

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 25 (1934)
Heft: 19

Artikel: Eigenschaften kautschukfreier, nicht keramischer plastischer Isolierstoffe
Autor: Imhof, A. / Stäger, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060173>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:

A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich 4
Stauffacherquai 36/40

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXV. Jahrgang

N° 19

Mittwoch, 12. September 1934

Eigenschaften kautschukfreier, nicht keramischer plastischer Isolierstoffe.

Von A. Imhof, Zürich, und H. Stüger, Baden.

621.315.616.9

In Anbetracht der steigenden Bedeutung, welche den gummiartigen, nicht keramischen Preßstoffen in der gesamten Technik zukommt, wurden deren Eigenschaften, soweit sie bis heute bekannt sind, in übersichtlicher Weise auf einigen Tabellen zusammengestellt und im Text diskutiert. Wenn dabei auch die nicht elektrischen Eigenschaften mit grosser Ausführlichkeit berücksichtigt wurden, so geschah dies, weil im elektrischen Maschinen- und Apparatebau die mechanischen, thermischen, hygroskopischen und chemischen Eigenschaften manchmal ausschlaggebend sind und weil Anwendungen in grosser Zahl und Mannigfaltigkeit ausserhalb der Elektrotechnik erfolgen. Die Autoren konnten sich auf die Erfahrungen und Messresultate der Micafil AG. stützen, so dass die zerstreuten Daten der bisherigen Literatur erweitert und grossenteils kontrolliert werden konnten. Die verschiedenen Grundstoffe der plastischen Massen wurden von der VDE-Typisierung übernommen. Der Schlussabschnitt befasst sich mit den Hautschädigungen bei der Verarbeitung von Kunstharzen, die als ausgesprochene Veranlagungserscheinungen dargestellt werden.

Vu l'importance toujours plus grande que prennent les isolants non céramiques et exempts de caoutchouc dans la technique moderne, les auteurs en ont rassemblé en quelques tableaux synoptiques les propriétés connues jusqu'à ce jour. Si les propriétés non électriques sont également exposées en détail, c'est que les propriétés mécaniques, thermiques, hygroskopiques et chimiques jouent souvent un rôle prépondérant dans la construction de l'appareillage et des machines électriques, et que nombre d'applications variées sortent du domaine de l'électrotechnique. S'appuyant sur les expériences et mesures faites par la Micafil S. A., les auteurs ont pu compléter et en grande partie contrôler les données que l'on trouve dispersées dans la littérature actuelle. La classification entreprise par le VDE a servi de base pour fixer les principaux éléments constitutifs des masses plastiques. Le dernier chapitre traite des lésions de la peau qui se produisent lors de la manutention des résines artificielles et semblent nettement être de caractère idiosyncrasique.

Einleitung.

Für elektrische Isolationen werden in grossen Mengen natürliche und künstliche Harze verarbeitet, und zwar kommen diese sowohl als Bindemittel, als auch als eigentliche Isolierstoffe zur Anwendung. Da über die beiden Begriffe, die immerhin Stoffgruppen von grosser technischer Bedeutung umfassen, noch gewisse Unklarheiten in der Abgrenzung und hinsichtlich der Definition der technisch wichtigsten Eigenschaften bestehen, soll an dieser Stelle vor der Besprechung der eigentlichen Isolierstoffe versucht werden, die einzelnen Stoffe und Zustände zu beschreiben.

Als *Harze* wurde ursprünglich nur eine gewisse Gruppe natürlicher Stoffe bezeichnet. Mit der Zeit wurden durch bestimmte chemische Reaktionen organischer Verbindungen auch auf künstlichem Wege Harze erzeugt, die sich rein äusserlich und bezüglich ihrer Verwendbarkeit für technische Zwecke von den natürlichen nicht wesentlich unterscheiden. Mit dem Begriff *Harze* bezeichnet man ganz allgemein eine grosse Klasse von Stoffen, die vor allem durch gewisse physikalische Eigenschaften gekennzeichnet sind und aus rein praktischen Gründen zusammengefasst werden. Es wurde versucht, als Ordnungsprinzip den chemi-

schen Aufbau der verschiedenen Harzarten einzuführen, was aber bis heute leider noch nicht vollständig gelungen ist. Wohl sind gewisse Molekülansordnungen, die eine bestimmte Konstitution bedingen, für den Harzcharakter von Wichtigkeit, aber doch nicht unmittelbar bedingend.

Die *natürlichen Harze* sind Pflanzenprodukte; für deren Gewinnung kommen die verschiedensten Pflanzengattungen in Betracht. Je nach der Art des Harzflusses muss man zwei Gruppen unterscheiden: Es gibt Pflanzen, die mit harzführenden Gängen oder Behältern versehen sind, bei deren Oeffnung das Sekret ausfliesst, und es gibt Pflanzen, die erst dann Harze sekretieren, wenn sie verletzt werden. Bei der ersten Gruppe haben wir es also mit einem physiologischen Harzfluss zu tun, der auch als primärer Harzfluss bezeichnet wird. Bei der zweiten Pflanzengruppe dagegen ist der Harzaustritt eine pathologische Erscheinung und das Harz dient als Wundverschluss. Bei beiden Pflanzenarten aber tritt das Harz in flüssiger Form aus. In Berührung mit Luft können dann gewisse Bestandteile, wie z. B. die ätherischen Oele, sich verflüchtigen und es bildet sich langsam die feste Ausscheidungsform, die das eigentliche Harz darstellt. In dieser Form wird

das Harz als rezent bezeichnet. Wenn die Sekrete in den Boden gelangen, was bei besonders starkem Harzfluss der Fall ist, oder bei Naturkatastrophen überdeckt werden, entsteht das sog. fossile Harz, bei dessen Bildung neben der Verflüchtigung der ätherischen Oele auch noch Oxydations- und Polymerisationsprozesse eine Rolle spielen; dementsprechend zeigen diese Harze gewisse abweichende Eigenschaften gegenüber den rezenten.

Die *künstlichen Harze* sind heute ebenso mannigfaltig wie die natürlichen. Sie werden erhalten durch verschiedene Umsetzungen organischer Verbindungen. Als die beiden wichtigsten Reaktionsarten, die zu künstlichen Harzen führen, muss man die Polymerisation und die Kondensation (wobei unter Kondensation nicht die Aenderung des Aggregatzustandes zu verstehen ist, sondern ein chemischer Vorgang, den wir weiter unten noch genauer beschreiben werden) bezeichnen. Man unterscheidet demgemäss verharzende Polymerisationen und verharzende Kondensationen. Die Reaktionsfolge bei natürlichen und künstlichen Harzen ist nach Scheiber¹⁾ folgende:

Natürliche Produkte:	Künstliche Produkte:
Unbekannte Ausgangsstoffe	Bekannte Ausgangsstoffe
Unbekannte Vorverbindungen	Meist bekannte Vorverbindungen
Balsame, Terpentine (ausfließendes Sekret)	Flüssige, harzartige Produkte
Rezente Harze	Durch Wärme erweichbar in Lösungsmitteln quellende Zwischenprodukte
Fossile Harze	Endprodukte

Wenn auch die rein chemischen und die Konstitutionszusammenhänge des *Harzzustandes* noch nicht genau bekannt sind, so sind doch gewisse Merkmale vorhanden, die mit dieser Erscheinungsform der Materie im Zusammenhang stehen. Es ist begreiflich, dass die verschiedensten Forschungsrichtungen herbeigezogen worden sind, um das Wesen der Harze ganz allgemein zu erfassen. Damit wurde natürlich auch die Absicht verfolgt, für die Herstellung von geeigneten Kunstharzen bestimmte Reaktionsschemata zu erhalten. Einige der wichtigsten Grundlagen sollen daher noch angeführt werden. Massgebend für die Erzeugung des Harzzustandes sind gewisse Stoffgemische; die einzelnen Ausgangsstoffe, die schliesslich zu Harzen führen, müssen Stoffgemische mit gegenseitiger Löslichkeit der Komponenten sein. Gerade für die Erzeugung der künstlichen Harze ist diese Erkenntnis sehr wichtig. Es fallen dadurch alle einfachen chemischen Reaktionen zur Erzeugung von Harzen ausser Betracht. Die wichtigsten Bedingungen für den Harzzustand sind

- a) die organische Beschaffenheit,
- b) der Charakter als Stoffgemisch mit sich gegenseitig lösenden Bestandteilen,
- c) die Löslichkeit in geeigneten Lösungsmitteln und
- d) die Fähigkeit zur Filmbildung beim Verdunsten des zur Lösung benutzten flüchtigen Lösungsmittels.

Auf Grund dieser allgemeinen Bedingungen schlagen wir folgende Definition vor: Harze sind

natürliche oder künstliche Stoffgemische organischer Natur, die mindestens anfänglich Löslichkeit und allmähliche Erweichbarkeit bzw. Schmelzbarkeit aufweisen, und weiterhin die Fähigkeit haben, aus Lösungen in geeigneten Lösungsmitteln bei deren Verdunstung als Filme ausgeschieden zu werden.

Diese Beschreibung des harzartigen Zustandes umfasst wohl die entsprechenden Eigenschaften der Harze; sie ist aber auch noch zutreffend für gewisse andere Stoffe, die normalerweise nicht als Harze bezeichnet werden, wie z. B. trocknende Oele (die sich beim Trocknen bildenden Oxyde haben allerdings Harzcharakter). Der Harzzustand ist von anderen Forschern wie von Haber und von Weimarn vom physikalisch-chemischen und vom dispersoid-chemischen Standpunkt aus beschrieben worden. Die beiden Definitionen sollen hier auch noch angeführt werden, da sie zur Erklärung gewisser Erscheinungen wichtig sind und man dadurch noch eine Erweiterung der den Harzzustand bedingenden Einflüsse bekommt. Aber auch diese beiden Definitionen sind noch nicht als endgültig zu bezeichnen.

Nach der Vorstellung von Haber sind Harze organische Stoffgemische vom Charakter unterkühlter Schmelzen, welche ihren mehr oder weniger ausgeprägten, glasartigen Zustand praktisch deshalb beibehalten, weil die besonders niedrige Orientierungsgeschwindigkeit nicht zur Geltung gelangen kann.

Haber will also damit den amorphen, nicht kristallinen Aufbau der Harze als wichtig für den Harzcharakter in den Vordergrund stellen. Er nimmt dabei an, dass infolge der geringen Orientierungsgeschwindigkeit der einzelnen Bausteine keine kristallinen Haufwerke entstehen können. Von Weimarn dagegen glaubt, dass auch in den Harzen kristalline Anteile vorhanden seien, und er gibt daher von seinem Standpunkte aus folgende Definition: Harze sind ultramikrokristalline organische Stoffe bzw. Stoffgemische, deren Fähigkeit zu vektorialer Polymerisation (d. h. regulärer Kristallisation) infolge mangelnder Neigung zur ausreichenden Desolvatation und Selbstreinigung so schwach ausgeprägt ist, dass der mehr oder weniger vorhandene Habitus «Glas» als praktisch stabilisiert anzusehen ist.

Trotz einer grossen Reihe schöner experimenteller Arbeiten sind wir also noch nicht in der Lage, die unter dem Sammelnamen «Harzzustand» zusammengefassten speziellen Eigenschaften, die ganz allgemein den Harzen zukommen, vollständig zu beschreiben. Für die Einteilung und Systematik der Harze müssen also vor allem noch praktische und technische Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

Bei der oben gegebenen Gegenüberstellung der Reaktionsfolgen bei natürlichen und künstlichen Harzen sahen wir, dass hinsichtlich der Ausgangsstoffe bei den beiden Gruppen wesentliche Unterschiede vorhanden sind. Bei den natürlichen Har-

¹⁾ Die künstlichen Harze, Stuttgart 1929.

zen, die durch die harzlifernden Pflanzengattungen zur Verfügung gestellt werden, haben wir keine genau definierten Ausgangsstoffe. Wir sind heute noch nicht in der Lage, die genauen biologischen Vorgänge anzugeben, die zu den harzbildenden Ausgangsstoffen führen. Demgegenüber kennen wir die Ausgangsstoffe für die künstlichen Harze. Damit soll aber keineswegs gesagt sein, dass wir auch alle weiteren Reaktionen, die zum Endprodukte führen, vollständig kennen. Wir haben schon erwähnt, dass zwei Gruppen von Reaktionen solche Produkte ergeben, nämlich die verharzenden Polymerisationen und die verharzenden Kondensationen. Da diese Begriffe im Zusammenhang mit künstlichen Harzen oft gebraucht werden, wollen wir kurz auf das Wesen dieser Vorgänge eingehen.

Bei den *Polymerisationsvorgängen* bilden sich aus strukturell ungesättigten Stoffen mehr oder weniger stabile grössere Molekülkomplexe mit neuen Eigenschaften. Wenn solche Vorgänge sich abspielen sollen, müssen also gewisse strukturelle Bedingungen, wie ungesättigte Bindungen usw., in den Ausgangsstoffen vorhanden sein. Wenn sie zu harzartigen Reaktionsprodukten führen, können sie als resinophile Gruppen²⁾ bezeichnet werden. Je nach den Reaktionsbedingungen sind Polymerisationsgrad und Eigenschaften sehr verschieden. Die verharzenden Polymerisationen sind vor allem auch von äusseren Einflüssen wie Druck, Temperatur und Licht abhängig. Der Einfluss der Temperatur und des Lichtes wirkt aber nur innerhalb gewisser, von den Ausgangsstoffen abhängigen Grenzen polymerisierend. Beim Ueberschreiten der günstigsten Reaktionsbedingungen kann sich eine depolymerisierende Wirkung dieser Faktoren geltend machen, so dass folgendes Reaktionsschema berücksichtigt werden muss:

Langwelliges Licht
Zulässige Temperatur
Monomeres $\rightleftharpoons$ Polymeres
Zu hohe Temperatur
Kurzwelliges Licht (nach Scheiber-Sändig, die Künstlichen Harze, Stuttgart, 1929).

Neben diesen Einflüssen können dann auch noch gewisse Katalysatoren den Polymerisationsverlauf beschleunigen. Sie wirken aber nicht generell, sondern müssen je nach den Ausgangsstoffen und der zu erreichenden Polymerisationsstufe ausgesucht werden.

Die *Kondensationen oder Kondensationsprozesse* verlaufen in einer wesentlich anderen Art. Der Chemiker versteht unter einer Kondensation eine Reaktion, bei der neue Körper erst nach dem Austritt einfacher Molekülbestandteile, wie z. B. H₂, H₂O zustande kommt. Während sich bei der Polymerisation die Formel der Polymeren als Vielfaches der Monomeren ergibt, müssen wir bei kon-

densierten Stoffen von den Formeln der einwirkenden Ausgangsstoffe noch die gebildeten Spaltstücke subtrahieren. Auch die verharzenden Kondensationen können durch gewisse äussere Einflüsse, wie Druck und Temperatur unter Umständen beeinflusst werden.

Im Zusammenhange mit den harzbildenden Vorgängen muss auch noch auf die *Aggregationen* hingewiesen werden. Darunter versteht man nach der Definition von Harries³⁾ im Gegensatz zu der Polymerisation die Bildung höhermolekularer Verbindungen aus gesättigten gleichartigen Molekülen unter der Einwirkung von Restvalenzen, Oberflächen- oder kolloidalen Kräften. Neben den Kondensationen und Polymerisationen können sich bei der Bildung künstlicher Harze auch noch Aggregationen beteiligen.

In technologischer Hinsicht gehören die natürlichen und die künstlichen Harze zu den sog. *plastischen Massen*.⁴⁾ Darunter versteht man nicht-metallische Werkstoffe, die sich verhältnismässig leicht in den bildsamen Zustand überführen lassen und daher vor allem zur spanlosen Formgebung geeignet sind. Aus dieser Kennzeichnung geht also hervor, dass gerade die Formgebung an bestimmte Eigenschaften des *plastischen Zustandes* gebunden ist und dieser also viel allgemeiner behandelt werden muss als der Harzzustand. Gewöhnlich haben wir es mit flüssigen oder festen Werkstoffen zu tun. Es gibt aber auch eine grosse Zahl, bei denen die Verarbeitung eben im sog. plastischen Zustand vor sich geht, womit dieser als ein Zwischenzustand zwischen fest und flüssig gekennzeichnet ist. Unter dem Einfluss äusserer, deformierender Kräfte sind bei diesem Zwischenzustand die physikalischen Eigenschaften sowohl des flüssigen als auch des festen Zustandes vorhanden. Das Studium des Wesens des plastischen Zustandes wurde erst in neuerer Zeit mit genauen experimentellen Methoden begonnen. Es bestehen daher heute nur sehr wenig allgemein gültige Gesetze. Die physikalischen Grössen, die z. B. für den kristallisierten Zustand gelten, sind im plastischen Uebergangsgebiet nicht ohne weiteres als Materialkonstanten zu betrachten. Der plastische Zustand ist vor allem bedingt durch bestimmte dispersoideologische Verhältnisse, d. h. der plastische Zustand ist abhängig vom Zerteilungsgrad der Werkstoffanteile. Auch für den Harzzustand sind ja ähnliche Verhältnisse von Wichtigkeit, wie wir bereits sahen. Nach dem heutigen Stande der Forschung kann gesagt werden, dass der plastische Zustand eine allgemein mögliche Zustandsform der Materie ist. Dabei muss allerdings festgehalten werden, dass nicht immer die gleichen Ursachen dies bedingen. So ist die Ursache der Plastizität eines Einkristalles nicht die gleiche wie z. B. bei einem Kunstharz. Man muss daher zwei Haupt-

²⁾ Herzog & Kreidl, Oest. Chem. Ztg. Bd. 24 (1921), S. 76, Bd. 29 (1926), S. 216. Z. ang. Chemie, Bd. 35 (1923), S. 465 und 641.

³⁾ Kolloidzeitschrift, Bd. 33 (1918), S. 181.

⁴⁾ Manfred, Kolloidchem. Technologie, Leipzig, 1932. Sommerfeld, Plastische Massen, Berlin, 1934.

arten von Plastizität unterscheiden: Die molekulare und die kolloide Plastizität. Bei der molekularen Plastizität ist die Ursache in den Gittereigenschaften zu suchen (atomarer Platzwechsel im Gitter, Gleitebenenbildung, Lockerstellen usw.). Bei der kolloidalen Plastizität dagegen werden die speziellen Eigenschaften verursacht durch die Wechselbeziehungen zwischen disperser Phase und Dispersionsmittel sowie durch die Teilchengrösse und durch die Teilchenform. Für die Kunstharze, die durch chemische Reaktionen, Kondensationen und Polymerisationen entstehen, sind vor allem die letzten beiden Faktoren zu erwähnen, was wir ja schon bei der Definition des Harzzustandes zum Ausdruck gebracht haben.

Wir haben den plastischen Zustand als Zwischenzustand zwischen flüssig und fest erkannt. Wenn also die günstigsten plastischen Eigenschaften erreicht werden sollen, dann muss ein ganz bestimmter Dispersitätsgrad eingehalten werden. So ist z. B. bekannt, dass Kautschuk durch Walzen plastifiziert wird. Wird dieser Vorgang aber zu weit getrieben, dann kommt man zum sog. totgewalzten Zustand, bei dem die plastischen Eigenschaften verloren gegangen sind. Dieses Beispiel zeigt, dass die Plastifizierung z. B. auf mechanischem Wege durchgeführt werden kann, so durch Kneten, Pressen, Walzen usw. Es findet dabei zuerst eine Desaggregation statt, die das Ausgangsmaterial in den für den plastischen Zustand richtigen Zerteilungsgrad überführt. Durch eine nachfolgende Weiterverarbeitung durch eine der erwähnten Methoden findet dann eine Reaggregation, ein Packungsvorgang, statt. Anders verhalten sich z. B. gewisse Kunstharze. Bei diesen findet zuerst die früher erwähnte chemische Reaktion statt, die vom molekulardispersen Zustand der Ausgangsstoffe zu den hochpolymeren plastischen Ausgangspunkten führen muss. Wenn die Polymerisation z. B. zu weit getrieben wird, dann ist auch in diesen Fällen eine Weiterverarbeitung nicht mehr möglich; das Material fliesst nicht mehr unter der Presse.

Die plastischen Eigenschaften sind stark abhängig von Druck und Temperatur, eventuell auch von gewissen Zusätzen wie Holzmehl, Talk usw. bei Kunstharzpressmischungen, oder von Weichmachungsmitteln.

Kunstharze (plastische Massen).

Aus der grossen Zahl der verharzenden Reaktionen, die zu künstlichen Harzen führen, können wir im folgenden natürlich nur einige wenige, für die Isoliertechnik wichtige, herausgreifen. Da das Wesen der Harze und die dem plastischen Zustande zugehörigen Eigenschaften noch verhältnismässig schlecht erforscht sind, war bis vor kurzer Zeit eine grosse Unklarheit auf diesem Gebiete vorherrschend. Die harzbildenden Reaktionen wurden nicht systematisch bearbeitet und auch die Eigenschaften der entstehenden Harze nicht zwangsläufig

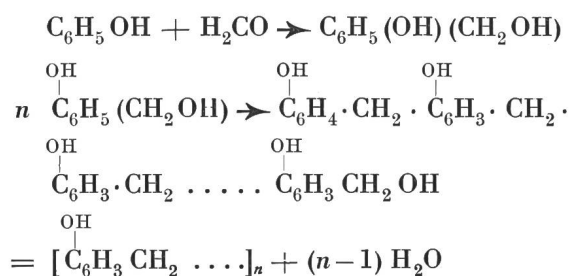
beeinflusst. Unter solchen Bedingungen war es aber gerade die Isoliertechnik, die sehr oft darunter zu leiden hatte; es wurden und werden noch heute oft ganz ungeeignete Harze empfohlen, deren chemischer Aufbau die verlangten Eigenschaften verunmöglicht. Trotz der grossen Zahl von Arbeiten, die auf dem Gebiete der künstlichen Harze gemacht wurden, traten erst in neuester Zeit die wichtigsten Grundlagen für den Aufbau der Kunstharze hervor. Bei der folgenden Besprechung der einzelnen Harzarten wollen wir daher nur diejenigen Arbeiten berücksichtigen, die nach unserer Ansicht Erkenntnisse vermitteln, die für die Erklärung bestimmter Eigenschaften und Vorgänge und für den weiteren Ausbau des Gebietes bedeutend sind.

Wie schon bemerkt, gehören die künstlichen Harze, technologisch gesprochen, zu den plastischen Massen. Um eine gewisse Ordnung in die Nomenklatur dieser Werkstoffe hereinzubringen, und um die z. T. ungeeigneten Namen endlich verschwinden zu lassen, bezeichnet man die Kunstharze, je nach ihrem Ausgangsstoff, als «Plaste» und entsprechend die aus Phenol und Kresol hergestellten Harze als «Phenoplaste», die aus Harnstoff erzeugten, stickstoffhaltigen Harze als «Aminoplaste».

Die *Phenoplaste* gehören wohl zu den am längsten bekannten Kunstharzen. Sie wurden s. Z. auf durchaus empirischer Grundlage ausgearbeitet und kamen seit 1907 durch Baekeland und Lebach als sog. Bakelit in den Handel. Es wurde von den verschiedensten Forschern versucht, die äusserst kompliziert erscheinenden Reaktionen zu erklären. Auch wurden viele Konstitutionsformeln angegeben, die aber z. T. im Widerspruch stehen mit gewissen Eigenschaften der Harze. Da wir diese ganze Diskussion hier nicht aufrollen wollen, müssen wir uns mit der Feststellung einiger der wichtigsten Tatsachen begnügen.

Wenn man in neutraler Lösung 2 Mol Phenol und 1 Mol Formaldehyd zusammenbringt, dann entsteht bei 150° C ein Harz, das schmelzbar und löslich bleibt, also nicht härthar ist. Dabei versteht man unter der Härtung der Kunstharze die Gesamtheit der Polymerisations- und Aggregationsvorgänge, die sich im Verlauf der Weiterverarbeitung abspielen. Diese Gruppe von Phenoplasten, die nicht härthar sind, bezeichnet man als Novolacke. In saurer Lösung gibt das gleiche Gemisch von Ausgangsstoffen schon bei 100° C einen solchen Novolack. Arbeitet man dagegen in alkalischer Lösung, so entsteht aus 2 Mol Phenol + 2 Mol Formaldehyd bei 60° C ein Harz, das zuerst alkohollöslich und schmelzbar ist und als Resol bezeichnet wird. Unter dem Einflusse von Wärme verwandelt sich dieses über das sog. Resitol, das nicht mehr alkohollöslich, aber noch schmelzbar ist, in den unlöslichen und unschmelzbaren Resit. Wenn die Reaktion also alkalisch geführt wird, entsteht ein härthbares Harz, das je nach dem Polymerisationsgrad verschieden plastische Eigenschaften aufweist. Je nach den Mischungsverhältnissen

der Ausgangsstoffe verläuft die Reaktion etwas verschieden, ohne aber grundsätzlich den Vorgang der Harzbildung zu beeinflussen. Es spielen sich demgemäss nacheinander folgende Reaktionen ab: Zuerst findet unter Wasserabspaltung eine Kondensation der Ausgangsstoffe statt; die dabei entstehenden Zwischenstoffe polymerisieren zu höher molekularen plastischen Stoffen nach folgendem Schema:



Es gelang neuerdings Koeber⁵⁾, solche kettenförmige Mehrkernverbindungen herzustellen. Damit ist das Bauprinzip für diese Kunstharze erkannt. Es wurde damit auch der Anschluss an die hochpolymeren Naturstoffe wie Kautschuk, Zellulose, die ja auch zu den plastischen Massen gehören und den gleichen Gerüstaufbau haben, gefunden.⁶⁾ Man hat versucht, mit Hilfe verschiedener experimenteller Methoden den Aufbau zu beweisen, was tatsächlich auch gelang; so haben z. B. neuerdings de Boer, Houwink und Custers⁷⁾ durch Verfolgung der Aenderung der Lichtabsorption und der Refraktion einen solchen Beweis erbracht. (Eine zusammenfassende Darstellung siehe A. Karsten, in «Kunststoffe», Bd. 23 (1933), S. 1.)

Wenn Kresole als Ausgangsstoffe benutzt werden, dann ist nicht nur ein kettenförmiger Aufbau vorhanden, sondern die Moleküle wachsen dann in allen drei Dimensionen, da die Kresole in drei Isomeren, nämlich als Ortho-, Meta- und Parakresole vorkommen können.

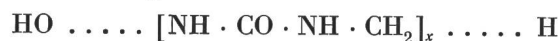
Für die Hochspannungsisoliertechnik sind vom Standpunkt guter elektrischer Eigenschaften aus am besten diejenigen Phenoplaste geeignet, die aus Metakresolen hergestellt sind.⁸⁾ Die Abhängigkeit der dielektrischen Eigenschaften wie Durchgangswiderstand, Dielektrizitätskonstante und dielektrische Verluste, von den Ausgangsstoffen, Phenolen oder Kresolen sowie vom Metakresolgehalt der letzteren wurden von Stäger eingehend untersucht.⁹⁾ Aus diesen Untersuchungen geht ebenfalls hervor, dass bei Phenolharzen eine kettenförmige Struktur vorherrscht mit ausgesprochenem polarem Charakter. Bei Kresolharzen ist der dreidimensionale Aufbau vorherrschend und die Polarität der Makromoleküle ist nur noch gering. Diese Harze zeigen die geringsten erreichbaren dielektrischen Verluste. Die

reinen Phenolharze verhalten sich gerade gegenteilig und neigen infolge ihrer polaren Molekel stark zur Kriechwegbildung.

Die *Aminoplaste*. Die künstlichen Harze, die in dieser Klasse zusammengefasst werden, stellt man her aus Harnstoff und Formaldehyd. Der grundsätzliche Reaktionsverlauf ist sehr ähnlich demjenigen der Phenoplaste. Zuerst entsteht durch Kondensation von Harnstoff und Formaldehyd ein gut definierbares Reaktionsprodukt. Im weiteren Verlaufe bildet sich daraus durch Polymerisation ein plastisches Kunstharz, das sich sehr gut verpressen lässt.

Auch in diesem Falle kann die Kondensation in verschiedener, neutraler, alkalischer oder saurer Lösung durchgeführt werden. Das entstehende Reaktionsprodukt ist dann, je nach den verwendeten Kontaktmitteln, verschieden. Ebenso entstehen verschiedene Produkte je nach dem Verhältnis Harnstoff: Formaldehyd. Es ist also auch bei den Aminoplasten wieder eine grosse Mannigfaltigkeit vorhanden, je nach den Ausgangsstoffen und den Kontaktmitteln. Wenn auch die Reaktion in den zahlreichen Möglichkeiten von gewissen Bedingungen abhängig ist, so ist doch in allen Fällen die Ausbildung von Stoffgemischen und damit die Grundbedingung für die Harzbildung erfüllt.

Trotzdem die Aminoplaste wesentlich jünger sind als die Phenoplaste, spielen sie doch heute schon eine wesentliche Rolle unter den plastischen Massen. Nachdem die technischen Prozesse zu einem gewissen Abschluss gekommen sind, hat man sich neuerdings auch mit der Erforschung des Aufbaues der Aminoplaste befasst. Vor allem sind es die Arbeiten von Bois de Chesne¹⁰⁾ und Walter u. Gerwing¹¹⁾, die eine gewisse Abklärung in der Konstitutionsfrage gebracht haben. Als wichtigste Ergebnisse können festgehalten werden: Die Aminoplaste sind wie die Phenoplaste hochpolymere Stoffgemische. Einwandfrei definierte chemische Individuen können aus dem Endprodukte, dem technisch wichtigen Kunstharz, nicht isoliert werden. Auf Grund bestimmter Abbaureaktionen lässt sich aber sagen, dass die Moleküle fadenförmigen Bau aufweisen und nach folgender Grundformel gebaut sind:



Wir haben also auch hier wieder einen ähnlichen Bau wie bei den hochpolymeren Naturstoffen, und damit ist wiederum ein gewisser Anschluss an diese gefunden. Bei den Phenoplasten haben wir darauf hingewiesen, dass bei der Verwendung von Kresolen zur Kondensation auch dreidimensionale Verbindungen entstehen können. Demgegenüber muss für die Aminoplaste nur die eindimensionale Ausbildung berücksichtigt werden.

Die Aminoplaste lassen sich auch für elektrische Isolierteile verwenden. Da, je nach der Reaktionsweise, stark solvatisierte Produkte entstehen, ist

⁵⁾ Z. angew. Chemie, Bd. 46 (1933), S. 251.

⁶⁾ Siehe z. B. K. M. Meyer und Mark «Der Aufbau der hochmolekularen organ. Naturstoffe, Leipzig, 1930.

⁷⁾ Rec. Trav. Chim. Pays Bas, Bd. 52 (1933), S. 709.

⁸⁾ Stäger, Kongressbuch IVM, Zürich, 1932.

⁹⁾ Helv. Chemica Acta, Bd. 14 (1931), S. 285.

¹⁰⁾ Kolloid chem. Beihefte, Bd. 36 (1932), S. 387.

¹¹⁾ British Plastics 498 (1932); Bd. 74 (1933).

allerdings die Temperaturbeständigkeit bei weitem nicht so gross wie bei den Phenoplasten. Aus dem gleichen Grunde muss die Temperatur beim Pressvorgang genau eingehalten werden. Bei einer bestimmten Temperatur wird je nach der Art des Harzes das Wasser abgegeben und damit das Harz zerstört. Dagegen ist die Gefahr der Kriechwegbildung bei den Aminoplasten viel geringer.

Glyptale. Es ist schon seit langem bekannt, dass mehrwertige Alkohole mit mehrbasischen Säuren reagieren und durch Kondensation zu harzartigen Produkten führen können. Durch systematische Ausarbeitung der Reaktionsbedingungen konnte aber erst vor einigen Jahren ein technisch wertvolles Harz aus Glycerin und Phthalsäureanhydrid erhalten werden. Auch in diesem Falle haben wir wieder mannigfaltige Reaktionsmöglichkeiten durch Variation der Ausgangsstoffe und der Reaktionsbedingungen. Die Glyptale lassen sich unter Einwirkung von Wärme in ein unschmelzbares Polymerisat überführen. Die sog. Härtung findet allerdings bei diesen Harzen nicht so rasch statt wie bei den Phenoplasten, so dass die Glyptale bis heute nicht durch Verpressen verarbeitet werden können. Während dagegen z. B. die Phenoplaste nicht als Klebmittel für Glimmer zu gebrauchen sind und, wie bereits gesagt, je nach den Ausgangsstoffen stark zur Kriechwegbildung neigen, hat Glyptal diese beiden nachteiligen Eigenschaften nicht; es wird heute neben Schellack als gutes Glimmerklebmittel empfohlen. Für die im folgenden zu besprechenden Isolierstoffe kommen die Glyptale allerdings nicht in Frage.

Polyvinyl- und Polystyrolharze. Die beiden Gruppen von künstlichen Harzen wurden deshalb zusammengezogen, weil ihre Entstehung auf einem reinen Polymerisationsvorgang beruht. Wie wir schon weiter oben gesehen haben, findet die Polymerisation dann statt, wenn ungesättigte Verbindungen in den Molekülen der Ausgangsstoffe vorhanden sind. Die Polyvinylharze (auch kurz Vinylharze genannt) leiten sich ab von dem an und für sich nicht beständigen Vinylalkohol $\text{CH}_2 = \text{CHOH}$. Man geht daher von den verschiedenen Abkömmlingen, die beständig sind, aus, wie z. B. Vinylacetat und Vinylchlorid, um die Vinylharze herzustellen. Ganz ähnlich verhält sich das Styrol oder Vinylbenzol $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH} = \text{CH}_2$. Der Polymerisationsgrad bei beiden Kunstharzgruppen kann stark beeinflusst werden durch Katalysatoren, vor allem aber auch durch Licht und Temperatur. Man muss heute annehmen, dass auch bei dem Polyvinyl- und Polystyrolharz die hochmolekulare Kettenstruktur dem Aufbau zugrunde liegt. Diese Harze haben keine sehr grosse Wärmebeständigkeit (z. B. Trolitul bis etwa 60°C), weisen dagegen bei gewöhnlicher Temperatur geringe dielektrische Verluste auf. Sie sind daher für Isoliermaterialien, bei denen eine Wärmebeanspruchung in Frage kommt, nicht zu verwenden.

Anilinarharze. Wenn Anilin und Formaldehyd in saurer oder neutraler Lösung zur Reaktion gebracht

werden, entsteht ein polymerer, kristallisierter Körper, der durch Erhitzen in ein Harz übergeführt werden kann. Solche Reaktionen zwischen Aminen und Aldehyden wurden oft für die Erzeugung künstlicher Harze empfohlen. Bis heute erlangten diese Harze allerdings keine Bedeutung für die Isolier-technik. Köhler¹²⁾ führte an solchen Anilinarharzen dielektrische Messungen durch und stellte dabei fest, dass sie ursprünglich ausgesprochene Dipoleigenschaften aufweisen, die dann im Laufe der Zeit bei der Polymerisation des Harzes mehr und mehr verschwinden, wodurch die Abnahme der dielektrischen Verluste mit zunehmendem Polymerisationsgrad erklärlich ist.

Zelluloseabkömmlinge. Wenn auch die Derivate der Zellulose nicht als eigentliche Kunstharze zu bezeichnen sind, so sind sie doch immerhin ausgesprochene plastische Massen. Seit einiger Zeit werden sie auch immer wieder zu Isolierzwecken empfohlen, so dass in diesem Zusammenhange kurz von diesen Produkten gesprochen werden soll. Die beiden wichtigsten Zelluloseabkömmlinge sind wohl die Zellulosenitrate und die Zelluloseacetate. Nowack¹³⁾ untersuchte verschiedene solche Produkte und mass vor allem die Veränderungen der dielektrischen Eigenschaften. Bei möglichst niederen dielektrischen Eigenschaften sollen Isoliermaterialien aus solchen Ausgangsstoffen auch möglichst unempfindlich sein gegen Feuchtigkeitsaufnahme. Die Versuche von Nowack zeigten nun, dass die vollständig acetylierten oder nitrierten Zellulosen genügende Feuchtigkeitsbeständigkeit aufweisen und dielektrische Verluste ergeben, die nicht grösser sind als bei Hochspannungskabelpapier. Wenn aber nur teilweise acetylierte oder nitrierte Zellulose verwendet wird, dann ändert sich das Bild wesentlich; die Feuchtigkeitsbeständigkeit wird verschlechtert und die dielektrischen Verluste nehmen zu. Wir machten selbst eingehende Versuche mit Zelluloseabkömmlingen und können diese Angaben nur bestätigen. Bei niedriger Acetylierung konnten wir sogar feststellen, dass bei dauernder Einwirkung des elektrischen Feldes weit unterhalb der Durchschlagsspannung bereits eine Zerstörung des Zelluloseesters herbeigeführt werden kann. Noch empfindlicher scheinen in dieser Hinsicht nach unseren Versuchen die Zellulosenitrate zu sein. Wenn gewisse Weichmachungsmittel zugesetzt werden, dann verschlechtern sich die dielektrischen Eigenschaften z. T. beträchtlich. Wir konnten weiterhin feststellen, dass die Zelluloseäther sich in dielektrischer Hinsicht besser verhalten als die Zelluloseester. Wenn aber Zelluloseabkömmlinge für Hochspannungsisolationen in Frage kommen sollen, dann müssen sie noch wesentlich verbessert werden.

Nichtkeramische kautschukfreie Isolierstoffe.

Aus verschiedenen der besprochenen künstlichen Harze werden in Verbindung mit anorganischen und organischen Füllmitteln und Trägern die man-

¹²⁾ Kolloidzeitschrift, Bd. 49 (1932), S. 143.

¹³⁾ Z. ang. Chemie, Bd. 46 (1933), S. 584.

nigfaltigsten Isolierstoffe hergestellt. Die Mannigfaltigkeit ist aber nicht nur durch die Anwendung einer grossen Zahl von Kombinationen zwischen Harzen und Zusätzen zu erreichen, sondern auch in der Verarbeitungsart. Es lassen sich gegossene, kalt- und warmgepresste Produkte herstellen. Massgebend ist für die Verarbeitungsart unter anderm der Plastifizierungszustand des verwendeten Harzes zu Beginn der Weiterverarbeitung. Die einzelnen Fabrikate tragen gewöhnlich alle möglichen Phantasiebezeichnungen. Der Konstrukteur, der die Werkstoffe als Bauelemente benutzen soll, weiss aber damit nichts über die Zusammensetzung und die Eigenschaften des betreffenden Isolierstoffes. Um eine gewisse Ordnung und eine brauchbare Klassifizierung der mannigfaltigen Isolierstoffe zu ermöglichen, wurden verschiedene Typen aufgestellt. Der Zentralverband der deutschen Elektrotechnischen Industrie führte unter Berücksichtigung der neuesten plastischen Massen die Typisierung nach Ta-

sion 19 des SVMT arbeitete zur Bestimmung der Härte von Isoliermaterialien auch entsprechende Vorschriften aus, nachdem vorher eingehende Untersuchungen durchgeführt worden waren.¹⁵⁾ Gegenwärtig sind Versuche im Gange, die zur Festlegung einer Methode zur Bestimmung der Zerreiissfestigkeit führen sollen. Es sind schon verschiedene Probestäbe zur Ermittlung der Zerreiissfestigkeit in einzelnen Ländern normalisiert, z. B. in Amerika, die aber nicht vollständig befriedigen, so dass weitere Vergleichsversuche unbedingt nötig sind.

In der Typisierungstabelle, von der hier ein Teil abgedruckt ist, wurden auch noch gewisse elektrische und thermische Eigenschaften berücksichtigt, die wir in unserem Auszuge nicht angeben, da nach unserer Auffassung die Einteilung in Güteklassen, soweit sie den Oberflächenwiderstand betrifft, nicht dem direkten Bedürfnisse des Konstrukteurs entspricht. Wir haben daher in den

Typisierung der nichtkeramischen, kautschukfreien Isolierstoffe.

Tabelle I.

Type	Zusammensetzung	Mechanische Eigenschaften		Verarbeitungsart
		Biegefestigkeit kg/cm ²	Schlagbiegefestigkeit cmkg/cm ²	
1	Phenoplastisches Kunstharz mit anorganischem Füllstoff	500	3,5	Warmpressung
0	Phenoplastisches Kunstharz mit organischem Füllstoff . .	600	5,0	Warmpressung
S	Phenoplastisches Kunstharz mit organischem Füllstoff . .	700	6,0	Warmpressung
T	Phenoplastisches Kunstharz mit organischem Gespinst als Füllstoff	600	12,0	Warmpressung
K	Aminoplastisches Kunstharz mit organischem Füllstoff . .	600	5,0	Warmpressung
7	Naturharz, natürl. oder künstl. Bitumen mit Asbest und mineral. Füllstoff	250	1,5	Warmpressung
8	Natürl. od. künstl. Bitumen mit Asbest und mineralischem Füllstoff	150	1,0	Warmpressung
A	Azetylzellulose mit oder ohne Füllstoff	300	15,0	Warmpressung
N	Nitrozellulose mit Füllstoff	300	4,0	Warmpressung
2	Kunstharz mit Asbest und mineral. Füllstoff	350	2,0	Kaltpressung
3	Kunstharz mit Asbest und mineral. Füllstoff	200	1,7	Kaltpressung
4	Natürl. oder künstl. Bitumen m. Asbest od. mineral. Füllstoff	150	1,2	Kaltpressung
Y	Bleiborat mit Glimmer	1000	5,0	Warmpressung
X	Zement oder Wasserglas mit Asbest oder mineral. Füllstoff	150	1,5	Kaltpressung

belle I ein.¹⁴⁾ In dieser Tabelle sind enthalten die Typenbezeichnungen, die Zusammensetzung, die Mindestwerte der mechanischen Eigenschaften und die Verarbeitungsart. In der Schweiz wurden die mechanischen Prüfungen und die zugehörigen Probestäbe der Isolierstoffe durch den schweizerischen Verband für die Materialprüfungen der Technik (SVMT), Kommission 19, festgelegt. Die Probestababmessungen sind die gleichen wie beim VDE, so dass die Werte für die Biegefestigkeit und die Schlagbiegefestigkeit sich entsprechen. Somit sind also auch die in Tabelle I angeführten Mindestwerte als Richtlinien massgebend. Die Kommis-

später folgenden Tabellen entsprechende Messwerte zusammengestellt und die Vergleichszahlen nach VDE daneben aufgeführt. Viel wichtiger als der Oberflächenwiderstand ist der Durchgangswiderstand, und weiter sind die dielektrischen Verluste, die Dielektrizitätskonstante und die elektrische Festigkeit für Isolierstoffe von grösster Wichtigkeit. Angaben über diese Eigenschaften finden sich ebenfalls in den folgenden Tabellen. Wir gaben, wenn irgendwie möglich, obere und untere Grenzwerte aus einer grossen Zahl eigener Messungen an. Auch Literaturwerte wurden berücksichtigt.

¹⁴⁾ ETZ, Bd. 53 (1932), S. 708.

¹⁵⁾ Stäger u. Tschudi, Bull. SEV, Bd. 26 (1930), S. 225.

Mit Absicht wurden in Tabelle I die thermischen Eigenschaften weggelassen, weil die Tabelle nur über Zusammensetzung und Verarbeitungsart Auskunft geben soll. In Tabelle V sind die entsprechenden Werte für das thermische Verhalten zusammengestellt, und zwar sind wir dabei gleich vorgegangen wie bei den elektrischen Werten. Wir möchten an dieser Stelle noch mit ein paar Worten auf die Glutsicherheit und die damit zusammenhängende Kriechwegbildung eingehen. In den verschiedenen Ländern wurden verschiedene Methoden zur Bestimmung der Feuergefährlichkeit von organischen Isolierstoffen ausgearbeitet, ohne dass bis heute ein wirklich befriedigendes Verfahren gefunden worden wäre. Schob¹⁶⁾, der sich selbst massgebend mit

¹⁶⁾ ETZ, Bd. 54 (1933), S. 555.

diesen Fragen befasste, kann vorläufig auch nur diese Feststellung machen. Es sind gegenwärtig in den massgebenden Laboratorien ausgedehnte Versuchsreihen im Gang, und es muss erst abgewartet werden, bis diese Versuche so weit vorgeschritten sind, dass eine Vergleichung der einzelnen Resultate möglich ist. Erst dann werden wir in der Lage sein, eine massgebende Prüfmethode vorzuschlagen.

Wenn auch in diesem Zusammenhange die Typisierung noch nicht einwandfrei ist, so ist sie doch im grossen und ganzen sehr wertvoll für den Konstrukteur, weil er daraus sofort ersehen kann, wie ein Isoliermaterial zusammengesetzt ist und wie es verarbeitet wurde.

(Fortsetzung folgt.)

Netzanschluss mit Glimmstrecken-Spannungsteiler als Batterieersatz.

Von H. Meyer, Zürich.

621.316.722 : 621.385.2

Der Verfasser gibt einen Ueberblick über die Grundlagen der Stabilisierung von Stromquellen durch Glimmstrecken-Spannungsteiler sowohl in der gewöhnlichen als auch in Brückenschaltungen. Solche Einrichtungen eignen sich für Laboratoriums- und ähnliche Zwecke. Es wird ferner eine verbesserte Brückenschaltung angegeben; einige am Laboratorium für Hochfrequenztechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule ausgeführte Beispiele werden kurz beschrieben.

L'auteur donne un aperçu des questions fondamentales de la stabilisation des sources de courant au moyen des potentiomètres à tubes à décharge, soit en montage courant, soit en montage en pont. De tels dispositifs sont appelés à rendre service dans les laboratoires et pour des buts semblables. L'auteur indique ensuite un montage en pont perfectionné et décrit brièvement quelques exemples d'application exécutés par le laboratoire à haute fréquence de l'Ecole Polytechnique Fédérale.

Die Stabilisation von Stromquellen durch Glimmstrecken-Spannungsteiler ist in der Literatur sowohl theoretisch, als auch mit Rücksicht auf den praktischen Gebrauch schon eingehend dargestellt worden. Es kann sich hier nicht darum handeln, Bekanntes ausführlich zu wiederholen, sondern es soll lediglich für den praktischen Gebrauch eine Zusammenstellung der wichtigsten Grundlagen und Schaltungen gegeben werden, auch unter Zuhilfenahme einiger bei uns ausgeführter Beispiele.

Der Stabilisator oder Glimmstrecken-Spannungsteiler benützt die Eigenschaft der Glimmstrecken, dass die angelegte Spannung nur wenig abhängt vom durchgehenden Strom. Die Charakteristik einer solchen Glimmstrecke zeigt Fig. 1 in stark über-

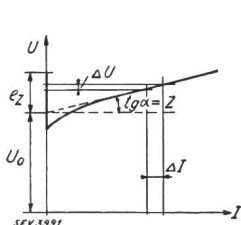


Fig. 1.
Charakteristik einer Glimmstrecke, stark überhöht gezeichnet.

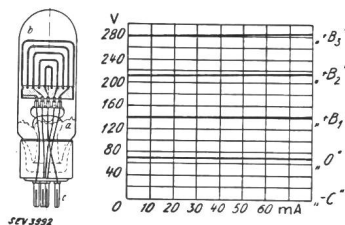


Fig. 2.
Aufbau und Charakteristik eines Stabilisators STV 280/80.

höhter Darstellung, und man erkennt daraus leicht, dass im interessierenden Bereich die Spannung durch den Ausdruck $U = U_0 + I \cdot z$ dargestellt werden kann, worin $z = \frac{dU}{dI}$ den Wechselstrom-

widerstand der Strecke bedeutet. Der Wechselstromwiderstand (bei Stabilisatorröhren ca. 20 Ω pro Strecke) nimmt mit zunehmender Frequenz zu und steigt bis 2500 Per./s auf ungefähr den doppelten Wert; er kann aber durch parallel geschaltete Kapazitäten von 2 μF für alle Frequenzen leicht unter 20 bis 30 Ω gehalten werden. In der Stabilisatorröhre sind nun vier solche Strecken von je 70 Volt Brennspannung hintereinander geschaltet, von denen jede gleiche Charakteristik besitzt (Fig. 2). Stabilisatoren können hintereinander geschaltet oder, wenn weniger Spannung gebraucht wird, einzelne Strecken kurzgeschlossen werden, hingegen ist Parallelschaltung nicht möglich.

Der Stabilisator muss über einen Vorwiderstand an das Gleichstromnetz oder an den Gleichrichter angeschlossen werden, und zwar soll am Vorwiderstand eine Spannung von ungefähr der Hälfte der Spannung am Stabilisator liegen (siehe folgenden Abschnitt). Dabei sind auch der innere Widerstand des Gleichrichters und die Gleichstromwiderstände allfälliger Siebdrosselspulen zum Vorwiderstand R

zu rechnen. Es ist $R = \frac{U_N - U_{stab}}{I_{tot}}$, worin I_{tot} gleich

der Summe der durch die Belastungen P und durch den Stabilisator fliessenden Ströme zu setzen ist. Durch den Stabilisator soll stets ein Strom von mindestens 10 bis 15 mA fliessen. Der maximale Strom im Stabilisator tritt auf, wenn die Belastungen weggenommen werden, da dann der Laststrom ebenfalls durch die Glimmstrecken fliessen muss. Die