

## **Leitfaden zur Zertifizierung von Elektroisoliersystemen nach UL-Standard 1446**



## IMPRESSUM

### LEITFADEN ZUR ZERTIFIZIERUNG VON ELEKTROISOLIERSYSTEME NACH UL-STANDARD 1446

Herausgegeben von der

© Plattform Zulieferindustrie

im

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Fon: 069 6302-209

Fax: 069 6302-402

Mail: [PlattformZulieferindustrie@zvei.org](mailto:PlattformZulieferindustrie@zvei.org)

Home: [www.zvei.org/PlattformZulieferindustrie](http://www.zvei.org/PlattformZulieferindustrie)

Kontakt im ZVEI: Dr. Rolf Winter

Autoren:

Gerald Friederici	CMC Klebetechnik GmbH
Rudolf Maier	Albert Schweizer KG
Manfred Lueg	DuPont Performance Coatings GmbH
Stefan Karsch	Synflex Elektro GmbH
Dr. Reiner Korthauer	ZVEI e.V.

Bildnachweis:

© Sebastian Kaulitzki – Fotolia.com

© Oliver Klimek – Fotolia.com

© CMC Klebetechnik GmbH

Trotz größtmöglicher Sorgfalt keine Haftung für den Inhalt.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung, sowie der Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des ZVEI reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme vervielfältigt oder verbreitet werden.

UL® ist ein registriertes Warenzeichen der Underwriters Laboratories, Inc

2.te Ausgabe: April 2010

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Impressum</b>	Impressum .....	2
	1 Einleitung .....	4
	2 Zuverlässigkeit elektrischer Betriebsmittel .....	5
	3 Aufbau/Komponenten eines elektrischen Isoliersystems .....	6
	4 UL-Zulassung des elektrischen Isoliersystems.....	6
	4.1 Full Thermal Aging Test.....	7
	4.2 Sealed Tube Test (CCT).....	9
	4.3 Übernahme eines bestehenden EIS .....	11
	5 Ergänzende Hinweise .....	12
<b>Referenzen</b>	6 Abkürzungen .....	13
	7 Referenzen.....	14

## 1 Einleitung

Im Zuge der Globalisierung und des weltweiten Handels spielt die Zertifizierung der Produkte der deutschen Elektroindustrie eine immer größere Rolle. Nur sichere Produkte, d. h. Produkte, die von anerkannten Prüf- und Zertifizierungsinstituten getestet und zertifiziert worden sind, finden heute auf dem Weltmarkt Abnehmer.

Eines der am weitesten verbreiteten Prüfzeichen ist das amerikanische UL-Zeichen. Es wird häufig für Produkte, die auf dem nordamerikanischen Markt verkauft werden sollen, gefordert. Das Zeichen wird von den Underwriters Laboratories Inc. (UL), gegründet 1894, mit Sitz in Northbrook (Illinois), geführt. Die UL nehmen ähnliche Aufgaben wie VDE oder TÜV wahr.

UL sind in den USA auf dem Gebiet der elektrischen Sicherheit eine führende Organisation. Verschiedene Produktstandards decken das gesamte Spektrum elektrischer und elektronischer Erzeugnisse und Anwendungen ab.

Vergleicht man die Sicherheitsphilosophien zwischen dem VDE und UL, so stellt man sehr schnell gravierende Unterschiede fest: Während beim VDE die Einzelkomponente im Vordergrund der Tests steht, wird bei UL das Gesamtsystem dem Test unterzogen.

## 2 Zuverlässigkeit elektrischer Betriebsmittel

Der Zustand elektrischer Betriebsmittel ist ausschlaggebend für den sicheren Betrieb. Hohe Zuverlässigkeit, gute Effizienz, niedrige Ausfallwahrscheinlichkeit, geringe Wartungskosten entscheiden heute über den Einsatz des Betriebsmittels. Eine ganz entscheidende Kenngröße hierbei ist das Alterungsverhalten, das durch die Belastung des Systems hervorgerufen wird.

Hier kann man zwischen

- elektrischer (Kriechströme, Teilentladungen oder Grenzflächenprozesse),
- chemischer (chemische Inkompatibilität, z.B. Weichmacherausgasung, Degradation),
- thermischer (Diffusion oder auch thermo-mechanische Wechselbelastung, Substanzabbau),
- mechanischer (Vibrationen und Schockbelastungen, Unterwanderung, Abrieb) und
- umweltbedingter (UV-Strahlung, Bewitterung, Salznebel)

Alterung unterscheiden.

Die Mechanismen der Alterung können intrinsisch oder extrinsisch sein. Eine temporäre Verschlechterung des Zustands des Betriebsmittels wird als Degradation, eine permanente als Deterioration bezeichnet.

All diese Belastungen führen zu einer Alterung und damit auch zu einer Schwächung der Isolationsmaterialien, welche die Betriebssicherheit bestimmen. Im schlimmsten Fall kann es zu einer gefährlichen Betriebssituation (Brandgefahr, Gefahr des elektrischen Schlags) kommen.

Die elektrische Alterung beruht auf physikalischen Vorgängen, wie Kriechströmen, Teilentladungen oder Grenzflächenprozessen. Die Alterungsfunktion, d. h. die Abhängigkeit der Lebensdauer von der Belastung folgt einem (empirisch ermittelten) inversen Lebensdauergesetz

$$L_{el} \sim E^{-nt},$$

wobei E die elektrische Belastung, n der Lebensdauerexponent und t die Zeit bedeuten.

Die thermische Alterung wird dagegen eher durch chemische und/oder physikalische Vorgänge wie Aushärtung, Polymerisation, Diffusion oder auch thermo-mechanische Belastung bewirkt. Die mathematische Abhängigkeit folgt hier einem Exponentialgesetz, das der sog. Arrhenius-Gleichung ähnelt, die ein Maß für die Reaktionskinetik chemischer Prozesse in Abhängigkeit von der Temperatur darstellt:

$$L_{th} \sim A \cdot e^{-m/T},$$

mit m als Lebensdauerexponent und T der absoluten Temperatur.

Eine Faustregel besagt, dass eine Erhöhung der Betriebstemperatur von 10°C einer Halbierung der Lebensdauer entspricht.

### 3 Aufbau/ Komponenten eines elektrischen Isoliersystems

Bei Wickelgütern sind die Zuverlässigkeit im Betrieb und die Langlebigkeit eng mit der verwendeten Isoliertechnik verknüpft. Die im Betriebszustand möglichen Temperaturen können zu chemischen Reaktionen mit Alterungserscheinungen, verbunden mit Schwächungen des Materials, und damit zu gefährlichen Betriebssituationen (wie Brand, Gefahr von Berührung Strom führender Teile) führen.

Wickelgüter selbst bestehen aus einer Vielzahl von Komponenten. Zur Funktion selbst sind die Spule(n) aus Wickeldraht (Kupferlackdrähte, umspinnene Drähte etc.) und der permeable Kern (Elektroblech, Ferrit-Kern etc.) zu nennen. Aufgebaut wird das Wickelgut in den meisten Fällen auf einem Wickelkörper mit isolierenden Zwischenlagen.

Die Wicklung selbst muss so aufgebaut sein, dass ein Schutz vor Berührung spannungsführender Teile und ein Schutz vor Entzündung bei Betriebstemperatur gegeben sind. Weitere Komponenten sind somit die eingesetzten Flächenisolerstoffe, die Imprägnierlacke/-harze, die Zuleitungslitzen, die Isolierschläuche, aber auch die möglicherweise zur Anwendung kommende Vergussmasse.

Das gemeinsame Zusammenspiel aller Komponenten aus elektrischen Isoliermaterialien (EIM) in einem elektrischen Isoliersystem (EIS) ist bei einem UL-zertifizierten System gegeben. Die Basis hierfür ist der UL-Standard UL 1446 (Standard for Safety for Systems of Insulation Materials – General).

### 4 UL-Zulassung des elektrischen Isoliersystems

Es gibt zwei Kategorien von elektrischen Isoliersystemen: Die erste Kategorie wird mit Systems Electrical Insulation (OBJY2) bezeichnet und umfasst ein UL-anerkanntes EIS für beispielsweise einen spezifischen Motor oder Transformator. Die zweite Kategorie System Components, Electrical Insulation (OBS2) ist für die Übernahme in eine Fremd-Anwendung vorgesehen, wird in der iQ Electrical Insulation System Database geführt und von großen Herstellern den Kunden zur Verfügung gestellt.

Jedes zu zertifizierende EIS besteht wiederum aus einer Vielzahl von einzelnen elektrischen Isoliermaterialien (EIM), die in Major und Minor Components aufgeteilt werden. Die Differenzierung in Major und Minor Components beruht auf der Annahme, dass Major Components von besonderer Wichtigkeit sind, d. h. die isolierende Barriere zwischen Leiter und Erde darstellen, während die Minor Components für nicht-elektrische Zwecke eingesetzt werden, d. h. im weitesten Sinne aus physikalischen (mechanischen) Gründen wie Festigkeit oder Aufnahme von thermischem oder mechanischem Stress. Major Components werden im deutschen Sprachgebrauch als Primärisolation bezeichnet, Minor Components dementsprechend als Sekundärisolation.

Eine Übersicht über die wichtigsten Major und Minor Components gibt die nachfolgende Tabelle:

Typ	Bestrebung	Komponenten
Major	Komponenten, deren Ausfall gravierende Sicherheitseinbußen zur Folge hat	Kupferlackdraht Wickelkörper Flächenisolierstoff Imprägnierlack* Imprägnierharz*
Minor	Komponenten, deren Ausfall keine wesentliche Sicherheitseinbuße zur Folge hat	Zuleitungslitzen Isolierschläuche Lagenisolierstoffe Bänder Vergussmassen

\* Für Imprägnierlacke und -harze gilt: Das Material wird dann als Major Komponente eingestuft, wenn es im Original Full Thermal Aging Test war und die Gesamtleistung des Systems beeinflusst (siehe auch UL-1446, Tabelle 4.2 Seite 10), ansonsten werden diese als Minor Component eingestuft und sind über einen Sealed Tube Test (CCT) einzufügen.

#### 4.1 Full Thermal Aging Test (FTA)

Um eine Anerkennung als UL Recognized Insulation System zu bekommen, ist ein sog. Full Thermal Aging (FTA) Test Program notwendig, für die Anpassung eines bereits zertifizierten Systems kann eventuell das sog. Sealed Tube Test (CCT) Programm ausreichen.

Für die UL-Zulassung eines EIS nach UL 1446 ist ein entsprechend zu erstellender Testaufbau notwendig. Der Testaufbau, genannt Motorette (als vereinfachtes Modell eines Motors) bzw. Transformette (als vereinfachtes Modell eines Transformators), wird in mehrfacher Ausführung benötigt.

Von elementarer Bedeutung ist die Einteilung in Temperaturklassen, wie sie in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben sind:

Temperaturklasse [°C]	Numerische Bezeichnung	Klassenbezeichnung	
		IEC 60085	USA
< 90	70	70	(none)
> 90 - 105	90	Y	(none)
> 105 - 120	105	A	(none)
> 120 - 130	120	E	120 (E) 120 / 248
> 130 - 155	130	B	130 (B) 130 / 255
> 155 - 180	155	F	155 (F) 155 / 311
> 180 - 200	180	H	180 (H) 180 / 356
> 200 - 220	200	200	200 (N) 200 / 392
> 220 - 250	220	220	220 (R) 220 / 428
> 250	250	250	240 (S) 240 / 454
			over 240 (C) 240 / >464

Für Isoliersysteme oberhalb von 105°C Dauereinsatztemperatur ist es zwingend notwendig, dass alle Hauptbestandteile gemäß den Vorgaben in UL 1446 bei mindestens drei unterschiedlichen Temperaturen getestet werden (die Nebenbestandteile können, müssen aber nicht Bestandteil des Tests sein, sondern können nachträglich durch verkürzte Tests, wie z.B. den Sealed Tube Test verifiziert werden).

Ziel dieses Langzeitalterungstests ist es, die thermische Lebensdauer des Isoliersystems zu ermitteln. Dazu werden die Major Components in einer repräsentativen Anordnung (Motor, Transformator oder standardisierte Modelle, wie die „Motorette“ bzw. „Transformerette“) einer im Standard festgelegten Reihenfolge von Wärme- und Kältelagerungen, Klimawechseltests, Belastungen mit Luftfeuchtigkeit, ggf. mechanischen Vibrationen und zuletzt elektrischen Prüfungen (Isolation gegen Erde, Phase-Phase, Lagenisolation) unterzogen.

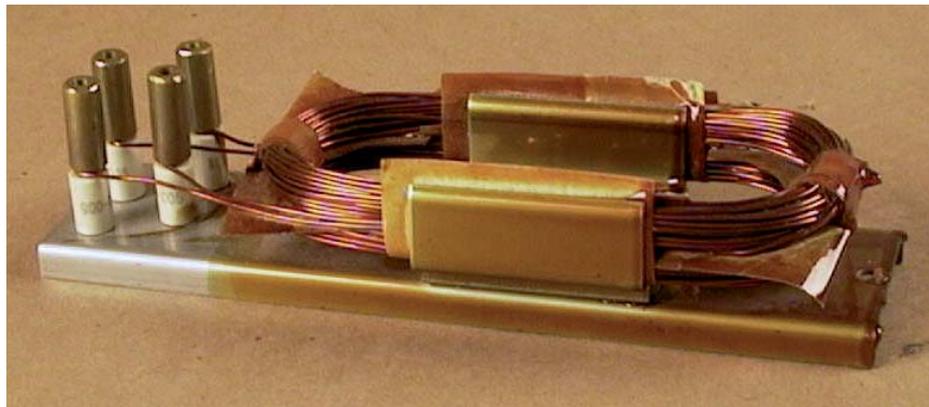


Bild1: Beispiel einer Motorette

Ziel der Spannungsprüfungen ist es, festzustellen, wie stark die Abhängigkeit der Spannungsfestigkeit der Major Components von der Alterung bei thermischer Belastung ist.

Der Test gilt als bestanden, wenn die Spannungsfestigkeit des Isolationsmaterials am Ende jedes Prüfzyklus (siehe Temperaturbelastungstests in der folgenden Tabelle) noch eine Spannungsfestigkeit von 600 V (Phase-Phase und Phase-Masse) bzw. 120 V (Wicklung-Wicklung) aufweist.

Der Test muss bei mindestens 3 verschiedenen Temperaturen durchgeführt werden, um eine zuverlässige Abschätzung abgeben zu können.

Die nachfolgende Tabelle gibt den groben Testablauf wieder:

Testzyklus	Durchführung
Bau der Motorette/Transformerette	Div. Testaufbauten
Temperaturtest	Höchste Temperatur: 3 Tages-Zyklus Nächst niedrigere Temperatur: 7 Tages-Zyklus Nächst niedrigere Temperatur: 14-Tages-Zyklus Niedrigste Temperatur: 28-Tages-Zyklus
Kälteschock	Temperatur -20 °C
Mechanische Belastung	Vibration mit 60 Hz (1 Stunde für Motorette, 3 Minuten für Transformeretten)
Feuchtigkeitstest	92 % bis 100 % relative Feuchtigkeit bei Raumtemperatur über 48 Stunden
End of Life Test (am Ende jedes Zyklus)	600 V Phase gegen Phase Phase gegen Masse 120 V Wicklung gegen Wicklung bis Isolierung nachgibt

Es werden pro Temperatur 10 Prüflinge (mind. 3 verschiedene) benötigt. Motoretten und Traforetten werden von UL-Mitarbeitern selbst hergestellt – bei Prüfungen an „echten“ Prüflingen stellt der Hersteller diese zur Verfügung. Die anzusetzenden Temperaturen richten sich nach der angestrebten Wärmeklasse und den Möglichkeiten, über die angestrebte Wärmeklasse hinaus die Materialien zu belasten. Ein 130(B) System kann z.B. bei 150°C, 170°C und 190°C geprüft werden, allerdings kann auch höher oder niedriger getestet werden.

Der typische Ablauf eines Isolationssystem-Tests eines komplett neuen EIS sieht wie folgt aus:

- 1.) Vollständiger Alterungstest
- 2.) Ergänzung der Nebenbestandteile durch Sealed Tube Test
- 3.) Einsatz des EIS in der Endanwendung

Bis zur Zulassung eines neuen EIS vergeht mindestens ein Jahr.

## 4.2 Sealed Tube Test (CCT)

Alternativ zu einem zeitraubenden vollständigen Alterungstest nutzen viele Anwender die Möglichkeit, mittels verkürzter Tests die gewünschten „Minor Parts“ bestehenden EIS hinzuzufügen.

Ganz deutlich muss man betonen, dass es nicht möglich ist, „Major Parts“ eines bestehenden EIS zu ergänzen oder auszutauschen.

Ausnahmen sind:

- Isolierlacke, die in der zutreffenden Wärmeklasse bereits mittels FTA Test klassifiziert wurden.
- Kompositmaterialien wie NMN (Nomex®-Mylar®-Nomex®) oder DMD (Dacron®-Mylar®-Dacron®), sofern einer der Bestandteile dieser Laminare in mindestens der gleichen Materialstärke Bestandteil des Basis-EIS ist.
- Kupferlackdrähte können ergänzt/ ausgetauscht werden gemäß den Bedingungen in Appendix A der UL 1446.



Bild 2: Glaskolben (Sealed Tube) und Wärmeschrank

Der Sealed Tube Test prüft mittels standardisierter Verfahren die chemische Verträglichkeit der Haupt-Isolationsmaterialien in Bezug auf die Ausgasungen der beigefügten Nebenbestandteile (z.B. Klebebänder, Vergussmassen, Kordeln).

Hauptaugenmerk wird auf die Durchschlagsspannung der lackisolierten Drähte gelegt. Diese wird nach 14-tägiger gemeinsamer Lagerung aller Bestandteile<sup>1</sup> des EIS in einem abgeschlossenen Prüfraum (Sealed Tube, im Prinzip ein verschlossener Quarzglas Kolben) ermittelt. Die Lagerung erfolgt bei der angestrebten Wärmeklassen-Temperatur plus 25°C.

Als Referenz wird ein weiterer Prüfkörper (Sealed Tube) nur mit den Bestandteilen des Original-EIS gefüllt und in gleicher Weise gealtert.

Das modifizierte EIS wird zugelassen, wenn die Spannungsfestigkeit der Wickeldrähte mindestens 50 % der Wickeldrähte des Referenz-Tubes erreicht.

Nach Durchführung des Sealed Tube Tests kann das modifizierte EIS sofort eingesetzt werden, UL gibt den Zeitrahmen für die Durchführung und abschließende Zulassung des modifizierten Systems mit 8 Wochen an.

#### Vorbereitende Arbeiten:

Sofern man ein OBJS2-System (also ein bereits bekanntes, getestetes EIS) gefunden hat, das durch Modifikation den eigenen Bedürfnissen angepasst werden kann, ist es notwendig, mit dem „Eigentümer“ des OBJS2-System in Kontakt zu treten. Er muss UL einen so genannten „Release-Letter“ zukommen lassen. Mittels dieser Freigabe erlaubt der Inhaber des OBJS2-Systems die gewünschte Modifikation und legt zugleich alle Bestandteile im Original-EIS offen. Mit diesen Informationen kann der Einreicher dann die Probematerialien für den STT zusammenstellen.

Es liegt in der Verantwortung des Einreichenden, alle benötigten Bestandteile für den Sealed Tube Test zur Verfügung zu stellen.

Die letztendliche Zulassung wird in einem so genannten File dokumentiert, das seitens UL veröffentlicht wird. UL hat eine Datenbank entwickelt, in der die Ergebnisse getesteter und freigegebener EIS zu finden sind ([www.ul.com/iq](http://www.ul.com/iq)).

---

<sup>1)</sup> Innerhalb des Sealed Tube werden kleine Proben der Flächenisolerstoffe, etwa 25x25 mm<sup>2</sup>, sowie ausvernetzte Vergussmassen und mit Tränkharz beschichtete Twisted Pairs (verdillte Lackdrähte, ein Satz mit mindestens 5 Stück pro Drahttyp) und weitere Bestandteile eingelagert.

### 4.3 Übernahme eines bestehenden EIS

Die schnellste, kostengünstigste Methode, ein eigenes EIS zu definieren, ist die Übernahme eines bereits bestehenden EIS ohne jegliche Modifikation<sup>2</sup>. Da es nicht notwendig ist, alle Bestandteile eines solchen EIS zu verwenden, sucht man sich als Anwender also ein EIS aus, das alle benötigten Bestandteile enthält.

Die Übernahme eines bestehenden EIS erfolgt auf zwei mögliche Arten:

- Die elektronische Kopie übernimmt alle Daten des bestehenden EIS in das kundeneigene EIS.
- Das neue EIS wird in den Follow-Up Service (Qualitätskontrolle) des Kunden aufgenommen.

Eine gesonderte Erlaubnis durch den derzeitigen Eigentümer des Original-EIS ist in Form eines Release Letters notwendig.

---

<sup>2</sup>) Folgende Modifikationen sind bei der Übernahme eines bestehenden EIS möglich:

*Ausnahmen sind nur möglich, wenn die Austauschprodukte identisch sind mit den im EIS enthaltenen Produkten. Die Modifikation muss stets mit UL abgestimmt werden.*

*Die Ähnlichkeit zweier Produkte wird durch einen Vergleich der IR-Spektren ermittelt. Bei ausreichend hoher Gleichartigkeit können diese Produkte ohne weitere Tests ergänzt werden.*

*Aufgrund der Erfahrung bei UL besteht bei Elektroisolier-Klebebändern die Möglichkeit, diese in so genannte Matrizen zu kategorisieren. Idee dabei ist, dass viele Klebebänder eines Herstellers sich nur durch die Stärke, Farbe oder Transparenz unterscheiden. Der chemische Aufbau ist jedoch identisch, so dass kein anders gearterter Einfluss auf die Wickeldrähte im Sealed Tube Test zu erwarten ist. Man kann in Absprache mit UL auf diese Weise die Anzahl der einzureichenden Klebebänder reduzieren.*

## 5 Ergänzende Hinweise

UL 1446 prüft nur die chemische Kompatibilität der eingesetzten Werkstoffe bei einer gegebenen Dauereinsatztemperatur. Außer für die Wickeldrähte, Zuleitungen und Isolierlacke wird keine Wärmeklasseneinstufung überprüft. Es ist im Prinzip möglich, Werkstoffe einzureichen, die keinerlei UL-Einstufungen oder eine UL-Zulassung mit einer geringeren Wärmeklasse besitzen. Ausnahmen davon sind solche Werkstoffe, die aufgrund der angestrebten Endanwendung ggf. vorgeschrieben werden.

Die UL 1446 selbst fordert keine zusätzliche Bewertung von Materialien, die direkten Kontakt mit spannungsführenden Teilen haben. Dies ist Teil der Prüfungen des Endgerätes und abhängig von der Konstruktion, der Wärmeklassifizierung, den Abständen und anderen Parametern, die durch den entsprechenden Endgeräte-Standard bestimmt werden. Zusätzliche Parameter, die später ggf. berücksichtigt werden müssen, sind zum Beispiel HWI (Hot Wire Ignition), CTI (Comparative tracking index), HAI (High Arc Ignition) usw. Dies sollte man vor Einreichung der Materialien zur Prüfung für ein neues EIS berücksichtigen.

Die Norm IEC 60085 ist die internationale Entsprechung zu der UL 1446. Sie ist jedoch nicht identisch! Ein entsprechender IEC-Leitfaden ist in der IEC 60505 zu finden.

## 6 Abkürzungen

CCT:	Components Compatibility Test (besser bekannt als "sealed tube test")
EIM:	Electrical Insulating Materials
EIS:	Elektro-Isoliersystem
UL:	Underwriters Laboratories, Inc.
FTA:	Full Thermal Aging Test

Akkreditierung: NRTL (USA), SCC(Kanada)

Prüfzeichen: UL-Marks für die USA, C-UL-Marks für Kanada, kombinierte cULus-Marks (USA und Kanada)

NRTL:	Nationally Recognized Testing Laboratories
SCC:	Standards Council of Canada (akkreditierte Prüf- und Zertifizierungsinstitute) (CO und TO)
CO:	Certification Organisation
TO:	Testing Organisation

## 7 Referenzen

- [1] Introduction to Electrical Insulation System Investigations (UL 1446), Underwriters Laboratories, 2008
- [2] Elektrische Isoliermaterialien (EIM), Isoliersysteme (EIS) – Konzepte für Marketing und Verkauf, ELTEK EIS Seminar
- [3] UL Isolationssysteme, DuPont 1996
- [4] Electrical Insulation System Testing (auf [www.pleo.com/ulsystem](http://www.pleo.com/ulsystem)), 1995
- [5] Gerald Friederici, CMC Klebetechnik

REDAKTIONSTEAM:



WEITERE UNTERNEHMEN DER  
PLATTFORM ZULIEFERINDUSTRIE:





ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektronikindustrie e.V.  
Plattform Zulieferindustrie  
Lyoner Straße 9  
60528 Frankfurt am Main

Fon: 069 6302-209

Fax: 069 6302-407

Mail: [PlattformZulieferindustrie@zvei.org](mailto:PlattformZulieferindustrie@zvei.org)

Home: [www.zvei.org/PlattformZulieferindustrie](http://www.zvei.org/PlattformZulieferindustrie)