

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 58 (1967)
Heft: 21

Artikel: Elektrolytische Korrosion durch Giessharze
Autor: Purt, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916291>

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: 18.03.2025

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

scheint es notwendig zu sein, die Gesetzmässigkeiten im Steilimpulsbereich vor allem in experimenteller Hinsicht zu erfassen und durch konkrete Aussagen zu festigen, die dann als Basis einer denkbaren Steilimpuls-Koordination dienen können, mit dem Ziel: Noch mehr Sicherheit für unsere Hochspannungsanlagen!

Literatur

- [1] K. Berger: Surtensions et foudre. Texte sténographique des discussions de la CIGRE 1960. Vol. I, Groupe 33, S. 868...872.
- [2] K. Berger: Gewitterforschung auf dem Monte San Salvatore. ETZ-A 82(1961)8, S. 249...260.
- [3] K. Berger: Front Duration and Current Steepness of Lightning Strokes to the Earth. In: Gas Discharges and the Electricity Supply Industry. Proceedings of the International Conference held at the Central Electricity Research Laboratories, Leatherhead, Surrey, England 7th...11th May 1962. London, Butterworth 1962.
- [4] H. Prinz, W. Zaengl und O. Völcker: Das Bergeron-Verfahren zur Lösung von Wanderwellenaufgaben. Bull. SEV 53(1962)16, S. 725...739.
- [5] H. Dommel: Programmierung elektrotechnischer Probleme beim Satz von Digitalrechnern. Bull. SEV 54(1963)25, S. 1065...1076.
- [6] H. Prinz und H. Dommel: Überspannungsberechnung in Hochspannungsnetzen. 6. Betriebsleitertagung der Allianz, München 1964.

- [7] K. Berger und E. Vogelsanger: Messungen und Resultate der Blitzforschungen der Jahre 1955...1963 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 56(1965)1, S. 2...22.
- [8] K. Berger und E. Vogelsanger: Photographische Blitzuntersuchungen der Jahre 1955...1965 auf dem Monte San Salvatore. Bull. SEV 57(1966)14, S. 599...620.
- [9] H. Dommel: A Method for Solving Transient Phenomena in Multiphase Systems. In: Proceedings of the Power System Computation Conference, Stockholm 1966. Part 3, Report 5.8, S. 1...23.
- [10] J. Wiesinger: Stoßstromionisierte Funkenstrecken. Bull. SEV 57(1966)4, S. 139...149.
- [11] J. Wiesinger: Mehrfachfunkenentladungen — Mehrfachblitzentladungen. Techn. Rdsch. 58(1966)53, S. 41, 43 + 54.
- [12] J. Wiesinger: Der Einfluss der Frontdauer der Stoßspannung auf das Ansprechverhalten von Funkenstrecken. Bull. SEV 57(1966)6, S. 243...246.
- [13] J. Wiesinger: Absinken der elektrischen Festigkeit von Funkenstrecken bei steilen Stoßspannungen. Bull. SEV 58(1967)3, S. 113...118.
- [14] E. Flegler: Der Einfluss der Spannungsform auf das elektrische Isoliervermögen. Energie und Technik 19(1967)2, S. 41...47.
- [15] H. Kärner: Die Erzeugung steilster Stoßspannungen hoher Amplitude. Erscheint demnächst im Bull. SEV.
- [16] H. Kärner und J. Wiesinger: Kritische Bemerkungen zur Ermittlung der charakteristischen Grössen von abgeschnittenen Stoßspannungen. ETZ-A 88(1967)14, S. 339...343.

Adresse des Autors:

Dr. Hans Prinz, o. Professor, Direktor des Institutes für Hochspannungs- und Anlagentechnik der Technischen Hochschule München, Arcisstrasse 21, D-8 München 2.

Elektrolytische Korrosion durch Giessharze

Von G. Purt, Männedorf

620.193.7 : 621.315.616.97

Giessharze, nach einem ISO-Vorschlag besser als Vergussharze zu bezeichnen, sind thermoplastische, oder duroplastisch vernetzbare Kunststoffe, die sich in offene Formen vergiessen lassen. Die heute sicher bedeutendste Gruppe dieser Werkstoffklasse stellen die, seit etwa zwei Jahrzehnten bekannten und unter der Sammelbezeichnung «Epoxidharze» (Abkürzung «EP») zusammengefassten Produkte dar [1]¹⁾. Ihr Name rührt von der in ihrem Molekülverband enthaltenen, konstitutionellen Epoxidgruppe her. Die ursprünglichen Vertreter dieser Gattung wurden früher auch Aethoxylinharze genannt. Man erhielt sie durch die Kondensation von Epichlorhydrin und Diphenylpropan [2]. Epichlorhydrin ist auch heute noch der wesentliche Reaktionspartner dieser Polykondensation, da es die Epoxidgruppe liefert. An Stelle von Diphenylpropan setzt man aber neuerdings abgewandelte Verbindungen ein. Auf diese Weise lässt sich eine Vielzahl von Harztypen mit unterschiedlichen Eigenschaften herstellen. Das kommerzielle Angebot ist für den Nichtfachmann kaum mehr zu überblicken.

Durch ihre ausgezeichneten Eigenschaften konnten sich die EP in der Elektrotechnik eine hervorragende Stellung sichern, deren Bedeutung noch stark zunehmen wird, [3; 4; 5]. Die leichte Verarbeitbarkeit und gute Klebewirkung, verbunden mit meist vorzüglichen elektrischen Eigenschaften und chemischer Beständigkeit, verführen den Verbraucher oft zur unbedenklichen Anwendung dieser Produkte. In den meisten Fällen wird diese Wahl nicht zu bereuen sein. Im folgenden soll jedoch gezeigt werden, dass in gewissen Grenzfällen der Einsatz von EP sehr gefährlich werden kann.

1. Problematik der Giessharze

Im Gegensatz zu den klassischen Werkstoffen, wird bei EP eine viel grössere Zahl verschiedenartigster Produkte unter einen Sammelbegriff vereinigt. Dies gilt nicht nur für

Harze verschiedener Provenienz. Auch das Sortiment eines einzigen Herstellers umfasst, chemisch gesehen, die verschiedensten Materialien unter einem Marken-Namen. Die Fülle des Angebotes wird durch Mischungen und mehrere Härtertypen zusätzlich erweitert. Allen den daraus herstellbaren, sehr unterschiedlichen Fertigprodukten, ist abgesehen von z. B. der typischen Epoxidgruppe, nur wenig gemeinsam.

Dem Konstrukteur, der gewohnt ist, mit den klassischen Werkstoffen umzugehen, ist diese Problematik kaum bekannt. Auch in Publikationen und Firmenschriften wird selten auf diesen wesentlichen Punkt hingewiesen. Der Anwender von EP wird mit grosser Wahrscheinlichkeit in seinem ersten Versuch positive Erfahrungen machen. Es ist naheliegend, dass er diese vorbehaltlos auf die ganze Werkstoffgruppe überträgt. Vor einer solchen Vereinfachung muss gewarnt werden. Sie ist nicht einmal für das Typen-Sortiment ein und desselben Herstellers zulässig. Es wäre sehr wünschbar, wenn die Erzeuger hier ein grösseres Mass an Aufklärung walten liessen. Sie sollten auch davon abgehen, ihre verschiedensten Produkte unter einem gemeinsamen Marken-Namen auf den Markt zu bringen.

Der Verbraucher muss lernen, dass immer eine spezifische Prüfung des einzusetzenden Produktes notwendig ist. Sie sollte auch die genügende Erprobung in der gewünschten Anwendung bei allen erwartbaren Umgebungsbedingungen des praktischen Einsatzes berücksichtigen. Die Unterlassung solcher Vorsichtsmassnahmen ist nur dann zulässig, wenn der Hersteller auf Grund von Erfahrungen die Bewährung seines Produktes im speziellen Fall garantieren kann. Nur wenn so vorgegangen wird, kann man sich vor unliebsamen Überraschungen sichern.

2. Prüfung von Giessharzen

Die Prüfung von Giessharzen wird in der Fachliteratur ausführlich behandelt. Meistens liegt aber das Gewicht auf

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

mechanischen Untersuchungen und der Kontrolle leicht bestimmbarer elektrischer Eigenschaften, wie z. B. dem spezifischen Widerstand usw. [6]. Prüfwerte dieser Art sind gewöhnlich schon in den Firmenschriften enthalten.

Daneben gibt es aber eine Reihe weiterer Kennwerte, die für den Anwender von ausschlaggebender Bedeutung sein können, so z. B. die Kriechstromfestigkeit, das elektrische Verhalten in feuchter Umgebung, die elektrolytische Korrosionswirkung und andere. Entsprechende Angaben sind kaum in Prospekten aufgeführt. Manchmal sind sie dem Hersteller der Harze nicht einmal bekannt. Dies ist erstaunlich, zumal sogar Prüfnormen für deren Ermittlung existieren. Beispielsweise wurde bisher der elektrolytischen Korrosionswirkung der EP viel zu wenig Beachtung geschenkt. Sie kann aber bei einzelnen Typen sehr beträchtlich sein und in speziellen Anwendungen zu ernstlichen Störungen Anlass geben. Ähnliches gilt sicher auch für die anderen Eigenschaften.

3. Elektrolytische Korrosionswirkung

Die elektrolytische Korrosion durch Kunststoffe ist schon sehr lange bekannt. Ausgedehntere Untersuchungen an Isolierbändern über dieses Problem gehen bereits auf das Jahr 1940 zurück [8]. Sie bildeten offenbar auch die Grundlage für entsprechende ASTM-Prüfvorschriften [9]. Es ist befremdend, dass die einschlägigen Prüfvorschriften für Giessharze sehr viel jüngeren Datums sind [7]. In der Fachliteratur über die Prüfung von Isolierstoffen wird die elektrolytische Korrosionswirkung meistens nicht erwähnt.

Vereinzelte Hinweise über diese Erscheinung finden sich nur für Hartpapiere und Isolationen mit PVC [10; 11]. Hier tritt die Korrosion meist am negativen Pol des Gleichstrompotentials auf. Sie lässt sich auch auf spezielle Verunreinigungen und ungeeignete Weichmacher zurückführen.

Die Ursache für die elektrolytische Korrosion ist eine durch Ionen bedingte Leitfähigkeit des Isolierstoffes. Sie wird immer dann auftreten, wenn der Isolierstoff ionogene Bestandteile oder Molekülgruppen aufweist. Diese können z. B. aus dem Herstellprozess stammen. Im Falle einer nicht kompletten Umsetzung bei der EP-Kondensation enthalten die anfallenden Produkte merkliche Mengen Restchlor [12].

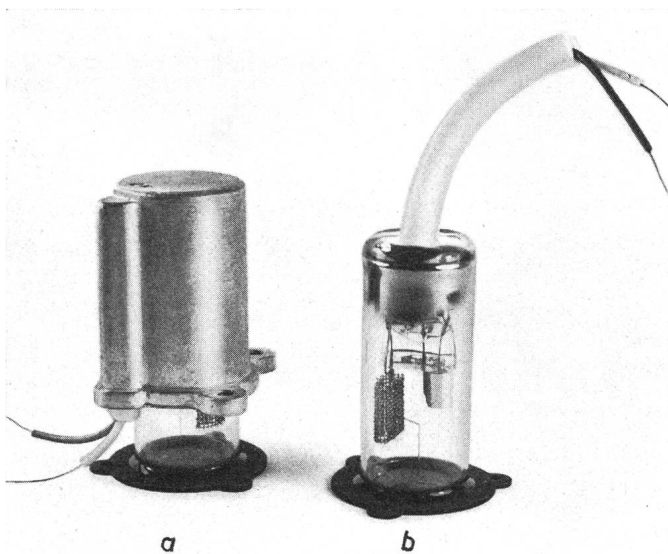


Fig. 1
Gesockelte a und ungesockelte b Elektronenröhre

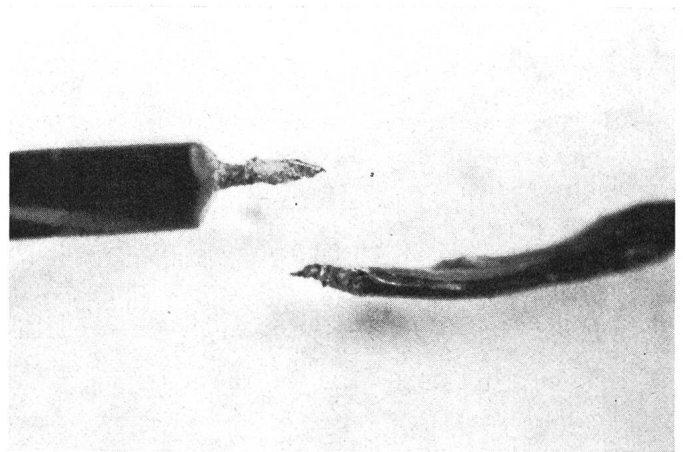


Fig. 2
Durch elektrolytische Korrosion zerstörter Kupferleiter von 0,35 mm Durchmesser

Durch Ammin-Härter scheint die ionische Leitfähigkeit verstärkt zu werden. Möglicherweise kann beim Aushärtvorgang durch die Bildung quarternärer Ammoniumchloride nichtionogenes Chlor in ionogenes umgewandelt werden.

Andererseits dürften auch durch erhöhte Wasseraufnahme Ionen aus dem Molekülverband des Giessharzes gebildet werden. Diese Ansicht bestätigt sich durch die Tatsache, dass die elektrolytische Korrosionswirkung in feuchter Umgebung stark gefördert wird. Die Güte eines Isolierstoffes wurde von Praktikern übrigens immer schon an Hand der Wasseraufnahme beurteilt.

Die zerstörende Wirkung der elektrolytischen Leitfähigkeit steigert sich bei hoher Gleichspannung an den Elektroden, wie sie z. B. bei elektronischen Schaltungen auftreten kann. Durch den elektrolytischen Strom im Isolierstoff werden eingebettete Stromleiter an Stellen positiven Potentials unter Umständen bis zu ihrer Zerstörung abgebaut. Der Vorgang folgt den Faradayschen Gesetzen der Elektrolyse. Bei den häufig als Leiter verwendeten Kupferdrähten ist der anodische Angriff besonders heftig. Es bilden sich grünliche Salzbeläge, die vermutlich komplexe Hydroxosalze des Kupfers sind [8].

Für das Einbetten von elektronischen Schaltungen werden in der Literatur Giessharze ohne Einschränkung empfohlen [5]. Gleiches gilt für das Sockeln von Elektronenröhren [13]. Sicher gibt es noch mehr Beispiele für solche unzulässigen Verallgemeinerungen. Einzelne Harztypen mögen sich in vielen Fällen auch bewährt haben, trotzdem ist Vorsicht geboten.

Es soll nun am Beispiel einer Elektronenröhre gezeigt werden, welche Auswirkungen die elektrolytische Korrosion von EP haben kann.

In Fig. 1 ist eine Elektronenröhre gezeigt, an deren Elektroden im praktischen Einsatz ein Gleichstrompotential von 220 V angelegt wird. Als Sockelungsmaterial fand ein flexibilisiertes Epoxidharz Verwendung. Die durch den Quetschfuss führenden Drähte sind zwar zusätzlich mit Silikonkautschuk-Schläuchen isoliert, stehen aber unmittelbar an der Glasdurchführung mit dem Sockelharz in Kontakt. Der Sockelbecher ist komplett mit EP gefüllt.

Im Zuge des Auswahlverfahrens für ein geeignetes Sockelungsmaterial, das bei der Fabrikation zum Einsatz kommen sollte, wurden verschiedene Produkte untersucht. Die Prüfung, die neben EP auch andere Kunststoffe umfasste, ergab

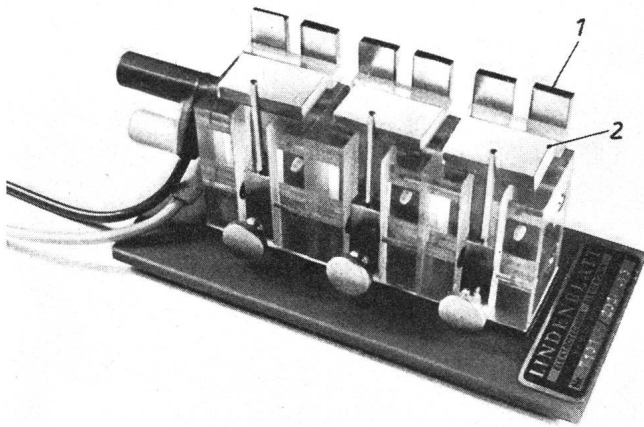


Fig. 3
Prüfvorrichtung nach DIN 53489
1 Messingfolie; 2 Prüfling

beträchtliche Unterschiede in der Korrosionswirkung. Sorgfältig für die Sockelung ausgelesene Giessharztypen ergaben bei einer Prüfung im praktischen Einsatz nach mehreren Jahren keine merkliche Korrosion. Noch bessere Ergebnisse erzielte man mit fast indifferenten Silikonkautschuk-Produkten. Bei Verwendung eines korrosiven Harztyps hingegen, kann unter Tropenklima und normalen Betriebsbedingungen, bereits nach 4...6 Wochen eine Zerstörung des anodischen Kupferdrahtes auftreten, wie dies Fig. 2 zeigt.

Vor der Verwendung eines Giessharzes unter ähnlichen Bedingungen sollte immer die Prüfung der elektrolytischen Korrosionswirkung nach DIN 53489, [7] erfolgen. Diese ermöglicht mindestens eine erste Auslese. Trotzdem ist auch ein praxisnaher Test über längere Zeit unumgänglich, wenn man sich vor Schaden sichern will [14]. Zweckmässig wird hierbei die ganze Schaltung, bzw. die Röhre mechanisch vollkommen zerlegt und optisch auf Korrosionserscheinungen untersucht. Oft ist die Korrosion von aussen nicht erkennbar oder sie ist relativ nur gering. Für eine Funktionssicherheit von mehreren Jahren wird aber auch die minimalste Korrosion vermieden werden müssen.

Ergebnisse der Korrosionsprüfung einiger Werkstoffe
nach DIN 53489
(Mittelwerte mehrerer Bestimmungen)

Tabelle I

Werkstoffgruppe	Hersteller	Korrosionsstufe	
		anodisch ¹⁾	katodisch ²⁾
Bakelit		AB	1,4...1,6
Hartpapier		AB	1,8...2,0
Glasfaser-Epoxy	a)	AB	1,8...2,0
Glasfaser-Epoxy	b)	+AB	1,8...2,0
Nylon		A	1,0...1,2
Polyäthylen	a)	A	1,2
Polyäthylen	b)	A	1,2
Polykarbonat	a)	+AB	1,6...1,8
Polykarbonat	b)	A	1,0
Polymethacrylsäureester		A	1,0
Polytrifluorchloräthylen		A	1,0
Polystyrol		AB	1,8...2,0
Polymethylenoxid	a)	A	1,0
Polymethylenoxid	b)	AB	1,4
Polypropylenoxid	a)	A	1,2
Polypropylenoxid	b)	+AB	1,2
Polyvinylchlorid		+AB	1,2...1,4

¹⁾ Korrosionsstufen anodisch: A, —A, +AB, AB, —AB, +B, B
²⁾ Korrosionsstufen kathodisch: 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 3,0 4,0

4. Ergebnisse von Korrosionsprüfungen

Die Korrosionsprüfung nach DIN 53489 lässt sehr rasch einen Überblick über die Güte eines Isolierstoffes gewinnen. Fig. 3 zeigt die dafür benützte Vorrichtung, welche in einem Feuchteschrank unter Gleichspannung zu halten ist. Messingfolien dienen zur optischen Beurteilung der Korrosion. Aus einem Vergleich ergibt sich dann der sog. Korrosionswert für katodischen und anodischen Angriff.

Die Tabelle I vermittelt einen Überblick über die Korrosionswerte einiger häufig benützter Isolierstoffe. Die Beurteilungsreihe nach DIN 53489 umfasst den Übergang von Korrosionsfreiheit, (A 1,0), über mehrere Stufen bis zur starken Korrosion, (B 4,0). Die Versuchsdauer beträgt nur 4 Tage. Es ergeben sich dabei sehr erhebliche Unterschiede. Renomierte Verbraucher halten sich deshalb an gewisse Hausnormen. So werden z. B. in wichtigen Einsatzgebieten nur Materialien mit Prüfwerten von A 1,0 bis A 1,2 zugelassen. Für Giessharze gelten ähnliche Anforderungen. Ein einwandfreies Verhalten derselben unter Gleichstrom ist dann für etwa 20 Jahre durchaus erwartbar. Bei einem Korrosionswert von mehr als AB 2,0 hingegen darf angenommen wer-

Ergebnisse der Korrosionsprüfung einiger Vergussmassen
nach DIN 53489

Tabelle II

	Her- steller	Korrosionsstufe	
		anodisch ¹⁾	katodisch ¹⁾
<i>Epoxidharze</i>			
Nicht flexibilisiert, heiss härtend	a)	A	1,0
Nicht flexibilisiert, heiss härtend	a)	AB	1,2
Nicht flexibilisiert, kalt härtend	a)	A	1,4
Wenig flexibilisiert, kalt härtend	a)	+AB	1,6...1,8
Wenig flexibilisiert, kalt härtend	b)	AB	1,4...1,6
Wenig flexibilisiert, kalt härtend	b)	AB	1,2
Stark flexibilisiert, kalt härtend	a)	B	2,0...3,0
Stark flexibilisiert, kalt härtend	a)	B	4,0
Stark flexibilisiert, kalt härtend	b)	—A	1,6...1,8
Stark flexibilisiert, kalt härtend	b)	—A	1,2...1,4
<i>Silikonkautschuk</i>			
Si-gel, transparent		AB	1,4...1,6
RTV-Typ	a)	A	1,0
RTV-Typ	b)	—A	1,2

¹⁾ Die Korrosionsstufen sind aus Tabelle I ersichtlich.

den, dass Kupferdrähte mit 0,35 mm Durchmesser bei Tropenklima schon nach ca. 3 Monaten durchkorrodiert sein können.

In der Tabelle II sind die Prüfwerte einiger EP-Harztypen im Vergleich mit Silikonkautschuk-Produkten angegeben. Es zeigt sich ganz deutlich, dass einzelne flexibilisierte Epoxidharztypen den Anforderungen nicht genügen. Dies beschränkt sich nicht nur auf Harze verschiedener Provenienz. Auch solche eines einzigen Herstellers zeigen starke Unterschiede. Alle Produkte dieser Tabelle waren zur Zeit der Untersuchung im Handel ohne Einschränkung käuflich. RTV-Typen von Silikonkautschuk sind weniger korrosiv.

5. Zusammenfassung

Praktische Erfahrungen zeigen, dass es in der Elektroindustrie Grenzen für die Anwendung einzelner Giessharztypen gibt. Die unbedenkliche Verwendung von solchen Giessharzen ist nicht ratsam, auch wenn dafür Empfehlun-

gen vorliegen. Die Auswahl und die Qualitäts-Beurteilung eines bestimmten Harztyps muss durch eine Prüfung erfolgen. Diese soll Informationen liefern, die über die normalen Angaben der Hersteller hinausgehen. Nur auf solche Weise kann man sehr unangenehmen Erfahrungen vorbeugen.

Literatur

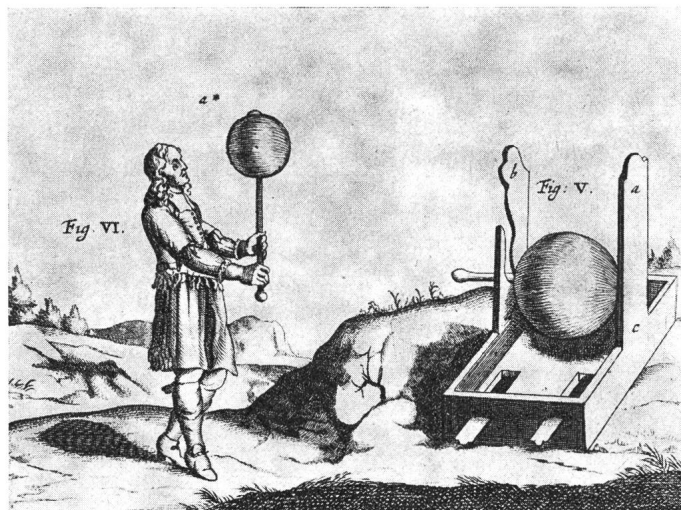
- [1] *E. Preiswerk*: Zwanzig Jahre Araldit-Funktionserfindung. Die Binde-funktion der Äthoxylin-(Epoxy)-Harze. *Technika* 14(1965)4, S. 247...263 + Nr. 5, S. 355...369.
- [2] *G. Schulz*: Die Kunststoffe. Eine Einführung in ihre Chemie und Technologie. 2. Auflage. München, Hanser, 1964.
- [3] *E. Preiswerk*: Äthoxylinharze in der Elektrotechnik. *ETZ-B* 5(1953)1, S. 5...8.
- [4] *R. Stierli*: Epoxidharze in der Elektroindustrie. *Kunststoffe* 53(1963)8, S. 541.
- [5] *C. A. Harper*: *Electronic Packaging with Resins. A Practical Guide for Materials and Manufacturing Techniques*. New York, McGraw-Hill, 1961.
- [6] *H. Grüner*: Elektrotechnische Messungen an Isoliermaterialien aus Kunststoffen. *Kunststoffe* 53(1963)8, S. 499.
- [7a] Prüfverfahren für Giessharze, Reaktionsmittel und Giessharzmassen. DIN-Norm 16945, Blatt 1.
- [7b] Bestimmungen für elektrische Prüfungen von Isolierstoffen. Bestimmung der elektrischen Widerstandswerte. VDE-Vorschrift 0303/Teil 3, 10.55.
- [7c] Beurteilung der elektrolytischen Korrosionswirkung von elektrischen Isolierstoffen. DIN-Norm 53489.
- [8] *H. N. Stephens* and *G. G. Gehrenbeck*: Causes of Corrosion of Fine Copper Wires Carrying a Potential. *Electr. Engng.* 59(1940)-, S. 357...360.
- [9] Standard Methods of Testing Pressure Sensitivity Adhesive Coated Tapes Used for Electrical Insulating. ASTM-D 1000-64. In: 1965 Book of ASTM Standards, Part 29: Electrical Insulating Materials. Philadelphia, ASTM, 1965, S. 569.
- [10] *H. Stäger*: *Werkstoffkunde der elektrotechnischen Isolierstoffe*. Berlin, Bornträger, 1955.
- [11] *H. Haudenschild*: Selbstklebende Elektroisolationen. *Bull. SEV* 53(1962)25, S. 1221...1228.
- [12] *W. J. Belanger* and *S. A. Schulte*: Chlorine Content of Epoxy Resins. *Modern Plastics* 37(1959)3, S. 154...159.
- [13] *W. Espe*: *Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik*. Bd. III: Hilfswerkstoffe. Berlin, Verlag der Wissenschaften, 1961.
- [14] *H. Jubisch*: *Klimaschutz elektrischer Geräte*. Berlin, Verlag Technik, 1965.

Adresse des Autors:

Dr. G. Purt, Technische Abteilung der Cerberus AG, 8708 Männedorf.

EIN BLICK ZURÜCK

Experimente von Otto von Guericke mit der Schwefelkugel



Deutsches Museum München

Die Frage, welche der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke mit seinen Versuchen um die Mitte des 17. Jahrhunderts beantworten wollte, war eine kosmische. Er wollte wissen, welche Kräfte im leeren Raum die Planeten in ihre Bahnen um die Sonne zwangen. Um nun ein Stück des luftleeren Weltalls auf der Erde untersuchen zu können, erfand er die Luftpumpe.

Zu den Kräften, welche Guericke in seine Experimente einbezog, gehörte auch die Elektrizität. Der Leibartz der Königin Elisabeth von England, *William Gilbert*, hatte 1600 ein Buch über den Magnetismus veröffentlicht und darin auch Untersuchungen über die elektrische Anziehung, die er als erster von der magnetischen unterschied, beschrieben¹⁾. Guericke brauchte eine etwas kräftigere Quelle der Elektrizität als ein Stück Bernstein. Er schmolz in einer kugelförmigen Glasflasche Schwefel, liess ihn erstarren und zerschlug das Glas. Die so erhaltene etwa kinderkopfgrosse Schwefelkugel steckte er auf

eine eiserne Achse. In einem Holzgestell konnte er sie drehbar lagern und mit der Hand reiben. Für seine Experimente nahm Guericke die Schwefelkugel aus dem Holzgestell heraus.

Das, was Guericke sich hier baute, war noch keine Elektrisiermaschine im heutigen Sinn, aber es war der erste Ansatz hiezu.

Gilbert kannte nur die elektrische Anziehungskraft, Guericke entdeckte die elektrische Abstossung. Er trieb eine nach Berührung mit der Schwefelkugel aufgeladene Flaumfeder in beliebiger Richtung vor sich her. Seine Schwefelkugeln lieferten so viel Elektrizität, dass unter Knistern elektrische Funken übersprangen, wie aus seinem Briefwechsel mit *Leibniz*²⁾, dem er eine Schwefelkugel überlassen hatte, hervorgeht. Der Vergleich mit Blitz und Donner lag nahe, aber es sollten noch etwa 100 Jahre verstreichen, bis *Benjamin Franklin* die Identität von Blitz und elektrischem Funken experimentell nachweisen konnte.

¹⁾ s. *Bull. SEV* 55(1964)1, S. 4. ²⁾ s. *Bull. SEV* 57(1966)11, S. 485.

A. Wissner

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Behandlung von Transformatoren — Kriterien der Qualität und Methoden zur Erreichung des Zieles

621.314.21

[Nach *J. Binggeli, J. Frotdevaux* und *R. Kratzer*: *Le Traitement des Transformateurs. Critères de qualité et d'achèvement du processus*. *Cigré-Bericht* 110, 1966, S. 1...18]

In den verschiedenen Materialien, aus welchen die Isolation eines neuen Transformators besteht, sind Spuren von Feuchtigkeit, Gasen und Verunreinigungen enthalten. Ihr Einfluss auf die Lebensdauer der Isoliermaterialien ist wohl prinzipiell bekannt,

es sollen jedoch vernünftige Grenzen über die zulässige Menge an Fremdstoffen nach der Schlussbehandlung eines Transformators angegeben werden.

Beim Dielektrikum Öl ist ein geringer Wassergehalt nicht schädlich, solange er 5 ppm nicht übersteigt und solange gleichzeitig keine festen Verunreinigungen auftreten, an welche sich das Wasser anlagern könnte. Die Gasaufnahme eines Öles im Betrieb setzt zwar seine dielektrische Festigkeit um 20...30 % herab, noch wichtiger ist aber der Einfluss auf die Lebensdauer des Apparates, weshalb dem sicheren Luftabschluss alle Achtung zu schenken