

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 39 (1948)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Prüfung und Bewertung von Isoliermaterialien  
**Autor:** Zürcher, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057956>

### **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:** 25.12.2024

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

### Keramisches Material

Präsident Roosevelt zollte den Engländern in seinem Bericht «Gemeinsame Hilfe im Krieg — Der britische Beitrag» besondere Anerkennung, indem er beispielsweise darauf hinwies, dass durch die Verwendung von wichtigen Entwicklungen auf dem Gebiete der Fabrikation von gesintertem Aluminiumoxyd neue Zündkerzen — also keramische Durchführungsisolatoren — für Flugzeuge hergestellt werden konnten, die eine vier- bis fünfmal längere Lebensdauer besitzen.

Kurz erwähnt werden müssen die neuen Materialien mit besonders hohen Dielektrizitätskonstanten, die zur Hauptsache auf den Titanaten der Erdalkali-Metalle, englisch auch «ferro-electrics» oder «titanate-ceramics» genannt, beruhen. Durch bestimmte Zusätze war es möglich, Dielektrizitätskonstanten von der Grössenordnung von 1000...3000 zu erzielen.

Auf dem keramischen Gebiet entwickelt sich in England eine neue Technik. Durch das Einbrennen einer ganz schwach leitfähigen Glasur wurde es möglich, an Freiluft-Porzellan-Isolatoren unter allen Wetterbedingungen und Verschmutzungsgraden eine äusserst vorteilhafte, gleichmässige Spannungsverteilung zu erzwingen.

### «Schweissen» von Isoliermaterial

Die Einführung der Schweisstechnik für Metalle gab dem Konstrukteur neue, ungeahnte Möglichkeiten. Eine ähnliche Entwicklung zeichnet sich heute für Isoliermaterialien ab.

Zwei Beispiele seien erwähnt:

In der englischen Spezialfirma der Isoliertechnik, in der ich tätig war, hatten Chemiker die Aufgabe, isolierende Klebstoffe, sogenannte «Adhesives» oder «Plastic Glues» zu entwickeln. Für die Durchführung von Koronaversuchen unter Öl konnten wir

dazu ohne Schwierigkeiten einen Öltrog aus zusammengeschweissten, grossen Isolierrohren und -platten herstellen, der das elektrische Feld bei den Versuchen nicht beeinflusste.

Für Transformatoren von Röntgenanlagen stellen wir Spulenkörper ebenfalls aus Rohren und Platten her. Versuche zeigten eine ganz erstaunliche elektrische Festigkeit der Klebeschicht. Aber auch die mechanische Festigkeit ist äusserst bemerkenswert, und da Isolierstoffe nicht nur untereinander, sondern auch mit Metallen, Holz, Glas usw. verbunden werden können, darf im Laufe der nächsten Jahre mit einer umwälzenden Entwicklung im Apparatebau gerechnet werden. Statt durch Nieten oder Zusammenschrauben verbunden zu werden, wird vieles nur geklebt werden können.

### Isolationsprüfer

Zum Schluss noch etwas Interessantes für Betriebsleiter: Vor einigen Jahren entwickelte ein Ingenieur des Central Electricity Board, Mr. Forrest, eine tragbare Prüfeinrichtung, die heute von vielen englischen Elektrizitätswerken mit Erfolg verwendet wird. Bei Spannungen bis 5 kV können Isolationswiderstände bis 40 000 M $\Omega$  gemessen werden. Es wurde nachgewiesen, dass damit viele Isolationsdefekte im Anfangsstadium entdeckt werden können. Jetzt führt man damit auch Ölprüfungen durch, da die normale elektrische Festigkeitsprüfung nicht immer befriedigt und die Erfahrung gezeigt hat, dass zwischen Verlustziffer und Gleichstromwiderstand von Isolierölen eine für solche Feldmessungen ausreichende Übereinstimmung herrscht. Ein einziger Apparat vereinigt somit die Anforderungen eines Isolationsprüfers für Durchführungen mit denen eines Ölprüfgerätes.

Adresse des Autors:

G. A. Meier, Ingenieur, A.M.I.E.E., Gloriestrasse 70, Zürich 44.

## Prüfung und Bewertung von Isoliermaterialien

Vortrag, gehalten an der Isolationstagung des SEV vom 24. April 1947 in Zürich,  
von M. Zürcher, Zürich

621.315.61.0014

*Es werden die grundsätzlichen Gesichtspunkte dargelegt, welche bei der Prüfung von organischen Werkstoffen in bezug auf ihre Verwendung als Isoliermaterial zu berücksichtigen sind. Neben der sinngemässen Auswertung der Resultate der Werkstoffprüfung einerseits und der Gebrauchsprüfung am fertigen Objekt andererseits ist die Veränderung der Eigenschaftswerte durch Feuchtigkeit und erhöhte Temperatur zu beachten. Auf Grund der Gesamtheit aller Daten muss der Verwendungsbereich eines Isolierstoffes abgegrenzt werden.*

*L'auteur expose quels sont les points essentiels dont il faut tenir compte lors de l'essai de matières organiques destinées à servir d'isolants. Ces matières doivent être essayées non seulement au point de vue de leurs propriétés mécaniques et électriques et du comportement à l'usage des objets confectionnés avec de telles matières, mais aussi de la modification de leurs qualités sous l'influence de l'humidité et d'une température élevée. Le domaine d'utilisation d'une matière isolante doit être délimité en tenant compte de toutes les indications ainsi obtenues.*

### Allgemeines

Es ist die Aufgabe der Materialprüfung, auf Grund möglichst einfacher Prüfungen einen Werkstoff so zu charakterisieren, dass sein Anwendungsgebiet vom Konstrukteur richtig abgegrenzt werden kann. Die Qualität eines Apparates ist eine Funktion der Materialeigenschaften und der Güte der Konstruktion. Sehr oft kann bei Verwendung verhältnismässig minderwertiger oder billigerer Materia-

lien durch geschickte Anwendung eine gute Konstruktion geschaffen werden, während die Anwendung hochwertiger, teurer Werkstoffe nutzlos ist, wenn sie zufolge unzureichender Konstruktion nicht vollständig ausgenützt werden können. Die Güte der Dauerhaftigkeit eines Apparates kann nur durch Prüfungen am fertigen, endgültig ausgeführten Objekt beurteilt werden. Dazu ist es nötig, eine Gebrauchsprüfung vorzunehmen, welche die Be-

anspruchungen im Gebrauch möglichst genau nachahmt. Die Methodik der Gebrauchsprüfung, deren Resultate im wesentlichen über die Sicherheit der gesamten Konstruktion Auskunft geben, und welche die Frage nach den Materialeigenschaften erst in zweiter Linie berücksichtigt, muss daher für jeden Apparat einzeln ausgearbeitet und kann nicht allgemein behandelt werden. Dagegen lassen sich die Eigenschaften des Werkstoffes durch allgemein definierte physikalische oder chemische Daten, welche miteinander vergleichbar sind, genau darstellen. In der Folge sollen diejenigen näher behandelt werden, welche für die Beurteilung von Isolierstoffen von Bedeutung sind.

Bei der Verwertung und Vergleichung von Messresultaten darf nicht übersehen werden, dass eine Messung nie absolut genaue Zahlen liefert, sondern dass das Resultat immer mit einem Fehler behaftet ist, der je nach der Art des Messvorganges mehr oder weniger gross sein kann. Auch bei der Beurteilung von Isolierstoffen ist daher nicht nur die Kenntnis der Messresultate von Bedeutung, sondern es ist auch der sinngemässen Berücksichtigung ihrer Fehler die nötige Aufmerksamkeit zu schenken.

Die

### Durchschlagspannung

ist heute noch vielfach das allgemein gebräuchliche Mass für die Beurteilung der Isolierfähigkeit eines Werkstoffes. Man versteht darunter gewöhnlich diejenige Spannung, bei der ein Durchschlag erfolgt, wenn die Spannung am Prüfling in vorgeschriebener Weise gesteigert wird. Bei den meisten Isolierstoffen, besonders bei organischen, findet dabei ein sogenannter Wärmedurchschlag statt. Es spielen sich folgende Vorgänge ab: Zufolge der immer vorhandenen minimalen Leitfähigkeit fliesst unter dem Einfluss der Spannung ein Strom, welcher eine lokale Erwärmung verursacht, wodurch die Leitfähigkeit erhöht, der Strom also vergrössert wird. Dieser Vorgang beschleunigt sich selbst, bis die Erwärmung so stark wird, dass infolge thermischer Zersetzung oder Schmelzens des Isolierstoffes der Durchschlag eintritt. Die genaue Betrachtung des Reaktionsmechanismus lehrt, dass bei der üblichen Bestimmung der Durchschlagspannung nicht ein stationärer Zustand beobachtet wird, was z. B. bei der Bestimmung des spezifischen Widerstandes der Fall ist, sondern, dass an Hand der Spannung die Endgeschwindigkeit einer auf komplizierte Art beschleunigten Reaktion gemessen wird. Es ist daher begreiflich, dass die Bestimmung von Durchschlagspannungen, selbst wenn sie am gleichen Objekt gemessen werden, eine grosse Streuung aufweist, und nur eine rohe Beurteilung der elektrischen Eigenschaften zulässt. Der durch den zeitlichen Verlauf des Vorganges bedingte Fehler kann etwas herabgesetzt werden, wenn aus einer Reihe von Versuchen mit jeweils konstanter Spannung diejenige Spannung ermittelt wird, welche in einer gegebenen Zeit zum Durchschlag führt (Bestimmung des Ein- oder Fünfminutenwertes), was aber eine grosse Zahl von Einzelbestimmungen erfordert.

Auch wenn durch genaue Vorschriften über die Art der Spannungssteigerung der zeitliche Verlauf des Vorganges möglichst konstant gehalten und durch Vorschriften über die Elektrodenform die Feldverteilung möglichst genau definiert wird, ist es sehr schwer, Messungen an verschiedenen Materialdicken aufeinander umzurechnen und zu vergleichen.

Bei der Bestimmung der Durchschlagspannung mit Hilfe von kurzzeitigen Kondensatorentladungen (Stossdurchschlag) kann die Erwärmung des Prüflings vernachlässigt werden, so dass eine rein elektrische Beanspruchung angenommen werden darf; doch zeigen erfahrungsgemäss auch die Werte der Durchschlagstoßspannung eine sehr starke Streuung, welche durch verschiedene Zufälligkeiten bedingt ist. Dazu kommt, dass die Beanspruchung durch Stoss nur in wenigen Fällen den praktisch vorkommenden elektrischen Beanspruchungen entspricht, die meistens von längerer zeitlicher Dauer sind. Die Durchschlagspannung erlaubt daher nur eine erste grössenordnungsmässige Orientierung und sollte nicht als einziges Kriterium für die Güte eines elektrischen Isolierstoffes betrachtet werden. Dagegen ist die Spannungsprüfung am fertigen Objekt, die als Gebrauchsprüfung mit einer durch die verlangte Sicherheit geforderten Spannung während einer bestimmten Zeit ausgeführt wird, für die Beurteilung der Konstruktion von grundlegender Bedeutung.

Der

### spezifische Widerstand

ist eine physikalisch exakt definierte Zahl, die ein genaues und vergleichbares Bild über die Qualität eines Isolierstoffes zulässt. Der spezifische Widerstand kann prinzipiell immer bestimmt werden, wenn der Isolierstoff in definierter geometrischer Form vorliegt. Bei vielen Isolierstoffen, besonders bei thermoplastischen (z. B. Polyvinylchloridderivaten) besitzt der spezifische Widerstand einen nicht zu vernachlässigenden Temperaturkoeffizienten, dessen Angabe zur Charakterisierung des Isolierstoffes unerlässlich ist. Bei Isolierstoffen mit geringem elektrischen Widerstand, die bereits den Charakter von Halbleitern annehmen, ist zu beachten, dass Widerstand und Meßspannung nicht mehr streng dem Ohmschen Gesetz folgen; die Angabe der Meßspannung und Messfrequenz darf in diesen Fällen nicht unterlassen werden.

Der sogenannte

### Oberflächenwiderstand,

der bisweilen als Charakteristikum für Isolierstoffe angegeben wird, soll den Widerstand «in» oder «auf» der Oberfläche des Isolierstoffes darstellen. Dieser Grösse liegt keine exakte physikalische Definition zugrunde, denn was gemessen wird, ist im wesentlichen die durch Verunreinigung der Oberfläche erzeugte Leitfähigkeit. Eine allfällige Feuchtigkeitsadsorption durch den Isolierstoff ist von dessen Oberflächengüte und von den äusseren Umständen abhängig und muss auf andere Art be-

stimmt werden. Der Oberflächenwiderstand ist daher kein brauchbares Kriterium für die Beurteilung von Isolierstoffen.

#### Verlustwinkel und Dielektrizitätskonstante

sind physikalisch exakt definierte Grössen, die für die Beurteilung von Isolierstoffen von grundlegender Bedeutung sind. Sie sind sehr genau und eindeutig messbar und müssen namentlich für Isolierstoffe, die für hohe Spannungen und Frequenzen bestimmt sind, immer bekannt sein. Da beide Grössen unter Umständen sehr stark temperatur- und frequenzabhängig sind, muss auch ihre Abhängigkeit von diesen Variablen untersucht werden.

Die bisher erwähnten, rein elektrischen Daten genügen aber allein nicht, um dem Materialprüfer ein Urteil über den Verwendungsbereich und die Güte eines Isolierstoffes zu erlauben. Erst durch die Kenntnis von weiteren rein physikalischen und chemischen Daten ist er in der Lage, die Brauchbarkeit eines Isolierstoffes richtig einzuschätzen. So muss z. B. der Einfluss der Temperatur nicht nur in bezug auf die elektrischen, sondern auch auf die mechanischen Daten bekannt sein. Bei thermoplastischen Massen beispielsweise sind der Erweichungspunkt, oder das Erweichungsintervall und dessen Grösse, sowie die Temperatur, bei welcher die Masse hart und spröde wird, von praktischer Bedeutung. Die Abhängigkeit der Reissfestigkeit und Dehnung ist oft charakteristisch für einzelne Stoffe. Die härtbaren Kunststoffe zeigen verschiedene Hitzebeständigkeit, wodurch ihre Verwendung in thermischen Apparaten gegeben ist. Keramische Isolierstoffe, die für hohe Temperaturen verwendet werden, werden bei bestimmten Temperaturen zu Halbleitern.

#### Wasseraufnahme

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Brauchbarkeit eines Isolierstoffes ist sein Verhalten gegenüber Wasser, sei es flüssiges Wasser oder Wasserdampf, weil durch die Wasseraufnahme das Isoliervermögen eines Stoffes bis zur Unbrauchbarkeit verändert werden kann. Ob der Mechanismus der Wasseraufnahme auf einer Adsorption an der Oberfläche oder den Korngrenzen entlag, auf einer Hydratation, wie z. B. beim Wasserglas, oder auf einer kristallwasserartigen, valenzmässigen Bindung beruht, ist für den Elektrotechniker nicht die Hauptfrage. Wichtig ist, dass er erfährt, wieviel Wasser aufgenommen werden kann, mit welcher Geschwindigkeit dies erfolgt, und wie dadurch der Isolationswiderstand verändert wird. Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme ist einerseits durch die Differenz der Wasserdampfdrucke des Prüflings und desjenigen der Umgebung, und andererseits durch die Diffusionsgeschwindigkeit des Wassers im Innern des Isolierstoffes bedingt. Da die Diffusionsgeschwindigkeit im Innern, wo nur sehr kleine Wasserdampfdruckdifferenzen vorliegen, unter Umständen sehr klein ist, müssen die Probestücke längere Zeit in konditionierter Atmosphäre gelagert und messend verfolgt werden, bis ein Gleichge-

wichtszustand mit der Aussenatmosphäre erreicht ist.

#### Langzeitversuche

Die Wasseraufnahme ist ein Beispiel für eine ganze Reihe von Vorgängen, die von Natur aus sehr langsam verlaufen, und deren Geschwindigkeit von aussen nicht verändert werden kann, ohne dass dies eine grundlegende Veränderung des Reaktionsmechanismus herbeiführen würde. Die volle Erfassung solcher Vorgänge erfordert daher Prüfungen, die sich über längere Zeiträume erstrecken. Besonders bei der Einführung neuer, bisher unbekannter Werkstoffe ist es oft schwierig bis unmöglich, auf Grund kurzzeitiger Laboratoriumsversuche eine Aussage über die praktische Bewährung der Werkstoffe im Verlaufe längerer Zeiträume zu machen. Die meisten Alterungserscheinungen (z. B. beim Kautschuk), ferner das Herausdestillieren und Auskristallisieren von Weichmachern bei Thermoplasten, der Einfluss von Sonnenlicht, Wechselwirkung zwischen Wärme und Kälte, Feuchtigkeit und Trockenheit, Bildung von Schimmel, Verblassen von Farbstoffen, Korrosionen, Wirkung des elektrischen Feldes usw. sind Vorgänge, die sich nur sehr schwer sinngemäss beschleunigen und in kurzer Zeit beobachten lassen. Selbst auf die Gefahr hin, dass die Resultate erst greifbar sind, wenn die Werkstoffe bereits längere Zeit im Betrieb stehen, darf bei neuen Stoffen nicht unterlassen werden, rechtzeitig Langzeitversuche anzusetzen, welche die wirklich vorkommenden Beanspruchungen genau reproduzieren. Erst durch die Mitberücksichtigung der Resultate von Langzeitversuchen ist es möglich, ein vollständiges und richtiges Bild über die praktische Brauchbarkeit von neuen Werkstoffen zu erhalten.

#### Schlussfolgerungen

Die Entwicklung bedingt eine grosse Mannigfaltigkeit der Materialien und der daraus hergestellten Isolierstoffe, die ebenso grosse Variationsmöglichkeiten in der Anwendung erlauben. Wir können heute nicht allgemein sagen, ein Isolierstoff sei gut oder schlecht, und wir können ihn auch nicht durch eine einzige Zahl, z. B. die Durchschlagsspannung, erschöpfend charakterisieren.

Das Ergebnis von Gebrauchsprüfungen am fertigen Gegenstand, die ohne Kenntnis der Materialzusammensetzung von einem primitiven Standpunkt aus einfach feststellen, ob der Apparat hält oder nicht, mag für den Praktiker genügen; der Konstrukteur aber, der Neues schaffen will, muss alle Eigenschaften der Werkstoffe, wenn immer möglich zahlenmässig, kennen und verstehen, um sie sinngemäss und rationell verwenden zu können.

Die enge Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Verbraucher ist wichtig, und um sie zu fördern, ist es nötig, dass einerseits der Hersteller seine Werkstoffe möglichst eingehend und offen beschreibt, und andererseits der Verbraucher seine Forderungen an den Werkstoff ebenso ausführlich und klar darlegt.

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. M. Zürcher, Ingenieur-Chemiker der Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.