbeständigkeit aufweisen. Neoprenkautschuk ist für ölbeständige, alterungsfeste Kabelmäntel besonders geeignet.

3. Neoprenkautschuk zeichnet sich zusätzlich durch Unbrennbarkeit, Butylkautschuk durch gute Wärmebeständigkeit aus.

Die erwähnten, verbesserten, zum Teil ganz neuen Eigenschaften von Synthesegummikabeln verleihen dem Synthese-Kautschukkabel nicht nur eine viel längere Lebensdauer, als dies bei einem Hevea-Naturkautschukkabel der Fall ist, sondern eröffnen ihm neue Einsatzgebiete, wie solche in Tropen, in der Erde, in Wasser, unter kalten und warmen Betriebsbedingungen u. a. m. Das Synthese-Gummikabel kann somit das meist preislich günstigere Thermoplastkabel in besonderen Fällen ergänzen, vorab wenn bei höheren und tieferen Temperaturen grosse Sicherheit und Flexibilität erforderlich sind.

### Literatur


[1] *Zahner, H.:* Eine Studientagung über Kautschuk. Technik NZZ Bd. -(1959), Nr. 964, 1. April, Bl. 8.

[2] *U. S. New Rubber Consumption -1957.* Rubber Age Bd. 84 (1959), Nr. 4, S. 601.

[3] *Glander, F. O.:* Isolier- und Mantelwerkstoffe metallmantelloser Starkstromkabel und -leitungen mit besonderer Berücksichtigung von Butylkautschuk. Gummi und Asbest Bd. 11(1958), Nr. 5, S. 266...278.

[4] *Weber, H. M.* und *G. Baumann:* Über die Prüfdauer und das Verhalten der Wärmebeständigkeit von Kabelisolationen aus synthetischen Kautschuken bei Temperaturen bis 100 °C. Bull. SEV Bd. 49(1958), Nr. 7, S. 278; 287...289.

[5] *Amerongen, G. J. van:* The Permeability of Different Rubbers to Gases and its Relation to Diffusivity and Solubility. Rubber Chemistry and Technology Bd. 20(1947), Nr. 2, S. 494...514.

*Amerongen, G. J. van:* Influence of Structure of Elastomers on their Permeability to Gases. Rubber Chemistry and Technology Bd. 24(1951), Nr. 1, S. 109...131.



**Adresse des Autors:**

Dr. *H. M. Weber*, AG R. & E. Huber, Schweizerische Kabel-, Draht- und Gummiwerke, Pfäffikon (ZH).


# Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

## Die Erneuerung der Ölfüllung im Zyklotron der Columbia-Universität

621.384.611-71

[Nach *W. F. Goodell:* Cooling off a Cyclotron. Electr. Engng. Bd. 78(1959), Nr. 3, S. 226...227]

Anfang 1958 wurde nach mehr als achtjährigem, fast täglichem Betrieb die Kühlölfüllung des Elektromagneten im 400 MeV-Synchro-Zyklotron der Columbia-Universität erneuert. Die Erneuerung der Füllung von rund 34 m³ Spezialöl erforderte 2 Tage.

Der Elektromagnet nimmt eine Leistung von 600 kW auf. Das Öl dient nicht allein der Wärmeabfuhr aus dem Windungskupfer der Magnetspulen, sondern auch der Isolierung zwischen den Windungen. Von seiner hohen Isolationsgüte hängt der störungsfreie Betrieb des Zyklotrons ab. Ein Durchschlag oder Kurzschluss in der Magnetwicklung zöge bei der Bauart des Zyklotrons umfangreiche Freilegungsarbeiten nach sich, die 6...12 Monate dauern und rund 1/2 Million Dollar an Kosten verursachen würden, abgesehen von der verlorenen Zeit für die Forschung.

Jeder Spulenkessel des 1800 t schweren Elektromagneten von 7,50 m Durchmesser und 1,20 m Höhe wiegt ölgefüllt 100 t. Die Vakuumkammer wiegt 27 t; der Unterteil der Abschirmungsmauer, 15 m lang, 1,80 m hoch und 2,40 m dick, besteht aus 270 t betonumkleidetem Eisenguss. Die Bereiche der Polhörner, des Magnetstahls und der Vakuumkammer sind radioaktiv.

Das Streben nach unbedingter Betriebssicherheit führte zur Wahl von «Diala-AX»-Öl von ausnehmend hoher Durchschlagfestigkeit, hoher Wärmebeständigkeit, niedriger Viskosität und Flüchtigkeit sowie hoher Alterungsbeständigkeit, dank einem oxydationshindernden Zusatz.

Das Öl wird bei einer Umwälzung von 7600 l/min von einer 45-PS-Motorpumpe in ein Labyrinth im Spulenkessel gepresst, wo es mit dem Kupfer der Magnetspulen in unmittelbare, innige Berührung tritt, da die Temperatur des Kupfers während des Betriebes auf einem Minimum gehalten werden muss. Das Öl wird in wassergekühlten Wärmeaustauschern im Sommer auf 27 °C, im Winter auf 4,5 °C gekühlt. Die höchste Betriebsspannung der Magnetspulen liegt zwischen 300...400 V; trotzdem können bei Mängeln in der Stromversorgung Spannungen von einigen 10 kV in den Spulen auftreten. Die hohe Isolationsfestigkeit des Öls hat Durchschläge bisher verhindert.

Der gesamte Öldurchlauf geht über eine Umgehungsleitung durch eine Absorptions-Filterpresse, wo Feuchtigkeit und Verunreinigungen zurückgehalten werden. Das Öl wird auf seine Durchschlagsfestigkeit täglich geprüft.

Während der achtjährigen Betriebszeit wurden jährlich einmal die Viskosität, der Flammpunkt, die Durchschlagfestigkeit, die Neutralisationszahl und die Verseifungszahl des Öles bestimmt. Bei der letzten Untersuchung zeigte sich nun ein Anstieg der Verseifungszahl gegenüber derjenigen des Vorjahres. Die Ursache des Anstieges ist wahrscheinlich im Zerfall organischer Bestandteile der Spulenisolation zu suchen. Dies und die relativ geringen Kosten für neues «Diala-AX»-Öl gaben Anlass zur Erneuerung der Ölfüllung.

Zur Sicherung der hohen Isolationsgüte erfolgte das Durchspülen der Magnetwicklung vor der Neufüllung mit Hilfe des alten Öls, wozu dieses auf 49 °C erwärmt und seine Durchflussgeschwindigkeit im Spulenkessel gesteigert wurde. Nach möglichst vollständiger Entfernung des alten Öls wurde über eine Reihe von Filtern die neue Füllung eingeführt. Man rechnet nach dem Ölwechsel mit einem weiteren störungsfreien Betrieb von 8 Jahren. *M. Cybulz*

## Kurznachrichten über die Atomenergie

621.039.4

Am 10. Oktober 1959 wurde in Halden (Norwegen) der erste Schwerwassersiedereaktor der Welt eingeweiht. Erbauer dieses Reaktors ist das norwegische Institut für Atomenergie. Am Projekt sind folgende Länder beteiligt: Grossbritannien, Norwegen, Österreich, Schweden, die Schweiz, und die Euratom-Länder (Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien, Luxemburg und die Niederlande). Der Reaktor soll für ein von der europäischen Atomenergieorganisation der OECE aufgestelltes gemeinsames Forschungsprogramm verwendet werden

---

Im Oktober 1959 wurde in Wien ein Symposium über die Metrologie der Radioisotope abgehalten. Die Anwendung von Radioisotopen (auch Radionuklide genannt) hat in den