Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 58 (1967)

Heft: 22

Artikel: Zur Wahl einer international zu normenden Konzeption für die Auswahl von Isoliermaterialien

Autor: Wohlfahrt, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916297

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: 14.05.2025

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

Zur Wahl einer international zu normenden Konzeption für die Auswahl von Isoliermaterialien

Von *O. Wohlfahrt*, Rüschlikon

621.315.61 : 389.6

Auf internationaler Ebene wird eine Revision der bisherigen Vorschriften für die Auswahl von Isoliermaterialien zur Isolierung elektrischer Leiter in Apparaten, Maschinen usw. diskutiert. Es sollte ein geeigneter Kompromiss zwischen den beiden Konzeptionen I: Aufstellung verbindlicher Materiallisten und II: Aufstellung von Empfehlungen für funktionelle Prüfungen gefunden werden. Der Autor gelangt zur Ansicht, dass der günstigste Kompromiss für die entscheidende Mehrheit der Beteiligten und bei Berücksichtigung der Möglichkeiten der Commission Electrotechnique Internationale (CEI) in der Nähe der Konzeption II gesucht werden sollte.

Une révision des Prescriptions jusqu'à présent en vigueur lors du choix des matériaux isolants, destinés à l'isolement de conducteurs d'appareils, de machines etc. fait l'objet de discussions sur le plan international. Un compromis approprié devrait concilier les deux conceptions suivantes: I établissement de listes de matériaux obligatoires; II rédaction de Recommandations concernant les essais fonctionnels. L'auteur partage pour finir la conviction, que le compromis le plus avantageux à la majorité des interessés, compte tenu des facultés de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI) se rapproche davantage de la conception II.

Die vorliegende Arbeit ist als Beitrag gedacht zur Diskussion über die internationale Normung von Richtlinien und Empfehlungen zur Auswahl von Isoliermaterialien zur Isolierung von Leitern elektrischer Maschinen und Apparate im Rahmen der Commission Electrotechnique Internationale (CEI). Das heutige zu behebende Interregnum ist weitgehend eine Folge einer ungeeigneten Publikation der CEI. Deren Befolgung kann beim heutigen Stand der Technik und als Folge der bei den Verhandlungen gemachten Kompromisse Uneinheitlichkeiten sowie Unklarheiten zur Folge haben.

1. Einleitung

Es gibt, von der Seite der Isoliermaterialien aus gesehen, zwei in der Grundidee verschiedene Konzeptionen für die Auswahl von Isoliermaterialien zur Isolierung der Leiter in elektrischen Apparaten und Maschinen [1]):

Konzeption I

Klassierung von Isoliermaterialien nach irgendwelchen Gesichtspunkten, wie z. B. «Verwendbar bei Betriebstemperaturen bis . . .» [1; 2] [2]), «Chemische Zusammensetzung» [1], «Endzustand und Form, Art und Anwendung, Veränderungen während der Verarbeitung» [3]. Die Auswahl zum Einsatz der Isolierstoffe in den Apparaturen und Maschinen würde aufgrund der in Listen niedergelegten Eigenschaften erfolgen. Diese Listen würden durch eine internationale Körperschaft veröffentlicht werden und dadurch bindenden Charakter erhalten.

Konzeption II

Festlegung und Definierung von Prüfmethoden auf internationaler Ebene, die einen relativen Vergleich von Isoliermaterialien erlauben. Aufstellung von international anerkannten Richtlinien für Prüfungen von Systemen und Prototypen, die als Nachweis der Betriebstüchtigkeit einer Materialkombination in einem ganz bestimmten Anwendungsfall gelten würden. In dieser Richtung weisen z. B. [4...14; 17].

Im Idealfall wären beide Konzeptionen möglich, in der Praxis ergänzen sie sich. Es ist denkbar, dass Listen ausgearbeitet werden könnten, die so viele Angaben enthielten, dass eine geeignete Auswahl für jede vorkommende Betriebsbeanspruchung und in jeder interessanten Kombination, d. h. in jedem System, getroffen werden könnte. Anderseits können sicher nach einer gegebenen Philosophie so viele Prüfungen genormt werden, dass jeder Betriebsfall aller Apparate und Maschinen durchgeprüft werden könnte.

Keine dieser Konzeptionen ist bis zur letzten Konsequenz als Arbeitsunterlage oder gar als internationale Norm durchführbar. Das Problem ist es nun, jenen Kompromiss zu finden, der international Anerkennung findet, in einer tragbaren Zeit fertiggestellt und leicht durch Revisionen «à jour» gehalten werden kann, sowie für die meisten Beteiligten eine brauchbare Arbeitsunterlage liefert.

Vom Apparat bzw. von der Maschine her sind grundsätzlich drei Betrachtungsweisen für eine Beeinflussung der Auswahl von Materialien üblich, die in der Praxis meistens nicht klar getrennt werden. Die ersten beiden nehmen allein auf thermische Gesichtspunkte Rücksicht, weil dies oft die ausgeprägteste, erfassbarste und meist auch wesentlichste Beanspruchung der Isolation ist, während die dritte mehr das gesamte Verhalten erfasst.

Bei der ersten Betrachtungsweise setzt der Konstrukteur voraus, dass es bei der Abnahmeprüfung nicht möglich ist, seinem Kunden an jeder Stelle eines Apparates die maximale Betriebstemperatur nachzuweisen. Es wird darum eine Konvention darüber getroffen, welche Temperatur massgebend für die Materialauswahl sein soll (mittlere Wicklungstemperatur plus ein Sicherheitszuschlag; mit einem Thermometer an der vermutlich wärmsten Stelle gemessene Temperatur usw.). Diese Temperatur ist dann massgebend für den ganzen Apparat bzw. die Maschine. Die Erzeugnisse werden aufgrund dieser Temperatur in thermische Klassen eingeteilt.

Die zweite Betrachtungsweise setzt die Anerkennung der Möglichkeit voraus, die im Betrieb auftretenden Temperaturen an allen Stellen des Apparates, wo Isoliermaterialien eingesetzt wurden, nachweisen zu können.

Bei der dritten Betrachtungsweise muss der Konstrukteur geeignete Modell- bzw. Typen-Versuche durchführen als Nachweis dafür, dass die von ihm getroffene Materialauswahl für die Betriebsbedingungen des Apparates die richtige ist.

Die beiden Konzeptionen I und II können bei allen drei beschriebenen Betrachtungsweisen angewendet werden, wobei die dritte Variante mit der Konzeption II besonders harmoniert.

2. Geschichtliches

Die Fragestellung, die damit verbundenen Probleme und die heutigen Diskussionen in den Normungsgremien können kaum verstanden werden ohne die Kenntnis der geschichtlichen Entwicklung der international genormten Richtlinien für die Auswahl von Isoliermaterialien.

Der erste international bedeutende Versuch war eine Listen-Konzeption. Die Experten für elektrische Maschinen [1] veröffentlichten eine international anerkannte Klassifikation der Isoliermaterialien auf der Basis zulässiger Be-

[1]) Der Begriff Apparate und Maschinen beinhaltet in vorliegender Arbeit alle elektrischen Einrichtungen, also auch Kabel, Kondensatoren usw.

[2]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

triebstemperaturen. Die damaligen Betriebserfahrungen mit den wenigen zur Verfügung stehenden Materialien erlaubten ohne Schwierigkeiten eine Einteilung in vier Klassen entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung:

Klasse 0: Baumwolle, Seide, Papier oder ähnliche organische Materialien weder imprägniert noch in Öl getaucht.

Klasse A: Baumwolle, Seide, oder ähnliche organische Materialien imprägniert oder in Öl getaucht, sowie Lackdraht.

Klasse B: Glimmer und Asbest und ähnliche anorganische Materialien verbunden mit einer bindenden Masse. Sofern aus strukturellen Gründen eine kleine Menge Material der Klasse A zusammen mit solchem der Klasse B verwendet wird, ist dies erlaubt, solange dadurch das Betriebsverhalten bei Verwendung als Klasse B-Material nicht ungünstig beeinflusst wird.

Klasse C: Glimmer ohne bindende Masse, Porzellan, Quarz und ähnliche Materialien.

Die maximale Umgebungstemperatur bzw. Temperatur des Kühlmediums und die zulässige, an der Maschine wirklich messbare Übertemperatur der einzelnen Teile (z. T. «mittlere Temperatur», z. T. «wärmste Stelle») bestimmten die Klasse der Isoliermaterialien, die an dem jeweiligen Maschinenteil angewendet werden durften.

Die Klassifikation war nicht weiter ausbaufähig. Das einzige Kriterium «zulässige Betriebstemperatur» konnte auf keinen Fall genügen, um eine Materialauswahl treffen zu können. Der Konstrukteur war auf eigene Versuche, Betriebserfahrungen usw. angewiesen. Die Einschränkung der Auswahl bezüglich des Optimums *aller* bedeutenden Eigenschaften wurde vom Konstrukteur nicht schwer empfunden, solange nur die damalige, beschränkte Materialauswahl zur Verfügung stand.

Im Jahr 1957 erschien die Publikation 85 der CEI [2]. Sie ersetzte die Publikation 34 der CEI [1] bezüglich der Klassifikation von Isoliermaterialien. Als Begründung wurde angegeben, dass die Klassifikation in [1] überholt sei, weil neue Materialien und Verarbeitungsverfahren bekannt geworden waren. Trotzdem die neue Publikation der CEI von einer Unterkommission ihres Comité d'Etudes für rotierende Maschinen ausgearbeitet wurde, erhebt sie Anspruch, für alle elektrischen Apparate und Maschinen gültig zu sein. Jeder der sieben neuen Klassen (Y, A, E, B, F, H, C) wird direkt die zulässige absolute maximale Betriebstemperatur zugeordnet. Es wird anerkannt, dass diese Temperatur nicht unendlich lange ausgehalten werden kann. Immerhin wird bei den üblichen Betriebsverhältnissen eine lange Lebensdauer erwartet, wenn auch eingeräumt wird, dass wirtschaftliche Überlegungen von Wichtigkeit sein können in Fällen, in denen eine nur kurze Lebensdauer genügt.

Gleich wie bei der Publikation 34 der CEI wird jeder Klasse in sehr allgemeiner Art eine Familie von Isolationen zugeordnet. Diese Angaben werden noch ergänzt durch ausführlichere Beispiele von Materialien, die als Listen in einem Anhang enthalten sind. Es wird eindeutig erklärt, dass andere Materialien und Kombinationen von Materialien einer Klasse zugeteilt werden können, sofern durch Erfahrung oder anerkannte Versuche nachgewiesen werden kann, dass sie den Temperaturbedingungen der betreffenden Klasse genügen. Es wird betont, dass nur aufgrund der einem Material zugeordneten Funktion im Betrieb eine Betriebstemperatur-Beständigkeit angegeben werden kann.

Von grundsätzlicher Bedeutung ist die Feststellung, dass es von Vorteil sein kann, einzelne Materialien in einem Apparat oder einer Maschine nicht als einzelne Materialien, sondern als Systeme zu betrachten. Die Möglichkeit, den Nachweis der Betriebstüchtigkeit eines Isolationssystems als Ganzes mittels «funktioneller Prüfungen» zu erbringen, wird zugelassen.

Noch vor dem Erscheinen der Publikation 85 der CEI wurde diese aus verschiedenen Gründen beanstandet. Eine Gruppe von Fachleuten kritisierte die Einteilung der Isoliermaterialien nach ihrer thermischen Beständigkeit und betonte, wie wichtig die Gesamtheit der Eigenschaften für eine Auswahl ist. Die thermischen Eigenschaften dürfen nur ein Aspekt von mehreren sein. Insbesondere versuchte das Fachkollegium 15 des Schweizerischen Elektrotechnischen Komitees eine Art Handbuch auszuarbeiten, welches dem Konstrukteur die wichtigsten Eigenschaften von Isoliermaterialien liefern sollte [3]. Die Arbeit ist nie als CEI-Publikation veröffentlicht worden, sie wurde aber vom Schweizerischen Elektrotechnischen Verein in den Handel gebracht. Das Werk blieb leider unvollständig, da die für eine brauchbare Beschreibung der Materialien vorgesehenen Monographien nicht fertiggestellt wurden. Die Enzyklopädie allein enthält allerdings schon eine sehr schöne, nützliche Systematik der Isoliermaterialien. Im ursprünglich vorgesehenen Umfang ausgearbeitet und auf internationaler Ebene anerkannt, hätte das Werk eine typische Liste mit allen Konsequenzen der Konzeption I werden können.

Ein grosser Nachteil der Publikation 85 der CEI ist die Definition der Wärmeklassen der Isoliermaterialien ähnlich der Klassierung der Maschinen nach Betriebstemperaturen. Aber auch sonst ist sie unklar. Sie schlägt eine thermische Einteilung vor, ohne mindestens die notwendigen Richtlinien für Materialprüfungen anzugeben. Die dadurch schon kompromissvollen «Richtlinien» werden durch den an sich richtigen Hinweis noch verwirrt, dass die entscheidende Beurteilung der Richtigkeit der Wahl eines Isoliermaterials durch die Prüfung des ganzen Systems erfolgen soll. Definitionen der Begriffe «System» und «Isoliermaterial» fehlen. Ist es da verwunderlich, dass für viele die Material-Listen des Anhanges fälschlich als der wesentliche Teil der Publikation angesehen wurden? Dadurch ist die Publikation 85 der CEI ein Kompromiss zwischen Auffassungen der Konzeption II, die zuerst insbesondere in den USA gefördert, aber auch im eigenen Lande nicht bis zur letzten Konsequenz in Normen verarbeitet wurden [14], und der klassischen Konzeption I. Die Publikation ist keine klare Arbeitsunterlage, musste daher unwirksam bleiben und zum heutigen «Interregnum» führen. Dieser Zustand soll nun durch internationale Bemühungen behoben werden.

3. Interessen der Beteiligten

An jeder Art Reglementierung, Klassierung, Einteilung usw. von Isoliermaterialien sind folgende Gruppen interessiert:

a) Hersteller von Isoliermaterialien (Grundmaterialien und einfache Kombinationen);

b) Konstrukteure von Apparaten und Maschinen, welche Isoliermaterialien verwenden;

c) Käufer von Apparaten und Maschinen und die für deren Abnahmen zuständigen Vertrauensorgane.

Die diesen Gruppen von der Konzeption I und II erwachsenden wesentlichsten Vor- und Nachteile sind in Tabelle I zusammengestellt. Die Schlüsselfigur ist der Kon-

Vor- und Nachteile der Anwendung von Konzeption I bzw. II

Tabelle I

Interessenten	Firmen mit eigenen Laboratorien und Isolationsspezialisten (technisch führende Firmen)		Firmen ohne eigene Laboratorien und ohne eigene Entwicklung (technisch nicht führende Firmen)	
	Anwendung von		Anwendung von	
	Konzeption I — (Listen)	Konzeption II — (funktionelle Prüfungen)	Konzeption I — (Listen)	Konzeption II — (funktionelle Prüfungen)
Hersteller von Isoliermaterialien	*unerwünscht* (Das Abwarten bis Resultate und Erfahrungen international anerkannt werden und der Konkurrenz ein Aufholen ohne eigene Versuche ermöglicht wird, ist unerwünscht)	*günstig* (Es besteht die Möglichkeit, die zur Akquisition notwendigen Beschreibungen durch eigene Versuche bereitzustellen. Oft führen die Interessenten auch funktionnelle Versuche mit den gängigsten Systemen durch, so dass der Konstrukteur nur noch Versuche mit einigen spezifischen Anwendungen machen muss. Die Interressenten müssen erst auf dem Markt auftreten, wenn sie alle notwendigen Werte bereits haben)	*vorteilhaft* (Interessenten könnten Materialien nach Vorbildern herstellen und anbieten mit der genügenden Referenz «Entspricht Material X der CEI-Liste Y»)	*untragbar* (Die Aktivität müsste sich auf Kunden beschränken, die in der Lage und gewillt sind, alle notwendigen Versuche selber vorzunehmen)
Konstrukteure von Apparaten und Maschinen	*unzumutbar* (Die Interessenten sind auf eine in jeder Beziehung optimale Lösung angewiesen. Die maximale Ausnützung aller Möglichkeiten sichert ihnen eine Spitzenposition. Eine Einengung durch verbindliche Listen ist unzumutbar. Dass sie ihre guten und schlechten Erfahrungen bekanntgeben würden, um damit brauchbare internationale Listen aufstellen zu können, ist nicht zu erwarten)	*erstrebenswert* (Ein guter Lieferant teilt brauchbare, z. T. mittels funktioneller Prüfungen festgestellte Messwerte mit. Die Auswahl wird für den Konstrukteur wesentlich erleichtert. Er kann seine Systeme optimal zusammenstellen und die Resultate der auf alle Fälle unerlässlichen Prüfungen an Modellen und Prototypen seinem Kunden vorlegen)	*bequem* (Die Auswahl der Materialien könnte mittels international anerkannter Listen erfolgen aufgrund von Erfahrungen anderer. Bei Versagern könnte man die Listen zur Rechtfertigung beiziehen. Der technische Rückstand würde durch Einsparungen von Geld für eigene Entwicklungen und bei guten Listen auch von Fehlschlägen wettgemacht)	*unbrauchbar* (Praktisch unbrauchbar, sofern der Materiallieferant nicht die notwendigen Versuche am ganzen System bzw. Prototyp übernimmt)
Käufer von Maschinen und Apparaten	*unbefriedigend* (Die Kontrolle der Produkte wäre mit Listen einfach, doch die wirtschaftlichste Lösung nicht gesichert. Die Beurteilung der Betriebstüchtigkeit kann nur mittels funktioneller Dauerversuche erfolgen)	*anspruchsvoll* (Verständnis der Problematik und Zutrauen, dass der Lieferant die Versuche korrekt durchgeführt hat, sind eine Vorraussetzung. Eigene Laboratorien sind von Vorteil)	*praktisch* (Die Listen würden den Einkäufern ohne Kenntnisse eine Kontrolle ermöglichen. Eine Durchsicht der Zeichnungen würde genügen. Bei kleinem Bedarf würde der Mehraufwand für wirtschaftlich nicht optimale Lösungen kaum ins Gewicht fallen)	*heikel* (Der Käufer müsste sich ganz auf seinen Lieferanten oder auf den Materiallieferanten verlassen)

strukteur. Er ist verantwortlich für die Betriebstüchtigkeit seiner Produkte. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Produkte sind die Isoliermaterialien. Für seine Wahl benötigt er Informationen. Sein Vorgehen ist in Tabelle II dargestellt. Sein Bestreben muss sein, möglichst ohne formalistische Einschränkungen eine optimale Wahl treffen zu können. Die führenden Konstrukteure wollen so schnell als möglich durch eigene Versuche oder solche des Lieferanten eingehend über neue Isoliermaterialien informiert sein, um als erste die Vorteile neuer Materialien zur Verbesserung ihrer Produkte nutzen zu können. Die Konzeption II erlaubt ihnen, «aus eigener Kraft» alle Vorbereitungen zu treffen und dann ohne das Resultat internationaler Diskussionen abwarten zu müssen, ihren Vorsprung auszunützen. Bei der Konzeption I wäre das freie Handeln der Konstrukteure behindert durch die Möglichkeit der Käufer der Maschinen und Apparate, die Materialauswahl des Konstrukteurs mittels international anerkannter Listen zu «überprüfen», ohne alle Belange, die zur optimalen Wahl führten, zu kennen.

Konstrukteure von Firmen, die einem hohen technischen Stand ihrer Produkte wenig Bedeutung beimessen, warten jeweils eher zurückhaltend die Erfahrungen der technischen führenden Unternehmen ab, um möglichst ohne eigenes Risiko aus Entwicklungsversuchen und Prototypen im für sie geeigneten Zeitpunkt Nutzen zu ziehen. Für sie hätten international anerkannte Listen grosse Vorteile, sofern die dort enthaltenen Informationen genügend wären, um den richtigen Einsatz des Materials einem «Nichtspezialisten» zu ermöglichen. Sonst ist er (wie heute) auf die Ratschläge und Unterlagen seiner Lieferanten angewiesen. Die Konzeption II würde sie zu eigenen, teueren Versuchen zwingen, wenn sie ihm der Lieferant des Materials nicht abnimmt.

Übliches Vorgehen bei der Auswahl der Isolationsmaterialien für ein neues Isolationssystem
(Allgemeinster Fall. Bei einfachen Systemen vereinfachen sich die einzelnen Schritte; s. auch [7; 9; 12; 17])

Tabelle II

Schritt-Nr.	Auszuführende Arbeiten	Angestrebtes Resultat
1	Festlegung der im Betrieb zu erwartenden Beanspruchungen der einzelnen Bestandteile des Systems aufgrund der Konstruktion, Betriebsbedingungen, Betriebserfahrungen und Klassifikationsrichtlinien des Apparates bzw. der Maschine entsprechend den Empfehlungen der zuständigen technischen Komitees für Apparate bzw. Maschinen	Bestimmung, insbesondere der bei der Auswahl der Isolation zu beachtenden Beanspruchungen
2	Sammlung von allgemeinen Angaben über Isoliermaterialien, um mit Hilfe allgemeiner Übersichtstabellen [3] oder Übersichtslisten eine grobe Auswahl treffen zu können, zur Bestimmung jener Familien von Isolierstoffen, deren Vertreter von vornherein nicht in Frage kommen.	Erste, grobe Auswahl der näher zu beachtenden Materialien und einfacher Kombinationen
3	Beschaffung von möglichst vielseitigen Angaben über die ins Auge gefassten Materialien und einfachen Kombinationen. Als Informationsquellen kommen folgende Unterlagen in Frage: — Resultate eigener Kurzversuche entsprechend den Empfehlungen von ASTM, VDE, CEI usw. — Resultate von eigenen Versuchen zur Bestimmung der Alterungsbeständigkeit bei verschiedenen Langzeitbeanspruchungen, z. B. entsprechend den Empfehlungen der CEI — Angaben aus der Literatur und aus Listen der Materiallieferanten — Betriebserfahrungen — Beurteilung aufgrund der chemischen Zusammensetzung — Intuition Solche Unterlagen sind im allgemeinen Fall grundsätzlich für irgendwelche Nachweise der Brauchbarkeit gegenüber dem Käufer des Apparates nicht verwendbar.	Auswahl der Materialien und einfacher Kombinationen, die in System-Prüfungen weitergeprüft werden sollen. Selbstverständlich erfolgt eine Selektion mit Blick auf die Verwendung, Verarbeitung, Beanspruchung und Funktion im System im Betrieb
4	Festlegung der Anordnungen und Prüfbeanspruchungen entsprechend Schritt 1 für die Prüfungen der aufgrund der Auswahl im Schritt 3 zusammengestellten Systeme. Die Prüfungen werden in Modellen des Originals oder in Prototypen durchgeführt. In Zukunft werden die Richtlinien des TC 63 und des für den Apparat oder die Maschine zuständigen TC 1 zu beachten sein. Herstellung der Prüfobjekte und deren Prüfung.	Auswahl des optimalen Isolationssystems für die untersuchte Verwendung
5	Übertragung der Resultate aus Schritt 4 auf Normalbetrieb des Apparates bzw. der Maschine. Nochmalige Beurteilung mit Rücksicht auf die betrieblichen und in den entsprechenden Normen festgehaltenen Forderungen. Die Resultate von Schritt 4 sind für den Käufer des Apparates *verbindliche* Beweise, laut den heute noch gültigen [2] und den zukünftigen Empfehlungen des TC 63 und der auf diesen gründenden Empfehlungen des für den Apparat oder die Maschine zuständigen technischen Komitees für die Brauchbarkeit des Systems	Beurteilung der Betriebstüchtigkeit des ausgewählten Isoliersystems im Apparat

Die Käufer von Maschinen und Apparaten möchten *preiswert* einkaufen. Sie wünschen keine Sicherheiten und Reserven die sie nicht ausnützen können aber bezahlen müssen, und die bei der Listenkonzeption praktisch unvermeidlich sind, weil nicht alle in der Konstrukteur-Praxis auftretenden Fälle optimal aus Listen herausgelesen werden können. Anderseits streben die meisten Kunden eine Abnahme des Gekauften an, die eine Kontrolle der Betriebstüchtigkeit erlaubt. Diese wird wesentlich erleichtert bei der Listenkonzeption. Zur Kontrolle von Versuchsresultaten braucht es eigene Fachleute und Vertrauen in den Lieferanten. Darum haben auch heute schon grosse Abnehmer eigene Laboratorien, welche die kunstgerechte Überprüfung von Konstrukteur-Angaben ermöglichen (Electricité de France, U.S. Navy Lab. usw.).

Bei den Herstellern von Isoliermaterialien können zwei, in der Praxis sich oft überlappende Familien unterschieden werden. Hersteller von Basismaterialien (Harze, Gewebe, Folien usw.) und von «Halbfabrikaten» oder einfachen Kombinationen (Lacktuch, Lackdraht, Pressteile usw.). Insbesondere die Spitzenfirmen, welche Basismaterialien herstellen, versuchen ihre Forschungsaufwendungen durch kaufmännische Ausnützung ihres Vorsprunges zu rechtfertigen. Solche Firmen haben keinen Vorteil von Listen. Sie wollen die ersten sein und schnell verkaufen. Für sie ist es wichtig, international anerkannte Prüfmethoden zu haben (Lang- und Kurzzeitprüfungen), so dass sie für die Akquisition Tabellen mit Eigenschaftswerten aufstellen können, die mindestens relative Vergleichswerte mit Messwerten enthalten. Die Messwerte stammen dann von im Betrieb bewährten Materialien.

Mit diesen Messwerten können sie bei den Konstrukteuren von Maschinen und Apparaten sowie bei den Herstellern von Halbfabrikaten für den Einsatz ihres Produktes werben. Die Konzeption II ermöglicht ihnen, sowohl Versuche am einzelnen Material und einfachen Kombinationen wie auch Systemen durchzuführen.

Bei internationaler Durchsetzung der Konzeption I würde dieses Vorgehen behindert, wenn nicht verunmöglicht. Das neue Material müsste zuerst in international anerkannte Listen aufgenommen werden, sonst könnten sich die Konstrukteure höchstens bei Prototypen für den Einsatz entschliessen.

Für eine ganze Zahl von Materiallieferanten hätten allerdings Listen einen sehr wichtigen Vorteil. Durch das internationale Verfahren, allgemeine Diskussionen über Eigen-

Arbeitsphasen bei der Aufstellung von Listen (Konzeption I)

Tabelle III

Phase Nr.	Beschreibung der einzelnen Arbeitsphasen	Schätzung, inwieweit die einzelnen Arbeitsphasen von einem internatioealen Gremium bewältigt werden können
1	Bildung von Gruppen (s. auch [3])	Ausführbar (gutes Beispiel siehe in [3])
2	Zuteilung der einzelnen Materialien zu den Gruppen	Ausführbar mit generellen Materialbezeichnungen, ohne Verwendung von Markennamen (gutes Beispiel siehe in [3])
3	Angabe genereller Eigenschaften aufgrund einer physikalischen und chemischen Beschreibung	Möglich, ohne Angabe von Markennamen der einzelnen Materialien [3]
4	Angabe spezifischer Eigenschaften aufgrund von international anerkannten Prüfungen bei Lang- und Kurzzeit-Beanspruchungen.	Nur z. T. ohne Angabe der Markennamen der Materialien möglich. Internationale Normen könnten sehr nützlich sein
5	Angaben über Verarbeitung	Ohne Bezug auf Markennamen nur beschränkte Angaben von brauchbarer Genauigkeit möglich
6	Kurz- und Langzeit-Verhalten bei Prüfungen in Systemen bei Erfüllung einer definierten Funktion, in einer bekannten Material-Kombination	Kaum ausführbar, weil viel zu viele Varianten möglich sind
7	Betriebserfahrungen in einem bestimmten Apparat, bei definiertem Betrieb in einer bekannten Funktion und in einer bekannten Material-Kombination	

schaften und Erfahrungen von neuen Materialien durchzuführen, würde der Vorsprung des Erstverwenders wesentlich schwinden. In vielen Fällen könnte dann «die zweite Garnitur» von Lieferanten für eine Nachahmung ohne aufwendige eigene Versuche mit der Referenz der internationalen Listen akquirieren.

4. Versuch eines Kompromisses

Die Beurteilung der Voraussetzungen für die Ausführbarkeit jedes Vorschlages zur Aufstellung von Richtlinien, Empfehlungen und Normen auf internationaler Ebene kann nur eine persönliche Schätzung des Autors sein. Dabei muss in Betracht gezogen werden, dass jede CEI-Publikation erst

Arbeitsphasen bei der Materialauswahl nach Konzeption II

Tabelle IV

Phase Nr.	Beschreibung der einzelnen Arbeitsphasen	Schätzung, inwieweit die einzelben Arbeitsphasen von einem internationalen Gremium bewältigt werden können
1	Gleich wie Schritt 1 in Tabelle II	Muss vom Konstrukteur von Fall zu Fall ausgearbeitet werden
2	Sammlung allgemeiner Angaben über chemische und physikalische Eigenschaften von Materialien und einfachen Kombinationen	Unterlagen, wie in [3] und [2] können nützlich sein, doch müssen alle eingehenden Angaben grundsätzlich vom Material-Lieferanten beschafft werden
3	Sammlung von Angaben über Verarbeitung	
4	Prüfung der nach der ersten Sichtung interessierenden Materialien mit Hilfe von international anerkannten Kurz- und Langzeit-Prüfmethoden. Ein guter Lieferant wird möglichst viele Resultate solcher Prüfungen in seine Verkaufslisten aufnehmen, so dass sie der Konstrukteur schon in der Phase 1 berücksichtigen kann und nur noch eigene, für seine besondere Anwendung «informative» Prüfungen durchführen muss, entsprechend seinen Schlussfolgerungen aus Arbeitsphase 1 und der Auswahl der für seinen Fall passenden international anerkannten Prüfungen	Bis zu einem gewissen Grad können einzelne Prüfungen festgelegt werden. Doch werden immer wieder spezielle, besonderen Anforderungen angepasste, neu zu «erfindende», auf den aktuellen Fall zugeschnittene Prüfungen notwendig sein. Eine international anerkannte Grundkonzeption für solche, insbesondere Langzeitversuche ist darum unerlässlich
5	Gleich wie Schritt 4 in Tabelle II. Die Prüfungen selber und die dazugehörigen allgemeinen Ausführungsrichtlinien sind für alle wesentlichen Fälle auf internationaler Ebene festgehalten. Eine neutrale Prüfstelle könnte somit ohne besondere Kenntnisse den Verlauf und Abschluss von Prüfungen von Systemen an Modellen und/oder Prototypen bezeugen und Typenprotokolle ausstellen	Es ist undenkbar, dass für alle vorkommenden Systeme von Isoliermaterialien und Anwendungen in Apparaten und Maschinen Modell- bzw. Prototyp-Prüfungen für Systeme genormt werden. Wesentlich sind allgemein gültige Richtlinien und Grundsätze, nach denen solche Prüfungen auszulegen sind. In besonderen Fällen, wo einfachere Systeme mit leicht übersehbaren Beanspruchungen geprüft werden müssen, ist auch eine internationale Normung des Versuches ausführbar

Zusammenstellung der nötigen Arbeiten, um ein international genormtes Vorgehen bei der Auswahl von Isoliermaterialien, zu erhalten

Tabelle V

Nr.	Aufgabenstellung	Internationales Gremium[1]), welches die Arbeiten erledigen müsste bzw. sie in Angriff genommen hat
1	International anerkannte Einteilung der Isolierstoffe (Klassierung, Gruppeneinteilung) als Arbeitsunterlage für Nr. 6, 7, 8, 9 [2])	CE 15 + CE 10 der CEI
2	Verzeichnis aller Eigenschaften, die einen Konstrukteur an einem Isolierstoff interessieren könnten und als Arbeitsunterlage für Nr. 6, 7 dienen [2])	CE 15 + CE 10 der CEI
3	Festlegung verbindlicher Richtlinien für die Durchführung von Langzeitversuchen an Isoliermaterialien und einfachen Kombinationen, als Arbeitsunterlage für Nr. 7 (z. B. [5; 13]	SC 15B des CE 15 der CEI
4	Festlegung von verbindlichen Richtlinien für die Durchführung von Prüfungen an Systemen, als Arbeitsunterlage für Nr. 11 (z. B. [4]).	CE 63 der CEI
5	Festlegung von verbindlichen Richtlinien für die Klassierung von Apparaten und Maschinen, sofern diese auf den verwendeten Isolationssystemen basiert, als Arbeitsunterlage für Aufgabe Nr. 10 (z. B. [1; 2; 14]).	CE 63 der CEI
6	Veröffentlichung von Empfehlungen einzelner Kurzzeitprüfungen (z. B. [16]) (s. auch Nr. 1 und 2).	SC 15A des CE 15 der CEI (in Bearbeitung)
7	Veröffentlichung von Empfehlungen für einzelne Langzeit-Alterungsversuche entsprechend den Richtlinien in Nr. 3 (z. B. [15]) (s. auch Nr. 1 und 2).	SC 15B des CE 15 der CEI (in Bearbeitung)
8	Aufstellung von Materialnormen (s. auch Nr. 1).	CE 10 und SC 15C des CE 15 der CEI (in Bearbeitung)
9	Aufstellung von Orientierungslisten über Materialeigenschaften (z. B. [2; 3]) (s. auch Nr. 1).	Ein neu zu gründendes SC des CE 15, sofern diese Aufgabe als zu den Pflichten des CEI gehörend befunden wird
10	Veröffentlichung von Klassifizierungen von Maschinen und Apparaten. Sofern die Klassierung auf Eigenschaften von elektrischen Isolationen basiert (s. Nr. 5 und 11).	Die für die verschiedenen Maschinen und Apparate zuständigen CE (z. B. CE 14, CE 2)
11	In einzelnen, besonders gelagerten Fällen, wo die Klasseneinteilung von Maschinen und Apparaten auf Eigenschaften der elektrischen Isolationen basiert (s. Nr. 10), wären Empfehlungen für einzelne Systemprüfungen zu veröffentlichen, entsprechend den Richtlinien in Nr. 4.	gleich wie bei Nr. 10
12	Ungültigerklärung der Publikation 85 der CEI [2]	

[1]) Die Erklärungen der Abkürzungen siehe Tabelle VI.
[2]) Beispiel siehe [3].

als Folge von Kompromissen zwischen Interessen mehrerer Länder und Ansichten verschiedener Experten entsteht. Das notwendige Prozedere benötigt meistens einige Jahre vom Beschluss eines Gremiums zur Ausarbeitung eines Sekretariats-Dokumentes bis zur Freigabe zum Druck als CEI-Publikation. Dazu kommt, dass Ergänzungen oder Änderungen von veröffentlichten Publikationen normalerweise erst bei einer Neuauflage, also erst nach mehreren Jahren, erfolgen können. Es ist klar, dass in diesem System eine laufende Erneuerung und Ergänzung bestehender Listen mit neuen Materialien und neuen Angaben über schon aufgenommene Materialien umständlich und aufwendig ist. Zusätzlich stellt sich noch das Problem der Listen-Benützer, ihre Unterlagen laufend auf dem neuesten Stand zu halten.

Bezeichnung und Aufgaben-Bereich der an der «Konzeption zur Auswahl von Isoliermaterialien» direkt interessierten Gremien der CEI

Tabelle VI

Bezeichnung	Aufgabenbereich
CE 14	Comité d'Etudes für die Belange von Transformatoren
CE 2	Comité d'Etudes für die Belange von rotierenden Maschinen
CE 10	Comité d'Etudes für die Belange von flüssigen und gasförmigen Isoliermaterialien
CE 15	Comité d'Etudes für die Belange von festen Isoliermaterialien
SC 15A des CE 15	Unterkommission des CE 15 für elektrische Kurzzeitprüfungen an festen Isoliermaterialien
SC 15B des CE 15	Unterkommission des CE 15 für Langzeit- (Alterungs-) Prüfungen an festen Isoliermaterialien
SC 15C des CE 15	Unterkommission des CE 15 für die Normung von festen Isoliermaterialien
CE 63	Comité d'Etudes für Belange von Isolationssystemen und für die Aufstellung von Richtlinien für die Klassifizierung elektrischer Maschinen und Apparate. Verbindungsglied zwischen CE 15 + CE 10 und den CE der Apparate und Maschinen

Die Publikation von Prüfmethoden bereitet dagegen keine Probleme.

In Tabelle III ist eine Schätzung zusammengestellt über das, was noch auf internationaler Ebene erreicht werden kann und für eine wirksame, brauchbare Konzeption I (Listen) notwendig wäre. Das gleiche ist in Tabelle IV für die Konzeption II zusammengestellt. Ein Vergleich der Tabellen II, III und IV zeigt, dass der Unterschied zwischen den beiden Konzeptionen und dem heute üblichen individuellen Vorgehen, als Folge dessen, dass keine brauchbare und daher auch wirksame Norm vorliegt, im wesentlichen nur darin zum Ausdruck kommt, wer was macht. Bei der Konzeption I (Tabelle III) wird der Konstrukteur aufgrund der Beanspruchungen sein Isolationssystem aus Listen herauslesen. Bei Konzeption II (Tabelle IV) wird er aufgrund der Beanspruchungen Prüfungen festlegen, mit denen er die Materialien und das System selektioniert. Die einzelnen Phasen des Vorgehens sind unbestritten: Einzelmaterialien —Systeme—Prototypen.

Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Konzeption II auf alle Fälle wirksam ist, unabhängig davon, wieweit die internationale Normung gediehen ist, sofern mindestens klare Richtlinien für die Durchführung der Versuche bestehen. Eine brauchbare Konzeption I kann nur aufgezogen werden, wenn die notwendigen Prüfmethoden veröffentlicht sind, d. h. wenn die Konzeption II zum grössten Teil fertig ausgearbeitet ist. Je weniger international anerkannte Prüfmethoden vorliegen, desto unbrauchbarer ist die Konzeption I, weil die in den Listen enthaltenen Informationen nicht ausreichend sind und der Konstrukteur ohne eigene Versuche nicht auskommen kann.

Die einzige brauchbare Lösung ist nach allen Überlegungen die Konzeption II, wobei besonderes Gewicht auf die Versuche zu legen ist, welche möglichst eingehende Informationen über die Materialien und deren einfache Kombinationen bieten, weil:

a) für die Prüfung von Systemen nur in einzelnen Fällen auf internationaler Ebene genormte Versuche vorgelegt werden können (im Gegensatz zu den Prüfungen an Materialien),

b) in vielen Fällen der Praxis schon aufgrund von Betriebsbedingungen und der Kenntnis von allgemeinen Material-Eigenschaften über die Betriebstüchtigkeit eines Materials in einem bestimmten Betriebsfall entschieden werden kann.

Durch die zweite Feststellung wird die Brauchbarkeit einer Listen-Konzeption natürlich wesentlich aufgewertet, insbesondere für den Bereich der Materialien. Die Annahme wird wohl nicht immer, doch sehr oft zutreffen, dass Konstrukteure, welche in Tabelle I unter «technisch nicht führende Firmen» zusammengefasst wurden, eher Apparate und Maschinen herstellen, wo keine komplizierten, hoch beanspruchten Isolationssysteme zur Verwendung kommen, so dass für sie auch schon eine Listen-Konzeption sehr wertvoll sein könnte. Eine solche Liste müsste nur relative Vergleiche ermöglichen, damit der von keinem Spezialisten beratene Konstrukteur weiss, welche Materialien für ihn etwa in Frage kommen und was er bei seinen Lieferanten anfragen soll. Der Lieferant wird dann dem Konstrukteur die genauen Daten seines Materials liefern. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Offerten würde wesentlich erleichtert, wenn die Lieferanten ihre Messwerte auf möglichst viele international genormte Prüfungen beziehen könnten. Genaue, verbindliche Angaben, die in vielen Fällen vom Konstrukteur benötigt werden, können nur vom Lieferanten für sein Material abgegeben werden. Für solche Angaben ist die Konzeption II die einzig praktisch mögliche Lösung.

Aufgrund praktischer Erfahrungen ist der Autor der Ansicht [8], dass Normen für Prüfungen an Systemen als Typenprüfungen für Apparate und Maschinen in vielen Fällen auf internationaler Ebene nicht ausführbar sind. Die aufzustellende Richtlinie (Nr. 4 in Tabelle V) muss ja ausser Angaben, wie die Versuche zu beschleunigen sind, wie die Beurteilung der Resultate und der Vergleich mit Systemen über welche Betriebserfahrungen vorliegen, erfolgen soll, auch die imperative Forderung enthalten, dass Betriebsbeanspruchungen und die Konstruktion anzugeben sind. Bei Apparaten und Maschinen, bei denen von Firma zu Firma oder gar von Typ zu Typ in wesentlichen konstruktiven oder betrieblichen Belangen starke Unterschiede vorhanden sind, wird eine «Standard»-Systemprüfung, die auf internationaler Ebene für einen bestimmten Apparat gilt, nicht möglich sein. Als Beispiel können Statorwicklungen von Turbogeneratoren dienen, wo Nutausbildung, Betriebsspannung, Isolationsdicke, Ausbildung der Köpfe, Arbeitsatmosphäre (Schmutz, Luft, Feuchtigkeit usw.) je nach Hersteller und Typ stark variieren und einen grossen Einfluss auf die optimale Materialauswahl haben. In einfachen Fällen dürfte es aber ohne weiteres möglich sein, eine Normprüfung festzulegen. Die heute zur Diskussion stehenden Modelle für funktionelle Prüfungen von spezifischen Systemen von Maschinenteilen wie Motorettes, Transformettes usw. sind sinnvoll, sofern die Resultate nicht zuviel verallgemeinert werden und von Fall zu Fall eine Anpassung an die jeweiligen besonderen Verhältnisse erfolgt. Die Betonung muss auf der Festlegung von Grundregeln und nicht auf besonderen Anordnungen liegen. Diese würden genügen, um eine Typenprüfung durchzuführen, die durch eine neutrale Kontrollstelle beglaubigt werden könnte.

Um die hier skizzierte Konzeption zur Auswahl der Isoliermaterialien wirksam zu machen, sollten die in Tabelle V zusammengestellten Arbeiten ausgeführt werden. Ein Teil dieser Arbeiten ist im Gange, ein anderer ist eingeleitet. Nach Dringlichkeit geordnet, ergibt sich etwa folgende Reihenfolge: 3, 4, 5, 10, 12, 6, 7, 8, 1, 2, 11 und eventuell 9. Wesentlich ist, dass die Belange der Materialien und einfachen Kombinationen völlig getrennt von jenen der Maschinen und Apparate behandelt werden. Die Systeme sind das Verbindungsglied zwischen Material sowie Apparaten und Maschinen. Die Modell- und Typen-Prüfungen müssen auf das Engste mit den Apparaten und Maschinen verkettet sein.

Die Comité d'Etudes der CEI sollten sich möglichst weitgehend lösen von den bei verschiedenen Apparaten und Maschinen klassischen Temperaturbegrenzungen im Zusammenhang mit den verwendeten Isolationen. Es besteht bei den meisten Anwendungen von Isolationsmaterialien kein Grund, die thermischen Eigenschaften eines Materials allein oder auch nur bevorzugt zu bewerten, wo doch für die Betriebstüchtigkeit eines Apparates und einer Maschine viele weiteren Eigenschaften des eingesetzten Isolationssystems entscheidend sind. Die Forderung, dass in einem Ap-

parat «A» mit max. zulässiger Temperatur von z. B. 130 °C (= Klasse B) kein anderes Isoliermaterial verwendet werden darf als ein solches der Klasse B, sollte vermieden werden. Sinnvoll ist hingegen anzugeben, dass der Apparat «A» für eine max. Umgebungstemperatur von T °C zulässig ist und vom Konstrukteur der Nachweis erbracht wird, dass an keiner Stelle des Apparates «A» die Temperatur bei einer bestimmten Umgebungstemperatur höher sein wird als an der entsprechenden Stelle des Prototyps.

In bestimmten Fällen, wo aus anderen Gründen als isolationstechnischen für einen elektrischen Leiter eine max. zulässige Temperatur vorgeschrieben werden muss, kann gefordert werden, dass der Konstrukteur mittels Versuchen nachweist, dass das von ihm verwendete Isolationssystem diese max. Betriebstemperatur zulässt.

Die Arbeiten der CEI müssten somit nicht zu einer eigentlichen Revision von [2] führen, sondern zu ihrer Ausserkraftsetzung und einer Aufstellung einer neuen Konzeption bezüglich des Inhaltes einer neuen Publikation und die Zuständigkeit der sie zu bearbeitenden Gremien [Tabelle VI].

Literatur

[1] Règles de la CEI pour les machines électriques. Publication CEI No. 34, Londres 1935.

[2] Recommandations relatives à la classification des matières destinées à l'isolement des machines et appareils électriques en fonction de leur stabilité thermique en service. Publication CEI No. 85, Genève 1957.

[3] Enzyklopädie der elektrischen Isolierstoffe. Klassifikation, Vergleichstabellen, Übersichtsblätter. Herausgegeben vom SEV, Zürich, 1960.

[4] Guide for the Preparation of Test Procedures for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Electrical Equipment. AIEE Publication 1E, New York 1967.

[5] Guide for the Preparation of Test Procedures for the Thermal Evaluation of Electrical Insulation Materials. AIEE Publication 1D, New York 1957.

[6] *K. Michel:* Prüfung und Beurteilung der thermischen Beständigkeit von elektrischen Isolierstoffen und Isolationen. Bull. SEV 57(1966)1, S. 16...26.

[7] *E. Dünner, K. Nylund* und *R. Moser:* Probleme, Stand und zukünftige Entwicklung der Isolation von Traktionsmotoren. Bull. Oerlikon (1966)368/369, S. 11...26.

[8] *O. F. Wohlfahrt:* The Problem of Functional Tests with Solid High Voltage Insulation. Insulation 6(1960)12, S. 73...77.

[9] *B. Doljak* und *O. F. Wohlfahrt:* Die Isolationen von Statorwicklungen in Hochspannungsmaschinen. Brown Boveri Mitt. 51(1964)5, S. 274...280.

[10] *J. F. Dexter:* Thermal Evaluation Test Procedures for Insulating Materials. AIEE-Paper T-137-43. Proceedings of the Electrical Insulation Conference, Washington 1962.

[11] *J. C. Botts* and *G. L. Moses:* The Opinions on Thermal Endurance and Temperature Classification of Electrical Insulation. Insulation 9(1963)2, S. 24...28.

[12] *K. N. Mathes:* The Interpretation of Thermal Endurance Tests on Electrical Insulation. Proceeding of the Electrical Insulation Conference, Chicago 1960, S. 154...155.

[13] Guide pour la préparation des méthodes d'essai pour l'évaluation de la stabilité thermique des isolants électriques. Publication CEI No. 216, Genève 1966.

[14] General Principles upon which Temperation Limits are Based in the Rating of Electric Equipment. AIEE Publication 1, New York 1962.

[15] Méthode d'essai pour l'évaluation de la stabilité thermique des fils émaillés par l'abaissement de la rigidité diélectrique entre les fils torsadés. Publication CEI No. 172, Genève 1966.

[16] Méthodes d'essai rapides pour la détermination de la résistance d'isolement des isolants solides. Publication CEI No. 167, Genève 1964.

[17] Insulation Systems for Rotating Machines AEI Engng. 6(1966)4, S. 198...203.

Adresse des Autors:
O. Wohlfahrt, Ingenieur, Glärnischstrasse 15, 8803 Rüschlikon.

Messung innerer Teilentladungen bei Transformatoren

Von *W. Widmann,* Stuttgart

621.314.21

Müssen bei Transformatorwicklungen die TE-Impulse von der eigentlichen Störstelle bis zu den für die Messung zugänglichen Wicklungsklemmen erst einen Teil der Wicklung durchlaufen, so werden die höherfrequenten Anteile im Impulsspektrum sehr stark gedämpft. Aus diesem Grunde sind zur Bestimmung der TE-Intensität bei Transformatoren Messfrequenzen im Bereich von etwa 20...400 kHz gegenüber den bisher üblichen wesentlich höheren Messfrequenzen zu bevorzugen. Die Messwerte sind hiebei umso weniger von der räumlichen Lage der Fehlerstelle abhängig, je tiefer man die Messfrequenz wählt. Messfrequenzen unterhalb von etwa 10...20 kHz scheiden allerdings in der Regel im Hinblick auf die dort vorhandenen Netzoberschwingungen aus. Wegen der im Frequenzspektrum bei Wicklungen vorhandenen Resonanzstellen wird empfohlen, bei Transformatoren breitbandige TE-Messeinrichtungen, mit denen der arithmetische Mittelwert des TE-Störstromes bei einer Bandbreite von etwa 20 kHz bis 200 oder 400 kHz gemessen wird, zu verwenden. Die Lage einer TE-Fehlerstelle kann durch Messung des Frequenzspektrums mit einem abstimmbaren hinreichend schmalbandigen Mikrovoltmeter eingegrenzt werden. Hiefür sollte bei achsial fortschreitenden Röhrenwicklungen der Frequenzgang im Bereich von etwa 5 bis zu einigen 100 kHz, bei Lagenwicklungen bis etwa 1 MHz bestimmt werden.

Lorsque, dans des enroulements de transformateurs, les impulsions de décharges partielles entre l'endroit perturbateur proprement dit et les bornes accessibles pour la mesure doivent tout d'abord traverser une partie de l'enroulement du transformateur, les fréquences les plus élevées du spectre des impulsions sont très fortement affaiblies. Pour ce motif, il y a lieu d'utiliser, pour la détermination de l'intensité des impulsions partielles dans des transformateurs, des fréquences de mesure comprises entre 20 et 400 kHz, de préférence aux fréquences nettement plus élevées, employées jusqu'ici. Dans ces conditions, les valeurs mesurées sont d'autant moins dépendantes de l'emplacement du défaut que la fréquence de mesure adoptée est plus basse. Des fréquences inférieures à 20...10 kHz n'entrent toutefois normalement pas en considération, à cause des harmoniques du réseau. Du fait de la présence, dans le spectre de fréquences, d'endroits de résonance dans les enroulements de transformateurs, il convient d'utiliser des équipements de mesure à large bande, permettant de mesurer la moyenne arithmétique du courant perturbateur provenant de décharges partielles, dans une largeur de bande de 20 à 200 ou 400 kHz. L'endroit du défaut peut être localisé par la mesure du spectre de fréquences à l'aide d'un microvoltmètre accordable, à bande suffisamment étroite. Pour cela, on devrait déterminer la réponse harmonique entre 5 et quelques 100 kHz, dans le cas d'enroulements tubulaires propressant axialement, et jusqu'à environ 1 MHz dans le cas d'enroulements en galettes.

Für die Messung und Beurteilung innerer Teilentladungen in Transformatoren sowie zur Lokalisierung der Fehlerstellen werden heute verschiedene Messverfahren und -Geräte angewendet [1][1]). In dieser Arbeit sollen einige der Fragen behandelt werden, die für die Wahl der Meßschaltung und der Messfrequenz sowie für die Dimensionierung der Koppelelemente massgebend sind.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.